

Entstehung und Alter der „toba“-Sedimente in Mexiko

Von KLAUS HEINE, Bonn und ERNST SCHÖNHALS, Gießen

Mit 7 Abbildungen

Zusammenfassung. Schluffige, gelblichbraune Sedimente von oft großer Mächtigkeit sind in Zentralmexiko im Bereich der Sierra Neovolcánica weit verbreitet. Über ihre Entstehung gab es bisher nur Vermutungen; man sah in ihnen primär sedimentierte vulkanische Tuffe, Staubsedimente, die subaerisch akkumuliert wurden, nachdem sie aus vulkanischen Aschenfeldern ausgeblasen worden waren, oder ein lößartiges Material, dessen Auswehungsgebiet in allen vegetationslosen Flächen zu suchen ist, wie trockengefallene Seen, Schotterfluren und vulkanische Lockerprodukte.

Geologisch-geomorphologische und bodenkundliche Untersuchungen der jungpleistozänen und holozänen Lockersedimente im Bereich des Beckens von Puebla erbrachten Aufschlüsse über die Entstehung der Staubsedimente. Es handelt sich meistens um äolisch umgelagerte vulkanische Aschen und Bimse, wie die Parallelisierung der lößartigen Ablagerungen mit den vulkanischen Förderprodukten zeigt. Daneben kommen auch häufig — jedoch in der Regel geringmächtiger — lößartige Sedimente vor, die sich mit typischen glazialen und periglazialen Ablagerungen korrelieren lassen; sie wurden vorwiegend aus vegetationslosen Periglazialgebieten der Vulkangebirge und weiten Schotterfluren ausgeblasen, und zwar während größerer Gletschervorstöße an den höchsten Vulkanen. — Eine Besonderheit bildet das Ausgangsmaterial der fossilen Andosole an der Malinche; es wurde zum Teil von der Sierra Nevada und aus den Beckengebieten angeweht. Das Alter der lößartigen Bildungen reicht vom Holozän bis weit ins Pleistozän. Einzelne Horizonte können aufgrund stratigraphischer Untersuchungen genau datiert werden. Die Frage, ob diese in Mexiko „toba“ genannten Sedimente als „Löß“ bezeichnet werden können, wird aufgeworfen.

Summary. Silty, yellowish brown sediments of great thickness can be observed frequently in Central Mexico in the region of the Sierra Neovolcánica. So far different views have been advanced as to their origin, they are supposed to be subaerically deposited volcanic tuffs, dust sediments subaerically accumulated after being blown out of volcanic ash fields, or loess-like material derived from all areas which are free of vegetation such as desiccated lakes, gravel fields and volcanic tefras.

Geologic-geomorphological and pedological investigations of the Late Pleistocene and Holocene sediments in the region of the Valley of Puebla led to information about the origin of the dust sediments. Most of them are eolically redeposited volcanic ashes and pumices, as indicated by the correlation of the loess-like sediments with volcanic layers. There are also loess-like sediments — generally less thick — which can be correlated with characteristically glacial and periglacial deposits; they were mainly blown out of periglacial regions of the volcanic massifs and the gravel fields with an open vegetation cover during periods of the mayor glacial advances on the highest volcanoes. The unweathered material of the fossil andosol soils of the Malinche shows certain special features; some of it was transported by wind from the Sierra Nevada and the nearby basins. The age of the loess-like formations reaches from the Holocene far into the Pleistocene. By means of stratigraphical investigations some layers can be dated exactly. The question is raised whether these sediments which are called „toba“ in Mexico can be called „loess“.

I. Einleitung

Die Vulkane sind die auffälligste morphologische Erscheinung Mexikos; sie liegen im Bereich einer Achse, die das Land in etwa 19° n. Br. von Ost nach West quert (Sierra Neovolcánica). Beträchtliche Flächen sind im Gebiet der Sierra Neovolcánica von vulkanischen Lockermassen, Tuffen, Sanden und Aschen bedeckt. Zu diesen Ablagerungen gesellen sich schluffreiche, gelbliche bis gelblichbraune Sedimente. Besonders an den Hängen können diese Ablagerungen große Mächtigkeiten erlangen. Im Landschaftsbild treten sie deutlich hervor, da gewaltige Schluchtsysteme die Lockersedimente an den Gebirghängen zerschnitten haben. Die Frage nach der Entstehung dieses in Mexiko als „toba“ bezeichneten Materials ist wiederholt gestellt worden.

JAEGER (1926, 18 ff.) vertritt die Auffassung, daß es sich im wesentlichen bei den „toba“-Sedimenten um einen aus der Luft abgesetzten Tuff von vulkanischen Aschenausbrüchen handelt. Diese Ansicht über die Entstehung nimmt JAEGER für die gelbbraunen

Staubsedimente in den Becken von Mexiko und Puebla an, während er für andere, besonders trockene Gebiete des mexikanischen Hochlandes auch einräumt, daß die „toba“-Sedimente eine lößartige, äolische Ablagerung darstellen, die vom Boden eines Beckens abgeweht und an den Gebirgsrändern abgesetzt ist. An eine äolische Sedimentation des Materials denkt auch der erfahrene mexikanische Geologe P. WAITZ (zit. nach JAEGER 1926, 23).

BRYAN (1948, 11 u. 14) sieht in dem massigen, ungeschichteten, gelblichbraunen Material ein Sediment, das hauptsächlich aus vulkanischem Glas besteht und das direkt vulkanisch entstanden oder aber vom Wind abgelagert sein kann.

WHITE (1962, 17 ff.) glaubt in den „toba“-Sedimenten die ältesten alluvialen Ablagerungen wiederzufinden. Die Akkumulation des Materials erfolgte nach WHITE (a) während Perioden starker fluvialer Erosion, (b) in Zeiten verstärkter Gletscherausdehnung an den höchsten Vulkanen oder (c) während jungpleistozäner vulkanischer Eruptionen.

TICHY (1968, 9) berichtet von lößähnlichen, gelblichen vulkanischen Tuffen, die die unteren Hangteile der Vulkangebirge aufbauen.

CORNWALL (1968 u. 1970, 6 ff.) spricht in Verbindung mit den „toba“-Sedimenten von „Wind-Aschen“ (wind-ash), die durch bestimmte Merkmale charakterisiert werden. Dabei soll es sich um vulkanische Aschen handeln, deren Korngrößen vorwiegend im Schluffbereich liegen, die eine schwache chemische Verwitterung aufweisen, die ohne offensichtliche Schichtung allmählich akkumuliert wurden, und die als äolische Staubsedimente angesehen werden können, da sie durch Winderosion von ihrem ursprünglichen Ablagerungs-ort abgetragen und transportiert wurden.

VALDEZ MARIN (1970) schließlich schreibt in seiner Arbeit über die Böden auf diesen „toba“-Sedimenten nichts über die Entstehung des Ausgangsmaterials.

Bodenkundliche und morphologische Untersuchungen im Gebiet des zentralmexikanischen Hochbeckens von Puebla-Tlaxcala¹⁾ (vgl. HEINE 1971, 1973, HEINE et al. 1972, HEIDE-WEISE et al. 1971, AEPPLI 1972, 1973; AEPPLI & SCHÖNHALS 1973) ergaben neue Anhaltspunkte für die Klärung der Frage nach der Entstehung der „toba“-Sedimente.

II. Die „toba“-Sedimente

Hinsichtlich der Korngröße zeigt das Material alle Übergänge von einer vulkanischen Brekzie mit scharfkantigen Gesteinsfragmenten bis zu tonreichen schluffigen Sedimenten. Das Material enthält auch oft Bimslapilli und wechsellagert häufig mit reinen Bimslapillischichten. Ebenso werden Übergänge und Wechsellagerungen mit glazifluvialen Ablagerungen angetroffen. An vielen Stellen erscheint das „toba“-Material wie ein sehr stark ausgetrockneter, nur mit der Pickel, nicht aber mit dem Spaten bearbeitbarer braungelber sandiger Lehm, der in den Becken von Mexiko und Puebla die flachen Fußhänge der Vulkane zusammensetzt. Korngrößenanalysen dieses Materials zeigen, daß ca. 70 % der Sedimente aus Grobschluff, Mittel- und Feinsand bestehen, ohne ein ausgeprägtes Maximum in einer Fraktion aufzuweisen. Eine typische Korngrößenverteilung für die feinsten „toba“-Ablagerungen zeigt die Tabelle 1.

Tabelle 1
Korngrößenverteilung von zwei „toba“-Proben

	(T) ($<2 \mu$)	Feinschluff (fU) ($2-6 \mu$)	Mittelschluff (mU) ($6-20 \mu$)	Grobschluff (gU) ($20-63 \mu$)	Feinsand (fS) ($63-200 \mu$)	Grob- und Mittelsand (gS + mS) ($200-2000 \mu$)
Probe Nr. 1	9,60	11,25	16,40	19,78	25,29	17,68
Probe Nr. 3	6,40	7,85	12,30	21,65	30,83	20,97

Bemerkung: Probe Nr. 1: Straße Puebla—Texmelucan—Mexiko; Probe Nr. 3: Lehmgrube bei Ciudad Serdán, Edo de Puebla, Mex.

¹⁾ Die Verfasser danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die großzügige Reise- und Sachbeihilfe, die die Untersuchungen ermöglichte, recht herzlich.

Das „toba“-Material ist stets schichtungslos und neigt dazu, sowohl in natürlichen wie auch künstlichen Aufschlüssen senkrechte Wände zu bilden. Das Vertikalgefüge des Staubsediments scheint — wie beim Löß (vgl. FÜCHTBAUER et al. 1970, 143 ff.) — durch das Überwiegen der Kohäsionskräfte im Körnerverband bedingt zu sein; das Wurzelsystem der Pflanzen verstärkt diesen Effekt. Eine hohe Porosität zeichnet das gelbbraune, leicht zerdrückbare Material aus; liegt es an der Oberfläche, so kann es beim Überschreiten hohl klingen. Vereinzelt können Calcit-Abscheidungen in Porenräumen, Spaltrissen und Wurzelhohlräumen beobachtet werden. Der Carbonatgehalt schwankt sehr in einzelnen Proben, ist aber in der Regel recht gering. Konkretionen und Kalkhorizonte sind nur vereinzelt ausgebildet (vgl. VALDEZ MARIN 1970, 166 f.).

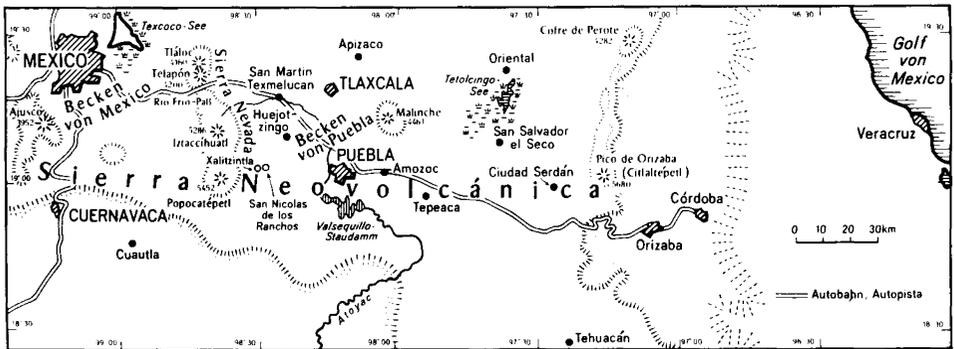


Abb. 1. Übersichtskärtchen des zentralmexikanischen Hochlandes.

Die mineralogische Zusammensetzung der „toba“-Sedimente zeigt die gleichen Minerale wie die pleistozänen vulkanischen Lockerprodukte. Verschiedene mineralogische Provinzen lassen sich im Untersuchungsgebiet (Abb. 1) ausgliedern (Malinche, Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Sierra Nevada im Bereich von Tlálóc und Telapón). Die Auswertung der Körnerdünnstufungen der Schwermineralfraktion einer Probe vom Osthang der Iztaccíhuatl aus 2820 m NN ergab beispielsweise folgende Ergebnisse: In der Fraktion 0,6—0,2 mm beträgt der opake Anteil 10% des Gesamtpräparates; es handelt sich um kugelförmige Körner. Der durchsichtige Anteil besteht zu 99% aus Hypersthen, wovon 40% idiomorphe Kornformen aufweisen, der Rest sind Bruchstücke. Auffällig ist hier gegenüber den Proben vulkanischer Lockerprodukte in situ, daß alle Körner eine leichte Zurundung zeigen. Die Körner sind sehr zerfurcht, besitzen oft beginnende Hahnenkamm- und Sägezahnstrukturen, haben häufig dunkelbraune Blasen und seltener opake Einschlüsse oder Verwachsungen; einige Zwillinge sind vorhanden. Den Rest des durchsichtigen Anteils bildet grünbraune Oxihornblende (1%). Die feineren Fraktionen zeigen eine Zunahme des Hornblende- und opaken Anteils; auch sind die Lösungserscheinungen deutlicher ausgebildet. Mineralogisch gesehen sind die „toba“-Sedimente mit den vulkanischen Auswurfmassen an primärer Lagerstätte identisch²⁾.

Ein besonders auffälliges Merkmal der „toba“-Sedimente ist eine schwache, jedoch immer vorhandene Verwitterung des Materials, die gleichmäßig durch die gesam-

²⁾ Frau Dr. H. Heide-Weise führte die mineralogischen Arbeiten durch. Ihr sei an dieser Stelle herzlich gedankt. (Vgl. Heide-Weise et al. 1971). Mineralogische und mikromorphologische Untersuchungen an Einzelproben verdanken wir Herrn Dipl.-Geol. Th. Poetsch, Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung, Gießen und Herrn Dr. H. Altemüller, Braunschweig.

ten Schichtkomplexe verteilt ist und die keinen bestimmten Bodenhorizont dokumentiert, der auf bodenbildende Prozesse hindeuten könnte, die von einer möglichen früheren Landoberfläche ausgegangen sind. Die „toba“-Ablagerungen können bis über 5 m mächtig werden, ohne eine sedimentologische oder pedologische Unterteilung bzw. Gliederung erkennen zu lassen. Die durchgehende gelblichbraune Farbe (zwischen 10 YR 7/3 und 10 YR 6/8 der MUNSSELL-Soil-Color-Charts) wird in allen Fällen auf die Anwesenheit von Limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) zurückgeführt (CORNWALL 1970, 7), was auf gewisse Oxydations- und Hydrationsvorgänge der ursprünglich eisenhaltigen Minerale und vulkanischen Gläser hinweist.

Die tonmineralogische Untersuchung ergab, daß außer röntgenamorphen Substanzen nur Halloysit vorhanden ist, der eine Neubildung darstellt. Die Zusammensetzung der Tonfraktion $< 2 \mu$ weist daher ebenfalls auf eine sehr schwache Verwitterung hin.

Die Hauptverbreitung der „toba“-Sedimente liegt in den verschiedenen Becken des mexikanischen Hochlandes. Die Staubablagerungen sind nicht allein auf die vulkanischen Gebiete der Sierra Neovolcánica beschränkt, sondern kommen in bedeutender Entfernung von diesen vor (JAEGER 1926, 21). Charakteristisch ist, daß sie einen durch Erosionsschluchten in zungenartige Flächen gegliederten Streifen am Fuß der die Becken oder Bolsone einrahmenden Gebirge zu bilden pflegen. Die Höhenlage ist nicht nur in verschiedenen Becken, sondern auch innerhalb eines Beckens recht wechselnd. Im Becken von Mexiko reichen die „toba“-Ablagerungen bis über 2700 m NN hinauf, an der Iztaccihuatl und am Popocatepetl bis etwa 3300 m NN, im Becken von Puebla an der Sierra Nevada bis durchschnittlich rund 3000 m NN und an der Malinche in der Regel nur bis 2750 m NN. Am Citlaltépetl wurden „toba“-Sedimente von großer Mächtigkeit am Nordhang bis in 3600 m NN gefunden. Die Staubablagerungen bilden aber keinen geschlossenen Saum um alle Gebirge, sondern fehlen auch an Stellen, wo man sie erwarten möchte. An vielen Hängen der Ajusco-Kette fehlen sie infolge jüngerer Lavaströme, die sie überschütteten, andere Vulkanbauten sind erst nach der „toba“-Ablagerung entstanden, und bei wieder anderen Gebirgen schließlich wurden die Sedimente durch nachträgliche Abtragung beseitigt.

Im Bereich der von weiten Lavafeldern bedeckten nördlichen und nordöstlichen Hänge der Iztaccihuatl zeigen die „toba“-Ablagerungen eine starke Expositionsabhängigkeit. Unterhalb 3000 m NN werden in dem hügeligen Gelände besonders die nach Norden exponierten Hänge von „toba“-Sedimenten eingenommen, die eine Mächtigkeit von mehreren Metern erreichen, während die Süd-exponierten Hangbereiche nur einen Schleier aus „toba“-Ablagerungen aufweisen. Eine deutliche Abhängigkeit von der Exposition ist bei fast allen hoch gelegenen „toba“-Vorkommen zu beobachten, sofern Relief-unebenheiten vorhanden sind.

III. Beispiele für eine lithologisch-stratigraphische Deutung der „toba“-Sedimente

1. Beziehungen zwischen Tephra und „toba“-Sedimenten

Umfangreiche Untersuchungen der Lockersedimente an den Hängen des Malinche-Vulkans (HEINE 1973) ergaben, daß oft enge Beziehungen zwischen vulkanischen Lockerprodukten, die bei einem Ausbruch durch die Luft geworfen wurden, und den „toba“-Sedimenten bestehen. Verschiedene Profile in der Barranca Xotanacatla am Malinche-Westhang in 2650 bis 2500 m NN (Abb. 2) zeigen, daß zwischen Tephra und „toba“-Sedimenten ein allmählicher Übergang hangabwärts besteht. In allen Einzelprofilen befindet sich im Liegenden ein kräftig entwickelter fossiler Boden (fBo1), der unterhalb 2580 m NN als Braunlehm und oberhalb 2580 m NN in der Regel als Andosol ausgebildet ist; der Boden hat ein Alter von rund 25000 Jahren v. h. (HEINE 1973). Darüber

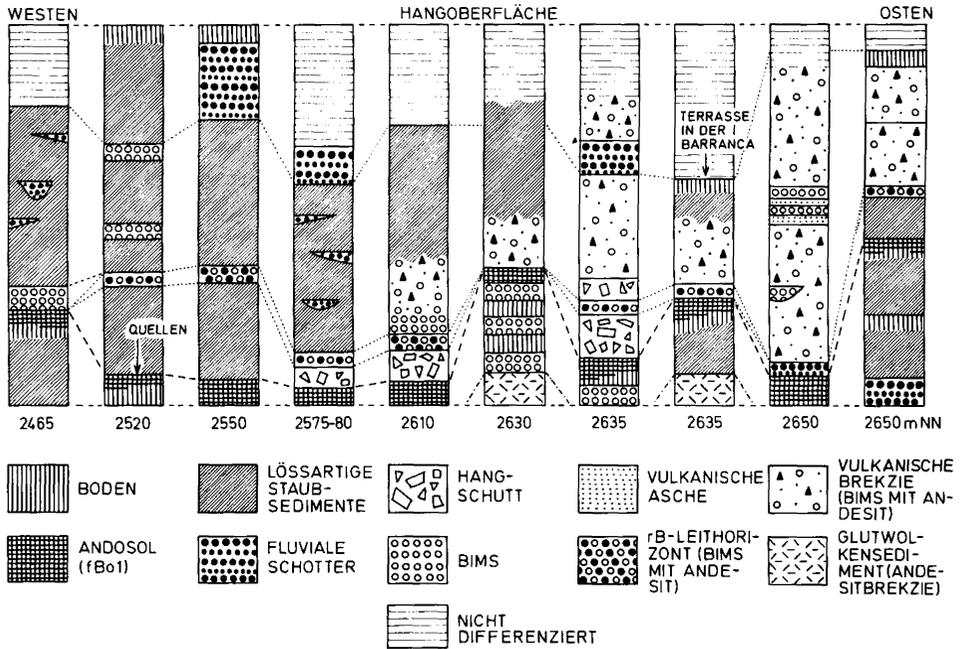


Abb. 2. Profile der Barranca Xotanacatla am Malinche-Westhang zwischen 2650 und 2465 m NN. Stratigraphisch wichtige Horizonte sind der fossile Boden fBo1 und das Bimslapilli-Band mit Andesitfragmenten (rB).

liegt oft ein Schutthorizont, der weiter hangaufwärts in einen Periglazialschutt übergeht, der stratigraphisch dem Moränenmaterial eines Gletschervorstoßes entspricht; der Schutthorizont ist durch die Radiokarbonbestimmung eines Baumstammes auf 12 100 Jahre v. h. datiert. Zum Hangenden hin folgt in den Profilen ein schmales Band aus rotgelben bis rotbraunen Bimslapilli mit Andesitfragmenten, die oft rötlich, braun oder braunschwarz bis schwarz gefärbt sein können. Dieses Bimsband (rB) hat wegen seiner charakteristischen Ausbildung und weiten Verbreitung eine besondere Bedeutung bei der Korrelierung der Lockersedimente an den Malinchehängen. Über dem rB-Bimsband befindet sich in den höher gelegenen Profilen eine weißgraue vulkanische Brekzie aus Bims- und Andesitlapilli und -fragmenten. Die Korngröße dieses Materials nimmt hangabwärts ab. Besonders größere Andesitbröckchen bis zu einem Dezimeter Durchmesser wurden nicht so weit talwärts befördert wie die relativ leichten Bimslapilli. Aber auch diese zeigen eine Seigerung hinsichtlich der Größe hangabwärts. Der Übergang von dem relativ unverwitterten Material der vulkanischen Brekzie zu einem gelblichen bis gelblichbraunen „toba“-Sediment erfolgt sowohl hangabwärts ohne sichtbare Grenzen ganz allmählich wie auch in den Profilen vom Liegenden zum Hangenden. So wird das Bims- und Andesitmaterial im Profil bei 2 650 m NN oben durch einen fossilen Boden abgeschlossen; in 2 635 m NN ist diese Bodenbildung nicht mehr direkt auf der vulkanischen Brekzie erfolgt, sondern auf „toba“-Material, das hier bereits die vulkanische Brekzie überlagert, ohne einen erkennbaren scharfen Übergang zu dem liegenden Material zu bilden. In den tiefer gelegenen Profilen zeigt sich, daß die „toba“-Ablagerungen an Mächtigkeit zunehmen, während die Mächtigkeit der vulkanischen Brekzie abnimmt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß hier häufig in dem „toba“-Material Bimslapilli eingeschlossen sind, daß also noch nicht die

charakteristische Korngrößenverteilung bei den „toba“-Sedimenten erreicht ist. Erst weiter talwärts wird das Sediment immer feiner, bis schließlich der größte Anteil aus Körnern der Schluff- und Feinsandfraktion gebildet wird.

An anderen Stellen der Malinche sind ergänzende Beobachtungen zu machen. Häufig werden mächtige Lagen aus Bims im Hangenden von „toba“-Ablagerungen bedeckt, die hangabwärts stets an Mächtigkeit zunehmen, während die Bimshorizonte, die Eruptionsstellen in mittleren bis oberen Hangbereichen entstammen, meist keine weite Verbreitung talwärts zeigen. Hierfür gibt es viele Beispiele am Südhang der Malinche, aber auch entlang der Autobahn zwischen Mexiko-Stadt und dem Rio Frio-Paß im Norden der Iztaccíhuatl, sowie am Nordosthang des Popocatepetl bei San Nicolas de los Ranchos und Xalitzintla. In allen Fällen zeigt sich, daß die „toba“-Sedimente eine besonders große Mächtigkeit erreichen, wenn die vulkanischen Lockerprodukte in mehreren einzelnen Eruptionen gefördert wurden, wie beispielsweise am Malinche-Westhang (Abb. 2), wo das Profil bei 2 650 m NN eine Gliederung des Brekzien-Materials durch eine Wechsellagerung von Bimslapilli und Aschen aufweist, sowie durch — vermutlich fluvial oder äolisch umgelagerte — Bimslinsen. Die gleichen Beobachtungen lassen sich entlang der Autobahn am Westhang der Sierra Nevada machen, wo verschiedene Aufschlüsse eine Wechsellagerung aus Bims und „toba“-Sedimenten zeigen, die durch fossile Böden gegliedert werden (Abb. 3 und 4).

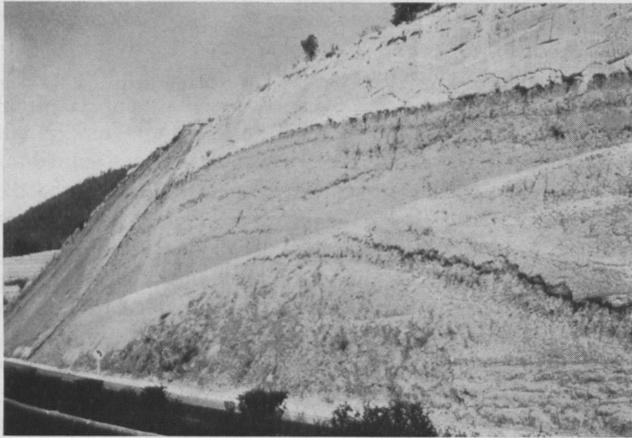


Abb. 3. Photographie eines Aufschlusses in „toba“-Sedimenten an der Autobahn zwischen Mexiko-Stadt und dem Rio Frio-Paß in rund 2750 m NN. Zur Erklärung vgl. Abb. 4.

Den Abbildungen ist zu entnehmen, daß über einer älteren Lava, die in den oberen Partien verwittert ist, Bimslapilli liegen; dann folgt zum Hangenden ein Übergang zu „toba“-Ablagerungen. Die Abfolge von Bims zu lößartigen Sedimenten ist darüber noch dreimal ausgebildet; dann sind mehrere fossile Böden zu beobachten, jeweils aus „toba“-Sedimenten entwickelt. Ein kräftiger Braunlehm bildet die Grenze zu den darüber lagernden Schichten aus Bims und „toba“-Sedimenten, die wiederum von einem fossilen Braunlehm abgeschlossen werden. Dieser Braunlehm entspricht dem fBo1-Boden der Abb. 2. Die Parallelisierung ist von der Malinche bis zum Osthang der Sierra Nevada möglich (HEINE et al. 1972) und von dort entlang der Autobahn bis zum Becken von Mexiko (CORNWALL 1968, 1970). Über dem fBo1-Boden befinden sich „toba“-Sedimente, denen oft Bimslinsen (PWA), die Andesitfragmente enthalten und die einem Ausbruch des Popocatepetl zwi-

schen $14\,770 \pm 280$ und $12\,900 \pm 400$ Jahren vor heute (MOOSER 1967, 14 f.) zugeordnet werden, und kleinere Gerölle, die eine Hangabspülung dokumentieren, beigemischt sind. Ein weiterer braunerdeartiger fossiler Boden — in seiner Ausprägung jedoch weniger intensiv als die tiefer liegenden — gliedert die „toba“-Sedimente im Hangenden. Unter dem rezenten Boden ist oft ein schmales Bimsband in die „toba“-Ablagerungen eingeschaltet. Dieses Profil zeigt deutlich die enge Beziehung zwischen den Bimslagen und den „toba“-Sedimenten.

Eine Interpretation der hier beschriebenen Geländebefunde hinsichtlich der Entstehung der „toba“-Sedimente spricht für eine äolische Ablagerung des schluffigen Materials, denn es zeigt keinerlei Schichtung. Die Frage, ob es sich um eine primäre Ablagerung feiner vulkanischer Aschen handelt, muß verneint werden, da die „toba“-Sedimente stets eine leichte Verwitterung des Materials aufweisen, die gleichmäßig die oft recht mächtigen Ablagerungen erfaßt hat. Bei einer Ablagerung des Materials nach einem heftigen Vulkanausbruch jedoch müßte die Verwitterung von einer (ehemaligen) Oberfläche aus erfolgt sein und eine Differenzierung der Verwitterungsintensität von oben nach unten zeigen. Das ist nicht der Fall. Auch eine mehrmals wiederholte Förderung feiner Aschen würde nicht die Einheitlichkeit der Verwitterung und die Schichtungslosigkeit erklären.

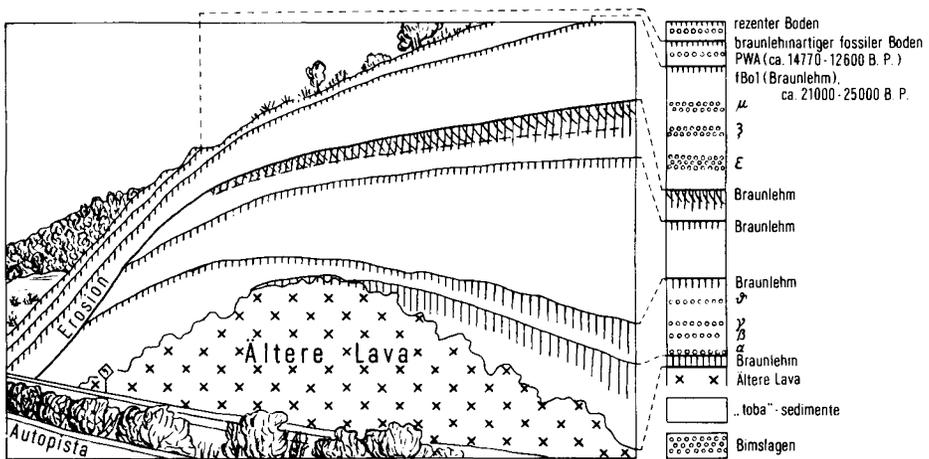


Abb. 4. Die Zeichnung zeigt den gleichen Profilausschnitt wie das Photo der Abb. 3. Das schematische Profil der Schichten (rechts) macht die enge Beziehung zwischen Bimsapilli-Lagen und „toba“-Sedimenten deutlich. Die Ablagerungen unter dem fossilen Boden fBo1 haben ein Alter über rund 25 000 Jahre vor heute. Auf dem Photo (Abb. 3) sind die Bimslagen nicht zu erkennen, da infolge von Abspülungsprozessen „toba“-Material die Aufschlußwand überzieht.

Die Feldstudien belegen, daß das „toba“-Material äolisch sedimentiert worden ist. In den hier genannten Profilen erfolgte nach der Ablagerung der vulkanischen Brekzien bzw. Bimsapilli und Aschen eine leichte Verwitterung der vegetationslosen Oberfläche. Der Wind hatte die Möglichkeit, das feinste Material auszuwehen, zu transportieren und an anderer Stelle wieder abzulagern, zuerst dort, wo eine Vegetationsdecke eine spätere Umlagerung verhinderte. So wurde nach und nach der vielleicht schon am Ort seiner Ausbläsung leicht verwitterte Staub abgelagert. Dies geschah vorwiegend in den mittleren und unteren Hangbereichen, die von der primären Bedeckung mit vulkanischen Lockerproduk-

ten nicht mehr betroffen wurden oder lediglich eine dünne Bestreuung mit Aschen und Lapilli erhielten, die jedoch keine Vernichtung der Vegetation zur Folge hatte. Die Wurzelröhrchen in den „toba“-Sedimenten und die häufig meist im Grottschluff vorkommenden Bioopale (Abb. 5) belegen eine allmähliche Akkumulation zwischen einer ständig weiterwachsenden Vegetation bei gleichzeitiger schwacher Verwitterung (vorwiegend Oxydation von Fe). In Gebieten, die völlig mit oft recht mächtigen vulkanischen Auswurfmassen zugedeckt wurden — es sind meistens die oberen Hangbereiche —, konnte die Winderosion leicht das Feinmaterial ausblasen und weit über das Land verteilen.

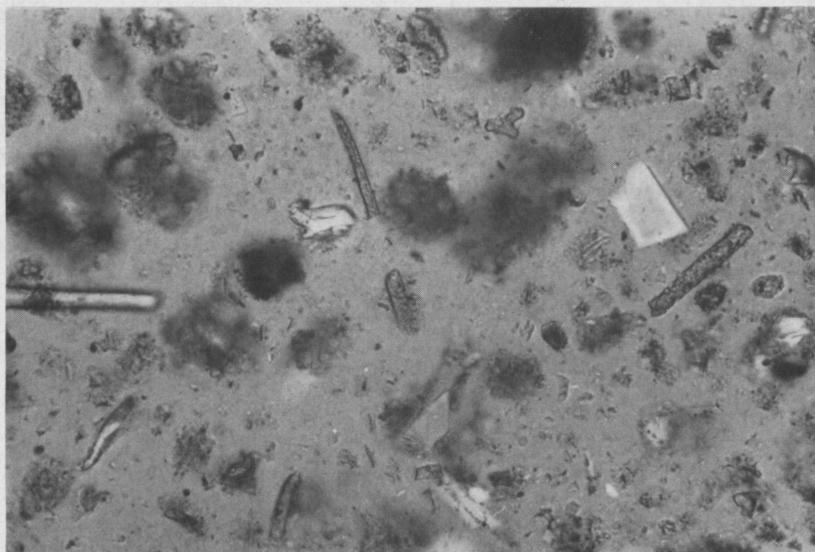


Abb. 5. Im Streupräparat einer Probe aus einem Aufschluß an der Straße Puebla—Texmelucan — Mexiko-Stadt sind die stäbchenförmigen Bioopale deutlich zu erkennen (320 : 1).
(Aufn. Dr. H. Altemüller.)

Primär abgelagerte vulkanische Staubsedimente wurden nicht im Bereich der Sierra Nevada und der Malinche gefunden; auch CORNWALL (1970, 7) schreibt, daß derartige Sedimente nicht als subaerische, sondern nur als limnische Ablagerungen bekannt sind.

2. Beziehungen zwischen Periglazial- und „toba“-Sedimenten

Glazialgeologische und tephrochronologische Untersuchungen am Malinche-Vulkan (HEINE 1973) haben ergeben, daß die „toba“-Sedimente häufig im gleichen stratigraphischen Niveau wie Moränen, Periglazialschluff, glazifluviale Ablagerungen, Geröllhorizonte und Bändertone anzutreffen sind (Abb. 6). Die schluffreichen Sedimente bilden in der Regel bis zu mehrere Meter mächtige Ablagerungen im unteren und mittleren Hangbereich der Malinche; hangaufwärts werden sie geringmächtiger und bedecken oder verzahnen sich mit charakteristischen Periglazialsedimenten. Häufig ist zu beobachten, daß die „toba“-Ablagerungen entweder einen langsamen Übergang zu periglazialen Sedimenten aufweisen oder aber diese bedecken, wobei häufig die Grenze „toba“-Sedimente/Periglazialablagerungen kryoturbar gestört sein kann.

Am Malinche-Vulkan sind dort, wo die Beziehung zwischen „toba“-Sedimenten und Horizonten aus periglazialen Ablagerungen gegeben ist, die „toba“-Sedimente nur bis in

Höhen um 3 000 m NN zu finden. Moränenschutt wird meist nie von „toba“-Sedimenten des gleichen stratigraphischen Niveaus bedeckt; wenn das der Fall ist, dann bilden die löß-artigen Ablagerungen lediglich eine dünne Bedeckung der äußersten Endmoränenwälle.

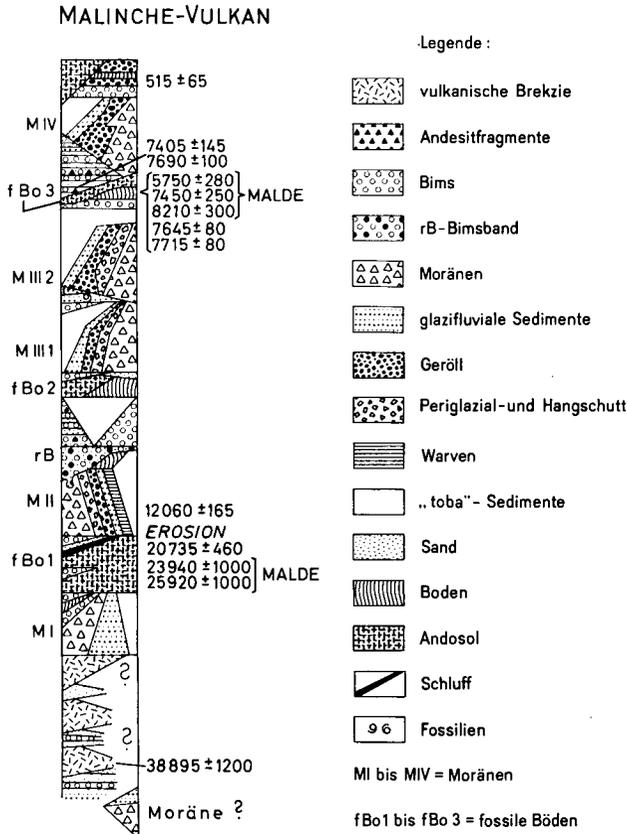


Abb. 6. Sammelprofil der Lockersedimente der Malinche-Hänge in 2600 bis 4200 m NN. Berücksichtigung finden besonders die glazialen und periglazialen Ablagerungen.

Hieraus ergibt sich, daß in Zeiten stärkerer Vergletscherungen „toba“-Sedimente akkumuliert wurden. Während das Gipfelgebiet der Malinche eine Schnee- und Eiskappe trug und lange Talgletscher am West-, Süd- und Osthang vorstießen, waren die Hänge vermutlich bis in Höhen unter 3 000 m NN waldfrei; das Auftreten von Periglazialschutthorizonten in den Profilen bis in 2 750 m NN während der MII-Vergletscherung läßt vermuten, daß zumindest zeitweise oberhalb dieser Höhe mehr oder weniger vegetationslose Gebiete anzutreffen waren, aus denen Feinmaterial, das infolge früherer vulkanischer Eruptionen in großer Menge vorlag, ausgeweht werden konnte. Aber auch aus den breiten aus glazifluvialen Kiesen und Sanden aufgebauten Schwemmfächern am Ausgang der mit Gletschern erfüllten großen Täler konnte das Staubmaterial äolisch abgetragen und verweht werden. Bevorzugte Sedimentationsgebiete waren die unteren Hangbereiche, die eine Vegetationsdecke trugen. Nur vereinzelt wurden auch Staubsedimente auf glazifluvialen Ablagerungen oder Moränenschutt in einem dünnen Schleier akkumuliert; dabei ist jedoch stets festzustellen, daß die Sedimentation des „toba“-Materials die periglaziale Phase beendet.

Nicht nur an dem Malinche-Vulkan, sondern auch an den anderen hohen, während der letzten Eiszeit stark vergletscherten Vulkangebirgen Zentralmexikos belegen viele Beobachtungen, daß dort häufig „toba“-Ablagerungen im stratigraphischen Niveau typischer Glazial- und Periglazialsedimente anzutreffen sind. Im Bereich der Sierra Nevada zeigen wiederholt Profile eine erstaunliche Übereinstimmung mit mitteleuropäischen Lößprofilen.

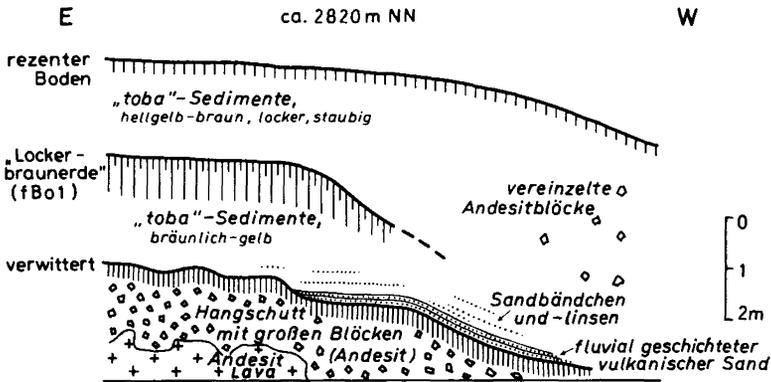


Abb. 7. Profil am Nordosthang der Iztaccíhuatl an der Straße (Libre) von Texmelucan zum Rio Frio-Paß. Über Andesitlava befindet sich Hangschutt, darauf — durch einen fossilen Boden gegliedert — „toba“-Sedimente. Vgl. die Erläuterungen im Text.

Am Nordosthang der Iztaccíhuatl befindet sich an der Autostraße von San Martín Texmelucan zum Rio Frio-Paß in 2 820 m NN folgender Aufschluß (Abb. 7): Über einem aus groben Andesitblöcken bestehenden und in seinem oberen Teil leicht verwitterten Hangschutt sind „toba“-Sedimente abgelagert worden, und zwar im Liegenden solifluidal, wie die Beimengung von Geröllen und kantigem Gesteinsmaterial belegt; aber auch Abspülungsprozesse haben zuerst noch bei der Akkumulation des Materials mitgewirkt, denn umgelagerter und fluvial geschichteter Sand befindet sich im westlichen Teil des Aufschlusses unmittelbar über dem Andesit-Hangschutt. Der Übergang zu äolischer Sedimentation ist allmählich. Der unterste Teil der „toba“-Sedimente ist stärker verwittert als das darüber liegende Material. Der fossile Boden ähnelt aufgrund seiner makroskopischen Merkmale der von SCHÖNHALZ (1957) beschriebenen Lockerbraunerde. Die hangenden, ca. 2 m mächtigen „toba“-Ablagerungen sind gelbbraunlich gefärbt und zeigen nur an der Oberfläche einen (rezenten) Boden. Die gesamte Abfolge der Decksedimente über dem Hangschutt aus Andesitblöcken keilt zum oberen Hang, der im Bereich des hügeligen Reliefs eines Lavastromes liegt, hin aus. Hier und an anderen Stellen sind nur die Nord-exponierten Hänge mit mehrere Meter dicken „toba“-Sedimenten bedeckt, während die Kuppen und die Süd-exponierten Hänge keine oder nur eine dünne Bedeckung mit „toba“-Material aufweisen.

Die von der Exposition abhängige Akkumulation des sehr schwach verkitteten und daher leicht zerdrückbaren Materials, die fehlende Schichtung, die Feinheit der Körner im gesamten Schichtkomplex, die gleichmäßige gelblichbraune Färbung, die Wurzelröhren, die Tendenz, senkrechte Aufschlußwände zu bilden, und die Gliederung der Sedimente durch fossile Böden deuten auf eine Ablagerung hin, die unter den gleichen Bedingungen erfolgte wie die Lößsedimentation in Europa. Die fossilen Böden repräsentieren klimatisch bedingte Stillstandsphasen der Akkumulation analog den fossilen Lößböden in Mitteleuropa.

3. Akkumulation von „toba“-Sedimenten während Zeiten geringer vulkanischer Fördertätigkeit

Die mineralogischen Untersuchungen der bodenbildenden Substrate der fossilen Böden fBo1, fBo2 und fBo3 an der Malinche ergaben einen hohen Hypersthengehalt. Das Augit:Hornblende-Verhältnis liegt bei 46 : 54 bis 80 : 20 in den untersuchten Andosolen. Dieses Verhältnis ist für die Malinche atypisch. Sowohl die hell- bis dunkelgrauen Aschen- und Bimstufte, das graue, rötliche oder violette Schutt- und Moränenmaterial einschließlich vulkanischer Brekzien, als auch die gelblichbraunen „toba“-Sedimente enthalten sehr gleichmäßig 90—95 % Oxihornblende, etwas Hypersthen, diopsidischen Augit, Biotit, Apatit, Zirkon, \pm Olivin und Quarz. Die genannten Hornblende-andesitischen Tuffe und andere Sedimente der Malinche haben ein Augit : Hornblende-Verhältnis von 2 : 90 bis 10 : 90. Sie unterscheiden sich damit von den dazitisch-rhyolitischen Tuffen des Tláloc-Telapón-Gebietes, deren Augit : Hornblende-Verhältnis mit Werten von 64 : 36 bis 75 : 25 in Richtung des Hypersthen verschoben ist. Die Hypersthen-Augit-andesitischen Tuffe des Popocatépetl und der Iztaccíhuatl schließlich zeigen ein Augit-Hornblende-Verhältnis von ca. 96 : 4 in den jüngeren vulkanischen Lockerprodukten und den daraus hervorgegangenen Sedimenten fluvialer und äolischer Entstehung.

In den durch die fossilen Andosole charakterisierten Sedimenten an der Malinche, die sich aufgrund ihrer mineralogischen Zusammensetzung deutlich von den vulkanischen Lockerprodukten, die im Bereich der Malinche gefördert wurden, einschließlich der aus diesen Lockerprodukten hervorgegangenen umgelagerten Sedimente abheben, ist der Erhaltungszustand der Hornblende (= Malinche-Material) sehr gut, wohingegen der Hypersthen (= Sierra Nevada-Material) häufig starke Lösungserscheinungen zeigt, was auf ein höheres Alter und/oder eine wiederholte Umlagerung der Hypersthene hinweist. Umfangreiche vergleichende mineralogische Untersuchungen haben ergeben, daß in der Tat die bodenbildenden Substrate der fossilen Andosole an der Malinche häufig aus äolisch herantransportierten Staubsedimenten bestehen, deren Herkunftsgebiete neben der Malinche die Schotterfluren der Atoyac-Zahuapan-Niederung im Becken von Puebla-Tlaxcala, aber auch die Hänge der Sierra Nevada gewesen sind. Die Vermischung des durch Transport und Verwitterung gegenüber dem Malinche-Material bereits stärker beanspruchten Materials der Sierra Nevada in den fossilen Andosolen ist ein eindeutiger Beweis dafür.

Man darf daher annehmen, daß in den Zeitabschnitten mit Andosolbildung die gleichsam Zeiten geringer vulkanischer Aktivität waren, ständig eine geringfügige äolische Staubverfrachtung über große Entfernungen stattgefunden hat. Diese Staubauswehung und -akkumulation war jedoch gegenüber den Staubverlagerungen im Anschluß an vulkanische Tufferuptionen recht gering, wie die Mächtigkeiten der mit Malinche-fremdem Material durchsetzten Schichten belegen. So darf für die Ausbildung des fBo1-Bodens ein Zeitraum von über 5000 Jahren angenommen werden; die Hypersthen-haltigen Ausgangsedimente dieses Bodens haben aber nur Mächtigkeiten, die selten einen Meter überschreiten.

3. Zusammenfassende Bemerkungen

Die Ausführungen haben gezeigt, daß das „toba“-Material ein äolisches Sediment ist. Drei Möglichkeiten der Bildung wurden aufgezeigt: (a) Einmal handelt es sich um eine vom Wind umgelagerte vulkanische Asche, deren Korngrößen vorwiegend im Schluff- und Feinsandbereich liegen, die vor dem äolischen Transport bereits schwach verwittert war und allmählich, ohne erkennbare Schichtung bei gleichzeitiger geringfügiger chemischer Verwitterung akkumuliert wurde. Das Sediment ist — obwohl geringfügig verwittert — kein Boden in situ, sondern eine Anhäufung umgelagerten Materials durch den Wind.

Sobald die Akkumulation aufhört und das Material von Vegetation bedeckt wird, beginnt eine Bodenentwicklung und es entstehen verschiedene Horizonte und damit charakteristische Bodentypen. (b) Zum anderen handelt es sich bei den „toba“-Ablagerungen um schluffreiche Sedimente, die im Gegensatz zu den umgelagerten vulkanischen Aschen hinsichtlich ihrer Ausblasung, ihres Transportes und ihrer Akkumulation an bestimmte, klimatisch bedingte Zeiten gebunden sind, in denen infolge eines Periglazialklimas im Bereich der oberen Vulkan- und Gebirgshänge große Flächen vegetationslos waren und somit als Auswehungsgebiete zur Verfügung standen. (c) In Zeiten mit fehlender oder geringer vulkanischer Aktivität schließlich wurden unter warm-trockenen, kühl-trockenen und vermutlich auch kühl-wechselfeuchten Klimabedingungen Staubsedimente abgelagert, die oft über größere Entfernungen transportiert worden sind und die das Ausgangsmaterial für charakteristische fossile Böden bildeten.

Die Vermutung früherer Autoren über die Entstehung der „toba“-Sedimente werden durch die Untersuchungen nur z. T. bestätigt; hervorgehoben werden muß, daß eine Bildung der „toba“-Ablagerungen als Folge einer primären Sedimentation vulkanischer Auswurfmassen auszuschließen ist. Die Umlagerung vulkanischer Lockerprodukte durch den Wind — von CORNWALL (1970) als Hauptbildungsursache der „toba“-Sedimente erwähnt, aber auch schon von BRYAN (1948) und JAEGER (1926) vermutet — scheint von größerer Bedeutung für die quantitative Akkumulation der Sedimente zu sein; diese Bildungsart erfolgte zu allen Zeiten unmittelbar nach stärkeren vulkanischen Eruptionen von Tephra. Besonders im Bereich der Sierra Nevada, wo CORNWALL (1968, 1970) seine Beobachtungen machte, stehen die mächtigsten der älteren „toba“-Ablagerungen in direktem Zusammenhang mit vulkanischen Eruptionen. Das gleiche gilt auch für das Gebiet des Pico de Orizaba, wo die „toba“-Sedimente die größte Mächtigkeit erlangten.

Der Anteil der „toba“-Ablagerungen, die ihre Bildung periglazialen Bedingungen verdanken, ist relativ klein. Besonders die Mächtigkeit der einzelnen Schichtkomplexe ist wesentlich geringer als bei umgelagerten vulkanischen Aschen, zumal die Förderung der Lockerprodukte — wie beispielsweise Bimslapilli — oft in mehreren, kurz aufeinander folgenden Phasen erfolgte, so daß stets vegetationslose, mehr oder weniger unverwitterte, große Flächen lockerer und feiner Ablagerungen für die Ausblasung zur Verfügung standen. Eine quantitative Abschätzung hinsichtlich der beiden genannten Bildungsarten für die „toba“-Sedimente ist vorerst nicht möglich; hier fehlen systematische Beobachtungen aus den verschiedenen Gebieten mit „toba“-Ablagerungen. Die Untersuchungen am Malinche-Vulkan sowie der Sierra Nevada lassen erkennen, daß dem Vulkanismus die größte Bedeutung zukommt; auch wäre sicherlich die Materialauswehung aus Periglazialgebieten geringer, wenn dort nicht vulkanische Aschen wesentlich am Aufbau des Untergrundes beteiligt wären. Darüber hinaus gibt es Beweise für vulkanische Bims- und Ascheneruptionen während Zeiten starker Vergletscherung; das bedeutet, daß beide wesentlichen Voraussetzungen für die Bildung der „toba“-Sedimente zusammentreffen können.

In den vorangegangenen Ausführungen wurde im Zusammenhang mit den „toba“-Sedimenten von schluffigen, gelblichbraunen Ablagerungen oder Staubsedimenten gesprochen. Es erhebt sich hier die Frage, ob man diese feinen Sedimente nicht auch als Löß bezeichnen darf. Löß wird als ein „homogenes, ungeschichtetes, schwach verfestigtes, poröses und karbonatführendes, gut sortiertes Sediment, das vorwiegend aus Körnern des Grobsiltbereiches besteht und gewöhnlich eine gelbliche Farbe besitzt, das vertikal geklüftet ist und senkrechte Wände bildet“ (FÜCHTBAUER et al., 1970, 137), definiert. Hinzu kommt, daß sich mit dem Begriff „Löß“ die Vorstellung eines im periglazialen Klimabereich sedimentierten Staubmaterials verbindet.

Viele typische Eigenschaften haben Löss und „toba“-Sedimente gemeinsam. Dazu gehören die Körnung, die Färbung, die Standfestigkeit sowie die homogene, ungeschichtete,

schwach verfestigte Ausbildung des Materials. Während Löss stets karbonatführend ist, tritt diese Eigenschaft bei den „toba“-Sedimenten stark zurück, ja sie fehlt sogar oft. Ein weiterer Unterschied besteht in der mineralogischen Zusammensetzung zwischen dem Material des Auswehungsgebietes und dem des Akkumulationsraumes; Lösses unterscheiden sich stets durch bestimmte Mineralneubildungen von dem Material des Ausblasungsbereiches; die „toba“-Sedimente hingegen haben immer die gleichen Mineralassoziationen wie die vulkanischen Tephra; Mineralneubildungen konnten außer Halloysit nicht beobachtet werden. Sieht man einmal von den „toba“-Ablagerungen ab, die während starker Vergletscherungen aus vegetationslosen Periglazialgebieten ausgeweht und umgelagert worden sind, so wird deutlich, daß die „toba“-Sedimente keine Beziehungen zu rezenten oder früheren Vereisungen aufweisen; die Lösses Europas, Nord- und Südamerikas und Neuseelands beispielsweise sind nur während früherer Vereisungen in den nicht vereisten Periglazialgebieten entstanden. Es empfiehlt sich daher nicht, die „toba“-Ablagerungen mit den periglazialen Lössen zu vergleichen und ihnen dieselbe Bezeichnung zu geben. „toba“-Sedimente sind äolische Sedimente von lößartigem Charakter. Sie gehören zur Gruppe der Staub-Sedimente (FÜCHTBAUER et al. 1970, 135 ff.); als „Staub“ werden feste Körper bezeichnet, die in der Luft schweben oder aus der Luft auf eine feste Unterlage abgesetzt wurden.

IV. Die Datierung der „toba“-Sedimente

Das Alter der „toba“-Ablagerungen richtet sich einerseits nach dem Alter der Tephra, aus denen sie ausgeweht worden sind, andererseits nach dem Alter einzelner Gletschervorstöße während Zeiten mit erweiterten Periglazialbereichen an den hohen Gebirgsmassiven. Die vulkanischen Eruptionen reichen für den hier betrachteten Raum bis ins Jungtertiär zurück. Inwieweit jungtertiäre und altpleistozäne vulkanische Lockerprodukte die Bildung von „toba“-Ablagerungen mit einem entsprechend hohen Alter bedingt haben, läßt sich nicht sagen, da bisher keine hinreichend exakten Untersuchungen zur stratigraphischen Einordnung der verschiedenen vulkanischen Lockersedimente vorliegen. Nur für die jungpleistozänen und holozänen Ablagerungen gibt es stratigraphische Untersuchungen (MOOSER 1967, HEINE et al. 1972). Sie reichen bis rund 33 500 Jahre vor heute (MOOSER 1967) zurück. Die Datierung des fossilen Bodens fBo1 (Abb. 2 und 4) auf rund 25 000 Jahre vor heute macht deutlich, daß die mächtigen „toba“-Sedimente entlang der Autobahn Mexiko—Puebla an den Hängen der Sierra Nevada nur in ihren hangenden Partien der Wisconsin-Kaltzeit zuzuordnen sind. Die verschiedenen fossilen Böden im Liegenden des fBo1-Bodens veranschaulichen nicht zuletzt durch ihre intensive Ausbildung — es handelt sich um Braunlehme mit einem B-Horizont von oft mehreren Metern —, daß die Akkumulation des „toba“-Materials bis weit ins Mittelpleistozän reicht. Nur für die letzten 25 000 Jahre können einzelne „toba“-Horizonte genauer datiert werden (Abb. 6 und 7). Ein schematisches Sammelprofil der Lockersedimente der Malinchehänge, in dem vor allen Dingen die glazialen und periglazialen Ablagerungen berücksichtigt wurden (vgl. auch die Profile bei HEINE 1973), erlaubt eine zeitliche Einordnung der „toba“-Ablagerungen, die ihre Bildung einer kälteren Klimaphase verdanken. An der Malinche sind nur selten Sedimente, die älter als 25 000 Jahre sind, aufgeschlossen; daher ist nicht bekannt, ob im Bereich des Vulkans „toba“-Ablagerungen auftreten, die ein wesentlich höheres Alter haben. Da die Ablagerung der „toba“-Sedimente im Bereich der Sierra Nevada bis weit ins Mittelpleistozän reicht (und vermutlich bis ins Altpleistozän), ist auch am Malinche-Vulkan mit älteren lößartigen Ablagerungen zu rechnen. Die Untersuchungen über die Entstehung der „tepetate“-Horizonte in den „toba“-Ablagerungen (AEPPLI 1973) haben ergeben, daß die liegenden der von intensiven fossilen Böden gegliederten mächtigen „toba“-Sedimente an kleineren Höhenrücken im Bereich des Beckens von Puebla allein aufgrund

der Ausbildung der fossilen Böden ein recht hohes, vermutlich bis ins Altpleistozän zurückgehendes Alter aufweisen. Andererseits ist festzustellen, daß holozäne „toba“-Sedimente nur recht selten und dann in äußerst geringer Mächtigkeit angetroffen werden.

Rezente äolische Materialumlagerung ist häufig während der Trockenzeit im Gebiet der Beckenlandschaften Zentralmexiko zu beobachten, was auch JAEGER (1926) veranlaßte, zumindest die „toba“-Ablagerungen der ariden Gebiete als äolisch umgelagertes Material anzusehen. Schon bei mäßig starken Winden wird das Staubmaterial von den in der Trockenzeit vegetationslosen Feldern im Bereich der Becken und unteren Hänge ausgeblasen und zum Teil über große Entfernungen und bis in Höhen um 3 000 m getragen. Die Lage der Inversion zwischen 3 000 und 4 000 m NN verhindert oft, daß die Staubteilchen in größere Höhen gelangen. Hier sieht LAUER (frdl. mdl. Mitt.) die Ursache für das Auftreten der „toba“-Sedimente unterhalb rund 3 000 m NN. Da das Alter der lößartigen Sedimente aber in der Hauptsache ins Pleistozän zu stellen ist und da für eine trockenzeitliche Materialauswehung aus den Beckenlandschaften vegetationslose (und zu meist frisch gepflügte) Felder Voraussetzung sind, ist nicht damit zu rechnen, daß die „toba“-Ablagerungen und ihre Verbreitungsgrenze zur Höhe hin direkt mit der Inversionslage zusammenhängen. Auch muß berücksichtigt werden, daß eine intensive Landnutzung durch den Menschen in diesem Gebiet erst nach der Sesshaftwerdung begann, die für das benachbarte Tehuacán-Tal durch den Fund von ca. 8 500 Jahre alten, kultivierten Pflanzen auf ein entsprechend hohes Alter festgesetzt werden kann (MACNEISH et al. 1970, JOHANNESSEN et al. 1970). Zum anderen existieren zur Zeit der jungpleistozänen und auch holozänen Gletschervorstöße in dem Becken von Mexiko ausgedehnte flache Seen (JAEGER 1926, DE TERRA et al. 1949), und auch für das Becken von Puebla und die Niederungen bei Amozoc/Tepeaca sowie das Gebiet des El Seco zwischen dem Malinche-Vulkan und dem Pico de Orizaba gibt es viele Hinweise auf kaltzeitliche Seenbildungen. Die Beckenlandschaften können demnach nicht als Hauptauswehungsgebiet der Staubsedimente während der Vergletscherungszeiten in Frage kommen. Während der Klimaabschnitte mit geringer oder fehlender Vergletscherung muß jedoch auch mit einer geringen Staubausswehung aus den vegetationslosen oder -armen Becken- und Vulkangebieten gerechnet werden. Die stratigraphischen Beobachtungen haben ergeben, daß diese Klimaabschnitte — wenn überhaupt — nur durch geringmächtige fluviale und/oder äolische Ablagerungen vertreten sind; d. h. die Stabumlagerung durch den Wind war unbedeutend im Vergleich zu den Zeiten mit einer großen Vergletscherung der Vulkane und bedeutenden fluvialen Abtragungs- und Akkumulationsprozessen oder zu Zeiten mit größeren Eruptionen vulkanischer Lockerprodukte.

Schrifttum

- AEPPLI, H.: Aclaraciones acerca del Diseño del Mapa de los suelos de la Cuenca de Puebla - Tlaxcala. — Comunicaciones, 6, 7—13, Puebla, Pue., Mexiko, 1972.
- : Barroböden und Tepetate. Untersuchungen zur Bodenbildung in vulkanischen Aschen unter wechselfeuchtem gemäßigttem Klima im zentralen Hochland von Mexiko. — 172 S., 44 Abb. u. 63 Tab., Diss., Gießen 1973.
- AEPPLI, H. & SCHÖNHALS, E.: Los suelos en la cuenca de Puebla - Tlaxcala. — Comunicaciones, 7, 15—18, Puebla, Pue., Mexiko 1973.
- BRYAN, K.: Los suelos complejos y fósiles de la altiplanicie de México, en relación a los cambios climáticos. — Bol. Soc. Geol. Méx., XIII, 1—20, Mexiko 1948.
- CORNWALL, I. W.: Outline of a stratigraphical "bridge" between the Mexico and Puebla basins. — Bull. No. 7, 88—140, Univ. of London, Inst. of Archaeology, London 1968.
- : Outline of a stratigraphical "bridge" between the Mexico and Puebla basins. Part. II. — Bull. No. 8/9, 1—54, Univ. of London, Inst. of Archaeology, London 1970.
- DE TERRA, H., ROMERO, J. & STEWART, T. D.: Tepexpan Man. — Viking Fund Publ. in Anthropology, 11, 160 S., New York 1949.

- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G.: Sediment-Petrologie. Teil II: Sedimente und Sedimentgesteine. — 726 S., Schweizerbart Stuttgart 1970.
- HEIDE-WEISE, H. & HEINE, K.: Sobre la mineralogía de algunos sedimentos fluviales y depósitos volcánicos en la zona de Puebla, Pue. (México). — Comunicaciones, **4**, 1—3, Puebla, Pue., Mex. 1971.
- HEINE, K.: Observaciones morfológicas acerca de las barrancas en la región de la cuenca de Puebla-Tlaxcala. — Comunicaciones, **4**, 7—23, Puebla, Pue., Mex. 1971.
- : Die jungpleistozänen und holozänen Gletschervorstöße am Malinche-Vulkan, Mexiko. — Eiszeitalter u. Gegenwart, **23/24**, 46—62, Öhringen 1973.
- HEINE, K. & HEIDE-WEISE, H.: Estratigrafía del Pleistoceno reciente y del Holoceno en el volcán de la Malinche y región circunvecina. — Comunicaciones, **5**, 3—8, Puebla, Pue., Mex. 1972.
- JAEGER, F.: Forschungen über das diluviale Klima in Mexiko. — Pet. Mitt. Erg. H., **190**, 64 S., Gotha 1926.
- JOHANNESSEN, C. L., WILSON, M. R. & DAVENPORT, W. A.: The domestication of maize: Process or event? — Geogr. Review, **LX**, 393—413, New York 1970.
- MACNEISH, R. S., PETERSON, F. A. & FLANNERY, K. V.: The Prehistory of the Tehuacan Valley. Volume III. Ceramics. — 306 S., Univ. of Texas Press, Austin & London 1970.
- MALDE, H. E.: La Malinche Volcanic Ash Stratigraphy. — Manuskript, o. J.
- MOOSER, F. H.: Tefracronología de la Cuenca de México para los últimos treinta mil años. — Boletín de INAH, **30**, 12—15, Mexiko 1967.
- SCHÖNHALS, E.: Spätglaziale äolische Ablagerungen in einigen Mittelgebirgen Hessens. — Eiszeitalter u. Gegenwart, **8**, 5—17, Öhringen 1957.
- TICHY, F.: Das Hochbecken von Puebla-Tlaxcala und seine Umgebung. — „Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft“, Bd. I: Berichte über begonnene und geplante Arbeiten, 6—24, Steiner Wiesbaden 1968.
- VALDEZ MARIN, L. A.: Características morfológicas y mineralógicas de los suelos de tepetate de la cuenca de México. — Tesis. Escuela Nacional de Agricultura, Col. de Postgraduados, 183 S., Chapingo (Mex.) 1970.
- WHITE, S. E.: El Iztaccihuatl. Acontecimientos volcánicos y geomorfológicos en el lado oeste durante el Pleistoceno superior. — Investigaciones, **6**, INAH, 80 S., Mexiko 1962.

Manuskript eingeg. 12. 10. 1972.

Anschrift der Verf.: Prof. Dr. Klaus Heine, Geographisches Institut der Universität, 53 Bonn, Franziskanerstraße 2; Prof. Dr. Ernst Schönhals, Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Justus-Liebig-Universität, 63 Gießen, Ludwigstraße 23.