

Münster.Forsch. Geol.Paläont.	H. 31/32	S. 303–322	2 Abb. 2 Tab.	Münster (Westf) Dezember 1973
----------------------------------	----------	------------	------------------	----------------------------------

**Jungquartäre Förderfolgen des Malinche-Vulkans
und des Popocatepetl (Sierra Nevada, Mexiko)
und ihre Bedeutung für die Glazialgeologie,
Paläoklimatologie und Archäologie**

von

K. HEINE und H. HEIDE-WEISE*

Schlüsselworte (Keywords)

Dacit, Andesit, Pyroklastisch, Geochronologie, Moräne, Gletscher,
Verbreitung, Quartär, Vorgeschichte
Mexiko (Sierra Nevada)

Zusammenfassung: Durch Untersuchungen der vulkanischen Ablagerungen im Gebiet der Sierra Nevada (Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Tláloc, Telapón) und des Malinche-Vulkans konnten 3 verschiedene mineralogische Provinzen ermittelt werden: (1) Hornblende-andesitische Tuffe der Malinche mit einem Augit: Hornblende-Verhältnis von 2:98 bis 10:90, (2) dacitisch-rhyolitische Tuffe im Tláloc/Telapón-Gebiet mit einem Augit: Hornblende-Verhältnis von 64:36 bis 75:25 und (3) Hypersthen-Augit-andesitische Tuffe am Popocatepetl und der Iztaccíhuatl mit einem Augit: Hornblende-Verhältnis von 97:3 bis 99:1 und 68:32. Tabelle 2 zeigt das Alter einiger Eruptionen und die Beziehungen zu fossilen Böden, Gletschervorstößen an den Vulkanen, Beckensedimenten, Klimaentwicklung und Kulturstufen.

Summary: 3 different mineralogical provinces could be established by investigating the volcanic deposits in the Sierra Nevada region (Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Tláloc, Telapón) and the La Malinche volcano: (1) Amphibolite-andesitic tuff of the La Malinche volcano with a augite: amphibolite proportion of 2:98 till 10:90, (2) dacite-riolitic tuff of the Tláloc/Telapón region with a

* Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. K. Heine, Dr. H. Heide-Weise, Geographisches Institut, D-5300 Bonn, Franziskanerstr. 2

augite: amphibolite proportion of 64:36 till 75:25, and (3) hypersthene-augite-andesitic tuff of the Popocatepetl and Iztaccíhuatl with a augite: amphibolite proportion of 97:3 till 99:1 and 68:32. Table 2 shows the age of some eruptions and the relationships to the fossil soils, the glacial advances on the volcanoes, the basin sediments, the climatic development, and the culture levels.

Resumen: Por medio de investigaciones de los sedimentos volcánicos en la región de la Sierra Nevada (Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Tláloc, Telapón) y en el volcán de La Malinche se distinguen 3 diferentes provincias minerales: (1) Tobas andesíticas ricas en anfíbolita de La Malinche; proporción augita: anfíbolita desde 2:98 hasta 10:90, (2) tobas dacíticas-riolíticas en la región Tláloc/Telapón; proporción augita: anfíbolita desde 64:36 hasta 75:25, y (3) tobas andesíticas ricas en hiperesteno y augita en el Popocatepetl e Iztaccíhuatl; proporción augita: anfíbolita desde 97:3 hasta 99:1 y 68:32. La tabla 2 demuestra la edad de algunas erupciones y la relación con los suelos fósiles, los avances de glaciares en los volcanes, los sedimentos de las cuencas, la sucesión climática y las fases culturales.

Einleitung

Die vorliegenden Untersuchungen erfolgten im Rahmen des Mexiko-Projektes der Deutschen Forschungsgemeinschaft*; im Mittelpunkt aller Arbeiten steht die Auseinandersetzung des Menschen seit seinem ersten Auftreten auf dem amerikanischen Kontinent mit der Umwelt. Es ist aufgrund dieser umfassenden Themenstellung erforderlich, naturwissenschaftliche Grundlagenforschung zu betreiben, die es ermöglichen, eine Rekonstruktion der Kulturlandschaft und des sozialen Lebens aus dem Zusammenhang der natürlichen Umwelt heraus zu erklären.

Während der nordamerikanische Kontinent in fast allen Teilen der USA und Kanadas sehr eingehend hinsichtlich seiner Quartärprobleme untersucht worden ist, liegen aus Mexiko nur wenig Beobachtungen vor, die eine Rekonstruktion der Naturlandschaft für die verschiedenen Abschnitte des Jungquartärs zulassen. Als besonders wichtige Aufgaben im Rahmen des Mexiko-Projektes werden daher Untersuchungen zur Geologie, Vulkanologie, Morphologie, Bodenkunde, Klimatologie und Botanik des zentralmexikanischen Hochlandes erachtet (LAUER 1970).

Das zentrale Arbeitsgebiet des Mexiko-Projektes umfaßt das Hochbecken von Puebla-Tlaxcala (Abb. 1) mit den Vulkanen der Sierra Nevada Popocatepetl (5452 m) und Iztaccíhuatl (5286 m) im Westen und dem Vulkan Malinche (4461 m) im Osten. Von den großen Vulkanen kann man annehmen, daß sie bereits im Tertiär, vielleicht sogar Miozän oder Oligozän angelegt worden sind (NEGENDANK 1972; GUENTHER 1972; MOOSER 1962). Vieles spricht dafür, daß die ungeheuren Materialanhäufungen einen langen Zeitraum zur Aufschüttung benötigt haben. Bei den Riesenvulkanen handelt es sich um Stratovulkane. Nach Untersuchungen auf der Westseite der Sierra Nevada konnten drei verschiedene Bauabschnitte voneinander getrennt werden. Ablagerungen der ersten Eruptionsphase, der sogenannten Xochitepec-Serie, liegen am Fuße des Gebirges in Höhen zwischen 2500 und 2900 m NN. Es handelt sich dabei um Hornblende-Andesite, die nach MOOSER (1957) und FRIES (1956) aus dem Oligozän bis Miozän stammen mögen. Die zweite, nächstjüngere Eruptionsphase baut das eigentliche Massiv auf. MOOSER (1957) spricht von einer andesitischen Iztaccíhuatl-Serie, die in erster Linie aus hellen, porphyritischen Hornblende-Andesiten, die aber gebietsweise auch reichlich Augit führen können, zusammengesetzt werden. Die dritte Eruptionsphase, die Lockerprodukte, vor allem Aschen aber auch Effusiva gefördert hat, wurde von MOOSER (1957, 1962) und von FRIES (1956) als basaltische Chichinautzin-

* Die Verfasser möchten an dieser Stelle der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung danken, Herrn Dr. M.A. GEYH (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hannover) für die ¹⁴C-Altersbestimmungen und Frau MARCHAL (Geogr. Inst. Bonn) für Laborarbeiten.

Serie bezeichnet. Zu ihr gehört der große Vulkankegel des Popocatepetl. Neuere Untersuchungen haben ergeben, daß im Becken von Mexiko sowie der westlichen Sierra Nevada ein echter basaltischer oder rhyolitischer Vulkanismus fehlt; an Vulkaniten kommen Rhyodacite, Dacite, Quarz—Latit—Andesite, olivinführende Latit—Andesite, Quarz—Andesite und Olivin—Andesite vor (NEGENDANK 1972).

Vom Malinche-Vulkan nehmen TICHY (1968) und YARZA (1971) an, daß er eine tertiärzeitliche Vulkanruine ist, deren Kern aus Andesitgesteinen besteht, die alle Färbungen von tief blauschwarz bis weißgrau und von dunkel rotbraun bis hell rötlichviolett aufweisen können. Eine genaue petrographische Bestimmung der Malinche-Festgesteine aufgrund chemischer Analysen ist bisher nicht durchgeführt worden. Die makroskopischen Befunde sowie einige Dünnschliffe verschiedener Malinche-Gesteine zeigen, daß es sich stets um Biotit-Augit-Hornblende-Andesite handelt; die unterschiedliche Färbung wird durch verschiedene Eisenverbindungen in der Hornblende bewirkt. Es sei hier darauf hingewiesen, daß wegen fehlender Gesteinsbestimmungen die Bezeichnung „Phänoandesit“ angebracht wäre, doch wird der Einfachheit halber in der vorliegenden Arbeit lediglich von „Andesit“ gesprochen. An den Flanken des Malinche-Vulkans dauerte die Förderung verschiedener Lockerprodukte aus Parasitärkratern bis ins Holozän an.

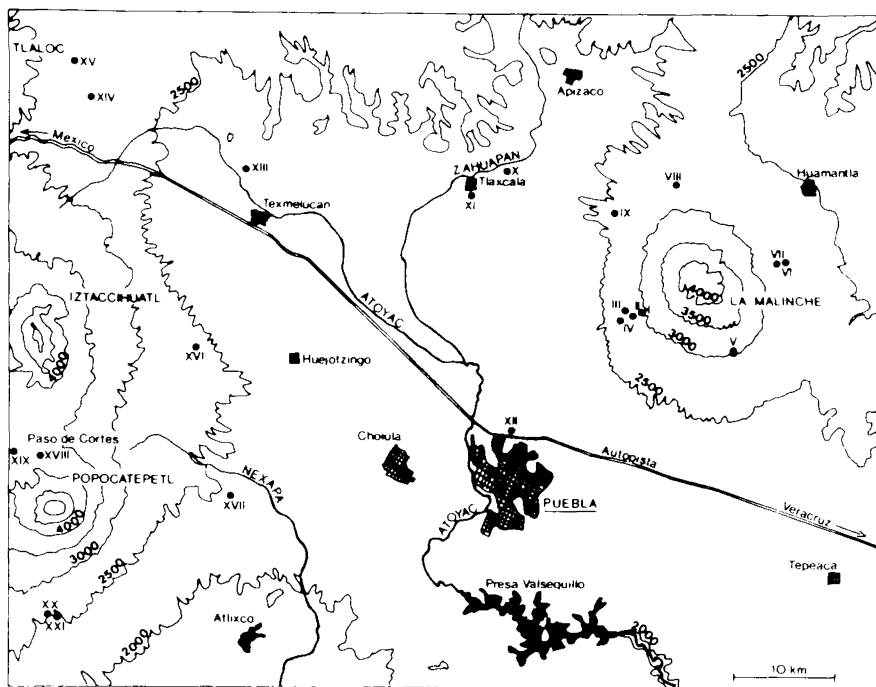


Abb. 1: Skizze des Arbeitsgebietes und Lage der Profile der Abb. 2.

2. Die jungquartären Förderfolgen

1972 legten die Verfasser eine Grobstratigraphie der jungpleistozänen und holozänen Ablagerungen der Malinche und umliegender Gebiete vor. Diese Stratigraphie war aufgrund von Geländebegehungen und mineralogischer, geologischer, geomorphologischer und bodenkundlicher Felduntersuchungen aufgestellt und durch ^{14}C -Daten zeitlich fixiert worden.

Diese Grobstratigraphie wurde durch detaillierte sedimentpetrographische Untersuchungen verfeinert und gesichert. Voruntersuchungen hatten ergeben (HEIDE-WEISE et al. 1971), daß bestimmte vulkanische Eruptionsphasen charakteristische Mineralparagenesen aufweisen. Die späteren Untersuchungen haben gezeigt, daß im Augit : Hornblende-Verhältnis, repräsentiert durch die Minerale Hypersthen + diopsidischer Augit und Oxyhornblende, für drei vulkanische Zentren markante Unterschiede auftreten. So konnten durch Untersuchungen der vulkanischen Ablagerungen in unmittelbarer Nähe der Förderzentren drei verschiedene Provinzen ermittelt werden (Abb. 1 u. 2; Tab. 1, am Schluß des Beitrages):

- (a) Hornblende-andesitische Tuffe der Malinche mit einem Augit: Hornblende-Verhältnis von 2:98 bis 10:90,
- (b) dacitisch-rhyolitische Tuffe im Tláloc/Telopón-Gebiet mit einem Augit: Hornblende-Verhältnis von 64:36 bis 75:25 und
- (c) Hypersthen-Augit-andesitische Tuffe am Popocatepetl und der Iztaccíhuatl mit einem Augit: Hornblende-Verhältnis von 97:3 bis 99:1 und 68:32.

(a) Die Hornblende-andesitischen Lockerprodukte der Malinche bestehen aus hell- und dunkelgrauen Breccien, Aschen- und Bimstufen, gelbbraunen Staubsedimenten und grauem, rötlichem oder violetter Schutt- und Moränenmaterial; sie werden von tiefbraunen bis schwarzen fossilen Andosolen und anderen fossilen Böden gegliedert. Sie enthalten sehr gleichmäßig 90–95 % Oxyhornblende, etwas Hypersthen, diopsidischen Augit, Biotit, Apatit, Zirkon \pm Olivin und Quarz. Der Anteil opaker Minerale an den Schwermineralen beträgt 40–50%. Die grünbraune Hornblende weist häufig sehr charakteristische gelbbraune bis rotbraune Biotiteinlagerungen auf.

Der stark ausgeprägte fossile Boden fBo1 (Abb. 2) und die nachfolgenden Ablagerungen des Moränenstadiums M II mit korrelaten Sedimenten deuten an, daß in der vulkanischen Tätigkeit der Malinche eine längere Ruhepause zwischen den beiden jüngsten Förderphasen geherrscht haben muß. Dafür sprechen auch die mineralogischen Befunde in den Tuffen dieser beiden Phasen. Während die

Abb. 2: Schematische Darstellung der in Tabelle 1 genannten Profile.

Es bedeuten:

Römische Zahlen = Profilnummern (vgl. Abb. 1);

arabische Zahlen = Probennummern;

M I etc. = Moräne I etc.;

fBo1 etc. = fossiler Boden 1 etc.;

C1 etc. = Popocatepetl-Asche 1 etc.;

P1 etc. = Popocatepetl-Bims 1 etc.;

$7405 \pm 145 = {}^{14}\text{C}$ -Altersbestimmungen;

ca. 500 = archäologische Altersbestimmungen;

1 = Olivin-Andesit;

2 = vulkanische Breccie;

3 = Andesitfragmente in vulkan. Lockerprodukten;

4 = Bims;

5 = rB-Leithorizont;

6 = Quarzreiche Bimstufe;

7 = Sand (meist vulkan. Asche);

8 = Moränenschutt;

9 = fluviale Schotter;

10 = Schluff, meist fluvial oder limnisch;

11 = äolisches Staubsediment;

12 = Andosol;

13 = Boden (allgemein);

14 = Fe-Mn-Kruste;

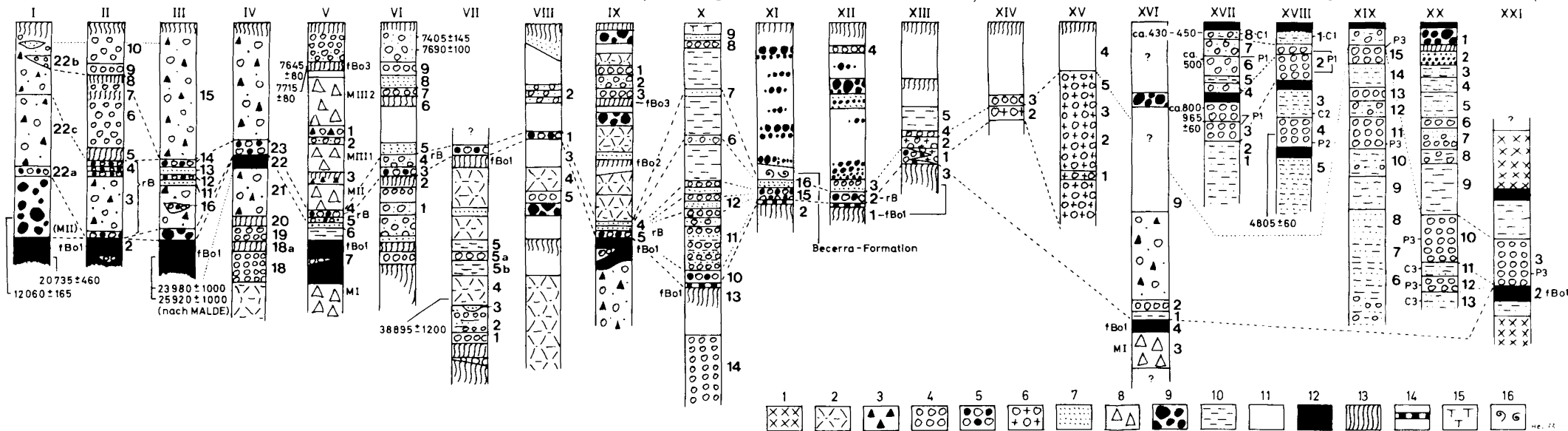
15 = Tepetate (verhärteter Bodenhorizont);

16 = Fossilien (Elefant und Pferd).

MALINCHE

BECKEN VON PUEBLA

SIERRA NEVADA



Hornblendekristalle der älteren Tuffe (ca. 28 000 Jahre und älter) in den andesitischen Lapilli im allgemeinen idiomorph und ohne Reaktionssäume auftreten, zeigen die Hornblendekristalle der jüngeren Tuffe, die nach der Ruhepause gefördert wurden, eine vom Rande ausgehende Opazitisierung durch zunehmenden Eisengehalt, die ihrem Erscheinungsbilde nach subvulkanisch ist und auf eine längere Verweilzeit der Kristalle in einer sich ändernden Schmelze hindeutet. Ähnlich läßt sich auch das Auftreten subvulkanischer Einsprenglinge in Form von körnigen Hornblende-Magnetit-Biotit-Plagioklas-Aggregaten in den jüngeren Tuffen erklären. Besonders markant sind diese zuletzt genannten Erscheinungen in dem roten Bimsband rB ausgeprägt, das zusätzlich durch eine deutliche Rotfärbung charakterisiert ist und so als Leithorizont der jüngeren Eruptionsphase dient. Dieses Bimsband, das etwas jünger als 12 000 Jahre ist, läßt sich in wechselnder Mächtigkeit und Farbintensität rund um den Malinche-Vulkan nachweisen, sowie in Profilen bei Tlaxcala und an der Autopista Puebla-Mitte. Der oben erwähnte fossile Boden fBo1 im Liegenden des roten Bimsbandes rB stellt ebenfalls einen ausgeprägten Leithorizont dar, der sich in dem Untersuchungsgebiet bis an die Hänge der Sierra Nevada verfolgen läßt.

Auffällig ist der hohe Hypersthengehalt der bodenbildenden Substrate der Malinche. Das Augit: Hornblende-Verhältnis liegt bei 46:54 oder 80:20 in den Andosolen. Dieses Verhältnis ist für die Malinche atypisch. Als Ursache kommt eine Auswehung von Staubsedimenten in Betracht, die im Bereich der Osthänge der Sierra Nevada und/oder aus den Schotterfluren der Atoyac/Zahuapan-Niederung ausgeblasen und an den Hängen der Malinche sedimentiert und in unterschiedlichem Maße mit Malinche-Material vermischt worden sind. In diesen Sedimenten ist der Erhaltungszustand der Hornblende (= Malinche-Material) sehr gut, wohingegen der mehrmals umgelagerte Hypersthen (= Sierra Nevada-Material) häufig starke Lösungserscheinungen zeigt.

(b) Eine Verbindung von den Hornblende-andesitischen Tuffen der Malinche zu den dacitisch-rhyolitischen Tuffen des Tláloc/Telapón-Gebietes im Nordwesten des Beckens von Puebla ergibt sich aus dem zunehmenden Anteil an Felsitpartikeln in zum Teil fluvial umgelagerten Bimsen und Sedimenten, die dem fBo1-Boden unmittelbar auflagern (vgl. Profile X–XV). Bei den Felsiten handelt es sich um extrem feinkörnige saure Gesteine. Die fast weißen Tuffe am Tláloc zeichnen sich neben einer Schwermineralassoziation von Hypersthen, brauner Hornblende, Biotit, Apatit, Zirkon ± Olivin durch einen hohen Quarzgehalt aus. Ihr Augit: Hornblende-Verhältnis ist mit Werten von 64:36 bis 75:25 in Richtung des Hypersthen verschoben.

(c) Im Bereich des Popocatepetl und der Iztaccíhuatl kehrt sich das Augit: Hornblende-Verhältnis um und beträgt ca. 96:4 bzw. in einer bestimmten

Schicht 68:32. Neben Hypersthen kommt diopsidischer Augit, braune Hornblende, Biotit \pm Olivin vor. Die jüngeren Eruptionsfolgen umfassen die Profile XVI–XXI. Die Aschen- und Bimslagen werden vom Liegenden zum Hangenden P3/C3, P2/C2 und P1/C1 benannt. Analog zu den Befunden an der Malinche zeigt auch am Popocatépetl eine mit dem fBo1-Boden identische Bodenbildung eine längere Unterbrechung der Fördertätigkeit an. Die Tuffe nach dieser Förderpause zeichnen sich durch einen hohen Gehalt an brauner Hornblende aus (Augit-Hornblende-Verhältnis = 68:32 in P3/C3) und werden im weiteren Verlauf der Fördertätigkeit basischer. Das wird durch das Auftreten des Olivins in P2/C2 und P1/C1 angezeigt; die Hornblende tritt in diesen Schichten völlig zurück.

Über das Alter der jungquartären Förderprodukte sowohl aus dem Gebiet der Malinche wie auch aus dem der Sierra Nevada gibt HEINE (1973) eine Zusammenstellung (vgl. Tab. 2). Demnach endet die ältere der jungquartären Förderperioden um 28 000 Jahre v.h. Erst vor knapp 12 000 Jahre v.h. beginnt die jüngere Förderperiode mit Eruptionen des Popocatépetl sowie mit verschiedenen Ausbrüchen kleinerer Vulkane im Bereich von Tláloc und Telapón und der Malinche-Hänge. Am Popocatépetl wurden die P3/C3-Bimse und -Aschen vorwiegend in nordwestlicher Richtung ausgeworfen (MOOSER 1967; KNEIB et al. 1973); die Eruption der Malinche-Bimse erfolgte in etwa zur gleichen Zeit vorwiegend in nördliche Richtungen aus dem parasitären Tlaloqua-Krater am Westhang des Vulkans; der rB-Bims kann teilweise noch in das M II-Moränenmaterial eingewürgt sein oder sogar – wie am Südhang (vgl. Profil V) – vom M II-Schutt bedeckt werden. Eine verstärkte vulkanische Tätigkeit ist am Popocatépetl erst wieder vor rund 5000 Jahren v.h. festzustellen; die P2/C2-Bims- und Aschenlagen des Popocatépetl haben weder eine große Mächtigkeit noch eine weite Verbreitung. Vor rund 800–900 Jahren wurden die ersten P1-Bimse des Popocatépetl gefördert; über drei Jahrhunderte jünger sind die hangenden Schichten der P1-Bimse. Die C1-Aschen schließlich sind vermutlich rund 450 Jahre alt.

Die wichtigsten jüngeren Eruptionsfolgen des Popocatépetl können datiert werden*. Die Datierung der vielen unterschiedlichen und aus verschiedenen Förderzentren stammenden Lockerprodukte im Bereich der Malinche ist jedoch nur im Einzelfall möglich. Dennoch erlauben die Ergebnisse eine Korrelierung der Lockersedimente der Malinche mit denen der Sierra Nevada sowie eine Verknüpfung mit den Sedimenten in den Becken von Puebla und Mexiko.

* Die ^{14}C -Datierung für den P1-Bims (965 ± 60 Jahre v.h.) teilte uns Herr Dr. G. MIEHLICH freundlicherweise mit. Die Bestimmung wurde ebenfalls von Dr. M. A. GEYH (Hannover) vorgenommen.

1000 ¹⁴ C- JAHRE B.P.	DATIERTE VULKANISCHE ERUPTIONEN Popo- caté- petl	Malin- che	BÖDEN IM BE- REICH DER VUL- KANE	GLT- SCHER- VOR- STÖßE	SEDIMENTE UND BÖDEN IM BECKEN VON MEXIKO	KLIMA (im Vergleich zum gegen- wärtigen Klima)	KULTURSTUFEN (nach LORENZO 1967)	1000 ¹⁴ C- JAHRE B.P.
0,5	C1		rezent	IM V		etwas kühler (und feuchter)		0,5
1	P1							1
2				MIV	Totalzingo	etwas kühler		2
3								3
4	C2							4
5	P2							5
6			fBo3		Barrilaco (Caliche 3)	wärmer und trockener	PROTONEO- LITHIKUM	6
7		Ost- hang					OBERES CENO- LITHIKUM	7
8								8
9				MIH2	Ob. Becerra (Caliche 2)	feucht-kalt	Tepexpan Man	9
10				MIH1	Un. Becerra Morales (Caliche 1)	feucht-k. etwas kühler und trockener	UNTERES CENO- LITHIKUM	10
11		West- hang	fBo2					11
12	P3/C3	rB		MII	Tacubaya	feucht-kalt		12
13								13
16						wesentlich kälter und trockener	ARCHÄO- LITHIKUM	16
18								18
23			fBo1			kühler (und trocken?)		23
26						?		26
33				MI	Tarango	feucht-kalt		33
40		Ost- hang				?		40

HEI 73

Tab. 2: Stratigraphische Übersicht des Jungquartärs

3. Ergebnisse der tephrochronologischen Untersuchungen

Geochronologisch-stratigraphische Untersuchungen mit Hilfe vulkanischer Förderprodukte werden als Tephrochronologie bezeichnet. Die Wechsellagerung vulkanischer Lockerprodukte mit Moränenschutt bzw. korrelaten Ablagerungen der einzelnen Vergletscherungsphasen der höchsten Vulkane Mexikos erlaubt eine genaue Datierung der jungquartären Moränenbildungen (HEINE 1973). Die Ergebnisse von DE TERRA et al. (1949) und WHITE (1962) müssen daher revidiert werden. Aus der Tabelle 2 sind die Beziehungen zwischen den vulkanischen Förderprodukten des Popocatépetl und der Malinche und den Moränen zu entnehmen. Ebenso ist es möglich, anhand tephrochronologischer Untersuchungen die Schichten aus dem Becken von Mexiko mit den verschiedenen Moränenbildungen zu korrelieren. Eine paläoklimatologische Ausdeutung der glazialgeologischen, geomorphologischen und pedologischen Befunde gestattet darüber hinaus auch Aussagen über die jungquartäre Klimaentwicklung in dem hier betrachteten Raum. Aufgrund der Tatsache, daß auch archäologische Fundschichten von großer Bedeutung mit der erarbeiteten Stratigraphie parallelisiert werden können, ist eine erste Rekonstruktion der natürlichen Umweltbedingungen der steinzeitlichen Jäger des zentralmexikanischen Hochlandes möglich. Im Folgenden sollen die Ergebnisse, die teilweise schon an anderer Stelle veröffentlicht worden sind (vgl. HEINE 1973), kurz zusammengefaßt werden (Tab. 2).

Die Vergletscherungsgeschichte der mexikanischen Vulkangebirge läßt sich bis ca. 40 000 Jahre v.h. zurückverfolgen. Der älteste nachgewiesene Gletschervorstoß, der zugleich auch in Gestalt langer Talgletscher am weitesten hangabwärts reichte, erfolgte sehr wahrscheinlich in der Zeit zwischen 32 000 und 34 000 Jahre v.h. Als Ursache der starken Vergletscherung muß eine große Zunahme der Niederschläge bei kühlen Temperaturen angenommen werden, die sich durch veränderte Zirkulationsverhältnisse der Atmosphäre im mexikanischen Raum während einer Zeit eines weltweiten geringen Temperaturanstiegs innerhalb des "Bull Lake/Pinedale Intervals" (RICHMOND 1970) erklären läßt (KLAUS 1973). Der zweite Gletschervorstoß (M II) ereignete sich nach einer langen Phase mit äußerst kalten und trockenen Klimabedingungen; es kann als erwiesen angesehen werden, daß zur Zeit der größten Eisausdehnung in Nordamerika die mexikanischen Vulkane keine größere Vergletscherung aufwiesen; auch konnte festgestellt werden, daß zwischen ca. 25 000 und 12 500 Jahre v.h. im Becken von Puebla kein größerer See ausgebildet war.

Erst mit der M II-Vergletscherung bildete sich in dem Becken ein See, der durch feine limnische Ablagerungen, die teilweise fast ausschließlich aus Diatomeen bestehen und tephrochronologisch eingeordnet werden können, an vielen Stellen nachzuweisen ist. Auch im Becken von Mexiko besteht eine direkte Beziehung zwischen den Vergletscherungen der Vulkane und der Sedimentation im Becken. Die M II- wie auch die beiden M III-Vergletscherungen dokumentieren wieder Zeiten mit vermehrten Niederschlägen. Die Gletschervorstöße erfolgen nicht unmittelbar zeitgleich mit verschiedenen Gletschervorstößen in den Rocky Mountains von Nordamerika, sondern etwas später. Die Ursachen dafür liegen in Veränderungen der allgemeinen Zirkulationsverhältnisse während der ausgehenden Wisconsin-Eiszeit begründet und werden von KLAUS (1973) meteorologisch erklärt. Der zweite Vorstoß der M III-Vergletscherung entspricht den Ablagerungen der Oberen Becerra-Schichten im Becken von Mexiko. Die Oberen Becerra-Sedimente sind reich an jungpleistozänen Großsäugern; außerdem wurde in ihnen der bekannte Mensch von Tepexpan gefunden. Die stratigraphischen Untersuchungen ergaben für diese Sedimente ein Alter zwischen 9500 und 9000 Jahre v.h. Da in den Oberen Becerra-Schichten noch eine kälteliebende pleistozäne Fauna angetroffen wird, in den jüngeren Ablagerungen aber nicht mehr, kann aufgrund der geologisch-paläontologischen Befunde die Grenze Pleistozän/Holozän im mexikanischen Hochland bei 9000 Jahre v.h. angesetzt werden. Das stimmt sehr gut mit den Untersuchungen von MacNEISH (1967) im Tal von Tehuacán überein.

Das Holozän beginnt mit einem relativ warmen und trockenen Klimaabschnitt. Um 2000 Jahre v.h. ermöglicht eine geringe Niederschlagszunahme und/oder Temperaturabnahme die Ausbildung kleinerer Hanggletscher (M IV) an den Vulkanen in Höhen über 4000 m. Im vergangenen Jahrhundert können die Gletscher des M V-Vorstoßes an den drei höchsten Vulkanen des Landes mächtige Endmoränen oberhalb 4400 m Höhe auftürmen; seitdem weichen die Gletscher etappenweise zurück.

Nicht nur im Becken von Mexiko (LORENZO 1971) und im Tal von Tehuacán (MacNEISH 1967), sondern auch am Südrand des Hochtales von Puebla, dem sogenannten Valsequillo-Gebiet, suchte man nach "Early Man Sites", d.h. Fundstellen von Artefakten, die entweder mit pleistozäner Fauna vergesellschaftet oder in pleistozänen Schichten gelagert sind. Die Fundstelle Hueyatenco am Valsequillo-Stausee, die oft in der Literatur angeführt wird (vgl. MacNEISH 1973) und deren Artefakte $21\,850 \pm 850$ Jahre v.h. alt sein sollen (IRWIN-WILLIAMS o.J.), konnte aufgrund tephrochronologischer Untersuchungen mit der jungquartären Stratigraphie der Vulkane

korreliert werden (HEINE 1973). Danach sind die Artefakte älter als 12 000 Jahre v.h. Ob sie jedoch das Alter von rund 22 000 Jahre v.h. haben, muß fraglich bleiben, denn die geologische Parallelisierung der Schichten läßt auf ein höheres Alter der Fundschicht schließen, was jedoch aus archäologischen Erwägungen nicht möglich ist. Vielleicht muß mit LORENZO (1967) angenommen werden, daß die Entnahme der Werkzeuge von Hueyatlaco zum Teil aus stratigraphisch nicht einwandfrei gesicherten Horizonten erfolgte.

4. Literaturverzeichnis

- DE TERRA, H., ROMERO, J. & STEWART, T.D.: *Tepeupan Man*. — Viking Fund Publ. in Anthropology, **11**, 160 S., New York 1949.
- FRIES, Jr.C.: Bosquejo geológico de las partes central y occidental del Estado de Morelos y áreas contiguas de Guerrero y México. — Intern. Geol. Congr., **20**, México, Guía de la Excursión C—9, 1956.
- : Geología a lo largo de la carretera entre México, D.F., y Acapulco, Gro., vía Taxco, Gro., y Chilpancingo, Gro. — Intern. Geol. Congr., **20**, México, Guía de las Excursiones A—9 y C—12, 1956.
- GUENTHER, E.W.: *Vulkanismus und Tektonik in Mexiko*. — Schr. Naturw. Ver. Schlesw.-Holst., **42**, S. 21—34, Kiel 1972.
- HEIDE-WEISE, H. & HEINE, K.: Sobre la Mineralogía de algunos Sedimentos Fluviales y Depósitos Volcánicos en la Zona de Puebla, Pue. (México). — Comunicaciones 4/1971, S. 1—3, Puebla, Pue 1971.
- HEINE, K.: Zur Glazialmorphologie und präkeramischen Archäologie des mexikanischen Hochlandes während des Spätglazials (Wisconsin) und Holozäns. — Erdkunde, **XXVII**, S. 161—180, Bonn 1973.
- HEINE, K. & HEIDE-WEISE, H.: Estratigrafía del Pleistoceno reciente y del Holoceno en el Volcán de La Malinche y Región circunvecina. — Comunicaciones 5/1972, S. 3—8, Puebla, Pue 1972.
- IRWIN-WILLIAMS, C.: 1. Summary of Archaeological Evidence from Valsequillo Region, Puebla, Mexico. — 2. Comments Concerning Radiocarbon Dates from the Valsequillo Region and Their Relation to the Early Archaeological Localities. — Manuskript, 13 S., (o.J.).
- KLAUS, D.: Las Fluctuaciones del clima en el valle de Puebla-Tlaxcala. — Comunicaciones 7/1973, S. 59—62, Puebla, Pue 1973.
- KNEIB, W., MIEHLICH, G. & ZÖTTL, H.W.: Clasificación regional de los suelos de la Sierra Nevada de México. — Comunicaciones 7/1973, S. 11—13, Puebla, Pue 1973.
- LAUER, W.: *Naturwissenschaftliche Arbeiten im Rahmen des Mexiko-Projektes der Deutschen Forschungsgemeinschaft*. — Festschrift für E. GENTZ, S. 29—38, Kiel 1970.
- : Problemas climato-ecológicos de la vegetación de la región montañosa oriental mexicana. — Comunicaciones 7/1973, S. 37—44, Puebla, Pue 1973.
- LORENZO, J.L.: La etapa lítica en México. — INAH, 49 S., México 1967.
- : Problème du peuplement de l'Amérique à la lumière des découvertes des Tlapacoya (Mexique). — *Origine de l'homme moderne*, Ecologie et conservation 3, S. 261—264, Unesco Paris 1971.
- MACNEISH, R.S.: A Summary of the Subsistence. — *The Prehistory of the Tehuacan Valley*, vol. I: Environment and Subsistence., Hrsg., D. S. BYERS, S. 290—309, Austin & London 1967.
- : Early Man in America. — *Readings from Scientific American*, 93 S., San Francisco 1973.
- MALDE, H.E.: La Malinche Volcanic Ash Stratigraphy. — Manuskript, 12 S., (o.J.).

- MOOSER, F.H.: Los ciclos de vulcanismo que formaron la cuenca de México. — Intern. Geol. Congr., **20**, México, Tomo 2: De Vulcanología del Cenozoico, Secc. 1, S. 337–348, Mexiko 1957.
- : Descripciones detalladas de algunas paradas de la Excursión C–9. — Intern. Geol. Congr., **20**, México, Guía de la Excursión C–9, 1962.
- : Tefracronología de la Cuenca de México para los últimos treinta mil años. — Bol. INAH, **30**, S. 12–15, Mexiko 1967.
- NEGENDANK, J.F.W.: Volcanics of the Valley of Mexico. — N. Jb. Miner. Abh., **116**, 3, S. 308–320, Stuttgart 1972.
- RICHMOND, G.M.: Comparison of the Quaternary Stratigraphy of the Alps and Rocky Mountains. — Quaternary Research, **1**, S. 3–28, New York & London 1970.
- TICHY, F.: Das Hochbecken von Puebla-Tlaxcala und seine Umgebung. — „Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft“, Bd. I, S. 6–24, Wiesbaden 1968.
- WHITE, S.E.: Late Pleistocene Glacial Sequence for the West Side of Iztaccíhuatl, Mexico. — Geol. Soc. Amer. Bull., **73**, S. 935–958, 1962.
- YARZA DE LA TORRE, E.: Volcanes de México. — 237 S., Mexiko 1971.

Tab. 1: Der Schwermineralgehalt der Profile I bis XXI der Abbildung 2
(in Körner%, Fraktion 0,2 – 0,6 mm)

Hyper. = Hypersthen Zir. = Zirkon
 Aug. = Augit Bio. = Biotit
 Horn. = Hornblende Opak = Opake Minerale
 Oliv. = Olivin Trans. = Transparente Minerale
 Apat. = Apatit

Profil	Probe	Hyper.	Aug.	Horn.	Oliv.	Apat.	Zir.	Bio.	Opak :	Trans.
I	MW 22a	2,8	—	97,2	—	—	+	+	11	: 89
	" 22b	9,1	6,7	84,2	—	—	+	+	22	: 78
	" 22c	11,2	0,8	87,2	—	0,8	+	+	22	: 78
II	MW 10	4,3	—	95,7	—	+	+	—	24	: 76
	" 9	6,7	1,1	92,3	—	+	—	—	14	: 86
	" 8	41,1	8,7	49,7	—	+	+	—	16	: 84
	" 7	12,0	—	88,0	—	+	+	—	14	: 86
	" 6	3,7	—	96,3	—	—	—	+	6	: 94
	" 5	20,6	2,7	76,4	—	+	+	+	8	: 92
	" 4	1,5	—	98,5	—	+	—	+	13	: 87
	" 3	1,0	—	99,0	—	+	—	+	9	: 91
	" 2	75,0	13,8	10,7	—	+	+	+	10	: 90
	" 1	—	—	100	—	+	+	+	13	: 87
III	MW 15	8,8	—	91,2	—	+	+	—	19	: 81
	" 14	4,4	—	95,6	—	+	+	+	15	: 85
	" 13	4,1	—	95,5	—	0,4	+	—	10	: 90
	" 12	3,3	—	96,7	—	+	—	—	10	: 90
	" 11	71,3	6,8	22,0	—	+	—	—	7	: 93
	" 16	1,8	—	98,2	—	+	—	+	9	: 91
IV	MW 23	5,6	—	94,4	—	—	+	+	14	: 86
	" 22	53,1	11,2	35,3	—	0,4	+	—	10	: 90
	" 21	10,8	—	89,2	—	—	+	—	14	: 86
	" 20	13,7	2,8	83,0	—	0,5	+	—	9	: 91
	" 19	3,8	—	96,2	—	+	—	—	11	: 89
	" 18a	41,0	15,5	43,5	—	+	+	—	13	: 87
	" 18	6,9	—	92,5	—	0,6	+	+	7	: 93
	" 17	—	—	100	—	—	—	+	10	: 90
V	MS 1	1,6	1,3	97,1	—	+	+	+	28	: 72
	" 2	0,5	0,5	99,0	—	—	+	+	30	: 70
	" 3	6,7	8,8	83,8	0,7	—	+	—	20	: 80
	" 4	2,3	2,3	95,4	—	+	+	+	20	: 80
	" 5	1,0	5,2	93,8	—	+	+	+	23	: 77
	" 6	3,5	4,7	90,7	—	+	+	—	51	: 49
	" 7	1,3	—	98,7	—	—	—	+	24	: 76

Profil	Probe	Hyper.	Aug.	Horn.	Oliv.	Apat.	Zir.	Bio.	Opak :	Trans.
VI	MES 9	0,7	0,7	98,6	—	—	+	+	41	: 59
	" 8	1,1	1,1	97,8	—	—	+	+	37	: 63
	" 7	4,2	—	95,8	—	+	+	+	32	: 68
	" 6	42,7	14,1	42,7	0,5	+	+	—	7	: 93
	" 5	13,7	3,0	83,3	—	+	+	—	18	: 82
	" 4	4,8	—	95,2	—	+	+	+	13	: 87
	" 3	5,2	—	94,8	—	—	—	+	8	: 92
	" 2	49,5	15,1	35,4	—	+	+	—	18	: 82
	" 1	3,3	2,7	93,4	—	0,6	+	—	35	: 65
VII	MEN 5	—	0,8	97,5	+	+	+	1,7	18	: 82
	" 5a	2,2	0,6	97,2	+	+	+	+	14	: 86
	" 5b	7,2	8,4	81,5	3,0	+	+	—	14	: 86
	" 4	2,4	1,8	92,2	—	+	+	3,6	28	: 72
	" 3	5,2	0,6	92,5	—	—	+	1,7	34	: 66
	" 2	3,0	—	97,0	—	+	+	+	29	: 71
	" 1	+	0,6	97,7	—	+	—	1,7	23	: 77
VIII	MN 1	2,4	3,7	93,9	—	—	+	—	30	: 70
	" 2	28,0	12,0	59,4	—	0,6	+	—	41	: 59
	" 3	36,6	10,3	51,7	—	1,4	+	+	21	: 79
	" 4	1,6	—	96,0	—	1,6	0,8	—	35	: 65
	" 5	0,3	—	99,7	—	—	+	—	16	: 84
IX	MNW 1	10,8	—	88,5	—	0,7	+	—	13	: 87
	" 2	13,8	—	86,2	—	—	—	—	10	: 90
	" 3	6,5	—	93,5	—	+	—	+	10	: 90
	" 4	5,0	—	95,0	—	—	+	+	34	: 66
	" 5	3,0	—	97,0	—	+	+	—	22	: 78
X	BT 5	—	—	100	—	—	+	—	23	: 77
	" 6	—	—	100	—	—	+	—	21	: 79
	" 7	0,8	0,8	98,5	—	—	+	—	34	: 66
	" 8	17,2	2,0	80,5	—	0,3	+	—	11	: 89
	" 9	15,3	3,2	81,3	—	0,3	+	—	11	: 89
	" 10	—	—	100	—	—	—	—	29	: 71
	" 11	1,7	1,0	97,3	—	—	+	—	15	: 85
	" 12	0,5	—	99,5	—	—	+	—	29	: 71
	" 13	74,5	4,3	21,2	—	—	+	—	6	: 94
	" 14	—	—	100	—	—	+	—	14	: 86
XI	BT 15	3,4	—	96,3	—	0,3	+	—	21	: 79
	" 16	0,5	—	99,5	—	+	+	—	29	: 71
XII	AP 1	66,1	4,6	28,6	—	0,5	+	—	11	: 89
	" 2	3,9	—	96,0	0,2	—	—	+	5	: 95
	" 3	10,0	—	90,0	—	—	—	+	8	: 92
	" 4	9,1	0,4	90,5	—	+	+	—	8	: 92

Profil	Probe	Hyper.	Aug.	Horn.	Oliv.	Apat.	Zir.	Bio.	Opak :	Trans.
XIII	NA 1	64,5	1,3	33,8	—	0,4	+	+	8	: 92
	" 2	77,0	—	23,0	—	—	—	—	9	: 91
	" 3	62,8	4,4	32,0	—	0,8	+	+	9	: 91
	" 4	90,2	9,1	—	—	0,7	—	—	3	: 97
	" 5	86,6	12,0	1,3	—	—	+	—	5	: 95
XIV	T 2	76,0	—	22,6	—	0,3	1,2	+	29	: 71
	" 3	1,4	—	98,6	—	—	+	+	26	: 74
XV	Mi 1	78,7	1,3	20,0	—	+	+	+	34	: 66
	" 2	46,7	1,8	13,9	—	—	+	37,6	32	: 68
	" 3	81,3	1,2	17,5	—	—	+	+	36	: 64
	" 4	71,0	1,7	27,0	0,4	+	+	—	5	: 95
	" 5	52,3	2,3	10,6	—	—	+	34,6	37	: 63
XVI	IE 1	95,0	—	5,0	—	+	—	—	15	: 85
	" 2	95,7	1,0	3,3	—	+	+	+	23	: 77
	" 3	91,3	1,5	6,4	0,7	—	—	+	23	: 77
	" 4	77,8	2,6	19,5	+	+	+	—	50	: 50
	" 9	88,6	6,8	4,6	+	—	—	—	4	: 96
XVII	POE 1	77,2	8,5	12,5	1,5	0,4	—	—	3	: 97
	" 2	88,0	6,0	4,0	2,0	—	—	—	4	: 96
	" 3	88,5	8,9	1,9	0,9	—	—	—	5	: 95
	" 4	92,5	5,7	0,2	1,7	—	—	—	6	: 94
	" 5	86,0	10,0	3,0	3,0	—	—	—	9	: 91
	" 6	90,7	9,3	+	—	—	—	—	3	: 97
	" 7	82,7	17,3	+	—	—	—	—	—	
	" 8	88,5	11,5	0,3	—	—	—	—	3	: 97
XVIII	P 1	85,0	12,4	0,5	0,5	0,5	—	—	5	: 95
	" 2	84,0	16,0	+	+	—	—	—	1	: 99
	" 3	84,9	14,4	0,7	—	—	—	—	8	: 92
	" 4	76,8	22,7	0,5	—	—	—	—	3	: 97
	" 5	74,8	19,7	2,2	3,3	—	—	—	10	: 90
XIX	P 6	82,5	13,6	1,2	2,8	—	—	—	9	: 91
	" 7	43,8	28,8	27,1	0,3	—	—	—	9	: 91
	" 8	48,8	25,0	25,8	0,4	—	—	—	2	: 98
	" 9	57,3	23,5	18,8	0,4	—	—	—	4	: 96
	" 10	48,0	15,0	33,0	4,0	—	—	—	5	: 95
	" 11	36,0	11,8	48,8	3,4	—	—	—	3	: 97
	" 12	42,6	14,8	41,8	0,8	—	—	—	5	: 95
	" 13	34,6	14,5	50,0	0,9	—	—	—	4	: 96
	" 14	81,2	13,5	5,3	—	—	+	—	6	: 94
	" 15	38,7	15,8	40,3	5,2	—	—	—	4	: 96

Profil	Probe	Hyper.	Aug.	Horn.	Oliv.	Apat.	Zir.	Bio.	Opak :	Trans.
XX	PS 1	80,6	17,4	1,5	0,5	—	—	—	5	: 95
	" 2	80,2	17,5	—	2,3	—	—	—	3	: 97
	" 3	79,5	18,5	—	2,0	—	—	—	3	: 97
	" 4	79,6	17,0	2,6	0,8	—	—	—	6	: 94
	" 5	88,8	11,2	+	+	—	—	—	4	: 96
	" 6	90,0	10,0	+	—	—	—	—	1	: 99
	" 7	85,0	14,0	1,0	+	—	—	—	7	: 93
	" 8	83,3	13,6	+	3,1	—	—	—	4	: 96
	" 9	79,3	15,2	1,4	4,1	—	—	—	5	: 95
	" 10	52,4	16,2	31,4	—	—	—	—	10	: 90
	" 11	83,0	15,0	2,0	—	—	—	—	3	: 97
	" 12	39,5	12,0	47,7	0,5	—	—	—	1	: 99
	" 13	85,7	8,6	5,8	—	—	—	—	4	: 96
XXI	PSE 2	75,0	18,6	3,2	3,2	—	—	—	25	: 75
	" 3	54,2	11,2	34,6	—	—	—	—	11	: 89