

- Granberg, A. G.: Optimizacija territorial'nych proporcij narodnogo chozjajstva (Optimierung territorialer Volkswirtschaftsproportionen). Moskau 1973.
- : Modellierung der zwischenregionalen Interaktionen in der Volkswirtschaft der UdSSR. (Referat auf dem Ersten deutsch-sowjetischen Symposium über Probleme der Regionalplanung). Karlsruhe 1981.
- Gukov, V. P.: Erfahrungen auf dem Gebiet der Bildung und Entwicklung des Bratsk-Ust'-Ilinsk TPK. (Referat auf dem Ersten deutsch-sowjetischen Symposium über Probleme der Regionalplanung). Karlsruhe 1981.
- Haffner, F.: Systemkonträre Beziehungen in der sowjetischen Planwirtschaft. Ein Beitrag zur Theorie der mixed economy. Berlin 1978.
- Hedtkamp, G.: Das sowjetische Finanzsystem. (Gießener Abhandl. zur Agrar- u. Wirtschaftsforschung d. europ. Ostens, Bd. 61.) Berlin 1974.
- : und N. T. Czugunov: Neuere Entwicklungen in der sowjetischen Finanzwirtschaft. Verflechtungen von öffentlichen Einnahmen und Stimulierungssystem. Tübingen 1980.
- Huzinec, G. A.: Some Initial Comparisons of Soviet and Western Regional Development and Models. In: Soviet Geography, 1976, S. 552–566.
- Karger, A.: Die Sowjetunion als Wirtschaftsmacht. Frankfurt 1979.
- : und J. Stadelbauer: Sowjetunion. (Fischer-Länderkunde, Bd. 9.) Frankfurt 1978.
- Kistanov, V. V.: Kompleksnoe razvitie i specializacija ekonomičeskich rajonov SSSR (Komplexe Entwicklung und Spezialisierung der Wirtschaftsregionen der UdSSR). Moskau 1968.
- Kolosovskij, N. N.: Proizvodstvenno-territorial'noe sočetaťe kompleksov v Sovetskoj ekonomičeskoj geografii (Produktionsterritoriales System von Komplexen in der sowjetischen ökonomischen Geographie). In: Voprosy geografii, 1947, Nr. 6.
- Kozlov, N.: Formirovanie TPK -- Zametki s Vsesojuznogo seminaru v Belgorode (Die Bildung territorialer Produktionskomplexe -- Notizen von einem Unionsseminar in Belgorod). In: Ekonomičeskaja gazeta, 30, 1981, S. 6.
- Kuramin, V.: Zapadno-Sibirskij kompleks (Der westsibirische Komplex). In: Ekonomičeskaja gazeta, 3, 1982, S. 15.
- Lavrov, S. B.; S. N. Rjazancev i J. G. Sauškin (red.): Ekonomičeskaja i social'naja geografija (Wirtschafts- und Sozialgeographie). (Vopr. geogr. 115). Moskau 1980.
- Lydolph, P. E.: Geography of the U. S. S. R. Topical Analysis. Elkhart Lake, Wisc. 1979.
- Markuse, G. und A. Zimm: Geographie der Sowjetunion. (Studienbücherei Geographie für Lehrer, Bd. 8.) Gotha/Leipzig 1980.
- Mazanov, M. B.: Territorial'nye proporcii narodnogo chozjajstva SSSR (Territorialproportionen der Volkswirtschaft der UdSSR). Moskau 1974.
- Močalov, B. M.: Territorial'no-otraslevoj princip planirovanija (Das Territorial-sektoral-Prinzip der Planung). Moskau 1980.
- Nekrasov, N. N.: Regional'naja ekonomika teorija, problemy, metody (Regionalökonomie Theorie, Probleme, Methoden). Moskau 1975.
- Nipper, J.: Mobilität der Bevölkerung im engeren Informationsfeld einer Solitärstadt. Eine mathematisch-statistische Analyse distanzieller Abhängigkeiten, dargestellt am Beispiel des Migrationsfeldes der Stadt Münster. (Gießener Geogr. Schriften, H. 33.) 1975.
- Nove, A.: Das sowjetische Wirtschaftssystem. Baden-Baden 1980.
- Pallot, J. and D. J. B. Shaw: Planning in the Soviet Union. London 1981.

- Penkaitis, N.: Der Finanzausgleich in der Sowjetunion und seine Bedeutung für die Wirtschaftsentwicklung der Unionsrepubliken. (Gießener Abhandl. zur Agrar- u. Wirtschaftsforschung d. europ. Ostens, Bd. 89.) Berlin 1977.
- Shabad, T.: Basic Industrial Resources of the USSR. New York/London 1969.
- : and V. L. Mote: Gateway to Siberian Resources (The BAM). New York/London 1977.
- Wagener, H.-J.: Wirtschaftswachstum in unterentwickelten Gebieten — Ansätze zu einer Regionalanalyse der Sowjetunion. Berlin 1972.
- : Zur Analyse von Wirtschaftssystemen. Eine Einführung. Berlin/Heidelberg/New York 1979.
- Woehlke, W.: Naturbedingte Grundlagen und Probleme der sowjetischen Wirtschaft. In: Osteuropa-Wirtschaft, 1965, S. 11–26.

BODENABTRAGUNG IN ZENTRALMEXIKO: MESSUNGEN – EXTRAPOLATIONEN – GEOMORPHOLOGISCH- SEDIMENTOLOGISCHE BEFUNDE¹

Von KLAUS HEINE (Saarbrücken)

Mit 5 Abbildungen und 1 Tabelle

Einleitung

Während der 8. Tagung des Deutschen Arbeitskreises Geomorphologie (1.–3.10.1981, Heidelberg) befaßten sich Dreiviertel der Fachsitzungen mit „Experimenten und Messungen in der Geomorphologie“. Das Problem der Quantifizierung geomorphologischer Prozesse anhand von Messungen und Extrapolationen rückte damit in den Mittelpunkt der Diskussionen. Jedoch dürfen diese Forschungsansätze, so verdienstvoll sie für die Weiterentwicklung unserer Grundvorstellungen in der Geomorphologie auch sein mögen, nicht dazu führen, daß sie an den Ergebnissen der zum Teil recht bewährten, „klassischen“ Methoden der Geomorphologie vorbeigehen. Zu welchen Fehleinschätzungen der geomorphologischen Prozesse und deren Auswirkungen auf die Reliefentwicklung dies führen kann, wird am Beispiel der Bodenabtragung im zentralmexikanischen Hochland dargestellt. Unsere qualitativen und quantitativen Vorstellungen von der Reliefentwicklung dürfen vielfach nicht aus den rezent ablaufenden Prozessen erschlossen werden, besonders wenn der betrachtete Raum direkt oder indirekt vom wirtschaftenden Menschen im Jungholozän beeinflusst worden ist.

I. In den Jahren 1975 und 1976 wurden im Gebiet des Beckens von Puebla/Tlaxcala (Mexiko) im Rahmen des Mexiko-Projektes der DFG von Hans-Richard Wegener Unter-

¹ Ich danke der Deutschen Forschungsgemeinschaft für finanzielle Unterstützung bei meinen Feldarbeiten in Mexiko in den Jahren 1971–1975.

suchungen zur Bodenerosion und zu ökologischen Eigenschaften charakteristischer Böden durchgeführt (Wegener 1978). In diesem Gebiet stellt die Bodenerosion schon seit über 2500 Jahren ein ernstes Problem dar (Heine 1976). Die hohe Erosivität der Niederschläge ist als eine der wesentlichsten Ursachen für die Bodenerosion anzusehen. Während der halbjährlichen sommerlichen Regenperiode fallen die Niederschläge typisch als kurze Starkregen am frühen Nachmittag. Die Vernichtung der natürlichen Vegetation durch den wirtschaftenden Menschen hat in Verbindung mit der Erosionsanfälligkeit der Böden in den letzten drei Jahrtausenden zu gewaltigen Erosionsschäden geführt.

Um den Zusammenhang zwischen der Erosivität der Niederschläge und der Erodierbarkeit des Standortes zu erfassen, wurden auf fünf verschiedenen landwirtschaftlich genutzten Böden und zwei Duripan-Flächen täglich der Niederschlag, der Abfluß und der Bodenabtrag gemessen (Wegener 1978). Die Meßstationen wurden an Hängen mit 11% Gefälle (1 Station mit 4% Gefälle) auf Mais-, Bohnen- und Bracheparzellen² eingerichtet; sie waren 6 m lang und 1 m breit, auf den Duripan-Parzellen 3 m lang. Es handelt sich um folgende Böden (Tab. 1), die im Bereich des Hochbeckens von Puebla-Tlaxcala (Abb. 1) außerhalb der ca. 2250 m hoch gelegenen Atoyac/Zahuapan-Niederung für die Hänge bis in Höhen von 3000 m charakteristisch sind:

1. Gelbbrauner Barroboden³ (Chromic Cambisol) mit Tepetate⁴ (Duripan),
2. Schwach entwickelter Barroboden (Eutric Cambisol),
3. Fluvisol aus schluffigem Sand,
4. Vertisolähnlicher Barroboden (Vertic Cambisol) mit Tepetate (Duripan) und
5. Gelbbrauner Barroboden ohne Tepetate (Chromic Cambisol).

Über den Aufbau und den Betrieb der Erosionsmeßstationen berichtet Wegener (1978, 16ff.). Die Ergebnisse der Abfluß- und Abtragmessungen Wegeners (1978) sind in Tab. 1 zusammengefaßt. Es werden jeweils nur die Abfluß- und Abtragssummen je Parzelle genannt. Die Abflußmengen sind in $1/m^2$ (= mm Abflußhöhe) angegeben, um den Vergleich mit den Niederschlagswerten zu erleichtern. Der Bodenabtrag je Parzelle wurde auf die Bezugsfläche $1 m^2$ umgerechnet ($1g/m^2 = 10kg/ha$). Die geringe Parzellengröße ($6 m^2$, Tepetate: $3 m^2$) mußte sich nach der Kapazität des Labors in Puebla (Mexiko) und der personellen Ausstattung richten (Wegener 1978).

Mit Ausnahme von VW II und der Tepetate-Flächen ist auf den Brache-Parzellen im Vergleich zu Mais und Bohnen wesentlich mehr abgeflossen. Auf den Brache-Parzellen war der Abtrag stets größer als auf den bepflanzten Flächen. Die Tepetate-Flächen führen mehr als die Hälfte des Niederschlags oberflächlich ab; dabei sind die Abtragungsmengen relativ gering.

Ein Zusammenhang zwischen Erosivität des Niederschlags und dem Vorherrschen einer Korngrößenfraktion wurde nicht festgestellt; auch gibt es keine Beziehungen zwischen der Niederschlagsmenge oder dem Abfluß und der Korngrößenverteilung des abgetragenen Materials. Der in den Abtragungsproben gefundene Gesamtgehalt an Nährstoffen (K_t , Ca_t , P_t) und Kohlenstoff (C_t) entspricht im wesentlichen dem Gesamtgehalt der zugehörigen A-Horizonte der jeweiligen Meßparzellen.

² Die Bracheparzellen wurden mit Hilfe eines Totalherbizids vom Pflanzenwuchs freigehalten (Schwarzbrache) und ansonsten wie die anderen Parzellen behandelt.

³ Barro (span.) = Lehm.

⁴ Tepetate (aus dem Aztekischen) = Boden, der zu Stein geworden ist.

Tab. 1: Ergebnisse der Abfluß- und Abtragsmessungen (Summenwerte) nach Wegener (1978)

Station	Bodentyp und Hangneigung	Niederschlag (mm)	Meßzeitraum (Meßtage)	Niederschlags- ereignisse	Abtrags- ereignisse	Parzelle	Abfluß (mm)	Abtrag (g/m ²)	Abtrag in mm	Lagerungs- dichte in g/cm ³
Amalucan 1975 (Amalucan I)	Gelbbrauner Barroboden (Chromic Cambisol) 11%	433,8	1.7.–30.9.1975 (92)	47	31	Mais	197,5	7349	5,7	(1,3)
					31	Brache	213,9	7848	6,0	(1,3)
					31	Tepetate	341,5	1712	1,1	(1,56)
Chiautzingo I	Schwach entwickelter Barroboden (Eutric Cambisol) 11%	385,7	26.6.–30.9.1975 (97)	60	30	Mais	64,2	1689	1,3	(1,3)
					32	Brache	103,6	5518	4,2	(1,3)
Chiautzingo II	Fluvisol aus schluffigem Sand ~ 11%	359,9	26.6.–30.9.1975 (97)	59	24	Mais	53,9	899	0,7	(1,3)
					26	Brache	57,6	1660	1,3	(1,3)
Chipilo	Vertisolähnlicher Barroboden (Vertic Cambisol) ~ 11%	399,5	23.6.–30.9.1975 (100)	66	34	Mais	87,5	1759	1,4	(1,3)
					38	Brache	119,0	3556	2,7	(1,3)
					43	Tepetate	246,8	2004	1,3	(1,56)
					37	Längsparz.	104,6	1568	1,2	(1,3)
Amalucan 1976	Gelbbrauner Barroboden (Chromic Cambisol) 11%	843,9	20.4.–31.10.1976 (195)	93	57	Mais	113,3	3290	2,5	(1,3)
					57	Bohnen	119,1	5346	4,1	(1,3)
					57	Brache	203,5	8030	6,2	(1,3)
VW I	Gelbbrauner Barroboden (Chromic Cambisol) ~ 11%	889,9	21.4.–31.10.1976 (194)	90	44	Mais	107,6	2017	1,6	(1,3)
					44	Bohnen	99,7	1416	1,1	(1,3)
					44	Brache	123,4	2205	1,7	(1,3)
VW II	Gelbbrauner Barroboden (Chromic Cambisol) 4%	777,3	1.6.–31.10.1976 (153)	73	37	Mais	43,6	1649	1,3	(1,3)
					37	Bohnen	42,1	2000	1,5	(1,3)
					37	Brache	35,0	1936	1,5	(1,3)

Wegener (1978) ermittelt einen sehr starken Wechsel der Erosivität des Niederschlags von Standort zu Standort und eine sehr unterschiedliche Verteilung des Niederschlags in derselben Regenzeit von Parzelle zu Parzelle.

II. Die Bedeutung der durch die Messungen von Wegener (1978) gewonnenen Erkenntnisse für qualitative und quantitative Vorstellungen von der Reliefentwicklung im Hochbecken von Puebla/Tlaxcala während der letzten Jahrtausende läßt sich nicht aufgrund von Extrapolationen – im mathematischen Sinne – erfassen, sondern nur in Verbindung mit speziellen bodenkundlichen und geomorphologischen Gelände- und Laborarbeiten.

Bei einem jährlichen Bodenabtrag durch Wasser von ca. 8000g/m^2 (Station Amaluca 1976, Brache-Parzelle) und einer Lagerungsdichte von $1,3\text{ g/cm}^3$ wird das Bodenprofil in jeder Regenzeit um rund 6 mm abgetragen; bei einem jährlichen Abtrag von ca. 2000g/m^2 beträgt dieser Wert für einen Tepetateboden (Profil Chipilo, Tepetate-Parzelle) bei einer Lagerungsdichte des Materials von ca. $1,56\text{ g/cm}^3$ rund 1,3 mm.

Eine Extrapolation der von Wegener (1978) gemessenen Werte würde eine durchschnittliche Abtragung auf Barroböden von mindestens 2,5 mm/a (Mais: 2,07 mm/a, Brache: 3,37 mm/a) und auf Tepetateböden von mindestens 1,2 mm/a ergeben, wobei unberücksichtigt bleibt, daß sich die Meßzeiträume teilweise nicht über die gesamte Regenzeit erstrecken. Somit müssen die wirklichen extrapolierten Werte wesentlich höher liegen. Das sind in 100 Jahren mindestens 25 cm Abtrag auf Barroböden (Mais: 20,7 cm, Brache: 33,7 cm) und mindestens 12 cm auf Tepetateböden, in 1000 Jahren über 2,5 m beim Barroboden (Mais: 2,07 m, Brache: 3,37 m) und über 1,2 m beim Tepetateboden.

Ein Vergleich der auf den Testparzellen gemessenen Werte mit den Erosionsschäden des Gebietes an Hängen mit vergleichbaren Merkmalen hinsichtlich Neigung, Bodenbildung und Nutzung zeigt, daß diese extrapolierten Werte von Bodenabtragung in keiner Weise die Bodenerosion während der vergangenen Jahrtausende befriedigend qualitativ und quantitativ erfassen.

Ausgangsmaterial der Böden sind in den von der Erosion stark betroffenen Gebieten (Abb. 1) an den unteren Vulkanhängen und an kleinen Kuppen und Bergrücken im Becken von Puebla/Tlaxcala zumeist Tephrahorizonte, die primär als vulkanische Sedimente oder aber äolisch und durch Abspülung umgelagert als lößartige Ablagerungen vorliegen. Auf diesen Sedimenten sind sog. Barroböden entwickelt (Schönhals & Aepli 1973). Der Tepetate (Duripan) wird durch die unteren Horizonte der Barroböden gebildet und ist eine direkte Folge der Bodenbildung. Bezüglich der Erodierbarkeit der verschiedenen Barroböden und Tepetateböden ergibt sich nach Wegener (1978) folgende Abstufung:

Gelbbrauner Tepetate < Hellgrauer Tepetate < Fluvisol aus schluffigem Sand < Vertisollähnlicher Barroboden < Gelbbrauner Barroboden < Schwach entwickelter Barroboden. Das bedeutet, daß die Erodierbarkeit der Böden nicht nur von Ort zu Ort, d.h. in Abhängigkeit vom Relief (im räumlichen Nebeneinander), sehr starken Veränderungen unterliegt, sondern auch im zeitlichen Nacheinander an ein und demselben Profil. Abb. 2 zeigt ein charakteristisches Profil mit einer Abfolge verschiedener Barroböden und der jeweiligen durchschnittlichen Abtragsrate aufgrund der Abfluß- und Abtragsmessungen nach Wegener (1978). Korngrößenverteilung (Bodenart) und die Mächtigkeit der A_hB_t -Horizonte haben einen großen Einfluß auf den Abtrag, da durch sie die Aufnahme bzw. der Abfluß des Niederschlagswassers gesteuert wird. Somit erhöht sich der Abtrag mit zunehmender Kappung der A_hB_t -Horizonte in den Barroböden und sinkt, sobald der B_t -Horizont von

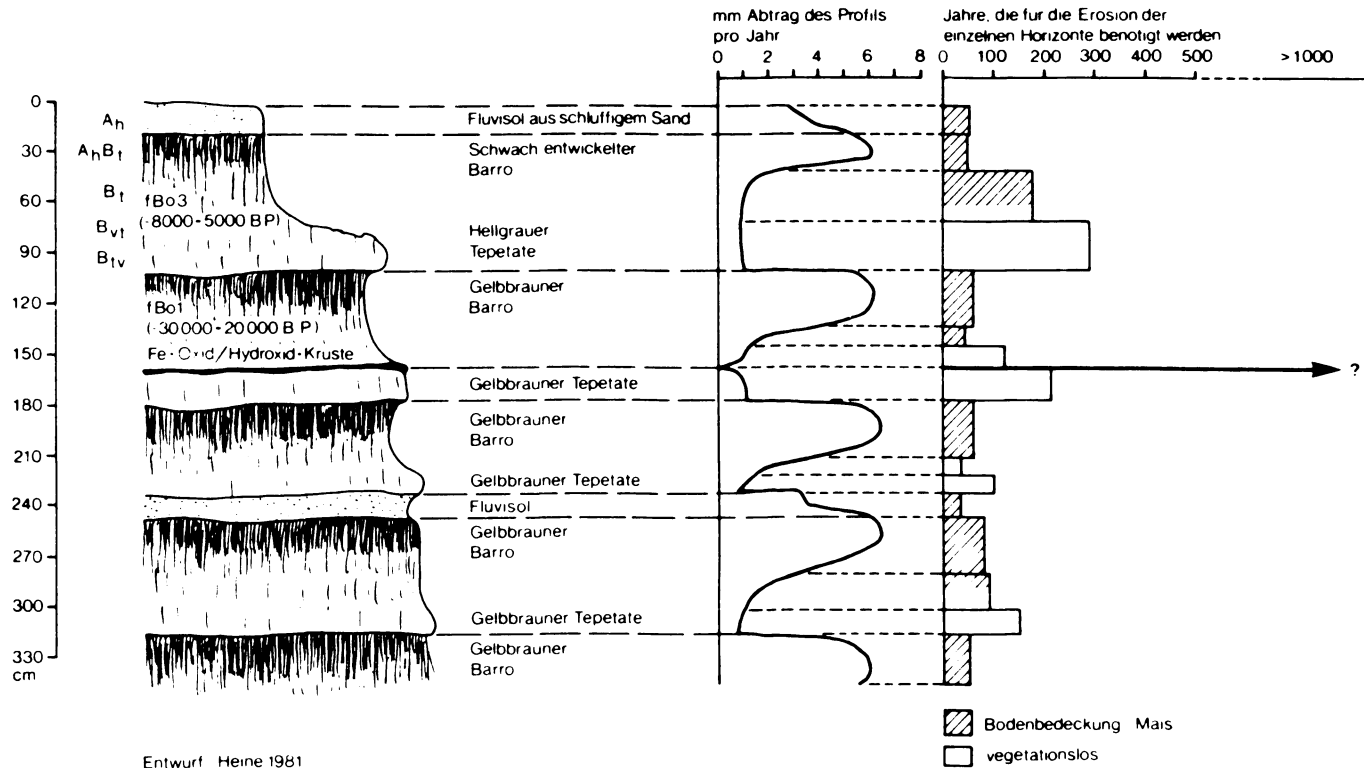


Abb. 2: Schematisches Profil einer Abfolge verschiedener Barroböden und die jeweilige durchschnittliche Abtragsrate aufgrund der Abfluß- und Abtragsmessungen (nach Wegener 1978).

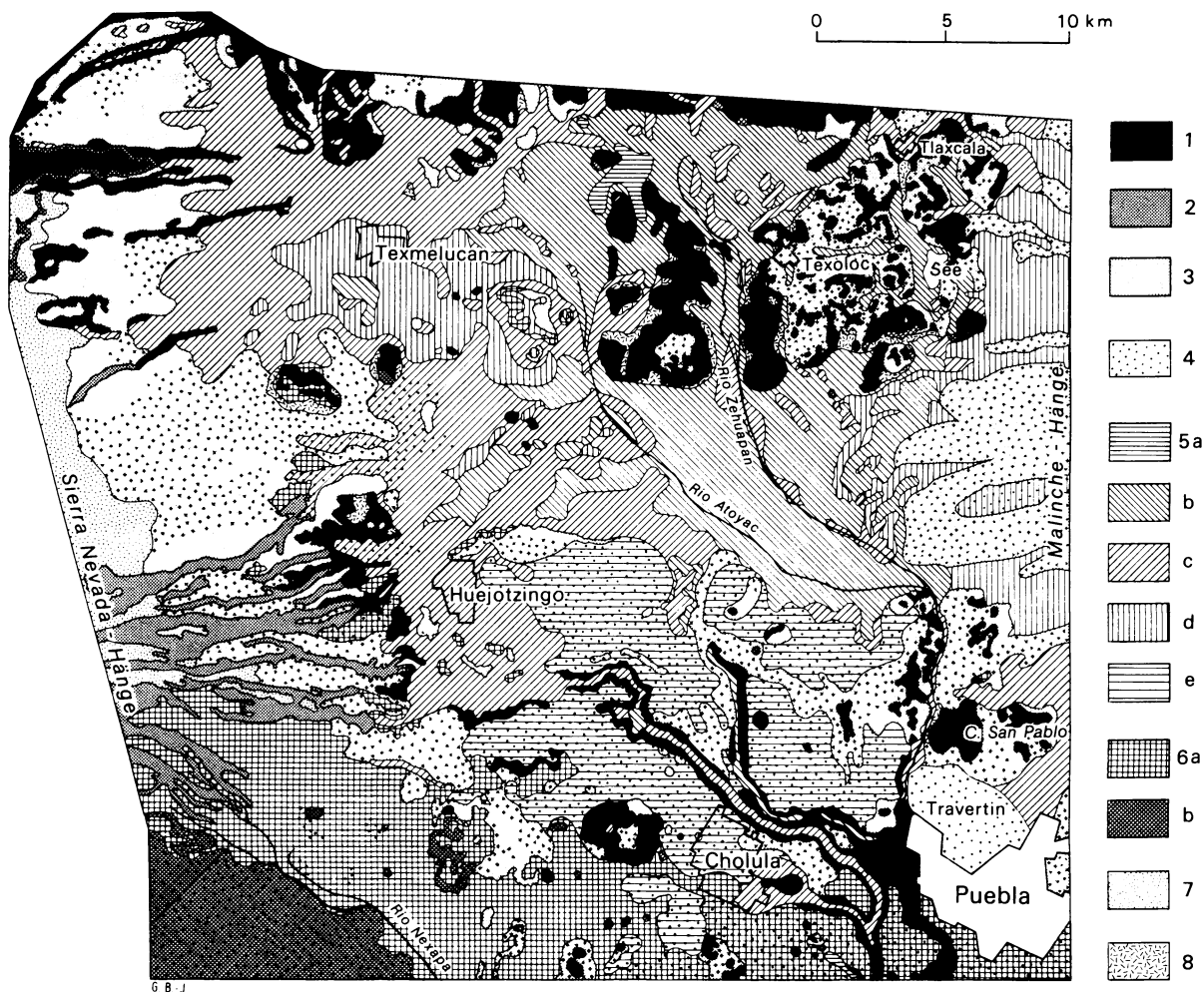


Abb. 1: Erosion und Akkumulation im Becken von Puebla/Tlaxcala. Umgezeichnet nach Schönhals & Aeppli 1973.

Es bedeuten:

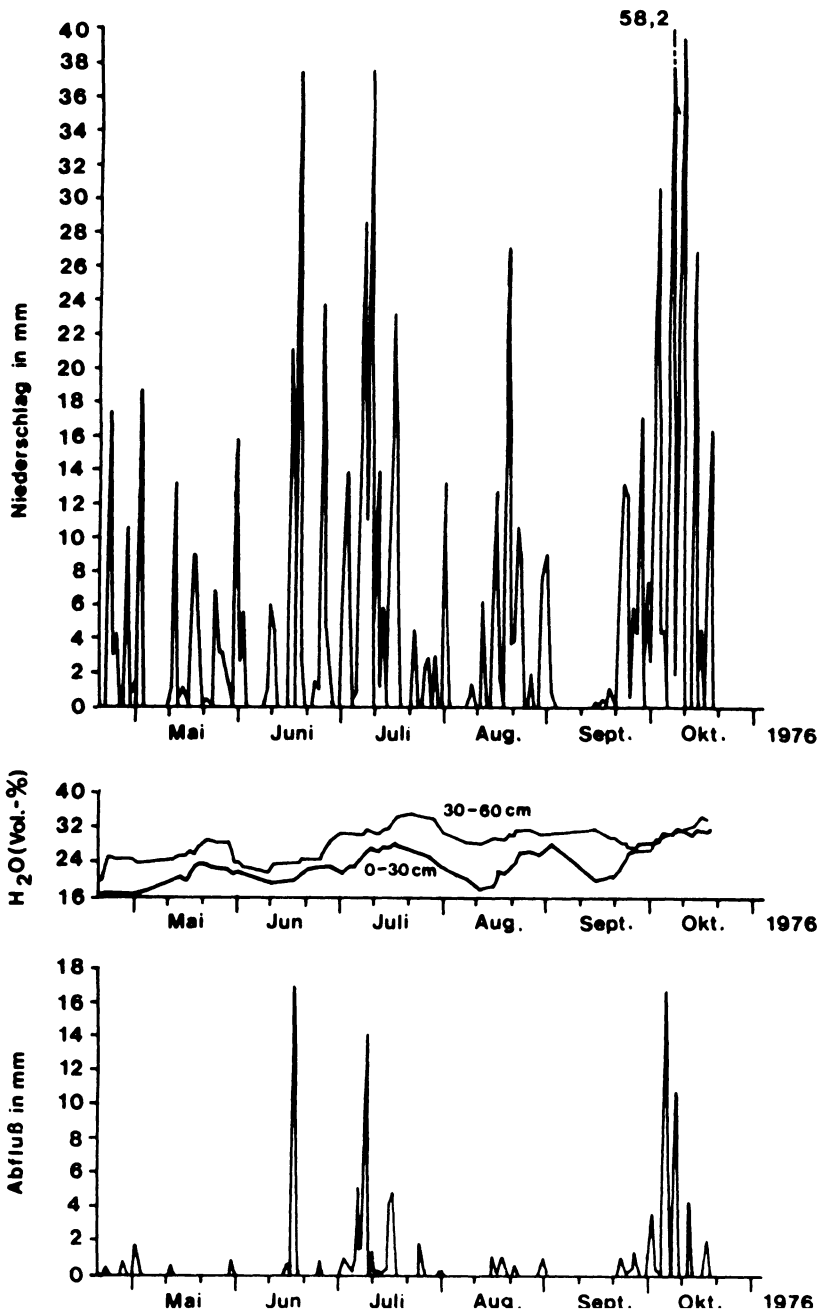
- 1 – Erosion bis auf harte Tepetatehorizonte oder bis auf anstehendes Gestein,
- 2 – starke Schluchtbildung,
- 3 – flächen- und linienhafte Erosion, jedoch sind flachgründige Böden erhalten,
- 4 – äolische sandige Decksedimente,
- 5 – fluviale Akkumulation (a) tonig, (b) schluffig, (c) sandig, (d) kiesig, (e) limnische Akkumulation,
- 6 – vulkanische Ablagerungen, (a) Sande, Bimslapilli, Schlacken, (b) Lavaströme,
- 7 – vulkanische Aschenböden (Andosole) an den Hängen oberhalb 3000 m Höhe mit diversen Erosionsprozessen als Folge menschlicher Aktivitäten,
- 8 – Hangkolluvium.

der Erosion freigelegt wird. Besonders niedrige Werte des Abtrags werden durch dünne Fe-Oxid- und -Hydroxid-Krusten in den Tepetate-Horizonten erreicht; Beobachtungen belegen (Heine 1971, 1978), daß oft ein Abtrag – auch ein Abrieb auf Barranca-Böden – bei Vorhandensein von Fe-Oxid- und -Hydroxid-Krusten nicht mehr durch direkte Messungen festgestellt werden kann. Die außerordentlich große mechanische Widerstandskraft des Tepetate beruht auf einer inneren Verkittung durch amorphe Kieselsäure sowie Tonminerale und Fe-Oxide und -Hydroxide. Die Kieselsäure wurde in den oberen Horizonten im Laufe der Bodenbildung freigesetzt und gelangte nach unten in die tepetatebildenden Horizonte. Dabei blieben die Kieselsäurekonzentrationen so gering, daß es nicht zur Bildung sichtbarer Krusten kam; auch bleibt der Tepetate in feuchtem Zustand relativ weich und wird erst nach Austrocknung außerordentlich hart (Schönhals & Aepli 1973). Das wiederum bewirkt eine starke Abhängigkeit der Erodierbarkeit der Tepetateböden von der Bodenbedeckung; völlig vegetationslose „nackte“ Tepetate-Flächen werden äußerst langsam abgetragen, da sie auch in der Regenzeit extrem trocken sind (Heine 1971) und damit extrem hart. Tepetate-Flächen mit geringer Vegetation bleiben nach Niederschlägen länger an der Oberfläche feucht und damit weich, weshalb nachfolgende Niederschläge zu wesentlich größeren Abtragswerten führen können.

Extrapolierte Werte des Abtrags sind für ein schematisches Profil in Abb. 2 dargestellt. Das Schema ist aber völlig wirklichkeitsfremd, da der Tepetate niemals flächenhaft abgetragen wird, sondern stets „linienhaft“ durch rückschreitende Erosion. Weiterhin belegen die Geländebeobachtungen, daß flächenhafter Abtrag der Barroböden und linienhafter Abtrag der Tepetateböden erst auftrat, als der Mensch mit der ackerbaulichen Nutzung der Böden begonnen hatte, d.h. vor ca. 3000 Jahren. Unter den natürlichen Vegetationsverhältnissen wurde im Holozän durch Abspülung im Bereich der heute stark erodierten Hänge kein Abtrag erzielt; die Verbreitung des jüngsten Barrobodens, der an den Vulkanhängen durch ^{14}C -Datierungen auf ein Alter von rund 8000 – 5000 Jahren geschätzt wird (Heine 1978b), der in erosionsgeschützten Lagen (z.B. unter den Steinanhäufungen früherer Gehöfte und Pyramidenanlagen) noch überall im Bereich des Beckens von Puebla/Tlaxcala aufgefunden wird (vgl. Heine 1978a) und der teilweise das holozäne Relief der Zeit um 8000 – 5000 Jahren vor heute nachzeichnet, dokumentiert sehr anschaulich die geomorphodynamischen Prozesse vor der Zeit intensiver Landnahme durch den Menschen, die im Hochbecken von Puebla/Tlaxcala um 650 Jahre v. Chr. in der Kulturstufe Texoloc einsetzte.

III. Die geomorphologisch-sedimentologischen Befunde zeigen, daß der Bodenabtrag zwischen der Atoyac/Zahuapan-Niederung und den Gebirgswäldern oberhalb ca. 3000 m Höhe im wesentlichen durch folgende Vorgänge charakterisiert wird, wenn Flußtäler und Barrancas unberücksichtigt bleiben:

1. Ohne den Einfluß des Menschen erfolgte unter den natürlichen Vegetationsverhältnissen im Holozän Barro-Bodenbildung ohne erkennbaren oberflächlichen Abtrag an den unteren Hängen der Vulkangebirge in Höhen zwischen ca. 2250 und 3000 m. Kleinere Mulden und Muldentälchen bildeten sich vermutlich im Zusammenhang mit der Verwitterung des Materials und Lösungsabtrag. Die Tepetate-Horizonte der Barroböden traten infolge ständiger Durchfeuchtung nicht als widerstandsfähige Bänke auf.



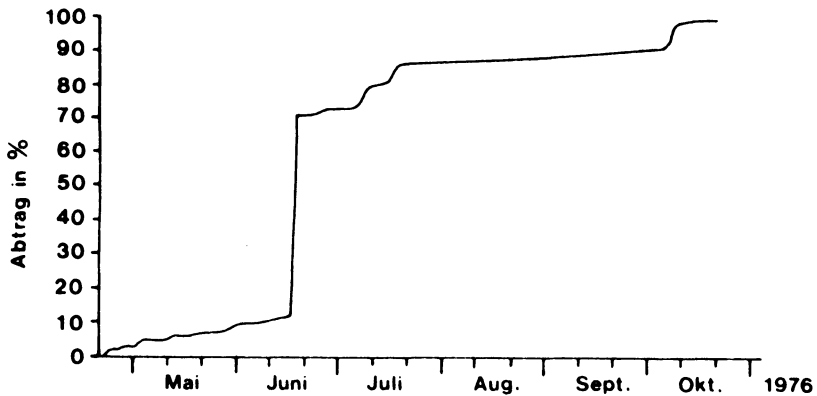
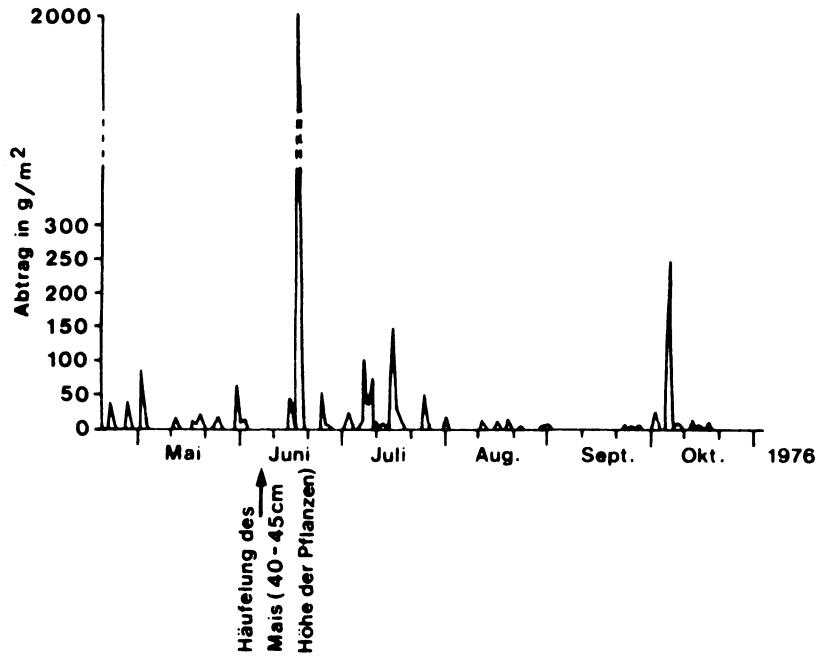


Abb. 3: Niederschlag, Bodenfeuchte, Abfluß und Abtrag einer Mais-Parzelle (Amaluca 1976) nach Wegener 1978 (vgl. Tab. 1).

2. Auf ackerbaulich genutzten Hängen wird der Barroboden leicht an der Oberfläche durch Wasser abgetragen, da er den zumeist heftigen Starkregen nur einen geringen Widerstand infolge seiner bodenphysikalischen Eigenschaften entgegenbringt. Die Summenkurve des Abtrags einer Maisparzelle (Abb. 3) zeigt, daß die Abtragswerte nicht nur von den Niederschlagsereignissen abhängen, sondern auch von der Bodenbedeckung durch die Maispflanzen. Der Abtrag des Barrobodens erfolgt relativ schnell bis zur liegenden Tepetate-Bank.

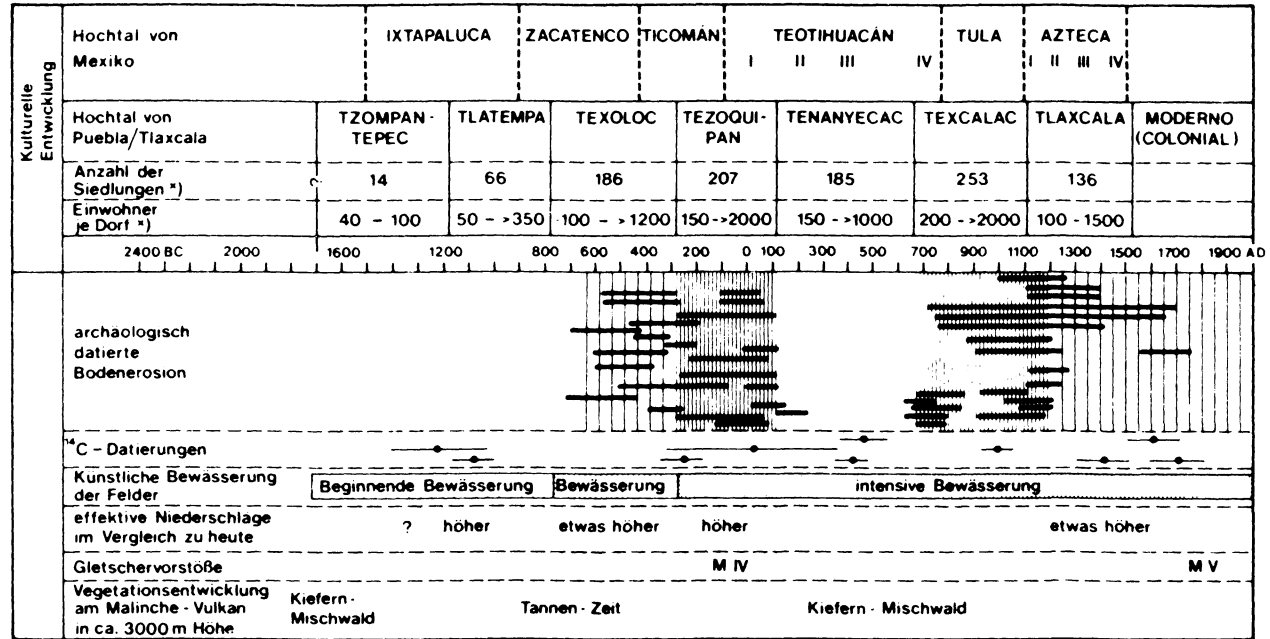
3. Die Tepetateböden werden nur relativ langsam flächenhaft abgetragen, da sie oft extrem hart sein können, so daß die kurzen Starkregen weder direkt durch die Regentropfenerosion noch indirekt infolge Durchfeuchtung des Tepetate-Materials und nachfolgender Abtragung durch rinnendes Wasser größere Abtragswerte erzielen. Die Abtragswerte von Wegener (1978) für Tepetate sind relativ hoch; ältere Tepetate-Bänke (z.B. die fBol-Tepetate nach Heine 1978b mit einem Alter von ca. 30 000 – 20 000 Jahren vor heute) sind oft mit Fe-Oxid- und -Hydroxid-Krusten durchsetzt, wodurch sich wesentlich geringere Abtragswerte ergeben (vgl. Abb. 2); die Geländebefunde belegen, daß fBol-Tepetate-Bänke viele Jahrhunderte die Oberfläche bilden können, ohne daß sie abgetragen werden; in Barrancas können fBol-Tepetate-Bänke sogar während vieler Jahrhunderte auf der Sohle anstehen, ohne daß die mit Sedimenten beladenen temporär abkommenden Fluten diese abtragen (vgl. Heine 1971, 1978a). Die Abtragung der Tepetateböden erfolgt heute durch Prozesse der rückschreitenden Erosion. Ist erst einmal die Tepetate-Bank an einer Stelle bis auf den darunter liegenden Barroboden abgetragen, so kann der liegende Barroboden schnell erodiert werden; die dadurch unterhöhlten Tepetateböden brechen dann entsprechend ihrer grobpolyedrischen Gefüge in Blöcken nach. Damit geht in vielen Fällen die Abtragung der Tepetateböden genau so schnell vor sich wie die der Barroböden. Tepetateböden können sogar oft die Abtragung noch wesentlich fördern, indem sie zu einem vermehrten oberirdischen Abfluß der Niederschläge beitragen und indem das abfließende Wasser einer größeren Tepetate-Fläche einem angrenzenden Barroboden zugeführt wird, wodurch bereits bei Niederschlägen auf dem Barroboden abgetragen wird, wenn anderenorts bei gleichen Niederschlägen die Barroböden in der Lage sind, die Niederschläge aufzunehmen und einen Abfluß zu verhindern. Auf diese Weise können an Hängen Treppen aus Barro- und Tepetateböden entstehen, deren Abtragung um ein Vielfaches schneller voranschreitet als auf den Testparzellen. Diese hier beschriebenen Vorgänge sind auch an den Anschnitten in den „toba“-Sedimenten der Sierra-Nevada (vgl. Heine & Schönhals 1973) entlang der Autopista Mexiko-Stadt – Puebla zu beobachten.

IV. Die geomorphologisch-sedimentologischen Untersuchungen haben ergeben, daß die Vorgänge der Bodenerosion während der letzten 3000 Jahre in Raum und Zeit nicht gleichmäßig abliefen (Heine 1976, 1978a, 1978c). Abb. 4 zeigt eine Zusammenstellung. Zeiten besonders starker Erosionsvorgänge stehen in enger Beziehung zur kulturellen und demographischen Entwicklung (Heine 1983). Die Erläuterungen zur Abb. 4 finden sich bei Heine (1978a, 1983). Das Diagramm wirft mehrere Fragen auf, die noch nicht beantwortet werden können, beispielsweise ob die Phasen kulturellen und demographischen Niedergangs im wesentlichen durch Überbelastung der natürlichen Umwelt und/oder durch klimatische Veränderungen ausgelöst wurden, weil Verzögerungen in der Reaktion geomorphologischer Prozesse für relativ kurze Zeitspannen noch nicht erfaßt werden können. Vier Möglichkeiten sind im Diagramm der Abb. 5 dargestellt: 1. Die maximale Rate der Bodenerosion wurde zu Beginn einer Kolonisationsphase erreicht und dauerte

während der Zeit hoher Siedlungsdichte an, 2. die maximale Rate der Bodenerosion fiel mit der schnellen Ausbreitung der ländlichen Siedlungen zusammen, verringert sich jedoch rasch, da sich die geomorphologischen Vorgänge auf die neuen Parameter einstellen, 3. die maximale Rate der Bodenerosion wurde erst gegen Ende der Kolonisationsperiode erreicht und 4. die maximale Rate der Bodenerosion wurde von mehreren katastrophalen Ereignissen ausgelöst. Aus der Darstellung geht hervor, daß zwar aufgrund der Befunde das Ausmaß der Bodenerosion während der vergangenen 3000 Jahre ermittelt werden kann (anhand geomorphologisch-sedimentologischer Indizien), nicht jedoch die relative Geschwindigkeit der Vorgänge.

V. Einige Aspekte der Bodenerosionsforschung im zentralmexikanischen Hochland wurden angesprochen:

1. Quantitative und qualitative Messungen auf Versuchsparzellen,
2. Extrapolationen der gemessenen Werte,
3. geomorphologische Beobachtungen zu den Erosionsvorgängen und
4. geomorphologisch-sedimentologische Befunde zur Bodenerosion in Raum und Zeit.
Aus den Ausführungen wird deutlich, daß
1. unsere qualitativen und quantitativen Vorstellungen von der Reliefentwicklung auf der Erde nicht aus den rezenten Prozessen erschlossen werden können, wenn der betrachtete Raum direkt oder indirekt vom wirtschaftenden Menschen im Jungholozän beeinflußt worden ist (vgl. Heine 1976, Rathjens 1979),
2. Abtragsmessungen auf Versuchsparzellen im zentralmexikanischen Hochland wegen der dort herrschenden besonderen Bodenverhältnisse (Barroböden und Tepetateböden) nur sehr bedingt Aussagen über den Bodenabtrag angrenzender Parzellen sowie früherer Jahre zulassen,
3. Extrapolationen gemessener Werte des Bodenabtrags dort nicht zulässig sind und
4. Fragen nach Alter, Ablauf und Ausmaß der Bodenerosion nur beantwortet werden können, wenn die Wirkung einzelner Faktoren qualitativ und quantitativ erfaßt wird, zugleich aber geomorphologisch-sedimentologische Methoden ergänzend angewandt werden, damit durch gegenseitige Überprüfung der Ergebnisse keine unrealistischen Vorstellungen über Vorgänge der Bodenerosion aufkommen können.



*) im Gebiet des archaologischen Projektes der DFG, das einen Teil des Hochtales von Puebla/Tlaxcala umfaßt.

Entwurf: HEINE 1977

Abb. 4: Schematische Darstellung der Erosion i.w.S. in Raum und Zeit. Die Anzahl und Größe der Siedlungen bezieht sich auf den Nordteil des Beckens von Puebla/Tlaxcala (archäologisches Projekt von García Cook). Die fetten waagerechten Linien kennzeichnen archäologisch datierte Sedimente, die als korrelierte Ablagerungen von Erosionsvorgängen anzusehen sind.

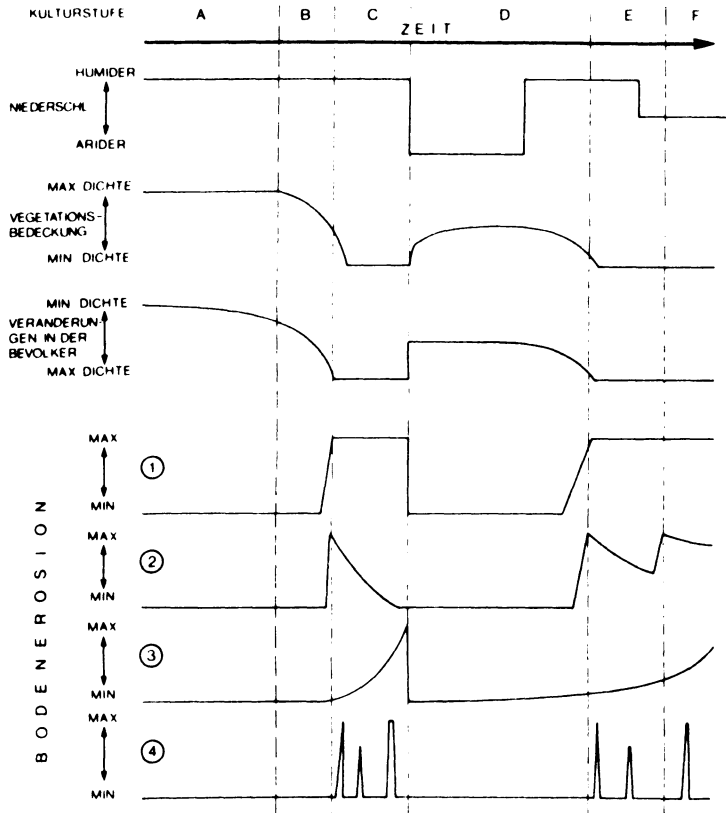


Abb. 5: Schematische Darstellung möglicher Bodenerosionsphasen in Abhängigkeit von Veränderungen des Niederschlags, der Vegetationsbedeckung und der Bevölkerungsdichte.

SUMMARY

Soil Erosion in Central Mexico: Measurements – Extrapolations – Geomorphologic-Sedimentological Data

In the area of Puebla/Tlaxcala H.-R. Wegener took daily measurements of rainfall, runoff, and soil loss in five different agriculturally used soils and two duripan soils during the rainy seasons of 1975 and 1976. The data measured on runoff and sediment yield were extrapolated and compared with geomorphologic-sedimentological data in order to test the value of measurements in respect to present concepts of relief development. The studies indicate that measurements of test fields may not open the door to the understanding of relief development, as well as of past geomorphic processes during the Late Holocene.

LITERATUR

- Heine, K.: Observaciones Morfológicas acerca de las Barrancas en la Región de la Cuenca de Puebla-Tlaxcala. (Comunicaciones (Mexiko-Projekt) 4.) Puebla (Mexiko) 1971, S. 7–24.
- : Schneegrenzdepressionen, Klimaentwicklung, Bodenerosion und Mensch im zentral-mexikanischen Hochland im jüngeren Pleistozän und Holozän. In: Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd. 24, 1976, S. 160–176.
 - : Mensch und geomorphodynamische Prozesse in Raum und Zeit im randtropischen Hochbecken von Puebla/Tlaxcala, Mexiko. (Tagungsber. u. wiss. Abhandl. d. Dt. Geographentages, Mainz 1977.) 1978a, S. 390–406.
 - : Neue Beobachtungen zur Chronostratigraphie der mittelwisconsinzeitlichen Vergletscherungen und Böden mexikanischer Vulkane. (Eiszeitalter und Gegenwart, 28.) 1978b, S. 139–147.
 - : Ökologische Katastrophe in Mexiko? Bodenerosion seit über 2500 Jahren. In: Umschau 78, 1978c, S. 491–496.
 - : Outline of Man's Impact on the Natural Environment in Central Mexico. (Jahrbuch f. Geschichte v. Staat, Wirtschaft u. Gesellschaft Lateinamerikas.) 1983 (im Druck).
 - und E. Schönhals: Entstehung und Alter der „toba“-Sedimente in Mexiko. (Eiszeitalter und Gegenwart, 23/24.) 1973, S. 201–215.
- Rathjens, C.: Die Formung der Erdoberfläche unter dem Einfluß des Menschen. Grundzüge einer Anthropogenetischen Geomorphologie. Stuttgart 1979.
- Schönhals, E. und H. Aeppli: Bericht über die im Rahmen des Mexiko-Projekts der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführten bodenkundlichen Untersuchungen. (Inst. f. Bodenkunde u. Bodenerhaltung d. Univ. Giessen.) Giessen 1973, S. 1–205. (H. Aeppli: Barroböden und Tepetate, Diss. Fachber. Umweltsicherung, Univ. Giessen, 1973, S. 1–172).
- Wegener, H.-R.: Bodenerosion und ökologische Eigenschaften charakteristischer Böden im Becken von Puebla-Tlaxcala (Mexiko). Diss. Fachber. Angewandte Biologie u. Umweltsicherung, Univ. Giessen, 1978.