

Eiszeitalter u. Gegenwart	27	121—133 2 Abb., 3 Tab.	Öhringen/Württ. 1976
---------------------------	----	---------------------------	----------------------

## Die regionale Unterscheidung von Lössen des Jungwürms durch Körnung und Tonmineraleigenschaften unter Anwendung multivariater Methoden

ERNST-AUGUST NIEDERBUDE \*)

Würm loess, clay mineral properties, K-fixation, K-Ca exchange properties, discriminant analysis

**Kurzfassung:** Mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse wurde festgestellt, daß mit chemischen Meßwerten, wie K-Fixierungsarten und Pufferkapazitäten für K bei K-Ca-Gleichgewicht, Tonmineralbestände von Lössen und Lößböden ( $\Sigma$  Illit, Smektit, Vermiculit  $> 80-90\%$  der Fraktion  $< 2 \mu\text{m}$ ) bestimmt werden können. Eine Trennung mitteleuropäischer Lössen wurde mit diesen und anderen Eigenschaften versucht, die Aussagen über die Tonmineralbestände in den Lössen des Jungwürms wegen Interkorrelationen zwischen diesen Eigenschaften und Tonmineralmengen gestatten.

Die südbayerischen Lössen können durch Tonmineraleigenschaften und Körnung mit der Diskriminanzanalyse in eine Lößkern- und Lößrandlandschaft (1 km-Zone an den Terrassenkanten) unterschieden werden. Die Lössen der Mittelgebirgsvorlandzone sowie der niedersächsischen und hessischen Beckenlandschaften sind auf Grund der gemessenen Eigenschaften (Körnung, K-Fixierung, K-Ca-Austauschkurvenwerte) so homogen, daß eine regionale und vertikale Auftrennung in mehrere Gruppen statistisch nicht abgesichert werden kann.

Für die Trennung der Lössen des Jungwürms in drei Gruppen (1. Mittelgebirgsvorlandzone, niedersächsische und hessische Beckenlandschaften, 2. südbayerische Kernlandschaften, 3. südbayerische Randlandschaften) erweisen sich die nasse K-Fixierung am Ton  $< 2 \mu\text{m}$  und die Fraktion  $20-60 \mu\text{m}$  als Eigenschaften mit großer Trenngüte. BCKG Ton ist eine Eigenschaft der Lössen, die als sehr empfindlicher Meßwert die Streuung der Werte um die Gruppenmittelwerte gut erklären kann. Die Mittelwerte von K fix Ton und BCKG Ton geben zu erkennen, daß die Lössen der südbayerischen Kernlandschaften smektitreicher und illitärmer als die Randlandschaften und die oben genannten Lößlandschaften außerhalb Bayerns sind. Es kann vorausgesagt werden, daß bei gleicher Tonmineralumwandlungsrate im Holozän pedogene Änderungen von Dreischichttonmineralen in den Lößgebieten außerhalb Bayerns als gesetzmäßige Entwicklung leichter ermittelt werden können als in den südbayerischen Lößgebieten.

[The Regional Distinction of Young Wurm Loess by Texture and Clay Mineral Properties Using Multivariate Methods]

**Abstract:** Clay mineral contents, clay mineral properties and texture permit a distinction of young Würm loess. Working with samples of the loess-zone in the forelands of the Central German hills, the basin landscapes of Lower Saxony and Hesse as well as the loess landscapes of Southern Bavaria it has been found out by using constructive multiple regression analysis with linear start, that smectites can be determined very well with K-fixation and buffering capacity for K at ARO ( $ARO = K/1/\text{Ca-activity ratio at equilibrium with sorbed K of the clay fraction } < 2 \mu\text{m}$ ) called BCKG.

The dependent variable  $18\text{\AA}$  (smectite) has been determined with a multiple B of 70% through wet potassium fixation. Taking the wet potassium fixation as dependent variable smectites and BCKG have a very high position as independent variables (multiples B amount to 85%).

The loess of Lower Bavaria could be separated into a loess core landscape (1 km zone at the edges of the terraces) through clay mineral properties and texture by using multivariate discriminant analysis. The loess sediments of the zone in the forelands of the Central German hills and

\*) Anschrift des Verfassers: Dr. E. A. Niederbude, Institut für Bodenkunde der TU München, 8050 Freising-Weißenstephan.

the basin landscapes according to the measured properties (texture, K-fixation and K-Ca exchange curve values) are very homogeneous. Therefore the regional and vertical separation into several groups was statistically not significant.

Separating the young wülm losses into the following three groups (1. Zone in the forelands of Central German hills, the basin landscapes of Lower Saxony and Hesse, 2. Southern Bavarian core landscapes, 3. Southern Bavarian edge landscapes), the wet K-fixation at clay fraction  $< 2 \mu\text{m}$  and the fraction 20—60  $\mu\text{m}$  prove to be the properties of high separation quality. BCKG is a very sensitive measurement, which is able to explain the dispersion around the means of the groups. The means of K fix clay and BCKG clay signify (s. regression analysis), that the loess materials of the Southern Bavarian core landscape contain more smectite and less illite than the edge landscape and the above listed loess landscapes outside Bavaria. Assuming an equal rate of clay mineral transformation in Holocene period it can be predicted, that the pedogenic alteration of three layer clay minerals can be determined easier in the German loess districts outside Bavaria than in the Southern Bavarian loess districts.

## I. Einleitung

Lösse können als gut sortierte Sedimente von anderen durch Körnungsanalysen unterschieden werden. Schon früh wurde das Körnungsmaximum innerhalb der Schluff-Fractionen benutzt, um Windrichtungen und Auswehungsgebiete zu bestimmen (SCHÖNHALS 1952, 1953). Auch wurden Carbonatgehalte zur Stratigraphie und regionalen Aufgliederung verwendet (SCHÖNHALS 1952, BRUNNACKER 1957 a). Zur stratigraphischen Deutung von Lößprofilen wurden verschiedene bodenkundliche Methoden ausgewertet (u. a. von LIEBEROTH 1963, ROHDENBURG & MEYER 1966, HÄDRICH 1970, 1975).

Inwieweit die Tonmineralogie Beiträge zur regionalgeographischen und stratigraphischen Homogenität bzw. Heterogenität liefern kann, ist bisher nicht bekannt. Montmorillonite, die im folgenden zusammen mit den Beidelliten zur Gruppe der Smektiten gezählt werden, sollen in mitteleuropäischen Lössen im Gegensatz zu nordamerikanischen nur in kleinen Mengen vorkommen (FÜCHTBAUER & MÜLLER 1970). In mitteleuropäischen Lössen sollen die Illite dominieren (GUENTHER 1961). Nach der verschiedenartigen Herkunft der Lössen in Mitteleuropa wäre es sehr überraschend, wenn die Tonfraktion ( $< 2 \mu\text{m}$ ) nach Tonmineralbestand und Tonmineraleigenschaften keine Unterschiede aufweisen würde. Es ist möglich, daß es an der Methodik und der Probenauswahl liegt, wenn der Eindruck einer großen Homogenität erweckt wird.

Es gibt mehrere Gründe, regionalbezogene Tonmineralarbeiten an Lössen zu unterlassen. Mehr als 50 % der Tonfraktion von ferntransportierten Lössen besteht aus Feinton der Fraktion  $< 0,1 \mu\text{m}$ . Diese Fraktion ist zu etwa 90 % ein Mehrkomponentensystem, in dem Illit-Beidellit-Montmorillonit-(Chlorit)-Schichten zufällig in Schichtpaketstapeln wechseln, die der quantitativen Röntgenbeugungsanalyse nur mit sehr hohem Arbeitsaufwand zugänglich sind (WEIR & RAYNER 1974).

Ein mehrfaches Fraktionieren, das ohnehin bei Mehrkomponentensystemen notwendig ist, wirft weitere Probleme bei der Auswertung der Röntgendiagramme auf (z. B. Bewertung der Röntgenzacken innerhalb einer Fraktion und zwischen den Fraktionen).

Weiter fehlte es Tonmineralogen an sinnvollen Fragestellungen bei Regionalvergleichen. Umgekehrt können gezielte Fragestellungen die Anwendungen tonmineralogischer Methoden modifizieren.

Unterstellt man, daß die Kenntnis von Tonmineraleigenschaften des jüngsten Lösses für die Deutung von Tonmineralumwandlungen in rezenten Böden wichtig sind, dann müßte die Beantwortung folgender Fragen besonders interessieren:

1. Inwieweit sind die Lössen, die nach „Stillfried B“ (FINK 1956) und „Paudorf“ (SCHÖNHALS et al. 1964) (= Jungwürm) angeweht wurden, im Hinblick auf Tonmineraleigenschaften homogen?

2. Ermöglicht bei gegebener Heterogenität eine regionale Unterscheidung einer Grundgesamtheit in Teilgesamtheiten eine bessere Aufgliederung als eine zeitliche (weitere detaillierte Unterscheidung von Jungwürmlössen)?
3. Können Lössen von Profilen mit Zeitmarken („Paudorf-Boden“, Eltviller bzw. Kärlicher Tuffband) solchen ohne Zeitmarken innerhalb einer Landschaft einer Lößgruppe zugeordnet werden?

Die Tonmineraleigenschaften dieser Lössen insgesamt könnten darüber hinaus mit denen von Lössen älterer Kaltzeiten verglichen werden. Trotz der zuvor genannten Bedenken soll in dieser Arbeit der Versuch einer Auftrennung von Lössen in mehrere Gruppen unternommen werden. Unter bestimmten Voraussetzungen (Interkorrelation von sorptionschemischen Eigenschaften mit Tonmineraltypen, s. NIEDERBUDE 1973 und kurze Hinweise im methodischen Teil), die in den Schichtsilikatgemischen der Tonfraktion von Lössen besonders günstig sind, können die Probleme der Röntgenbeugungsanalyse durch die Anwendung anderer Methoden vermieden aber dennoch Aussagen über Tonmineralhomogenität bzw. -heterogenität gemacht werden. Zu den chemischen Messungen, mit denen man tonmineralspezifische Eigenschaften bestimmen kann, gehören die K-Fixierung, K-Intensitätswerte der Bodenlösung (oder Sedimentlösung), die sich im Gleichgewicht mit den sorbierten K-Ionen der Tonmineraloberflächen befinden, und Pufferwerte, d. h. Werte, die der Veränderung der genannten Intensitätswerte Widerstand entgegensetzen. Fügt man nun noch die Werte der Körnung hinzu, dann läßt sich unter Anwendung moderner Prozeßrechner prüfen, ob das Untersuchungsmaterial zuvor aufgliederter Regionen im statistischen Sinne unterscheidbar ist oder nicht, oder ob sich gesetzmäßige Veränderungen ergeben. Letztere wurden mit Hilfe der Diskriminanzanalyse an holozänen Lößböden bestimmt, wobei mehrere der oben genannten Werte die Sedimente von den Solumhorizonten und die Solumhorizonte untereinander statistisch gesichert getrennt haben (NIEDERBUDE 1975). Hier wird versucht, die Lössen mehrerer Regionen voneinander zu trennen.

## II. Beziehungen zwischen chemischen Toneigenschaften und Ergebnissen der Röntgenbeugungsanalyse in Lössen und Lößböden

Mit Hilfe der Korrelationsstatistik konnten bisher an Lössen und Lößböden Beziehungen zwischen K-Fixierungsarten und Röntgendaten ermittelt werden (NIEDERBUDE 1973). Durch Errechnung partieller Korrelationskoeffizienten wurde festgestellt, daß in den Tonmineral-Mehrkomponentensystemen der Lössen und Lößböden bei großen Smektitwerten viel Kalium und bei großen Illitwerten wenig Kalium fixiert wird. Dagegen konnten zwischen den Vermiculitwerten und der K-Fixierung keine gesicherten Beziehungen gefunden werden. Da bei dem untersuchten Material und der genannten Versuchsanstellung dominierend der Feinton K fixiert, muß tonmineraligisch genauer formuliert werden: K wird von den Beidellit-Montmorillonit-Illitwechsellagerungen fixiert, deren Interferenzmaximum nach Glycerinbehandlung bei ca. 18 Å liegt, deren Interferenzbasis von 13 bis 23 Å variiert, Illit bei 10 Å fixiert wenig Kalium und Vermiculit-Illitwechsellagerungen sind so selten, daß sie die oben genannten Beziehungen nicht stören.

Ausgehend von diesen Befunden wird versucht, durch die Einführung weiterer chemischer Eigenschaften das Bestimmtheitsmaß der Beziehungen zu erhöhen, um die die Regression bestimmenden Einflußgrößen als Merkmale bei der Diskriminanzanalyse zu verwenden. Die aufbauende multiple Regressionsanalyse mit linearem Ansatz, die hier der Diskriminanzanalyse vorgeschaltet wird, ermittelt die Abhängigkeit einer Zielgröße von mehreren Einflußgrößen. Dabei werden die Merkmale, die die Zielgröße bestimmen (z. B. Tonmineraltyp) gleichzeitig aufgenommen. Diejenige Einflußgröße, die die Zielgröße am besten erklärt, wird als 1. Merkmal eingeführt, die weiteren werden nach der Größe der

partiellen Korrelationskoeffizienten ausgewählt. Es sollte mit diesem System herausgefunden werden, mit welchen Merkmalen (insgesamt 14–17 Tonmineraleigenschaften, die wichtigsten sind unter III. genannt) man die Tonminerale als Zielgröße mit hoher Bestimmtheit ermitteln kann. Die Ergebnisse, die hier im Detail nicht dargestellt werden, lassen sich im Hinblick auf die weitere Auswertung folgendermaßen zusammenfassen: Auch nach Einführung von 14 Einflußgrößen behält die nasse K-Fixierung die bevorzugte Stellung zur Bestimmung der Zielgröße Smektit. Sie wird mit einem multiplen B von 68,2 % in die Regressionsgleichung eingeführt. Wichtige Merkmale sind weiter Tonmineraleigenschaften, die aus K-Ca-Austauschkurven (NIEDERBUDE 1975) ermittelt werden können, z. B. der ARO-Wert (= activity ratio, d. h. das Aktivitätsverhältnis der Bodenlösung, das sich im Gleichgewicht mit den sorbierten K-Ionen des Bodens befindet, BECKETT 1964, 1972), die BCKG (= die Pufferkapazität des Sediments bei ARO), die AKX (= Sorptionsstellen mit hoher K-Affinität). Mit Ausnahme von ARO sind sämtliche Regressionskoeffizienten der genannten Eigenschaften in der multiplen Regressionsgleichung positiv, d. h. je größer diese Werte sind, um so größer sind die Smektitmengen im Löß. Wählt man den Illit und den Vermiculit als Zielgröße, so erreicht keiner der beiden Minerale auch nur annähernd das Bestimmtheitsmaß von Smektit ( $B = 73,4\%$ ). Günstig für die Verwendung der sorptionschemischen Meßwerte im Hinblick auf die Interpretation der späteren Ergebnisse ist die Tatsache, daß mit Ausnahme der BCKG, die beim Vermiculit ein multiples B von 5 % erreicht, kein weiteres oben genanntes Merkmal nennenswert zur Bestimmung von Illit und Vermiculit beiträgt. Daraus kann geschlossen werden, daß die Smektite in mitteleuropäischen Lössen am besten durch nichtröntgenographische Methoden bestimmt werden können. Bei kleinen Vermiculit- und Kaolinitwerten bedeutet dies auch, daß Rückschlüsse auf die Illitmengen (im reziproken Verhältnis zum Smektit) gezogen werden können.

### III. Methodische Hinweise und Auswertung der Ergebnisse

Nach diesen Ergebnissen, die an Tonmineralen guter Kristallinität (symmetrisch ausgebildete Röntgenzacken) der niedersächsischen, hessischen und südbayerischen Landschaften ermittelt wurden, soll nun die Homogenität bzw. Heterogenität der Lössen mit folgenden Meßwerten geprüft werden (Analytik und Auswertung s. Hinweise auf die Literatur):

Nasse K-Fixierung, zwei Werte je nach der K-Vorlage 100 mg K/100 g Sediment, 1000 mg K/100 g Ton (NIEDERBUDE & MARCKWORDT 1964, NIEDERBUDE 1973). Die Fixierungswerte werden angegeben in mg K/100 g Sediment bzw. 100 g Ton. BCKG (NIEDERBUDE 1975), zwei Werte angegeben in  $\text{mval K}/100 \text{ g Sediment}/\text{M}^{1/2}$  und  $\text{mval K}/100 \text{ g Ton}/\text{M}^{1/2}$ . ARO ( $a\text{K}/\sqrt{a\text{Ca}} \text{M}^{1/2}$ ). Weitere Werte, die nach der Regressionsanalyse beim Löß nicht bedeutsam sind, dennoch mitbestimmt worden sind: Ka gegenüber  $\text{NH}_4$ -acetat austauschbares K in mg K/100 g Sediment bzw. mg K/100 g Ton und  $\text{K}_1$  in  $\text{mval K}/100 \text{ g Sediment}$  bzw. 100 g Ton = labiles Kalium, das bei gegebenem ARO nach Extrapolation auf  $\text{AR} = 0$  momentan austauschbar ist (NIEDERBUDE 1975). Diese Werte sind im Hinblick auf Tonminerale nicht interpretierbar. Hinzu kommen fünf Königsfraktionen (< 2, 2–20, 20–60, 60–200, 200–2000  $\mu\text{m}$ ). Von diesen insgesamt 14 Eigenschaften wurden 10 in die Diskriminanzfunktion aufgenommen. Nach den Ergebnissen (s. u.) war es zweckmäßig, die Variablenaufnahme hier abzubrechen. Die Bestimmung der AKX schien wegen des beträchtlich erhöhten Arbeitsaufwandes nicht vertretbar, da bei einer engen Beziehung zur BCKG ( $r = 0,85$ ) keine zusätzlichen Informationen erwartet werden konnten.

Bei Anwendung der multivariaten Diskriminanzanalyse werden von allen Merkmalen Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Nach einem spezifischen Auswahlverfahren werden nur diejenigen Merkmale in die Diskriminanzfunktion aufgenommen, die eine große Trenngüte haben (abhängig von Mittelwert und Standardabweichung). Durch die Umwandlung der ursprünglichen Eigenschaften (hier jeweils 10) in orthogonale kanonische Variable wird eine schärfere Trennung der Gruppen erreicht, als wenn jede Eigen-

schaft einzeln varianzanalytisch ausgewertet worden wäre. Diese Auswertungstechnik ist beim Lösen von Zuordnungsproblemen zu empfehlen. Die Grundlagen der Methodik können der Literatur entnommen werden (RAO 1952, COOLEY & LOHNES 1962, SEBESTYEN 1962). Dieses Verfahren wurde vereinzelt beim Lösen von bodenkundlichen Problemen angewendet (NORRIS 1970, WEBSTER & BURROUGH 1974, NIEDERBUDE & REINER 1975).

#### IV. Untersuchungsobjekte

Regional werden die Lössen an dieser Stelle durch die begrenzenden Profilorte bezeichnet. Das gesamte Probenmaterial wird in folgende Gebiete untergliedert: Die Mittelgebirgsvorlandzone mit den begrenzenden Orten Helmstedt und Rocklum im Osten sowie Sarstedt und Schliekum (südl. Hannover) im Westen; das Lößgebiet des Leinegrabens von Einbeck bis Rosdorf (südwestlich Göttingen); das Lößgebiet Nordhessen von Lohne b. Fritzlar bis Süd-Westfalen (Daseburg b. Warburg); Lößgebiete südlich von Gießen mit den Orten Lützellinden, Butzbach, Hungen. Die bayerischen Lößgebiete werden begrenzt durch die Profilorte Gundelfingen (nordöstlich von Ulm) bis Neuburg a. d. Donau, Landsberg/Lech, Schwaig b. Erding in Südwesten und Alburg b. Straubing und Koefering b. Regensburg im Nordosten. Nach den Ergebnissen der Diskriminanzanalyse wird auf spezielle Probenentnahmestelle gesondert eingegangen. Mehrere Profile sind in früheren Arbeiten beschrieben worden, z. B. Lohne, Niedervellmar, Hofgeismar (ROHDENBURG & MEYER 1966) Butzbach, Rockenberg, Lützellinden, Hungen mit Tuffband (SCHÖNHALS 1973), Ried b. Neuburg a. d. Donau (GUENTHER 1961) sowie mehrere Lößaufschlüsse (s. o.) in Südbayern (BRUNNACKER 1957 b).

#### V. Unterscheidung der Lössen nach Auswertung von 14 Eigenschaften mit Hilfe der Diskriminanzanalyse

Die ersten Trennversuche verfolgten das Ziel, die Lössen der vier außerhalb Bayerns liegenden Landschaften zu unterscheiden. Die Ergebnisse, die durch Streudiagramme der kanonischen Variablen anschaulich dargestellt werden können (z. B. Abb. 1 u. 2), waren bei den genannten Landschaften negativ, wenn man die Signifikanzschranke zur Trennung der Gruppenmittelwerte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,5 % ansetzt. Daher wird die Lage der Lößproben in den Diagrammen im einzelnen nicht dargestellt. Umgekehrt bedeutet dieser Befund, daß die Lössen nach Körnung und Tonmineraleigenschaften (und damit Tonmineralbeständen, s. Ausführungen in Kapitel II) nicht sehr stark variieren. Es können also mit diesen Lößseigenschaften keine Hinweise auf die Ausbläsungsgebiete gegeben werden. Als gemeinsames Merkmal ist wohl der im Vergleich zu den bayerischen Lössen weite Transportweg zu nennen. Dadurch wurde das Material gut gemischt. Da anzunehmen ist, daß das Lößmaterial, das sich über den heutigen C-Horizonten abgelagert hat und durch rezente Bodenbildung verändert wurde, ähnlich homogen war, sind die Voraussetzungen zum Studium von Tonmineralumwandlungen im Holozän in diesen Landschaften sehr günstig.

Alle diese Lössen wurden bei den weiteren Auswertungen zu einer Gruppe (N) zusammengefaßt und mit drei weiteren Gruppen aus Bayern gemeinsam ausgewertet (Abb. 1).

In dieser Abbildung wurden zehn von insgesamt vierzehn Lößseigenschaften mit der jeweils besseren Trennqualität in kanonische Variable umgewandelt. Die erste kanonische Variable erklärt 62 %, die zweite 32 % der Gesamtvariabilität. Von der Gesamtinformation der zehn Lößseigenschaften werden nur 6 % in der Abb. 1 nicht wiedergegeben. Die Signifikanzen für die Abstandsmaße der Gruppenmittelwerte (Abb. 1) in Tab. 1 lassen erkennen, daß die ausgegliederten Lößgruppen mit Ausnahme von R zu S sehr hoch- bzw. hochsignifikant gesichert sind.

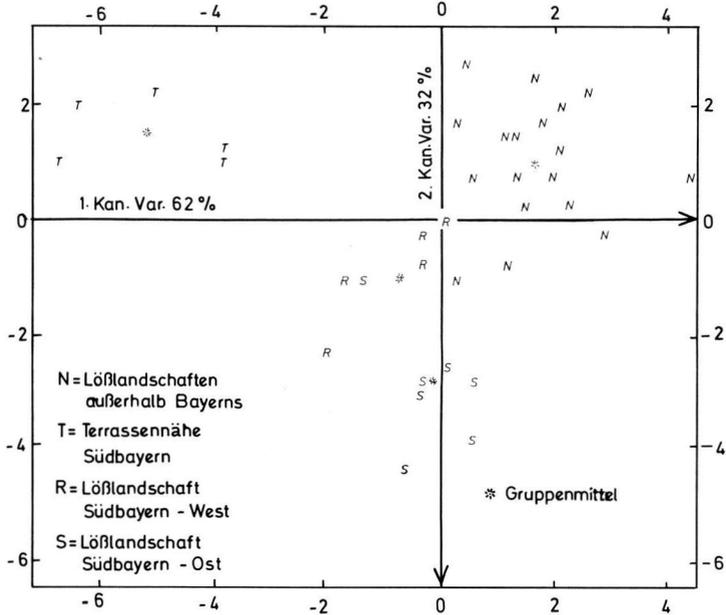


Abb. 1: Streuungsdiagramm der kanonischen Variablen nach Einteilung der Proben in 4 Lössgruppen. (N = Mittelgebirgsvorlandzone, niedersächsische und hessische Beckenlandschaften, R = Löss im Gebiet des Lechs und der Donau bis Neuburg, S = zentrale Lösslandschaft der Regensburger und Straubinger Gäu, T = Löss Südbayerns, die innerhalb der 1-km-Zone von der Terrassenkante entfernt liegen.

Tab. 1:

F-Werte für die Abstandsmaße der Gruppenmittelwerte von Lössen mehrerer Landschaften

a) Vier Gruppen

- N = Löss außerhalb Bayerns
- R = Löss Donau-Lechgebiet
- S = Löss östliches Südbayern
- T = Löss Südbayerns, Terrassenkante

$$V_1 = 10, V_2 = 22$$

b) Drei Gruppen

- N = Löss außerhalb Bayerns
- R = Löss Südbayerns, Kernlandschaft
- T = Löss Südbayerns, Terrassenkante

$$V_1 = 10, V_2 = 23$$

	N	R	S		N	R
R	3,65*			R	8,42**	
S	6,79**	1,96		T	10,55**	7,69**
T	12,71**	4,97**	9,00**			

\*\* sehr hochsignifikant 99,9 %  
 \* hochsignifikant 99,5 %

Es ist eine Ermessensfrage, wie die Signifikanzschranken der F-Verteilung zu setzen sind. Es ist hier ratsam, die Gruppenmittelwerte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,1 bis 0,5 % zu trennen, damit die Zuordnung des Probenmaterials zu den zuvor bestimmten Gruppen einwandfrei vollzogen worden ist. Bei der Aufnahme der einzelnen Eigenschaften kann der Mindest-F-Wert herabgesetzt werden (Tab. 2). Die zuletzt in die Diskriminanzfunktion aufgenommenen Eigenschaften tragen zwar unbedeutend zum Trennergebnis bei, der Leser wird aber über weitere Mittelwerte und Standardabweichungen informiert (über Grenzen der Variablenaufnahme s. NIEDERBUDDE & REINER 1975).

Aus dem Streuungsdiagramm der kanonischen Variablen in Abb. 1 ist ersichtlich, daß die Lössen im Donau-Lechbereich eine Mittelstellung zwischen den außerbayerischen und den Lössen im östlichen Südbayern einnehmen. Dies ist wohl im wesentlichen darin begründet, daß die K-Fixierung der Tonfraktion ( $< 2 \mu\text{m}$ ), die die Eigenschaft mit der besten Trenngüte bei den Lössen darstellt, in ähnlicher Reihenfolge geordnet ist ( $\bar{x}$  in mg/100 g Ton: N 283, R 388, S 453). Die BCKG verhält sich entsprechend:  $\bar{x}$  in mval/100 g Ton/M<sup>1/2</sup>: N 969, R 2866, S 3494. Von den Ergebnissen der multiplen Regressionsanalyse ist abzuleiten, daß die Lössen im östlichen Südbayern außerhalb der Terrassenrandzone smektitreicher als die im Donau-Lechgebiet sind. Diese wiederum enthalten mehr Smektit als die Lössen außerhalb Bayerns.

Wegen der geographischen Nachbarschaft von R und S und der deutlichen Abstufung zu N wurden die südbayerischen Lößgebiete R und S zu einer Gruppe (südbayerische Lößkernlandschaften) vereinigt (Abb. 2).

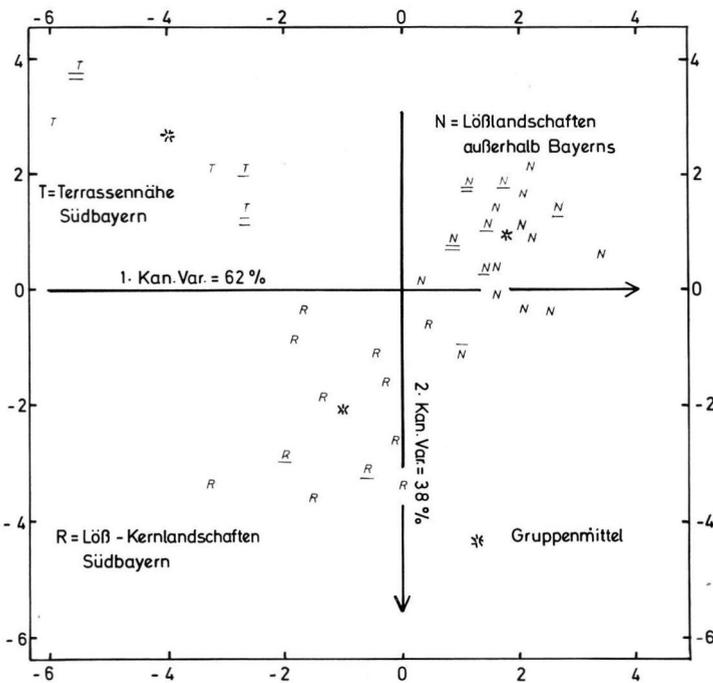


Abb. 2: Trennergebnis von Lössen aus drei Landschaften durch Diskriminanzanalyse. Erläuterungen s. Abb. 1, R. u. S sind hier zu einer Lößkernlandschaft vereinigt worden (= R).

Bei der relativ großen Streuung der Einzelwerte von R und T um den jeweiligen Mittelwert ist die Trennung zwischen Randlandschaften in der Nähe der Terrassenkante und Kernlandschaften Südbayerns sowie den Lössen außerhalb Bayerns statistisch sehr hoch signifikant gesichert (Tab. 1 b). Im Streuungsdiagramm sind nun 100 % der Trenninformation von 10 Lößeigenschaften (1. kanonische Variable 62 %, 2. kanonische Variable 38 %) wiedergegeben worden.

Die Lößeigenschaften mit Mittelwerten, Standardabweichungen und Signifikanzen der F-Werte sind in Tab. 2 geordnet nach der Bedeutsamkeit, die diese Eigenschaften für die Trennung der Lössen haben, zusammengestellt worden.

Tab. 2:

Reihenfolge der in die Diskriminanzfunktion aufgenommenen Lößeigenschaften zur Unterscheidung der drei Lößgruppen Mittelgebirgsvorlandzone + niedersächsische + hessische Beckenlandschaften (N), südbayerische Kernlandschaften (R) und Randlandschaften (T) mit Mittelwerten, Standardabweichungen und F-Werten.

Schritt-Nr.	Löß- eigenschaft	N		R		T		F-Werte	Signifikanz in % (p x 100)
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s		
1	Kfix Ton	283	65	447	112	288	60	14,92	0,1
2	20- 60 $\mu\text{m}$	49,3	5,9	43,3	11,1	28,7	7,5	21,09	0,1
3	200-2000 $\mu\text{m}$	0,6	1,1	1,1	1,5	5,2	4,6	6,03	1,0
4	Kfix Sed.	35,1	7,8	50,7	19,5	31,9	16,0	4,30	2,5
5	Ka Sed.	4,9	1,3	3,8	2,0	5,1	3,7	5,31	2,5
6	< 2 $\mu\text{m}$	15,2	3,9	20,6	4,6	19,8	11,8	0,90	—
7	Ka Ton	32,8	10,0	22,3	10,8	31,8	29,7	6,23	1,0
8	Kl Ton	1,42	0,7	2,22	1,4	1,48	0,5	1,22	—
9	Kl Sed.	0,21	0,1	0,46	0,2	0,25	0,1	1,45	—
10	BCKG Ton	969	492	2988	2238	812	239	0,43	—

Danach erweisen sich die K-Fixierung der Tonfraktion (< 2  $\mu\text{m}$ ) und der Grobschluff als die Lößeigenschaften mit großer Trenngüte. Die Trennung der südbayerischen Lößkernlandschaften von den Randlandschaften an den Terrassenkanten und den außerbayerischen Lößlandschaften ist wesentlich durch die hohen Fixierungswerte in den Lössen der Kernlandschaften bedingt. Nach den Ergebnissen der multiplen Regressionsanalyse kann vorausgesagt werden, daß diese Lössen größere Smektitmengen enthalten als die Lössen der beiden übrigen Landschaften. Die südbayerischen Lössen in der Nähe der Terrassenkante der großen Flüsse (ca. 1 km Randzone) und die Lössen außerhalb Bayerns werden ungefähr gleich große Smektitmengen enthalten und damit illitreicher sein als die der südbayerischen Kernlandschaften.

Die Trennung der Lößgruppe Mittelgebirgsvorlandzone, niedersächsische und hessische Beckenlandschaften von den südbayerischen Lößrandlandschaften ist körnungsspezifisch und nicht tonmineralogisch zu erklären. Die mit dem 2. Schritt in die Diskriminanzfunktion eingeführten Körnungswerte geben dies ebenso zu erkennen, wie die nicht eingeführte Feinsandfraktion (Gruppe N  $\bar{x} = 11,9\%$ ; Gruppe T  $\bar{x} = 20,7\%$ ). Die Lössen der Randlandschaften sind bei relativ hohen Tongehalten (allerdings mit großer Standardabweichung, s. Schritt 6) grobschluffärmer und sandreicher als die der übrigen Landschaften. Die anderen in die Diskriminanzfunktion eingeführten Werte stützen die zu Kfix Ton gegebenen tonmineralogischen Erläuterungen. Dies trifft insbesondere für die BCKG Ton zu. Der Wert für die Lößgruppe R mit  $\bar{x}$  von rund 3000 mvalK/100 g Ton/M<sup>1/2</sup> spricht ebenfalls für relativ viel Smektit, wenn man die Parallelwerte der übrigen Landschaften betrachtet. Die großen Standardabweichungen bei BCKG und abgeschwächt bei Kfix Ton sind wohl eine Ursache für die Streuung der Einzelwerte um die Gruppenmittelwerte in Abb. 2. Die besonders große Standardabweichung von BCKG Ton innerhalb der südbayerischen Kernlandschaft (R) von ca. 75 % gibt zu erkennen, daß die sorptionschemischen Eigenschaften der Smektite sehr stark variieren. Vermutlich wechseln die K-Ca-Puffer-eigenschaften der Silikatschichten montmorillonitischen Typs (kleine Werte) mit denen des beidellitischen Typs (große Werte) in den Lössen dieser Landschaft je nach Ausblasungsgebiet sehr stark. Bei Tonmineralen, die aus Molasse ausgeblasen wurden, dürfte der zuerst genannte Typ, bei denen, die aus Schotterflächen ausgeblasen wurden, der zuletzt genannte Typ dominieren.

## VI. Diskussion

Die Unterscheidung von Lössen zwischen mehreren Landschaften und innerhalb einer Landschaft kann unter verschiedenen Aspekten bedeutsam sein.

1. Vergleich von Paläoklimaprovinzen mit rezenten (BRUNNACKER 1956, FINK 1956, 1964; SCHÖNHALS 1959). Hierbei ist zu beachten, daß die Profilmorphologie fossiler Böden erst dann gesicherte Auskunft über das Klima geben kann, wenn die Eigenschaften der Lössen, die während der verschiedenen Kaltzeiten angeweht wurden, konstant sind, da Tongehalte, Tonmineraleigenschaften und Mineralbestände der Lössen ebenfalls Art, Ausmaß und Geschwindigkeiten der Bodenentwicklung bestimmen. Wenn das nicht möglich ist, sollten Rekonstruktionen von Paläoklimaten pollenanalytischen Methoden überlassen werden (FRENZEL 1964, 1967).

2. Bestimmung der ökologisch wirksamen Eigenschaften in Landschaften, in denen holozäne Böden und ehemals fossile Böden, die als Reliktböden im Holozän überprägt worden sind, heute als Oberflächenböden nebeneinander auftreten. So müssen Unterschiede in Lößbodeneigenschaften zwischen Landschaften mit einer weitgehend geschlossenen Jungwürmlößdecke (Parabraunerde-, Schwarzerde-Parabraunerde-, Parabraunerde-Pseudogley- und Schwarzerde-Pseudogley-Bodenlandschaften) im östlichen Südbayern und Lößlehmhügellandschaften im westlichen Südbayern erklärt werden. In diesen durch Solifluktion geprägten Hügellandschaften kann zwischen einer geringmächtigen (entkalkten?) Bodendecke evtl. aus Jungwürmlöß und den älteren Lößlehm mit Feldstudien kaum unterschieden werden. Hier könnte die Tonmineralogie zusammen mit der Diskriminanzanalyse eine Antwort auf die Frage geben, ob Oberflächenböden ohne C-Horizonte aus Jungwürmlössen entstanden oder ob es im Holozän veränderte Reliktböden sind. Dies wäre dann möglich, wenn die pedogene Tonmineralumwandlung im Holozän anders verlaufen wäre als in den pleistozänen Warmzeiten. Aus praktischen Gründen liegt es nahe, die Gesetzmäßigkeiten der Tonmineralumwandlungen in holozänen Böden zunächst zu bestimmen. Nach den bisherigen Ergebnissen sind in gleichen Klimagebieten die sorptionschemischen Eigenschaften der Sedimente entscheidend für das Ausmaß der Tonmineralumwandlungen in holozänen Böden (NIEDERBUDE 1975, 1976). Daher ist es besonders wichtig, die Tonmineraleigenschaften der Lössen zu bestimmen. Es stellt sich somit die Frage nach der Variabilität der Tonmineraleigenschaften der Jungwürmlössen.

3. Vertikale und regionalgeographische Tonmineralhomogenität bzw. -heterogenität der Jungwürmlössen. Die Wahrscheinlichkeit, Änderungen von Tonmineralbeständen als gesetzmäßige Tonmineralumwandlungen in holozänen Lößböden zu bestimmen, ist um so größer, je homogener die Eigenschaften der Tonminerale in den Lössen des Jungwürms sind. Die Ergebnisse von Abb. 1 u. 2 geben zu erkennen, daß die Lössen der Mittelgebirgs-vorlandzone, der niedersächsischen und hessischen Beckenlandschaften dem wünschenswerten Anspruch auf Homogenität im Hinblick auf die gemessenen Eigenschaften genügen. Es ist also zu erwarten, daß hier relativ kleine Differenzen zwischen Solum und Sediment bei den Tonmineraleigenschaften statistisch gesichert werden können (NIEDERBUDE 1975).

Die Jungwürmlössen derjenigen Profile, die einen „Paudorf-Boden“ (SCHÖNHALS et al. 1964) als Zeitmarke enthielten (N), ordnen sich mit 100% Wahrscheinlichkeit um den Gruppenmittelwert. Eine weitere Unterscheidung von Lössen des Jungwürms dieser Landschaften, die bei alternierender Materialzufuhr denkbar wäre, scheint nach den 14 gemessenen Lößseigenschaften und daher (s. Regressionsanalyse) nach den Tonmineraleigenschaften nicht notwendig. Die durch das Eltviller (Kärlicher) Tuffband getrennten Lössen (N) lassen sich ebenso der Gruppe zuordnen wie die meisten anderen Lössen dieser Landschaften, die keine Leithorizonte besaßen. Dieser Befund ist für Sediment-Solumvergleiche besonders bedeutsam, denn es kann außer der regionalen Homogenität auch eine vertikale mit

praktisch 100 % Wahrscheinlichkeit vorausgesagt werden, d. h., die vom Sediment vererbten und pedogen z. T. umgebildeten Tonminerale der holozänen Böden werden zu Beginn der Bodenentwicklung praktisch die gleichen Eigenschaften wie die der heutigen C-Horizonte gehabt haben.

Von dieser für die Lössе der genannten Landschaften (N) gültigen Regel gibt es nur zwei Ausnahmen (Tab. 3). Hierzu gehört der Löß des bekannten Feuchtschwarzerde-Standardprofils Asel ( $\bar{N}$ ), der mit einer Wahrscheinlichkeit von 39 % der südbayerischen Lößkernlandschaft zugeordnet wurde. Dieser Löß ist also smektitreicher als dem Mittel der Gruppe entspricht. Bemerkenswert ist außerdem die Tatsache, daß mit den durch die Koordinaten 1,487/0,344; 2,040/-0,298 und 2,522/-0,334 (x jeweils zuerst genannt) festgelegten Punkte (N) Lössе von Feuchtschwarzerden der Mittelgebirgsvorlandzone sind. Aus den Koordinaten ist zu ersehen, daß diese Lößherkünfte den smektitreichen Lössen der südbayerischen Kernlandschaft am nächsten liegen.

Tab. 3:

Lößproben mit einer Zuordnungswahrscheinlichkeit von <99,5 % zu ihren Gruppenmittelwerten\*)

Gruppe		N		R	
lfd. Nr.	Ort	Zuordnung	lfd. Nr.	Ort	Zuordnung
1	Asel	61 % zu N 39 % zu R	3	Ried C 1/ Donau	99 % zu R 1 % zu N
2	Butzbach	89 % zu N 11 % zu R	4	Ried C 2/ Donau	60 % zu N 40 % zu R
			5	Holzkirchen b. Rain	98 % zu R 2 % zu N
			6	Adlkofen b. Landshut	98 % zu R 1 % zu N 1 % zu T

Koordinaten der laufenden Nr. (lfd. Nr.) im Streuungsdiagramm von Abb. 2

lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6
x	1,004	0,369	-0,249	0,480	-0,454	-1,626
y	-1,158	0,060	-1,713	-0,645	-1,194	-0,334

\*) Alle übrigen Proben wurden mit einer Wahrscheinlichkeit von 100 % den eigenen Gruppenmitteln zugeordnet.

Bei der Lößgruppe südbayerische Kernlandschaft sind mehr Proben (8 von 12) mit praktisch 100 % Wahrscheinlichkeit der eigenen Gruppe nicht zugeordnet worden als bei der zuvor besprochenen Gruppe N (2 von insgesamt 18). Mit Ausnahme von Ried, C<sub>2</sub>-Horizont, ist der Prozentsatz des nicht zugeordneten Anteils aber sehr gering (Tab. 3). Die nicht mit 100 % Wahrscheinlichkeit zugeordneten Proben, die in Abb. 2 in der Nähe des Koordinatenschnittpunktes liegen, sind durch die in Tab. 3 genannten Koordinatenpunkte festgelegt worden.

Problematischer als die nicht mit 100 % Wahrscheinlichkeit vollzogene Trennung der vier in Tab. 3 genannten Lössе ist die große Streuung innerhalb der zur Kernlandschaft zusammengefaßten Lößgruppe (R). Inwieweit kleinere Lößbezirke zur Lösung weiterer Probleme (z. B. Tonmineralumwandlung im Holozän) abgegrenzt werden müßten, hängt auch vom Ausmaß der Tonmineralumwandlungen ab. Ist es relativ groß, dann könnte

eine Variabilität der Tonmineraleigenschaften, wie sie in der südbayerischen Kernlandschaft ermittelt wurde, konzediert werden, anderenfalls müßten bei Vergrößerung des Probenmaterials weitere Gruppierungskriterien gefunden werden.

Nach unseren bisherigen Ergebnissen ist die Illitisierung der Smekтите, die als dominierender Tonmineralumwandlungsprozeß in holozänen Lößböden bei pH-Werten zwischen 5 und 7 zu gelten hat (NIEDERBUDE 1975), in den südbayerischen Lößgebieten wegen der K-spezifischen Eigenschaften der Smekтите weiter fortgeschritten als im mitteldeutschen Lößgebiet. Dennoch traten bei den südbayerischen Landschaften große Schwierigkeiten auf, um diese Mineralumwandlung als gesetzmäßigen Prozeß zu bestimmen. Es wurde dabei nicht zwischen Kern- und Randlandschaften unterschieden. Es bleibt zu überprüfen, ob die hier vorgenommene Aufgliederung der Lössе zur Erzielung einer größeren Sicherheit ausreicht. Wenn auch die Grenze bei 1 km von der Terrassenkante etwas willkürlich erscheint, so gibt die statistisch gesicherte Trennung bei sämtlichen Trennversuchen zu erkennen, daß tonmineralogische Befunde Hinweise auf Auswehungsflächen und -entfernungen zu geben vermögen; denn die Trennung zwischen Rand- und Kernlandschaft wird entscheidend durch die Höhe der K-Fixierung bestimmt (Tab. 2). Dies ist dadurch zu erklären, daß die Fraktion  $< 2 \mu\text{m}$  in der Nähe der Ausblasungsgebiete mehr Grobton enthält als die Tonfraktion in weiter entfernt liegenden Gebieten. Der Grobton von Lössen (auch Geschiebemergel, NIEDERBUDE et al. 1969, Terrassenschotter, WILKE 1975) ist illitreicher und smektitärmer als der Feinton, so daß die weiter entfernt vom Ausblasungsgebiet deponierten Lössе mehr Feinton und daher mehr Smekтите (= höhere K-Fixierung/100 g Ton) enthalten. Diese Korn- und damit Mineralselektion ist vermutlich so typisch, daß sie auch innerhalb der 1-km-Zone zur Unterscheidung dienen kann. Als Hinweis mag die Lage der Punkte T im Streuungsdiagramm (Abb. 2) dienen. Beide Lössе sind von der gleichen Terrassenkante (bei Erding) entnommen. Der durch die Koordinaten (xy) -5,566/3,819 festgelegte Löß liegt unmittelbar an der Terrassenkante, der durch -2,633/1,377 festgelegte Löß 400 m von der Terrassenkante entfernt.

Hieraus und aus der statistisch gesicherten Trennung zwischen Rand- und Kernlandschaft ist zu schließen, daß die geographische Lage des Lösses zum Ausblasungsgebiet für die Tonmineralhomogenität entscheidend ist. Die für die Bestimmung von Tonmineralumwandlungen besonders wichtig erscheinende vertikale Homogenität der Lößprofile ist im südbayerischen Lößgebiet wohl bedeutend größer als die regionale. Z. B. ist der in Tab. 3 genannte Löß Ried C<sub>2</sub> dem C<sub>1</sub> des gleichen Profils im Streuungsdiagramm (Abb. 2) unmittelbar benachbart. Die Lössе in Profilen mit fossilen Leithorizonten (T bzw. R, also Würm II nach BRUNNACKER 1957b) sind entsprechend ihrer Lage auf beide Gruppen verteilt.

Die multivariate Diskriminanzanalyse besitzt gegenüber der konventionellen Mittelwertberechnung den Vorteil, daß die bestimmten Eigenschaften nach der Bedeutung eingereiht werden, die sie für die Unterscheidung der zuvor bestimmten Gruppen haben. Sie sollte bevorzugt dann angewendet werden, wenn Geländeerfahrungen und nicht exakt definierbare Ansichten zwar methodisch gestützt werden können, einzelne Eigenschaften isoliert aber nicht interpretierbar sind. So ist dieses Auswertungsverfahren von NORRIS & LOVEDAY (1971) unter dem Gesichtspunkt von Entscheidungshilfen für Bodenkartierer abgehandelt worden. WEBSTER & BURROUGH (1974) überprüften dessen Nützlichkeit in mehreren Landschaften, deren Böden unterschiedlich erforscht waren. Die Diskriminanzanalyse sollte insbesondere auch dann angewendet werden, wenn es gilt, landschaftsrepräsentative Proben herauszufinden. Dies ist, wenn die Beziehungen zwischen einfachen, aber mineralspezifischen Methoden und Tonmineralbeständen bekannt sind, durch die Bestimmung einfacher Merkmale (z. B. K-Fixierung, Pufferkapazitäten) möglich. Die Minerale

sind dann in dem Probenmaterial zu bestimmen, dessen Lage im Streudiagramm in der Nähe des landschaftsspezifischen Gruppenmittelwertes festgelegt ist.

D a n k : Mehrere Lößprofile habe ich auf Exkursionen mit Prof. Dr. B. M e y e r , Göttingen, Prof. Dr. H. R o h d e n b u r g , Gießen, und Prof. Dr. E. S c h ö n h a l s , Gießen, kennengelernt. Mein Dank gilt allen für die Information und die zusätzlichen Erläuterungen. Herrn Dipl.-Ing. agr. M. S c h ö n und Herrn J. S t a n d h a f t danke ich für die Hilfe bei der Analyse und EDV.

### Schriftenverzeichnis

- BECKETT, P. H. T. (1964): The immediate Q/I-Relations of labile potassium in the soil. — *J. Soil Sci.*, **15**: 9—23; London.
- (1972): Critical cation activity ratios. — *Advances in Agronomy*, **24**: 379—412; New York.
- BRUNNACKER, K. (1956): Regionale Bodendifferenzierung während der Würmeiszeit. — *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **7**: 43—48; Öhringen/Württ.
- (1957a): Bemerkungen zur Feinstgliederung und zum Kalkgehalt des Lösses. — *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **8**: 107—115; Öhringen/Württ.
- (1957b): Die Geschichte der Böden im jüngeren Pleistozän in Bayern. — *Geologica Bavarica*, **34**: 1—95; München.
- COOLEY, W. W. & LOHNES, P. R. (1962): *Multivariate procedures for the behavioural sciences*. — John Wiley, New York.
- FINK, J. (1956): Zur Korrelation der Terrassen und Lössen in Österreich. — *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **7**: 49—77; Öhringen/Württ.
- (1964): Die Subkommission für Lößstratigraphie der Internationalen Quartärvereinigung. — *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **15**: 229—235, Öhringen/Württ.
- FRENZEL, B. (1964): Zur Pollenanalyse von Lössen. — *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **15**: 5—39; Öhringen/Württ.
- (1967): *Klimaschwankungen des Eiszeitalters*. — Vieweg u. Sohn, Braunschweig.
- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. (1970): *Sedimente und Sedimentgesteine*. — Schweizerbart'sche Verlagsb.: 141 ff.; Stuttgart.
- GUENTHER, E. W. (1961): *Sedimentpetrographische Untersuchung von Lössen*. — *Fundamenta B*, **1**: 1—91; Köln u. Graz.
- HÄDRICH, F. (1970): Zur Anwendbarkeit einiger bodenkundlicher Untersuchungsmethoden in der paläopedologischen und quartär-geologischen Forschung unter besonderer Berücksichtigung der Untersuchung von Proben aus Lößaufschlüssen. — *Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. B.*, **60**: 103—137; Freiburg.
- (1975): Zur Methodik der Lößdifferenzierung auf der Grundlage der Carbonatverteilung. — *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **26**: 95—117; Öhringen/Württ.
- LIEBEROTH, I. (1963): Lößsedimentation und Bodenbildung während des Pleistozäns in Sachsen. — *Geol.*, **12**: 149—187; Berlin.
- NIEDERBUDDE, E. A. (1972): Changes in K/Ca exchange properties of clay in loess-derived soils in soil formation. — 9th IPI Colloquium Landshut: 103—107; Inter. Kali-Institut, Bern.
- (1973): Beziehungen zwischen K-Fixierungsvermögen und Dreischicht-Tonmineralen in Bodenprofilen aus Löß. — *Z. Pflanzenern. u. Bodenkd.*, **135**: 196—208; Weinh./Bergstr.
- (1975): Veränderungen von Dreischicht-Tonmineralen durch natives K in holozänen Lößböden Mitteldeutschlands und Niederbayerns. — *Z. Pflanzenern. u. Bodenkd.*: 217—234; Weinh./Bergstr.
- (1976): Umwandlung von Dreischichtsilikaten unter K-Abgabe und K-Aufnahme. — *Z. Pflanzenern. u. Bodenkd.*: 57—71; Weinheim/Bergstr.
- & MARCKWORDT, U. (1964): Versuche zur Abgrenzung von fixiertem gegen austauschbares Kalium mit Hilfe von  $^{86}\text{Rb}$  und K. — *Scheffer-Festschrift*: 41—58; Institut für Bodenkunde, Göttingen.
- , SCHWARZMANN, A. & SCHWERTMANN, U. (1969): Tonmineralbedingter K-Haushalt einer gedüngten Parabraunerde aus Würm-Geschiebemergel. — *Z. Pflanzenern. u. Bodenkd.*, **124**: 212—224; Weinheim/Bergstraße.
- & REINER, L. (1975): Diskriminanzanalytische Trennung von Löß-Parabraunerden nach Bodenhorizonten und Herkunftsorten mittels Tonmineraleigenschaften. — *Z. Acker- und Pflanzenbau*, **141**: 85—101; Berlin.

- NORRIS, J. M. (1970): Multivariate methods in the study of soils. — *Soils and Fertilizers*, **33**: 313—318; Harpenden.
- & LOVEDAY, J. (1971): The application of multivariate analyses to soil studies. — *J. Soil Sci.*, **22**: 395—400; London.
- RAO, C. R. (1952): *Advanced statistical methods in biometric research*. — John Wiley, New York.
- ROHDENBURG, H. & MEYER, B. (1966): Zur Feinstratigraphie und Paläopedologie des Jungpleistozäns nach Untersuchungen an südniedersächsischen und nordhessischen Lößprofilen. — *Mitt. dt. bodenkdl. Ges.*, **5**: 1—135; Göttingen.
- SEBESTYEN, G. S. (1962): *Decision making processes in pattern recognition*. — Macmillan, New York.
- SCHÖNHALS, E. (1952): Gesetzmäßige Beziehungen zwischen Körnung und Kalkgehalt des Lösses und die Erkennung von Verwitterungszonen mit Hilfe der typischen Streubereiche. — *Geol. Jb.*, **66**: 291—304; Hannover.
- (1953): Gesetzmäßigkeiten im Feinaufbau von Talrandlössen mit Bemerkungen über die Entstehung des Lösses. — *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **3**: 19—36; Öhringen/Württ.
- (1959): Klima, äolische Sedimentation und Bodenbildung während der Würmeiszeit in Hessen. — *Z. dt. geol. Ges.*, **111**: 251—253, Stuttgart.
- , ROHDENBURG, H. & SEMMEL, A. (1964): Ergebnisse neuerer Untersuchungen zur Würmlößgliederung in Hessen. — *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **15**: 199—206; Öhringen/Württ.
- (1973): *Exkursionsführer der Jahrestagung 1973 in Gießen*. — *Mitt. dt. bodenkdl. Ges.*, **17**: 1—257; Göttingen.
- WEBSTER, R. & BURROUGH, P. A. (1974): Multiple discriminant analysis in soil survey. — *J. Soil Sci.*, **25**: 120—134; London.
- WEIR, A. H. & RAYNER, J. H. (1974): An interstratified illite-smectite from Denchworth series soil in weathered Oxford clay. — *Clay Minerals*, **10**: 173—187; Oxford-London.
- WILKE, B. M. (1975): Bodenchronosequenzen aus Lockersedimenten der Lechterrassen. — *Z. Pflanzenern. u. Bodenkde.*: 153—171; Weinheim/Bergstr.

Manuskript eingeg. 16. 12. 1976.