

Untersuchungen über die Festigkeitseigenschaften des Lösses an Beispielen in Österreich

Harald Gorhan

23 Abbildungen

Anschrift:

Dr. Harald Gorhan
Geotest AG Bern
Birkenstraße 15
3052 Zollikofen, Schweiz

Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.	18. Bd.	1967	S.401-428	Wien, Juli 1968
-------------------------------	---------	------	-----------	-----------------

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung, Summary, Résumé	403
1. EINFÜHRUNG	404
2. LITERATURSTUDIUM UND PROBLEMSTELLUNG	404
3. ALLGEMEINER TEIL	405
3. 1 Die Verbreitung des Lösses in Österreich	405
3. 2 Die Entstehung des Lösses	406
3. 3 Die Gliederung des Lösses in Österreich	406
4. SPEZIELLER TEIL	407
4. 1 Angabe der Probeentnahmestellen	408
4. 2 Bodenmechanische Untersuchungen	408
4. 21 Bestimmung der Kornverteilung	408
4. 22 Bestimmung der Konsistenzgrenzen (Atterberg'sche Grenzen)	409
4. 23 Bestimmung des Raumgewichtes und des Porenvolumens .	410
4. 24 Bestimmung der „Proctordichte“ und des „günstigen“ Wassergehaltes	410
4. 25 Bestimmung der Druckfestigkeit bei unbehinderter seitlicher Ausdehnung	411
4. 26 Druckversuche bei behinderter seitlicher Ausdehnung . . .	412
4. 27 Bestimmung der Scherfestigkeit	412
4. 3 Sedimentpetrographische Untersuchungen	413
4. 31 Bestimmung der Permeabilität	413
4. 32 Bestimmung des Kalkgehaltes	414
4. 33 Röntgen-Diffraktometeruntersuchungen	415
4. 34 Differential-Thermo-Analysen	416
4. 35 Dünnschliffuntersuchungen	416
4. 4 Zusammenfassung der Ergebnisse der bodenmechanischen und sedimentpetrographischen Untersuchungen	419
4. 5 Schlußfolgerungen aus den bodenmechanischen und sediment- petrographischen Untersuchungen	420
5. LITERATURVERZEICHNIS	426

Zusammenfassung

Die Festigkeitseigenschaften der in dieser Arbeit untersuchten „trockenen“, „echten“, „feuchten“ Lösses, Lößproben aus Ca-Horizonten und Verlehmungszonen (d. h. B-Horizonten fossiler Braunerden und vergleyter Parabraunerden) sowie von Staublehmen haben ihre Ursachen in der geologischen und pedologischen Entwicklungsgeschichte dieser Sedimente.

Die Verkittung bei den „trockenen“ und „echten“ Lössen erfolgte im Verlauf ihrer Diagenese mittels winzigster sekundär gebildeter Kalzitkriställchen (in den Ca-Horizonten wird dieser Prozeß durch den bekannten pedologischen Vorgang einer besonders starken Kalkanreicherung vervielfacht), die bei den beiden erstgenannten Lößtypen in Verbindung mit einer hauptsächlich nur **scheinbaren** Kohäsion zur typischen Löß-Festigkeit führen.

Durch Silikatverwitterung entstand bei den „feuchten“ Lössen, den Staublehmen und Verlehmungshorizonten sekundäre Tonsubstanz, die dann großen Einfluß auf die bodenmechanischen Eigenschaften dieser Sedimente nimmt.

Die Fähigkeit des „echten“ Lösses, fast senkrechte Absonderungsflächen zu bilden, wird in dieser Arbeit mit dem Einfluß des Wassers in Zusammenhang mit der für den „echten“ Löß typischen Gefügeausbildung zu erklären versucht.

Summary

The properties of strength of the “dry”, “typical”, “humid” Loess, samples from Ca-layers and loamy zones (B-zones of fossil brown forest soils and graybrown-podsolic soils) as well as dust loams depend on the geological and pedological genesis of these sediments.

The concretion of the “dry” and “typical” Loess takes place by very small secondary calcite crystals grown during their diagenesis (in the Ca-zones there is an essential increase of concretion by calcite). In connection with a mainly **fictitious** cohesion these two types of Loess owe their typical strength to the secondary calcite crystals.

As a result of a special decomposition of the silicates secondary clay was produced having an important effect on the strength properties of the above mentioned sediments.

The characteristic peculiarity of the Loess to form nearly vertical walls can be explained by the influence of water in connection with the typical structure of the Loess.

Résumé

Les propriétés mécaniques des „véritables“ loess, des loess „secs“ et „humides“, des échantillons de loess de l'horizon „Ca“ et des zones limoneuses (c'est-à-dire l'horizon „B“ des sols bruns fossiles et sols bruns lessivés) ainsi que des limons éoliens („Staublehme“) ont été étudiées dans ce travail. Il faut rechercher leur origine dans l'histoire géologique et pédologique de ces sédiments.

La cimentation des „véritables“ loess et des loess „secs“ se produit au cours de leur diagenèse par la formation de très petits cristaux secondaires de calcite qui donnent à ces loess, principalement sous l'effet d'une cohésion qui n'est qu'**apparente**, leur fermeté typique.

Dans certains cas l'altération des silicates produit dans les loess „humides“ les limons éoliens et les horizons limoneux des substances argileuses secondaires qui ont une grande influence sur les caractéristiques mécaniques de ces sédiments.

Dans ce travail on a essayé d'expliquer la faculté des loess de s'ébouler en laissant des falaises presque verticales en analysant l'influence de l'eau en relation avec les textures typiques des loess.

1. EINFÜHRUNG

In dieser Arbeit soll untersucht werden, inwieweit sich der von J. FINK in jüngerer Zeit nach geologisch-pedologischen Gesichtspunkten getroffenen Lößtypeneinteilung auch deutliche Eigenheiten in den bodenmechanischen Verhalten zuordnen lassen.

An Hand bodenmechanischer Untersuchungen wurden also erst die Festigkeitseigenschaften der verschiedenen Lößausbildungen nach J. FINK geprüft und miteinander verglichen. Mit Hilfe mikroskopischer, chemischer und röntgenographischer Untersuchungsmethoden versuchte ich dann eine Erklärung der Ursachen dieser verschiedenen Festigkeitsverhalten zu geben. Um Unterschiede deutlicher herausarbeiten zu können, kamen auch Proben aus fossilen Verwitterungshorizonten (d. h. B-Horizonten fossiler Braun- und Parabraunerden) und aus Kalkanreicherungs-horizonten (sogenannten Ca-Horizonten) zur näheren Untersuchung.

Im Verlaufe der Arbeit erwies es sich als immer notwendiger, die Forschungsergebnisse der an der Fragestellung beteiligten Nachbarwissenschaften miteinzubeziehen, um zu einer Lösung zu gelangen. In diesem Sinne soll auch diese Arbeit erst ein Versuch sein und als Anregung bei ähnlich gearteten Fragestellungen dienen.

2. LITERATURSTUDIUM UND PROBLEMSTELLUNG

Über die Themen: Entstehung, Alter und Eigenschaften des Lösses gibt es heute eine nahezu unübersehbar gewordene Literatur (einige wenige ausgewählte Angaben finden sich im Anhang).

Schon etwas seltener sind Publikationen, die von einer Beschreibung rein äußerlicher Merkmale abgehen und sich mit exakteren Detailuntersuchungen beschäftigen. Als noch immer wichtigste Veröffentlichung in dieser Hinsicht darf hier „Der Löß und seine geotechnischen Eigenschaften“ von A. SCHEIDIG gelten.

Ein häufiges Untersuchungsgebiet stellten weiters Korngrößen- und Kalkgehaltsanalysen dar, mit deren Hilfe man Auskünfte über Alter und Entstehung dieses Sedimentes zu erhalten versuchte (E. W. GUENTHER, H. HOLZER, L. KÖLBL, E. SCHÖNHALS, H. WIESENER u. a.).

Von der pedologischen Seite kommend, untersuchte W. E. KUBIENA die verschiedenen Gefügetypen von Lockerböden, unter anderem auch von Lößböden. Besonders die in jüngster Zeit von Herrn Prof. H. J. ALTEMÜLLER auf einen hohen Entwicklungsstand gebrachte Härtungs- und Dünnschlifftechnik mittels des Kunstharzes Vestopal H erleichterte eine saubere Mikroskopiertechnik.

Neue Impulse zu Festigkeitsuntersuchungen des Lösses erfolgten nun durch die nach geologisch-pedologischen Gesichtspunkten geführte Aufgliederung dieses Sedimentes (oder Bodens) nach J. FINK; bei den früheren Autoren, die sich mit Festigkeitsfragen beschäftigten, begnügte man sich eigentlich stets mit einer groben Unterteilung in Löß und Lößlehm.

Die eigentümliche Festigkeit beim Löß wird schon seit langer Zeit von den Lößforschern auf eine Verkittung durch kalkige Substanzen zurückgeführt. Bei der Durchfeuchtung mit Wasser soll nun diese Festigkeit zwar bestehen bleiben, aber bei Überflutung infolge Auflösung des Kalkes dann verloren gehen. Von A. SCHEIDIG wird hier ausdrücklich von einer „echten“ Kohäsion beim Löß gesprochen. Nach K. TERZAGHI kann man aber nur dann von einer echten Kohäsion sprechen, wenn diese auch bei völliger Überflutung mit Wasser erhalten bleibt (1961). Dazu kommt noch die Beobachtung, daß eine in Wasser getauchte Lößprobe **sofort** ihre Festigkeit einbüßt und auseinanderfließt, also an eine so plötzliche Auflösung der CaCO_3 -Verkittung wahrscheinlich nicht gedacht werden kann (der Versuch kann auch in chemisch reinem Wasser oder stark kalkgesättigtem Wasser durchgeführt werden). Eine Tabelle über die Löslichkeit des Kalziumkarbonates findet sich bei F. SCHEFFER und P. SCHACHTSCHABEL (1956). Dieses mehr oder weniger plötzliche Einbrechen des Lößgefüges wurde auch immer wieder bei Fundierungen auf Löß beobachtet, sobald eine starke Durchtränkung des Untergrundes infolge Wasserrohrbrüche stattfand. Diese Erscheinungen sollten neben der Frage, welcher Natur nun wirklich der Zusammenhalt des Lösses sei, in dieser Arbeit näher untersucht werden. Untersucht sollte aber auch die Eigenheit des Lösses werden, stets senkrechte Absonderungsflächen zu bilden. A. KIESLINGER erklärte diese senkrechten Absonderungen zum Beispiel durch Spannungsvorgänge (1962).

3. ALLGEMEINER TEIL

3.1. Die Verbreitung des Lösses in Österreich

Löß, Staublehm und untergeordnet Flugsand bedecken ungefähr $\frac{1}{5}$ der Gesamtfläche Österreichs. Die Südgrenze der Lößverbreitung stellen die nördlichen Kalkalpen, die Nordgrenze die Böhmisches Masse dar. Weiter gegen den Osten zu wird die Verbreitungszone des Lösses etwas schmaler und erreicht dann östlich des Manhartsberges im Weinviertel und im Wiener Becken seine größte Verbreitung in seiner typischsten Ausprägung. Die Staublehme finden sich im südlichen Burgenland und in der Oststeiermark.

Die Mächtigkeit des Lösses ist sehr verschieden, dürfte aber selten eine Dicke von 15 bis 20 m übersteigen. Täuschungen sind hier sehr leicht möglich, da der Löß Hügel und kleine Bergrücken — ähnlich einer Schneedecke — umhüllt und so eine größere Mächtigkeit vortäuschen kann.

3.2 Die Entstehung des Lösses

Im allgemeinen hat sich heute die Theorie einer äolischen Entstehungsgeschichte des Lösses nach F. v. RICHTHOFEN (1912) durchgesetzt. Natürlich gibt es auch Lösses, die im Wasser transportiert, im Wasser abgelagert wurden, also sekundäre Umlagerungen erfahren haben (man spricht dann von einem Schwemmlöß, Sumpf- und Seelöß, Gehängelöß etc.). Der Großteil des Lösses dürfte aber doch mit Hilfe des Windes zu seiner endgültigen Ablagerung gekommen sein.

Die einst vieldiskutierte Frage, ob der Löß Mitteleuropas interglazialen oder glazialen Alters sei, kann längst im zweiten Sinn als beantwortet gelten.

Der Löß ist eigentlich nicht als Gestein, sondern als ein fossiler Boden, in einem semiariden Klima entstanden, zu denken (F. MÜNICHDORFER, 1926). Bei Klimaänderungen können daraus dann selbstverständlich andere Böden weiterentstehen (Braunerden, Roterden, Tschernoseme etc.).

3.3 Die Gliederung des Lösses in Österreich

Bei der räumlichen und zeitlichen Einordnung und Gliederung der Lösses in Österreich, die ja für meine bodenmechanischen und sedimentpetrographischen Untersuchungen von grundlegender Bedeutung waren, stützte ich mich in erster Linie auf die jüngsten Erkenntnisse J. FINK's (1954 bis 1964).

Es decken sich nun nach J. FINK die heutigen mit den paläoklimatischen Provinzen, die für die letzte Kaltzeit ausgeschieden wurden, folgendermaßen (Abb. 1):

1. Feuchte Lößlandschaft (gletschnaher, humider Bereich): Sie umfaßt das ganze Alpenvorland bis in den Raum von St. Pölten, ferner einen Streifen im mittleren Burgenland. Niederschläge um 600 bis 700 mm.

2. Trockene Lößlandschaft (gletscherferner Bereich, pannonischer Klimaraum): Diese schließt östlich, bzw. nördlich davon an. Niederschläge meist unter 200 mm.

3. Übergangsgebiet: Es erstreckt sich über den Grenzsäum zwischen Wald- und Weinviertel, insbesondere das Kamptal und den Kremser Raum und greift über die Donau ins Traisental. Niederschläge 600 bis 700 mm.

4. Staublehmlandschaft (illyrische Klimaprovinz): Sie befindet sich im südöstlichen Österreich. Niederschläge 700 bis 900 mm.

Die in all diesen Gebieten vorkommenden „begrabenen“ fossilen Böden und Bodenkomplexe, mit deren Hilfe auch im periglazialen Raum die letzten Eiszeiten untergliedert werden können, sind infolge des verschiedenen

TOPOGRAPHISCHE ÜBERSICHT DER UNTERSUCHTEN LÖSS- UND STAUBLEHMPROFILE

Maßstab 1 : 1,150.000



Trockene Lößlandschaft



Feuchte Lößlandschaft



Übergangszone



Stablehmzone



Gebirgsrand



Staatsgrenze



Löß- und Stablehmprofile

Gliederung nach J.FINK

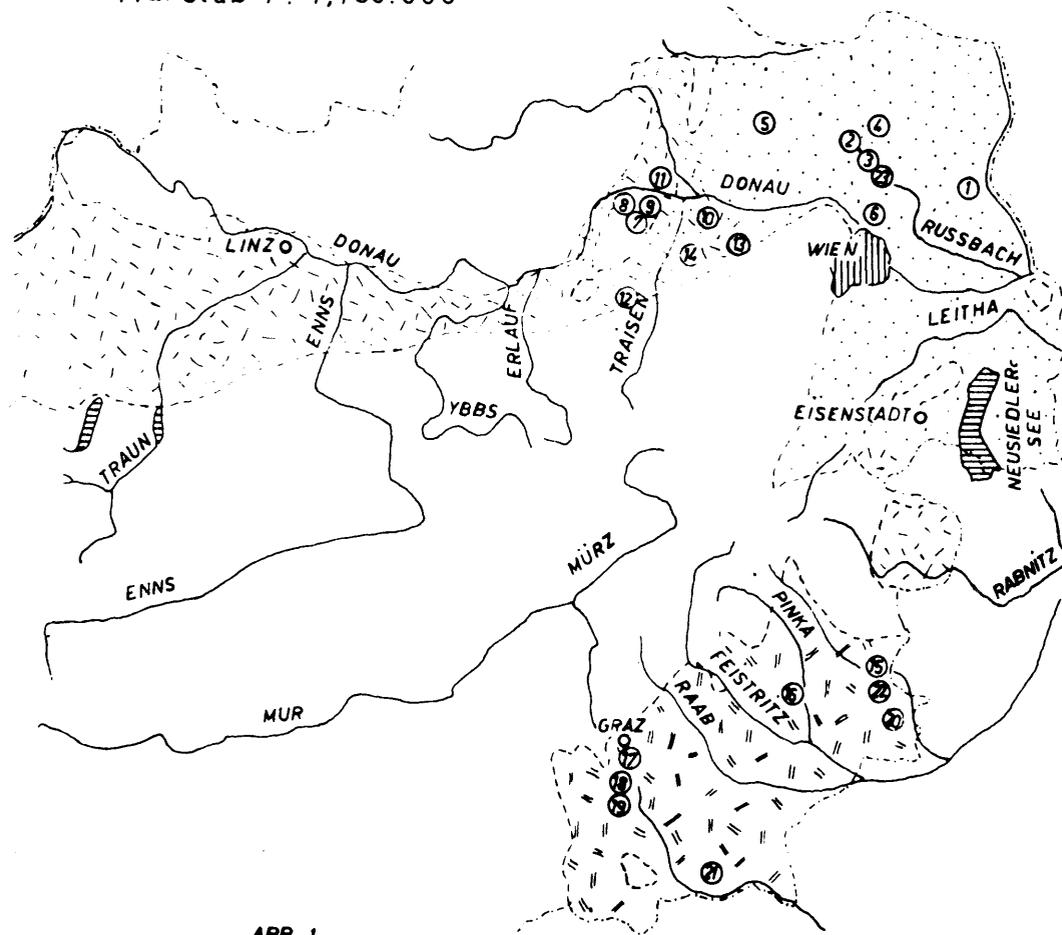


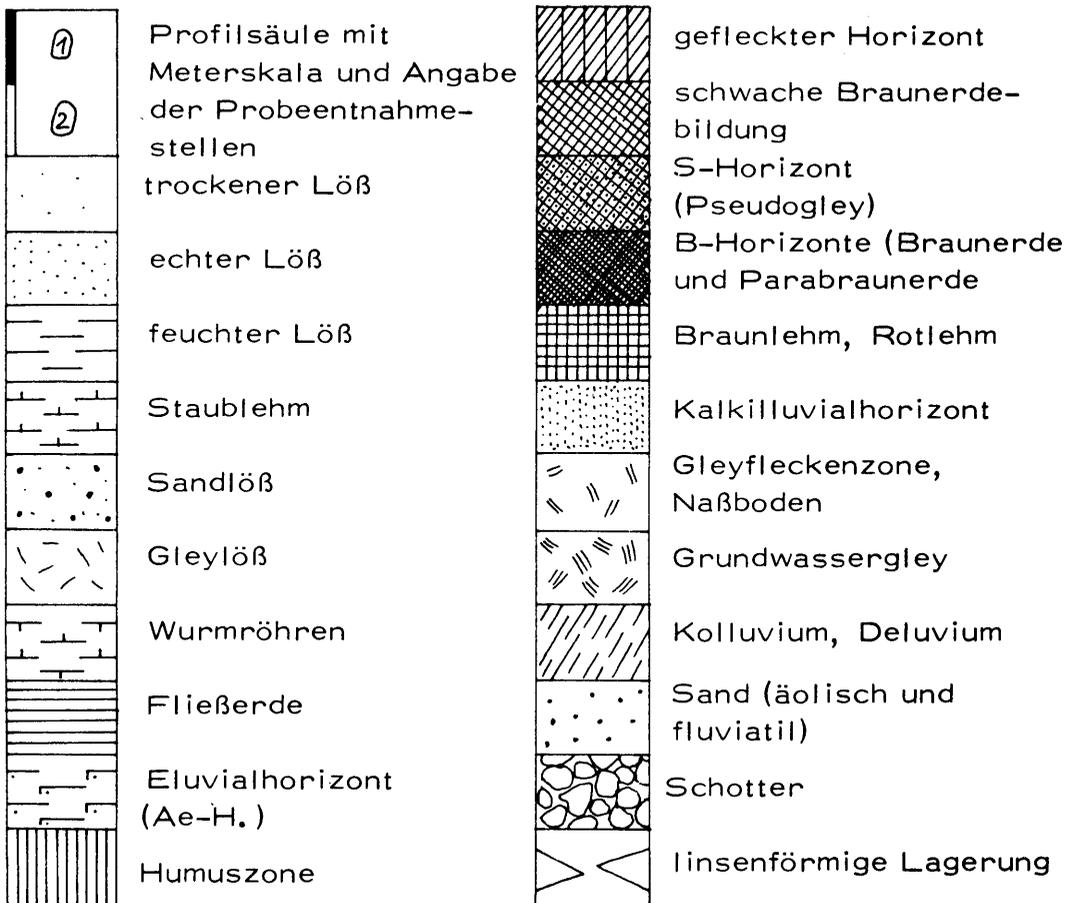
ABB. 1

LÖSS UND STAUBLEHMPROFILE (nach Abb. 1)

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1) Stillfried an der March | 13) Sieghartskirchen |
| 2) Weinsteig | 14) Pottenbrunn |
| 3) Wetzleinsdorf | 15) Groß-Petersdorf |
| 4) Ladendorf | 16) Neudau |
| 5) Hollabrunn | 17) Messendorf |
| 6) Stammersdorf | 18) Ober-Premstätten |
| 7) Paudorf | 19) Unter-Premstätten |
| 8) Aigen | 20) Kulm |
| 9) Göttweig-Furth | 21) Pichla |
| 10) Thallern | 22) Aulehm von der Pinka |
| 11) Gedersdorf | 23) Aulehm vom Rußbach |
| 12) Feilendorf | |

SIGNATUREN FÜR DIE PROFILDARSTELLUNGEN (Abb. 2),

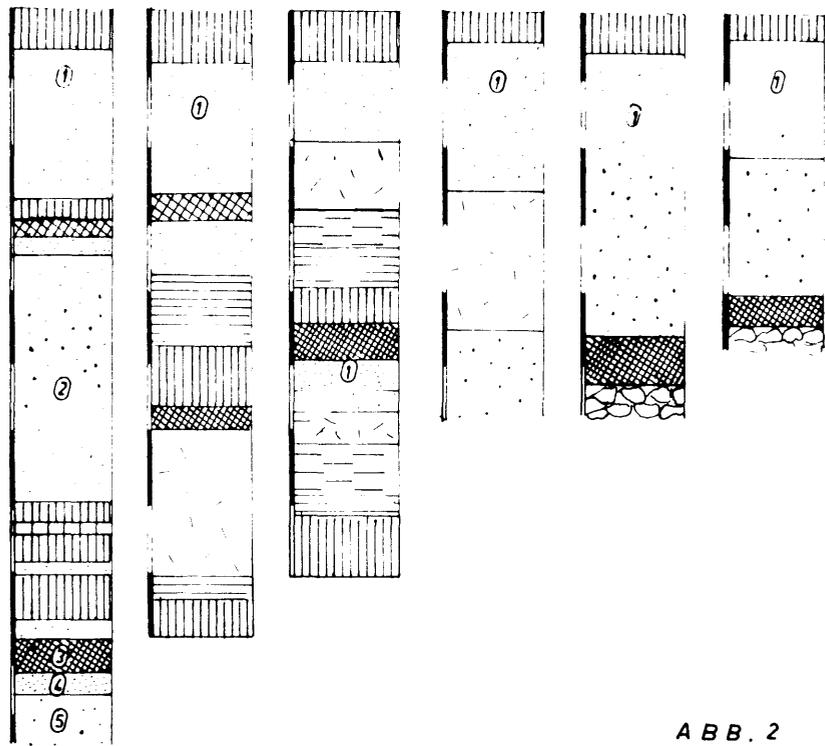
Entwurf nach J. FINK



SCHEMATISCHE DARST. DER UNTERSUCHTEN LÖSSPROFILE

Trockene Lößlandschaft

Stillfried Weinsteig Wetzleinsd. Ladend. Hollabrunn Stammersd.



Übergangsgebiet

Paudorf Aigen Göttweig-F. Thallern

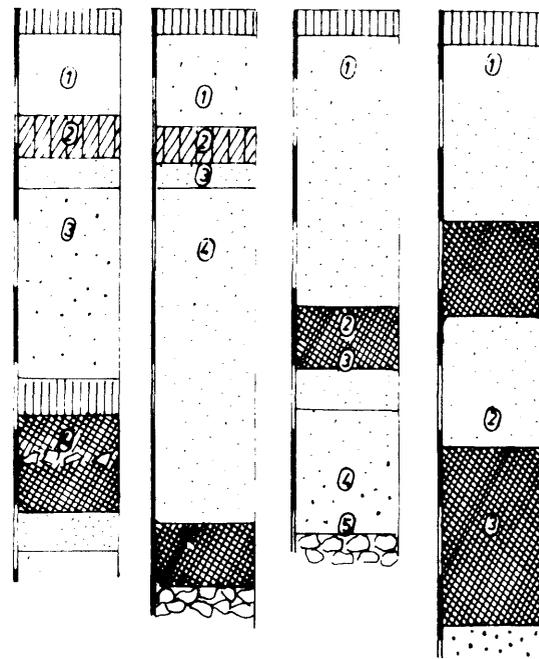


ABB. 2

SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER UNTERSUCHTEN LÖSS-UND STAUBLEHMPROFILE

Feuchte Lösslandschaft

Staublehmzone

Feilend. Sieghartsk. Pottenbrunn Großpetersd. Neudau Messend. O-Premst. U-Premst. Kulm Pichla

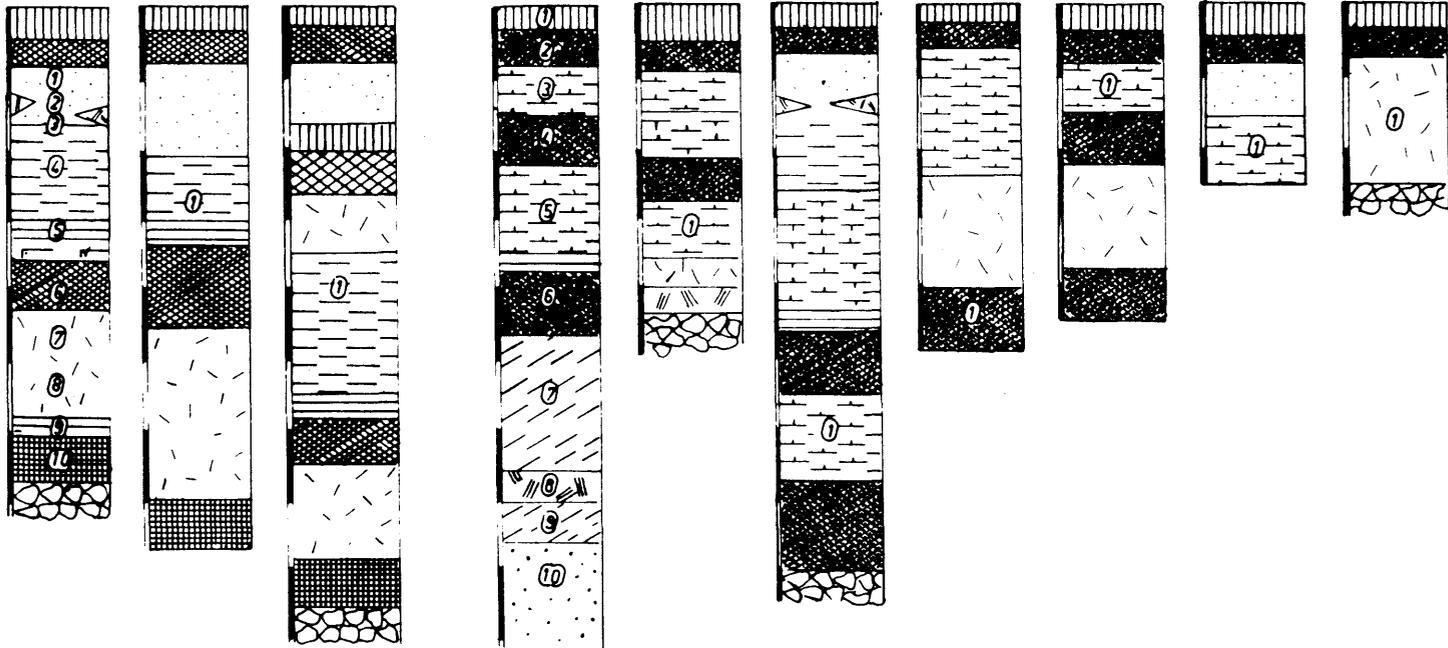


ABB. 3

Klimas auch verschieden ausgebildet. Sie können aber jeweils altersmäßig miteinander parallelisiert werden, was auch durch absolute Altersbestimmungen bestätigt werden konnte (J. FINK, 1962).

4. SPEZIELLER TEIL

Zu den verschiedenen Untersuchungen wurden also folgende Lößarten näher herangezogen (stratigraphische Stellung siehe Abb. 2 und 3):

A. Trockener Löß: Er hat weder im naturfeuchten noch im trockenen Zustand einen größeren Zusammenhalt und läßt sich zwischen den Fingern sehr leicht zerreiben; Hauptverbreitungsgebiet ist die trockene Lößlandschaft.

B. Echter Löß: Dieser hat im naturfeuchten Zustand einen guten Zusammenhalt und kann dann auch leicht mittels einer Schaufel aus einer Lößwand „herausgeschnitten“ werden. Im Handstück bricht er meistens prismatisch mit glatten Flächen und ist im übrigen weder klebend noch plastisch. Ein Nadelporengefüge ist für diese Lößart bezeichnend. Die Wurzelröhrchen sind immer mit Kalzit ausgekleidet. Diese Lößart ist ebenfalls in der trockenen Lößlandschaft typisch ausgebildet.

C. Feuchter Löß: besitzt eine stark ausgeprägte, scharfkantige Struktur. Im trockenen Zustand wird dieser Löß ziemlich fest, hat bei der naturfeuchten Entnahme hingegen eine leicht klebrige und plastische Ausbildungsform. Äußerliche Unterscheidungsmerkmale gegenüber dem echten Löß sind durch das Vorhandensein von Eisen- und Mangankonkretionen und den sogenannten „coatings“ (= feine Toneisengelhäutchen) gegeben. Diese Lößart kommt besonders in der feuchten Lößlandschaft vor.

D. Staublehm: erinnert hinsichtlich seiner Festigkeit und seines äußeren Habitus sehr stark an den feuchten Löß. Im trockenen Zustand wird er steinhart und es ist dann mit dem Spaten oft nicht mehr möglich, größere ungestörte Proben zu gewinnen. Kennzeichnend sind hier zahllose Rost- und Fahlflecken, die dem Staublehm ein „marmoriertes“ Aussehen verleihen. Die „coatings“ sind hier stärker ausgebildet als bei den feuchten Lössen und treten gehäuft auf. Nach starken Regenfällen gerät der Staublehm leicht ins Rutschen. Dieses Sediment ist typisch für die Staublehmlandschaft.

Weiters wurden Proben aus **Kalkanreicherungs-horizonten** (Ca-Horizonten) entnommen. Dieser mit Kalk stark durchsetzte Löß wird im trockenen Zustand sehr hart und bekommt dann eine hell-weiße Färbung. Zur genaueren Untersuchung gelangten auch einige Proben aus **Verlehmungszonen**. Gemeint sind hier immer die fossilen B-Horizonte von Braun- und Parabraunerden aus dem Riß/Würm Interglazial sowie Rotlehme aus dem Mindel/Riß Interglazial. In diesen alten Verwitterungszonen sind die Wurzelröhrchen nicht mit Kalzit ausgekleidet. Die „Lößlehme“ besitzen meist eine rötlich-braune Färbung und sind im naturfeuchten Zustand teilweise leicht klebend und plastisch. Die Trocken-

festigkeit ist eine beträchtliche und die Entnahme ungestörter Proben erwies sich oft aus diesem Grund als sehr schwierig.

4.1 Angabe der Probeentnahmestellen:

Die meisten Proben wurden aus bereits stratigraphisch gesicherten, oft beschriebenen und teilweise schon als „klassisch“ zu bezeichnenden Profilen entnommen. Die Mehrzahl der Entnahmestellen ist in Ziegeleien aufgeschlossen; die untersuchten „klassischen“ Profile befinden sich, mit Ausnahme des Aufschlusses in Stillfried, in Hohlwegen (siehe Abb. 1, 2 und 3).

4.2 Bodenmechanische Untersuchungen.

Mit Hilfe der bodenmechanischen Untersuchungen versuchte ich, für die verschiedenen Lößarten charakteristische Bodenkennziffern zu erhalten, um damit Vergleiche anstellen zu können. Im folgenden sind stets zu Beginn der einzelnen Untersuchungen auch die Methoden dazu angegeben. Die Ergebnisse sind dann eher kurz zusammengefaßt und werden erst im letzten Teil, in den Schlußfolgerungen, näher diskutiert (4. 5).

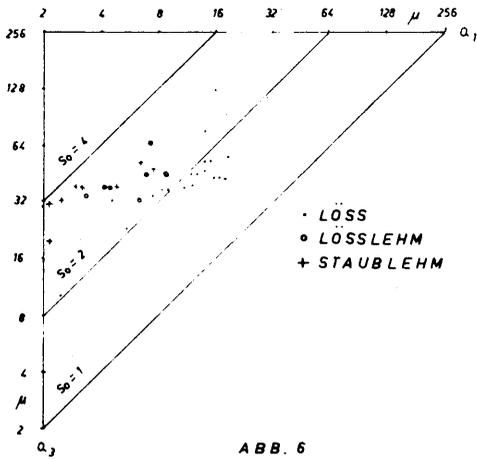
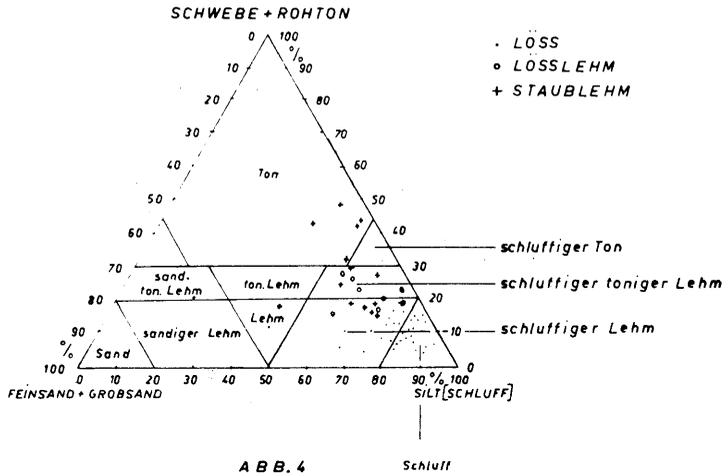
4.21 Bestimmung der Kornverteilung

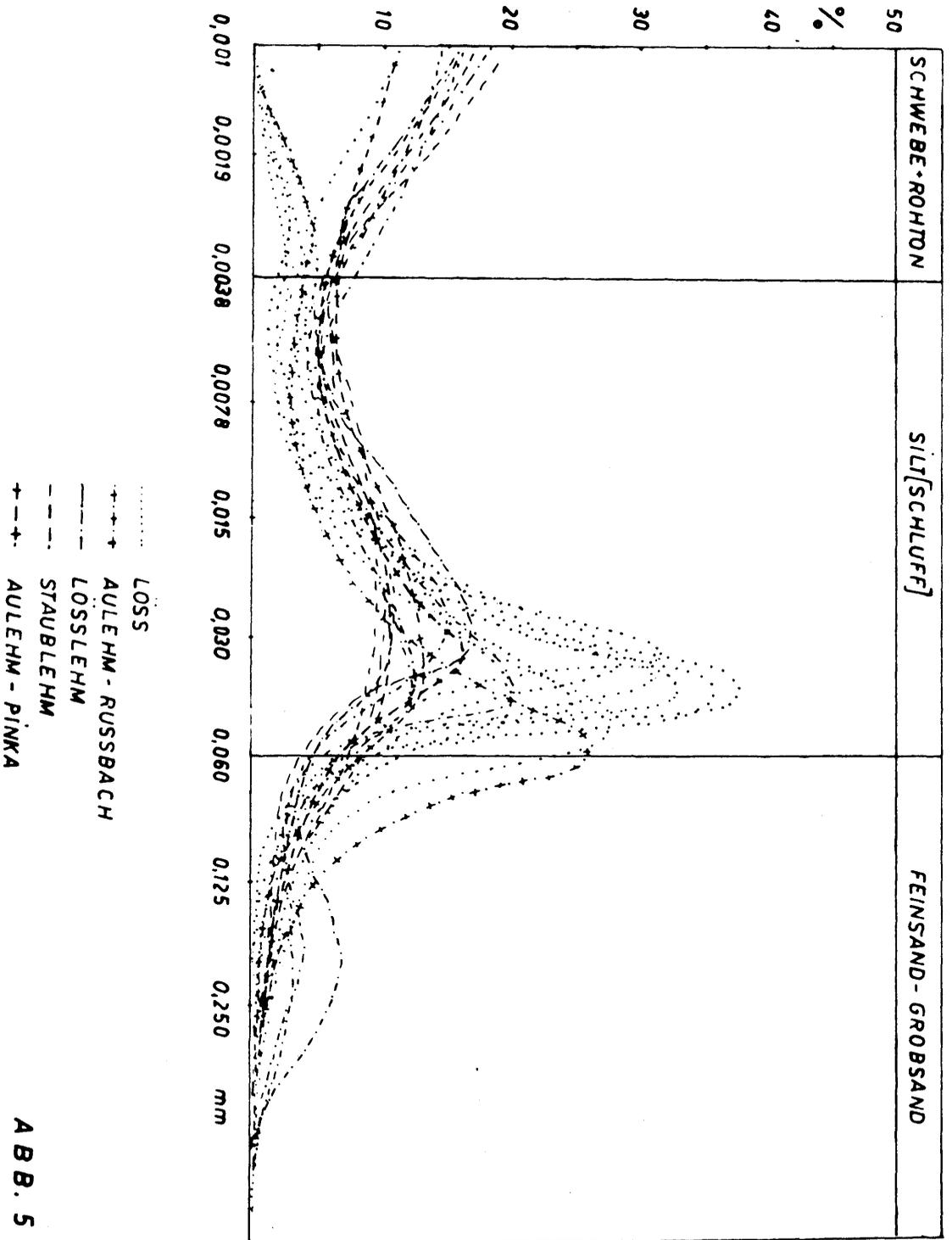
Die Bestimmung der Kornverteilung erfolgte mit Hilfe des Andreasen-Schlammzylinders und durch Siebung.

Nach Abb. 4 (Einteilung nach der Public Roads Administration) fallen die Lössen in die Gruppe schluffiger Lehm und Schluff, die Staublehme in die Gruppe schluffig-toniger Lehm und Ton, und die Verlehmungszonen in die Gruppe schluffig-toniger Lehm (siehe auch 4.4).

Bei den Lössen ist stets ein deutliches Korngrößen-Maximum im Bereich von 30 bis 60 μ vorhanden, daneben aber im Bereich kleiner 4 μ ein zweites, etwas undeutlicher ausgebildetes Maximum. Jenes erste Maximum wird in der Literatur meistens als das für den Löß typische angegeben und kann am ehesten auf eine doppelte Seigerung dieses Sedimentes erst durch fluviatilen und dann durch äolischen Transport zurückgeführt werden. Für das schwach angedeutete Maximum in der Feinfraktion kommen bei den trockenen und echten Lössen Rekrystallisationen von Kalzit in Frage, da jenes besonders deutlich bei den Proben aus Ca-Horizonten ausgebildet ist, wo ja erwiesenermaßen eine starke Kalkanreicherung stattgefunden hat. Bei den feuchten Lössen muß dieses Maximum in der Feinfraktion durch einen höheren Prozentsatz von Tonsubstanzen erklärt werden, da ja hier fast kein Kalziumkarbonat vorhanden ist (4.32).

Bei den Proben aus den Verlehmungszonen sind meistens 3 Maxima ausgebildet. Die etwas schlechtere Sortierung im Bereich 30 bis 60 μ — schlechter im Vergleich zum unverwitterten Löß, aus dem diese Verlehmungszonen hervorgegangen sind — läßt sich durch das Auflösen der primär im Löß vorhanden gewesenen Kalzitkörner infolge der bodenbildenden Prozesse erklären. Es fehlt dann eben der aus diesen Körnern bestehende Teil dieser gut sortierten Korngruppe. Das Nebenmaximum in





- 1 Stammersdorf 1
- 2 Stillfried 1
- 3 Gedersdorf
- 4 Thallern 1
- 5 Stillfried 2
- 6 Stillfried 5
- 7 Hollabrunn 1
- 8 Ladendorf 1
- 9 Weinstelg 1
- 10 Paudorf 1
- 11 Thallern 2
- 12 Stillfried 4
- 13 Wetzleinsdorf 1
- 14 Feilendorf 4
- 15 Sieghartskirchen 1
- 16 O-Premstätten
- 17 U-Premstätten
- 18 Pichla 1
- 19 Groß-Petersdorf 1
- 20 Messendorf 1
- 21 Kulm 1
- 22 Neudau 1
- 23 Stillfried 3
- 24 Paudorf 2
- 25 Paudorf 4
- 26 Feilendorf 6
- 27 Feilendorf 10
- 28 Thallern 3
- 29 Aigen 2

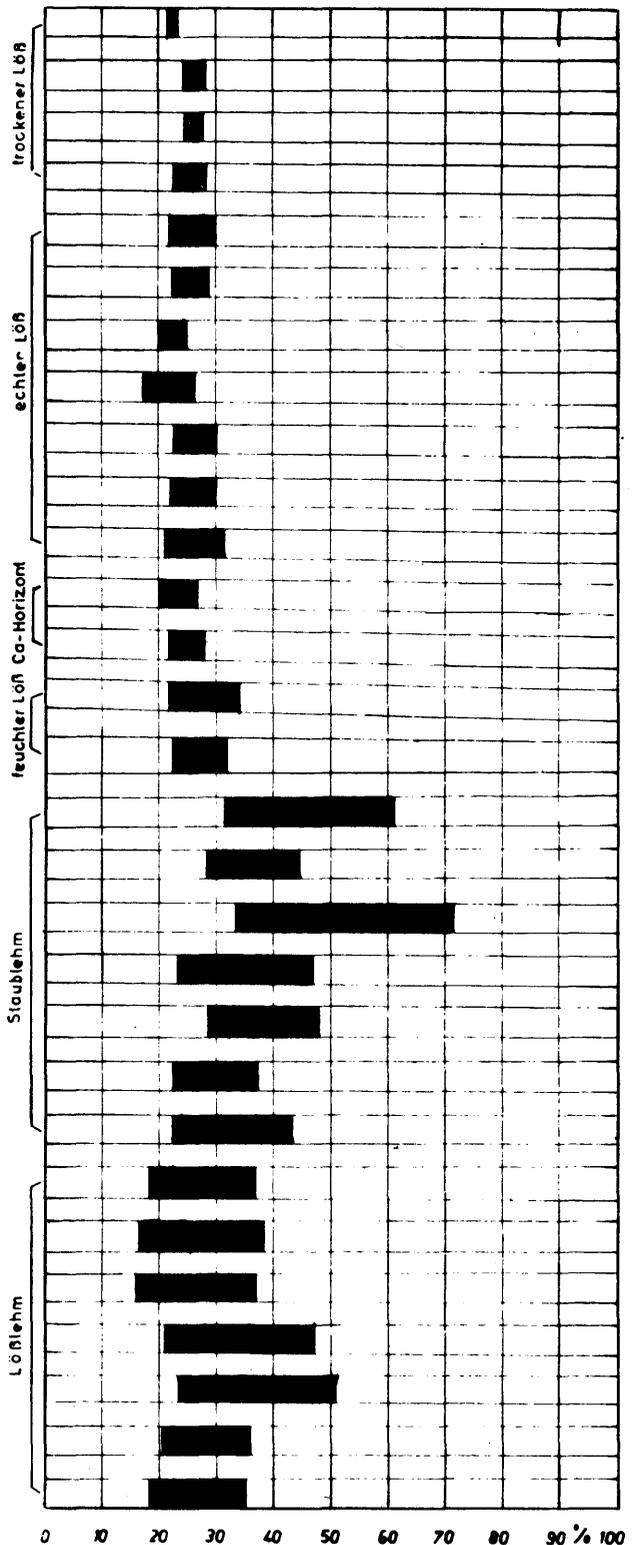


Abb. 7

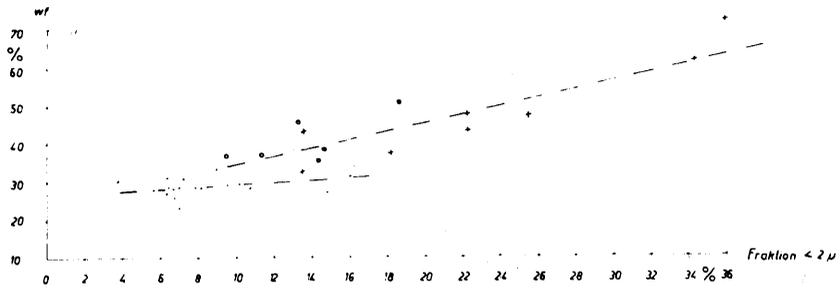


ABB. 8

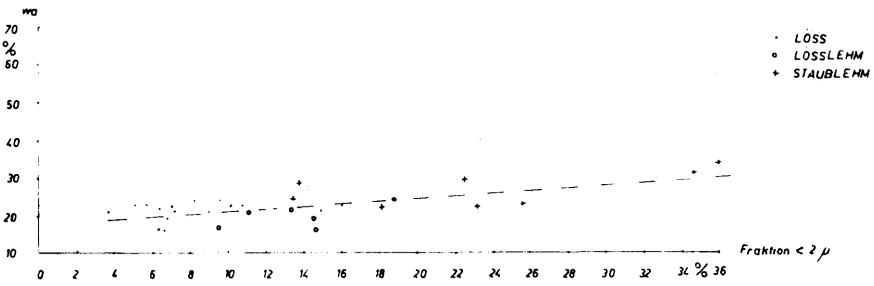


ABB. 9

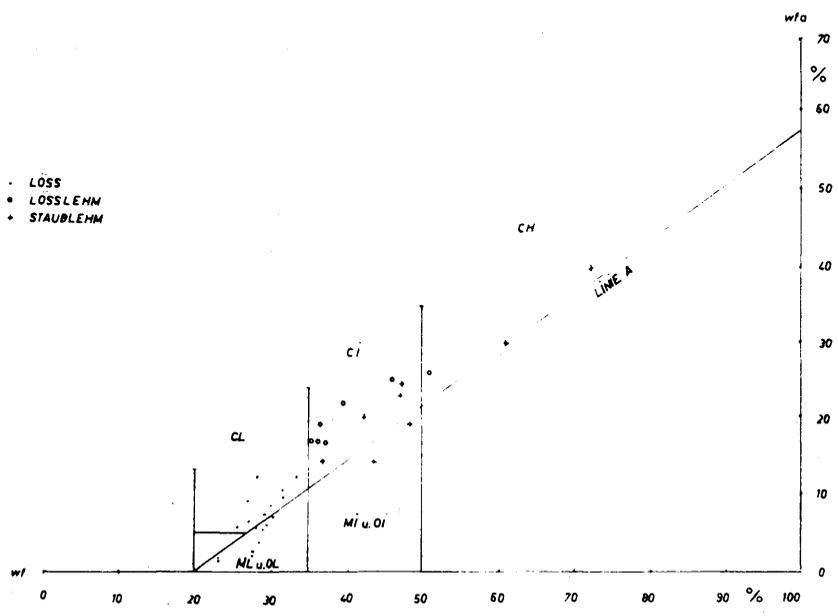


ABB. 10

der Grobfraction könnte von Gesteinssplitterchen herrühren, die während der langdauernden Interglazialzeiten eingebracht wurden (neben sekundär gebildeten Eisen- und Mangankonkretionen, die hier ebenfalls häufig auftreten können). Die Zunahme der Korngrößen in der Feinfraction beruht wohl in erster Linie auf Toneinschlammung, auf einer Zersetzung von Mineralien (z. B. Feldspäten) und auf einer mechanischen Zerkleinerung der Glimmer. Auch nach E. SCHÖNHALS (1952) ist in den Verwitterungsböden bei der Entkalkung stets eine Verschiebung der Korngrößen nach der Tonfraction hin zu beobachten.

Die Staublehmen sind im Vergleich zu den bisher besprochenen Sedimenten durch eine besonders schlechte Sortierung gekennzeichnet. Ein sehr breit ausgebildetes Maximum ist im Bereich von 15 bis 60 μ zu finden. Im Bereich der Feinfraction ist nochmals ein besonders starker Anstieg der Häufigkeitskurven zu sehen. Das könnte auf Tonproduktion und Tonverlagerung während der Sedimentation zurückgeführt werden (Abb. 5). In Abb. 6 sind die Quartilwerte (n. P. D. TRASK) in einem Diagramm aufgetragen. Es sind dann deutliche Unterschiede in der Sortierung der Sedimente zu erkennen. Die Lösses besitzen eine Sortierung von 1,5 bis 2 (die niedrigeren Werte gelten für die trockenen Lösses, die höheren für die feuchten Lösses, Proben aus Ca-Horizonten und Lösses mit Fremdmaterialeinschlüssen), die Lößlehm eine von 2 bis 3 und die Staublehme weisen einen Sortierungsgrad größer als 3 auf.

Nach P. D. TRASK zeigen folgende Sortierungsgrade ($S_o = \frac{Q_3}{Q_1}$) an:

- $S_o = 1$: ein vollständig sortiertes Material (bleibt aber ein unerreichbarer Grenzwert)
- $S_o = 2,5$: gut sortiertes Material
- $S_o = 3$: normal sortiertes Material
- $S_o = 4,5$: schlecht sortiertes Material

4.22 Bestimmung der Konsistenzgrenzen (Atterberg'sche Grenzen)

Ein sehr deutlicher Unterschied der Plastizitätszahlen ist in Abb. 7 zwischen Lössen einerseits und Staublehmen und Lößlehm andererseits zu sehen. Die Plastizität der Lösses ist stets eine viel geringere. Aber auch hier sind noch feinere Unterscheidungen möglich. Die trockenen Lösses fallen infolge ihrer besonders geringen Plastizität, die Lösses aus der feuchten Lößlandschaft durch eine etwas höhere Plastizität auf.

Kornverteilung und Mineralchemismus werden allgemein als hauptbestimmend für die graduellen Unterschiede der Konsistenzformen genannt (KEIL, 1959). Dies geht auch deutlich aus Abb. 8 und 9 hervor. Während die Ausrollgrenze nur abhängig von der Korngrößengruppe kleiner 2 μ erscheint (Abb. 9), so äußert sich bei der Fließgrenze in stärkerem Maß der Mineralchemismus dieser genannten Feinfraction. Die Abhängigkeit des Wassergehaltes von der Fraction kleiner 2 μ ist hier bei den Staublehmen und den Verlehmungszonen eine andere als bei den Lössen (Abb. 9). Von den Feinfractionen der beiden letztgenannten Sedimente

können relativ mehr Wasser gebunden werden, bevor ein Fließen eintritt; das heißt also, daß hier mit wasseraffineren Mineralien (wie z. B. Glimmer oder Tonmineralien) zu rechnen ist.

Nach der Klassifikation bindiger Böden nach A. CASAGRANDE fallen die Lössen also in die Gruppen CL, ML und OL. Diese bedeuten sandige Tone und schwach plastische anorganische Schluffe. Die Lößlehme und Staublehme sind in der Gruppe CI (anorganische Tone von mittlerer Plastizität), die Staublehme außerdem noch in der Gruppe CH, d. h. anorganische Tone von hoher Plastizität, zu finden (Abb. 10).

Mit Schlüssen auf die Festigkeit auf Grund nur dieser Untersuchungsergebnisse muß man aber gerade bei den hier untersuchten Sedimenten sehr vorsichtig sein. Bei der Bestimmung der Atterberg'schen Grenzen wird nämlich das ursprüngliche Gefüge zerstört. Ein natürlich gelagerter echter Löß mit einem Wassergehalt, der der Fließgrenze entsprechen würde, wird also in Wirklichkeit noch lange nicht ins Fließen geraten. Es muß hier mit einem besonders ausgebildeten Lößgefüge gerechnet werden, das für eine höhere Stabilität verantwortlich ist.

4.23 Bestimmung des Raumgewichtes und des Porenvolumens

Das für die Berechnung der Raumgewichte notwendige Gesamtvolumen der Proben wurde mit Hilfe von Tauchwägungen bestimmt. Zu diesem Zweck mußten die feuchten Proben mit Paraffinhüllen von ca. 1 mm umgeben werden. Die Zusammenstellung der hier gewonnenen Ergebnisse findet sich in Tabelle 4.4.

Eine Verdichtung der Porenhohlräume mit zunehmender Entnahmetiefe konnte bei den Lössen nicht festgestellt werden (zum Beispiel zeigen Lößproben, die ober- und unterhalb von Verlehmungszonen entnommen wurden, oft nahezu die gleiche Porenvolumina).

Die geringeren Poreninhalte bei den Proben aus den Verlehmungszonen, bei den feuchten Lössen und bei den Staublehmen erklären sich aus einem höheren Gehalt an feinsten Korngrößen, die die Hohlräume ausfüllen und verstopfen und damit eine höhere Dichte verursachen.

4.24 Bestimmung der „Proctordichte“ und des „günstigsten“ Wassergehaltes

Diese Untersuchung wurde mit Hilfe eines Proctorgerätes durchgeführt. Ich bestimmte dabei immer nur die „einfache“ Proctordichte (Ergebnisse siehe 4.4).

Der Luftgehalt dürfte bei den optimalen Verdichtungen etwa 5% betragen; wahrscheinlich kann die eingeschlossene Luft während der Verdichtung nicht mehr entweichen.

Aus dem Verlauf der Kurven geht hervor, daß das Intervall des für die günstigste Verdichtung notwendigen Wassergehaltes bei den Lössen enger umrissen ist als bei den Staublehmen und Lößlehmen (Abb. 11).

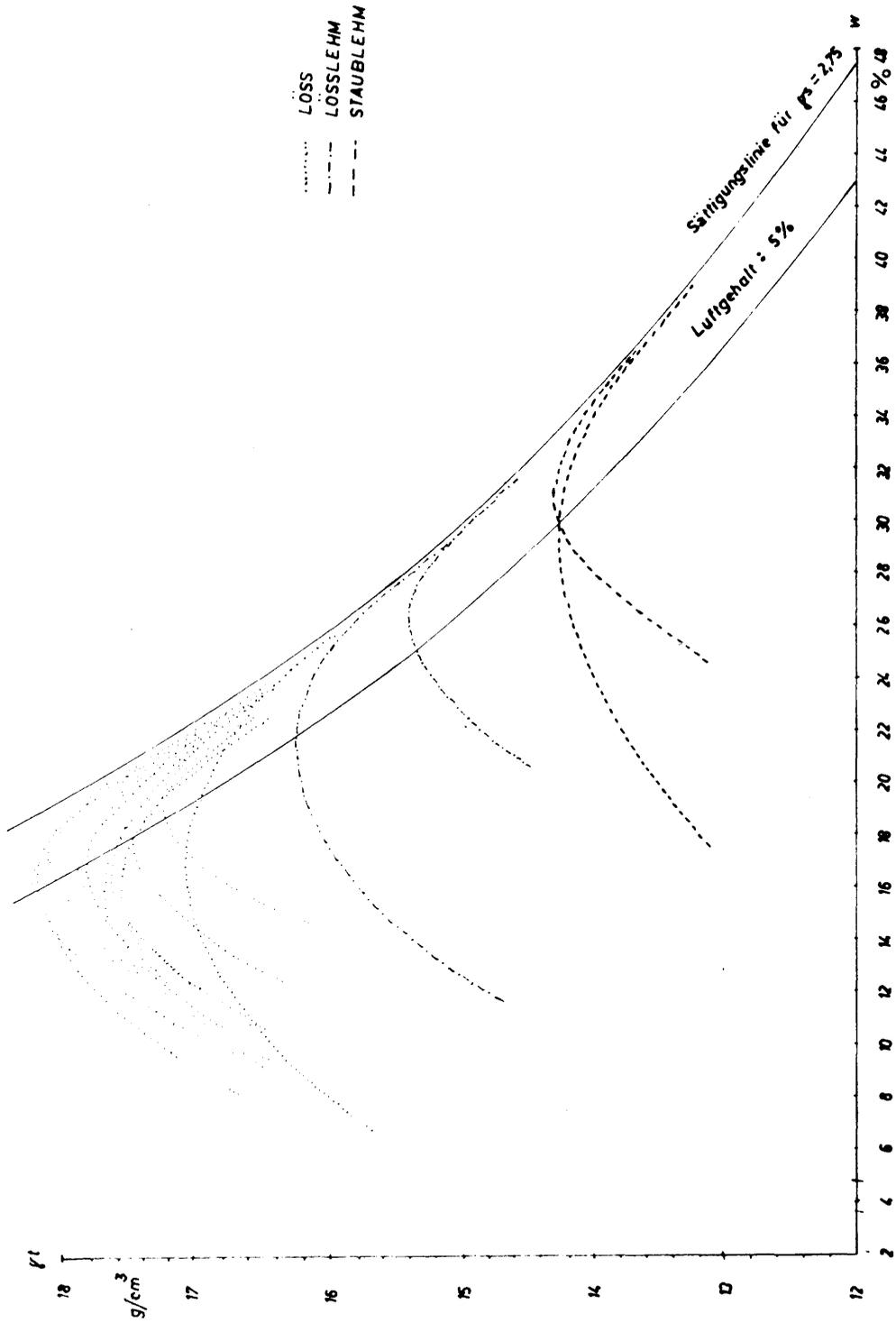
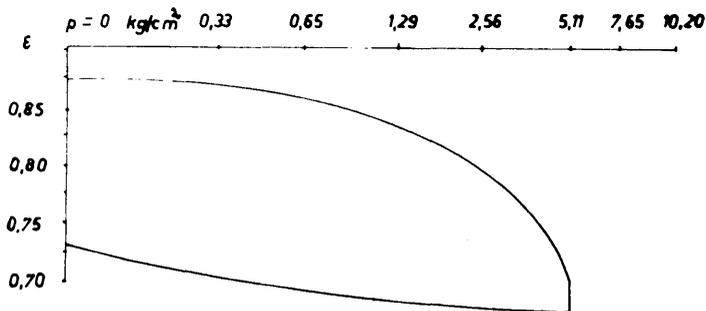
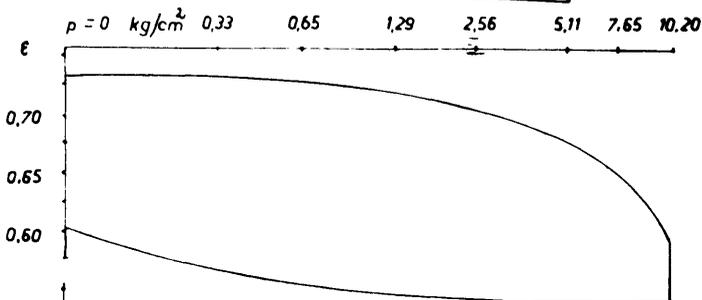


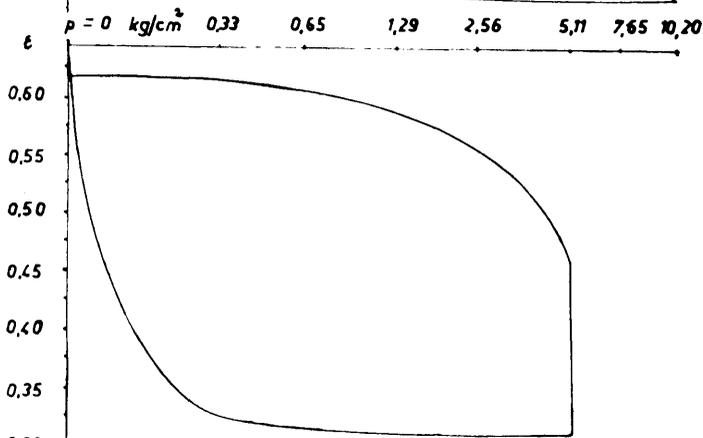
ABB. 11



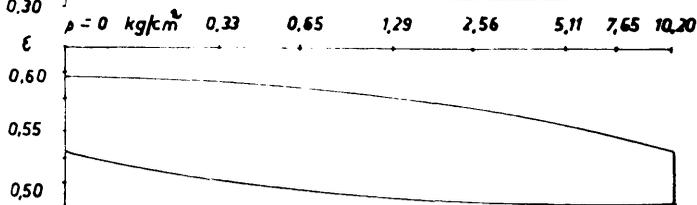
Thallern 1 [trockener Löss]



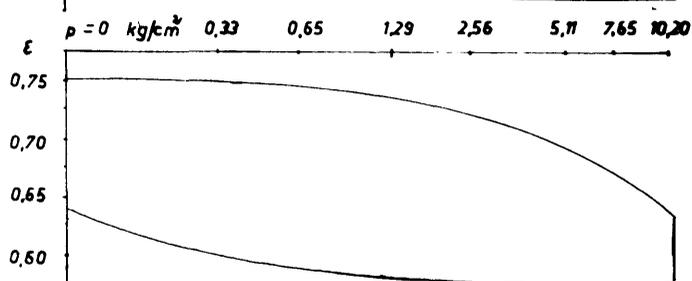
Thallern 2 [echter Löss]



Ladendorf 1 [echter Löss]



Kulm [Staublehm]



Stiltfried 3 [Lößlehm]

ABB. 12

Die Lössе erreichen den Punkt der optimalen Verdichtung bei niedrigeren Wassergehalten als etwa die Staublehme und Proben aus Verlehmungszonen. Eine Erklärung dafür wäre, daß bei den Letztgenannten infolge des höheren Gehaltes an feinen Korngruppen wesentlich mehr Wasser durch Anlagerung gebunden werden kann und dann nicht mehr für die Erzeugung der für die Verdichtung notwendigen Kapillarverspannung zur Verfügung steht. Bei den Lössen ist dies nicht der Fall. Das Wasser kann gleich für diese Verspannung der einzelnen Körner verwendet werden. Bei den Lössen ist dann das Trockengewicht etwas größer als bei den Staublehmen und Lößlehmern.

4.25 Bestimmung der Druckfestigkeit bei unbehinderter seitlicher Ausdehnung

Diese Bestimmung erfolgte mittels einer Presse, Marke Soil-Test. Bei diesen Untersuchungen ergaben sich pro Probe praktisch die gleichen Druckfestigkeiten, gemessen in vertikaler Richtung (also normal auf ss) und horizontaler Richtung (// zu ss). Jedes Ergebnis in der folgenden Tabelle stellt immer ein Mittel aus drei Versuchen dar.

	Probe:	$\sigma_d \perp$ zu ss	$\sigma_d //$ zu ss	nw
Trockener Löß:	Stillfried 1	0,60 kg/cm ²	0,61 kg/cm ²	9,8 %
	Stammersdorf 1	0,40	0,32	5,0 %
	Thallern 1	0,75	0,68	11,65%
Echter Löß:	Stillfried 2	0,67	0,73	9,6 %
	Ladendorf 1	0,54	0,46	18,7 %
	Hollabrunn 1	1,63	1,42	16,9 %
	Thallern 2	1,45	1,64	14,4 %
Feuchter Löß:	Feilendorf 4	1,42	1,45	22,8 %
	Sieghartskirchen 1	1,79	1,32	22,2 %
Ca-Horizont:	Wetzleinsdorf 1	0,82	0,77	14,4 %

Alle Druckversuche wurden bei den natürlichen Wassergehalten der einzelnen Proben durchgeführt.

Die Druckfestigkeiten der echten und feuchten Lössе sind stets etwas größer als die der trockenen Lössе. Die erstgenannten besitzen also eine größere Gefügestabilität bei Belastungen.

Zum Vergleich führte ich aber auch einige Druckfestigkeitsuntersuchungen an lufttrockenen Proben durch. Die trockenen Lössе erreichen dann eine Zylinderdruckfestigkeit von nur 4 bis 6 kg/cm², die echten Lössе 7 bis 10 kg/cm² (die Probe Ladendorf bis 20 kg/cm²) und die feuchten Lössе eine Festigkeit von durchschnittlich 20 kg/cm². Die Wassergehalte bei diesen lufttrockenen Proben betragen 1 bis 2%.

Die Unterschiede in der Gefügestabilität wurden also beim Trocknungsvorgang noch wesentlich vergrößert.

4.26 Druckversuch bei behinderter seitlicher Ausdehnung

Als Gerät stand der Kompressions-Durchlässigkeitsapparat nach A. CASAGRANDE zur Verfügung. Die Proben wurden stets mit ihren natürlichen Wassergehalten eingebaut und belastet. Vor dem Entlasten setzte ich sie unter Wasser. Die Be- und Entlastungen erfolgten immer erst nach vollkommener Beruhigung der Setzungs- oder Schwellvorgänge.

Bei den untersuchten Proben war ein mehr oder weniger starker Zusammenbruch der Gefüge bei der Zugabe von Wasser zu beobachten. Am geringsten war jener Zusammenbruch — wenn man das Verhältnis zur vorangegangenen Zusammendrückung betrachtet — bei den Proben aus Stillfried 3 und Kulm 1, d. h. bei der Probe aus einer Verlehmungszone und aus einem Staublehm. Bei der Probe aus Thallern 1 (trockener Löß) begann das Gefüge schon bei relativ geringeren Belastungen einzubrechen als bei den Proben Thallern 2 (echter Löß), Stillfried 3 und Kulm (die erreichte Kompression war hier von allen Proben am geringsten). Die Probe aus Ladendorf 1 (echter Löß) scheint ihrem Verhalten nach bei dieser Untersuchung eine Ausnahme zu bilden. Auffallend ist hier das starke Zusammensinken bei Wasserzugabe und die folgende enorme Volumszunahme infolge von Schwellvorgängen (Abb. 12).

4.27 Bestimmung der Scherfestigkeit

Die Scherfestigkeitsuntersuchungen wurden an ungestörten Proben mittels des Kastenschengerätes nach A. CASAGRANDE durchgeführt. Die Gefahr eines die Ergebnisse verfälschenden Porenwasserüberdruckes war bei den Scherversuchen an ungestörten Lößproben nicht gegeben, da diese eine sehr große Durchlässigkeit und effektive Porosität (siehe 4.31) besitzen. Aus Gründen der Gefahr eines Porenwasserüberdruckes mußten aber die Scherversuche an gestörten Lößproben aufgegeben werden, da bei diesen Proben zeitlich sehr ausgedehnte Langsamversuche notwendig gewesen wären (aus einem Vergleich der Scherfestigkeiten ungestörter zu gestörten Proben vom gleichen Lößtyp hätte man direkt auf den Einfluß des Gefüges auf die Festigkeit ein und derselben Probe schließen können).

In Abb. 13 sind die Schergeraden der einzelnen Proben bei verschiedenen Wassergehalten dargestellt. Dabei bedeutet immer die stärker ausgezogene Linie die Bruchbedingung bei vollständiger Wassersättigung. Die darüberliegenden Geraden stellen die Ergebnisse von Scherversuchen an Proben aus derselben Entnahmestelle bei jeweils um einen gewissen Betrag geringeren Wassergehalt dar. Dabei ist zu beobachten, daß sich auch der Scherwinkel langsam vergrößert. Diese Zunahme ist aber bei den verschiedenen Lößarten nicht die gleiche. Bei den trockenen Lössen ist sie geringer im Vergleich zu den echten Lössen oder gar zu der Lößlehmprobe, wo ein Höchstwert erreicht wird. Bei den feuchten Lössen und bei den Staublehmen hingegen ist fast überhaupt keine Vergrößerung des Scherwinkels bei diesem Trocknungsvorgang zu bemerken.

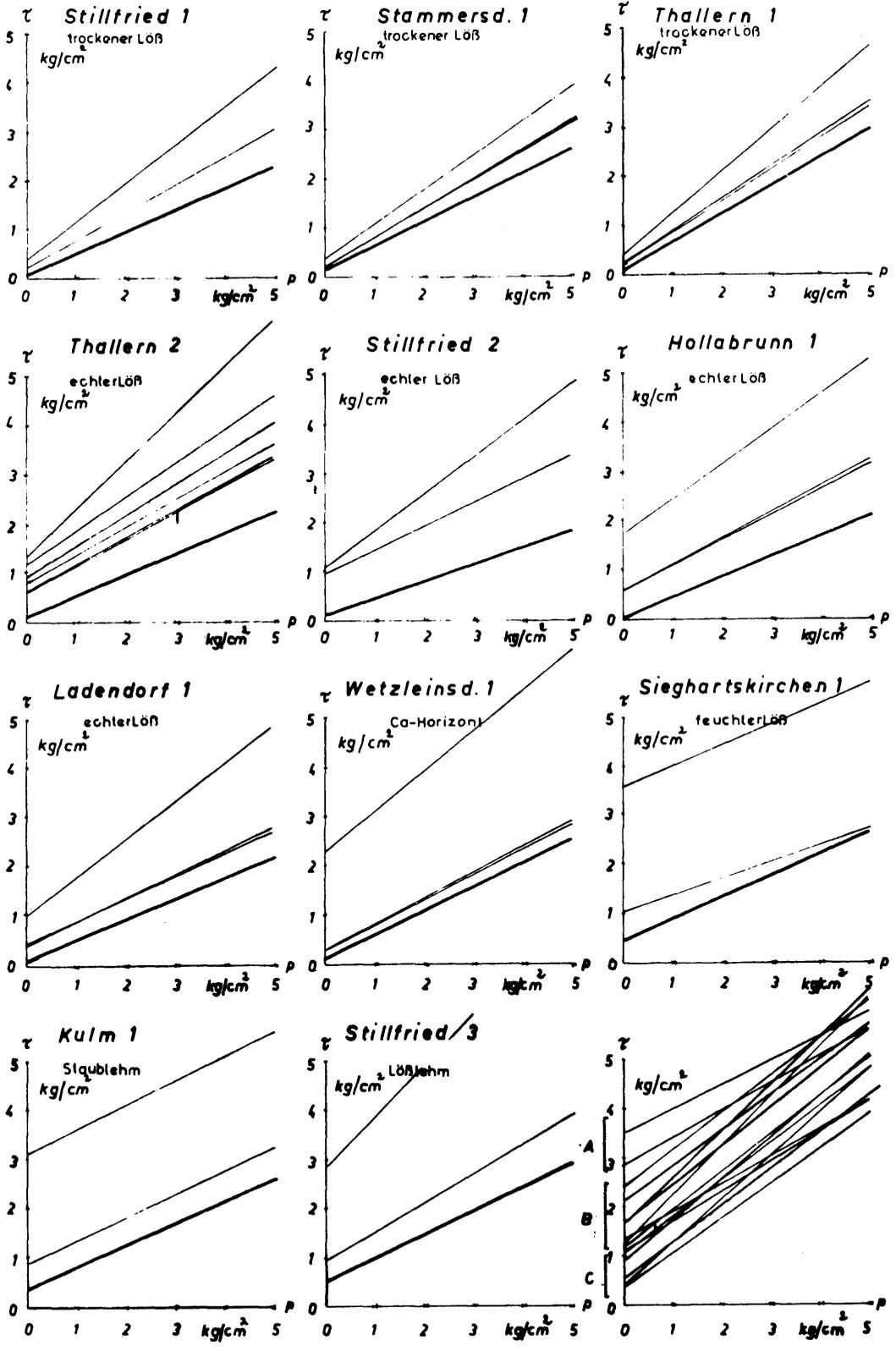


ABB. 13

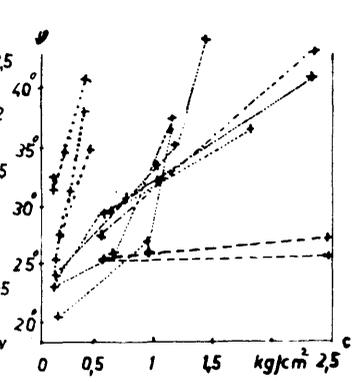
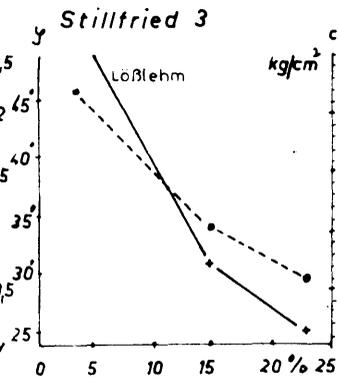
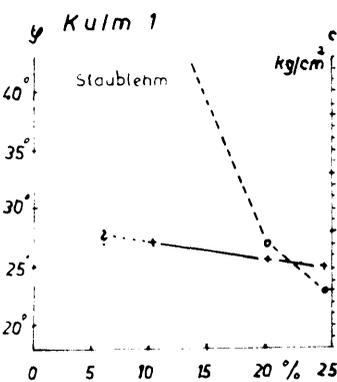
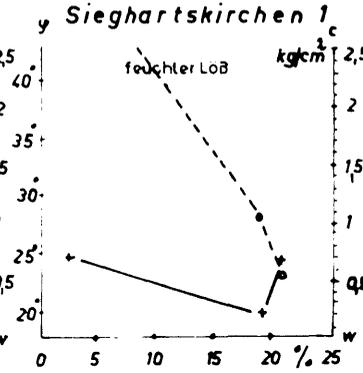
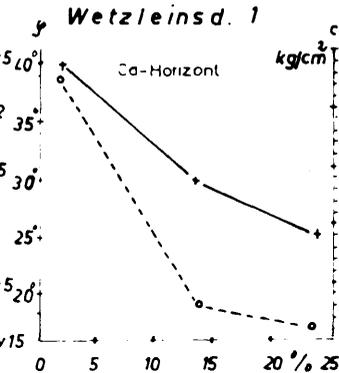
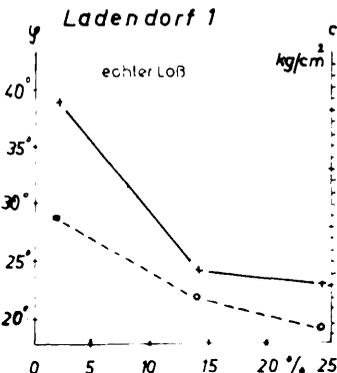
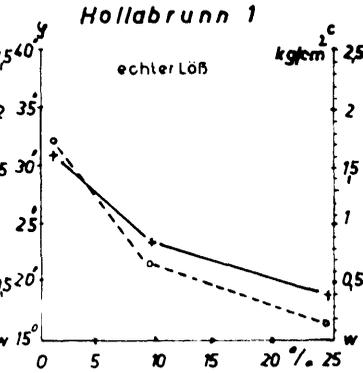
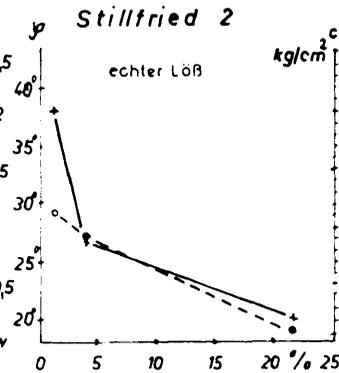
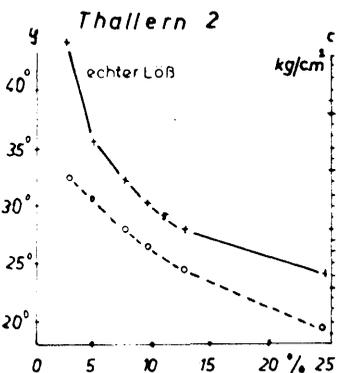
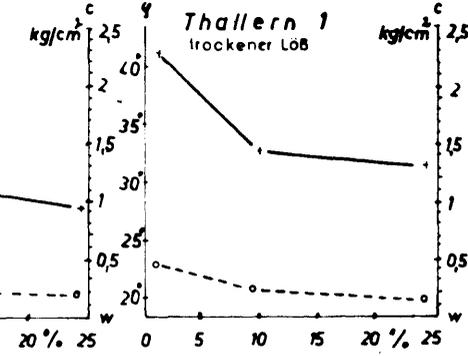
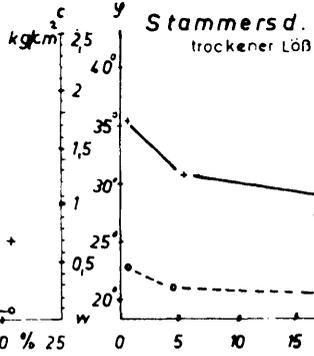
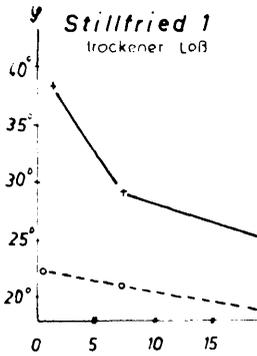


ABB. 14

In Abb. 14 sind in den einzelnen Diagrammen jeweils auf der linken Seite die Scherwinkel (Kreuzchen, ausgezogene Linien in der Darstellung) und auf der rechten Seite die Werte der Kohäsion (Ringe, gestrichelte Linien) in Abhängigkeit jeweils vom Wassergehalt aufgetragen (Die Werte für diese Diagramme stammen immer aus den zugehörigen Diagrammen aus Abb. 13). Diese Zunahme der Scherwinkel kann nun so erklärt werden, daß die Kohäsion auf bestimmte Weise auf den Scherwinkel Einfluß nehmen kann (bei KEIL, 1959, sind die Möglichkeiten solcher Zusammenhänge angedeutet). In Abb. 14 rechts unten sind also versuchsweise die Scherwinkel in Abhängigkeit von der jeweiligen Kohäsion dargestellt. Bei den trockenen Lössen zeigt es sich, daß nur eine geringe Abnahme der Kohäsion eine sofortige starke Verminderung des Scherwinkels zur Folge hat (grobpunktierte Linien); das im Gegensatz zu den echten Lössen (feinpunktierte Linien) oder gar zur Lößlehmprobe (strichpunktierte Linien), wo dies nicht der Fall ist. Bei den feuchten Lössen und bei dem Staublehm dagegen scheint der Scherwinkel in keinem Zusammenhang mit der Kohäsion zu stehen (strichlierte Linien).

Die Zahl der durchgeführten Scherversuche ist natürlich zu gering, um ein genaues Zahlenmaterial zu liefern und Streuungen abzuschätzen (zu solchen Untersuchungen würden sich auch besser Triaxial-Geräte eignen, die mir aber leider nicht zur Verfügung standen). Es sollte an Hand der Versuche also hauptsächlich gezeigt werden, daß bei den verschiedenen Lößtypen gewisse Zusammenhänge zwischen Scherwinkel und Kohäsion auffallend sind.

Da bei den trockenen und echten Lössen, selbst bei den Lössen aus Ca-Horizonten (die also am stärksten mit Kalk verkittet sind!), die Kohäsion bei vollkommener Wasserüberflutung fast gänzlich abnimmt, muß diese Kohäsion als eine hauptsächlich nur „scheinbare“ bezeichnet werden (K. TERZAGHI, 1961). Die feuchten Lössen, die Staublehmen und die Lößlehme besitzen hingegen eine höhere echte Kohäsion als die erstgenannten. Sie bleibt auch unter Wasser erhalten.

4.3 Sedimentpetrographische Untersuchungen

Aus den bodenmechanischen Untersuchungen war zu vermuten, daß für die Festigkeitseigenschaften der verschiedenen Lößarten in erster Linie der Prozentsatz der Fraktion kleiner 2μ , die mineralogische Zusammensetzung dieser Fraktion und die jeweilige Gefügeausbildung entscheidend sind. Mit Hilfe von sedimentpetrographischen Methoden wurden nun diese letztgenannten Merkmale an Lössen und Staublehmen näher untersucht.

4.31 Bestimmung der Permeabilität

Als strömendes Mittel mußte Luft verwendet werden, da Wasser das Lößgefüge zerstört hätte. Die verschiedenen Durchlässigkeitsversuche wurden immer an lufttrockenen Proben angestellt.

Die Durchlässigkeit (k) normal zu ss ist, mit Ausnahme der Probe aus Sieghartskirchen, stets größer als parallel zu ss. Sie beträgt bei den verschiedenen Proben in md (Millidarcy) ausgedrückt:

	K // zu ss	K ⊥ zu ss
Stammersdorf 1:	1353,0 md	1371,0 md
Stillfried 1:	1900,0	1925,0
Ladendorf 1:	1450,0	1742,0
Stillfried 4:	633,0	669,0
Wetzleinsdorf 1:	448,0	544,0
Sieghartskirchen 1:	63,0	62,0

Die in Bezug auf die Richtungen verschiedenen Durchlässigkeiten dürften in der bevorzugt senkrechten Wachstumsrichtung der fossilen Wurzelröhrchen begründet liegen. Diese größere Durchlässigkeit ⊥ zu ss stellt auch eine Eigenheit der Lössе dar, da bei nahezu allen anderen Sedimenten stets eine höhere Durchlässigkeit in Richtung // zu ss erreicht wird.

Die trockenen und echten Lössе (Stammersdorf 1, Stillfried 1 und Ladendorf 1) besitzen stets eine wesentlich größere Durchlässigkeit als die Lössе aus Ca-Horizonten (Stillfried 4 und Wetzleinsdorf 1) und der feuchte Löß (Sieghartskirchen 1) mit dem am niedrigst ermittelten Wert.

4.32 Bestimmung des Kalkgehaltes

Diese Untersuchungen führte ich mit Hilfe des Gasometers nach SCHEIBLER durch (als Lösungsmittel diente dabei 2n kalte Salzsäure).

Probe:	CaCO ₃ in ‰	Probe:	CaCO ₃ in ‰
1. Stammersdorf 1	34	16. Sieghartskirchen	0
2. Gedersdorf	9	17. Stillfried 3	0
3. Thallern 1	13	18. Paudorf 2	6
4. Stillfried 1	12	19. Paudorf 4	2
5. Stillfried 2	10	20. Feilendorf 6	0
6. Stillfried 5	9	21. Feilendorf 10	0
7. Hollabrunn 1	14	22. Thallern 3	4
8. Ladendorf 1	18	23. O-Premstätten 1	0
9. Paudorf 1	14	24. U-Premstätten 1	0
10. Paudorf 3	16	25. Pichla 1	0
11. Thallern 2	12	26. Groß-Petersdorf 5	0
12. Weinsteig 1	20	27. Messendorf 1	0
13. Stillfried 4	30	28. Kulm 1	0
14. Wetzleinsdorf 1	26	29. Neudau 1	0
15. Feilendorf 4	2	30. Aulehm Rußbach	8
		31. Aulehm Pinka	0
1—4: trockener Löß		17—22: Lößlehm	
5—12: echter Löß		23—29: Staublehm	
13—14: Lössе aus Ca-Horizonten		30—31: Aulehm	
15—16: feuchter Löß			

Aus den hier dargestellten Untersuchungsergebnissen geht deutlich hervor, daß die trockenen und echten Lössе (besonders natürlich die Löß-

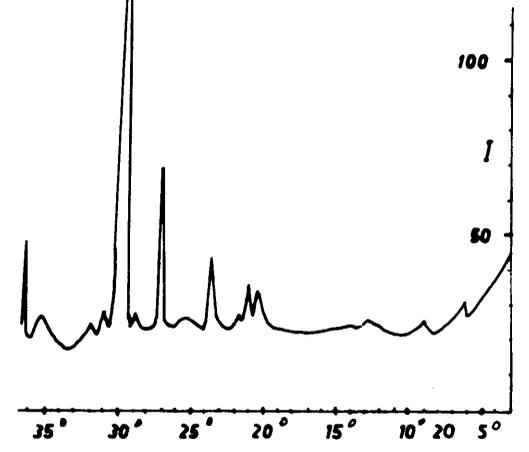
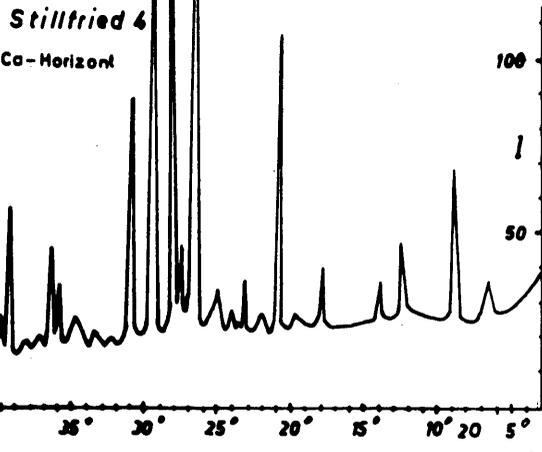
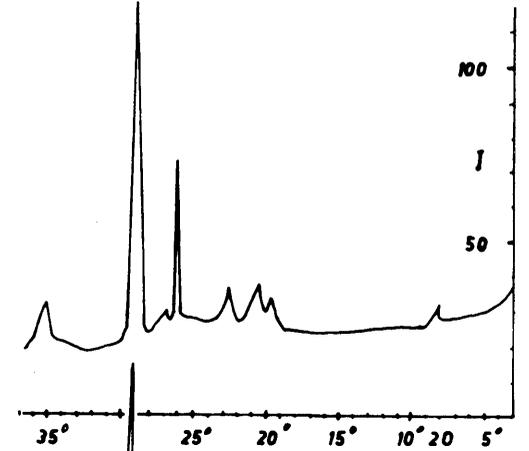
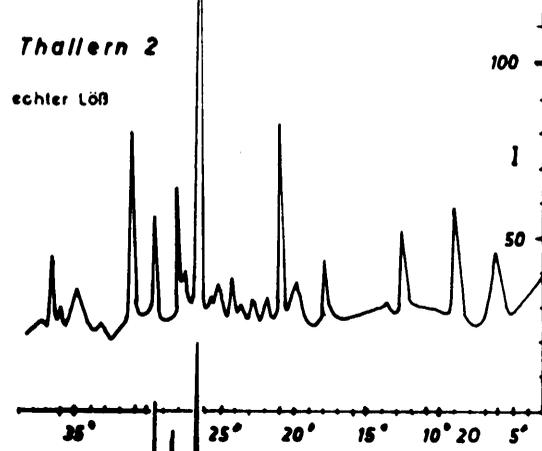
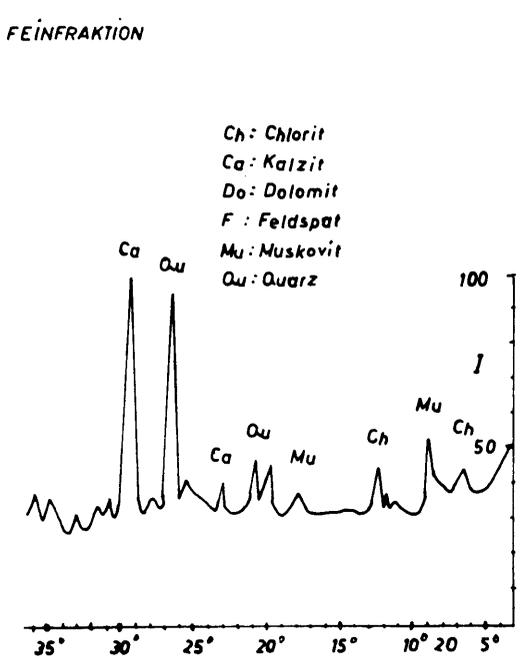
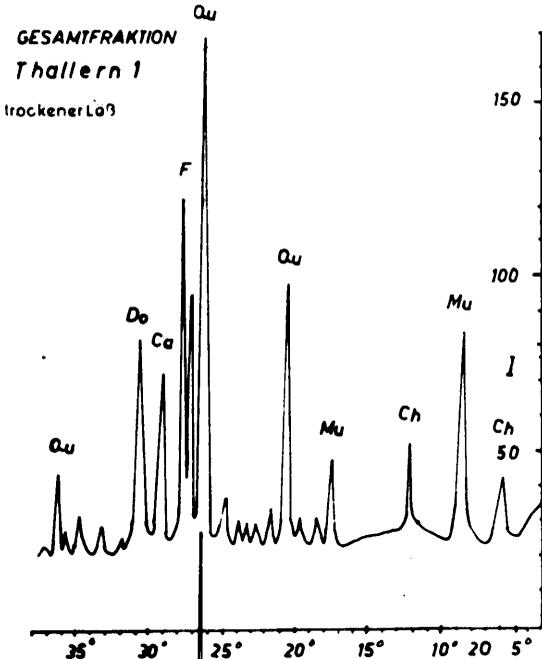


ABB. 15

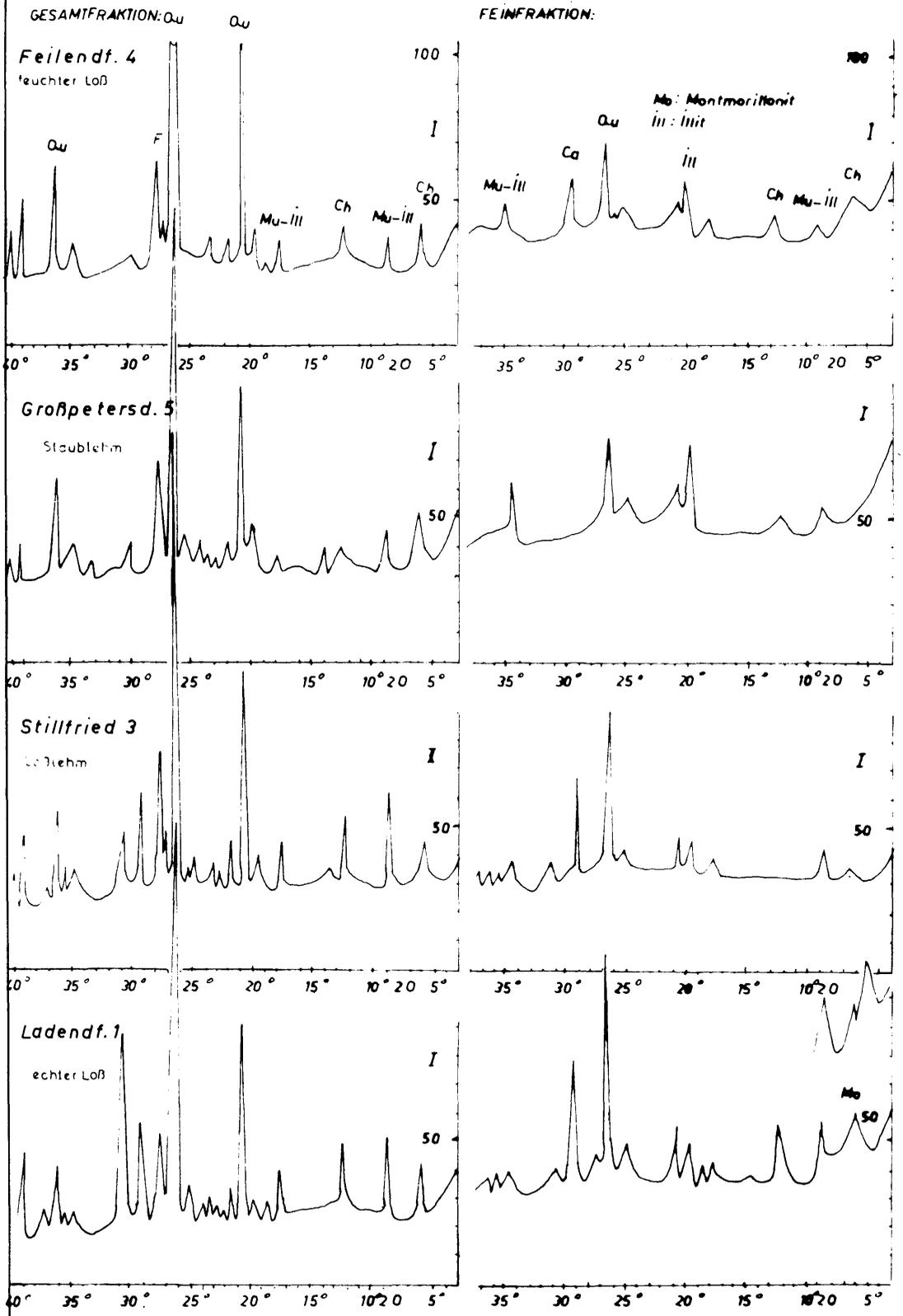


ABB. 16

proben aus den Ca-Horizonten) wesentlich höhere Kalkgehalte besitzen als die Lößlehme, Staublehme und auch die feuchten Lössе.

Die Ursachen der verschiedenen Kalkgehalte liegen in einem schon primär verschiedenen Ausgangsmaterial und im Klima begründet. Gelangt der Löß in den Einflußbereich eines feuchten Klimas, so kommt es zur Verwitterung des feinen Mineralstaubes. Zunächst wird der Kalk aufgelöst und allmählich in den Untergrund ausgewaschen, wo er als Verkleidung der Hohlräume gelegentlich wieder ausfällt. Bei den Staublehmen ist der Kalk wahrscheinlich schon vor der endgültigen Sedimentation weggelöst worden, da er auch in den tieferen Horizonten fast völlig fehlt.

Die hier gemachte chemische Analyse erfaßt den gesamten CaCO_3 -Gehalt, also sowohl die schon primär eingelagerten Kalzitkörnchen und Schneckenschälchen, als auch das sekundär ausgeschiedene Kalziumkarbonat, welches dann eine verkittende Wirkung ausüben soll. Es kann daher bei den Lössen aus dem Gesamtkarbonatgehalt alleine nicht ohne weiteres auf den Verkittungsgrad geschlossen werden. Z. B. besitzt die Probe aus Stammersdorf 1 (= trockener Löß) einen höheren Kalzitgehalt als die untersuchten Proben aus Ca-Horizonten, ist aber sichtlich weniger mit Kalzit verkittet (Abb. 19 und 20).

4.33 Röntgen-Diffraktometeruntersuchungen

Durch Abschlämmen und Absetzen der gröberen Fraktionen konnte die Feinstfraktion gewonnen werden (als Dispersionsmittel diente Ammoniak). Zum Vergleich wurden aber immer zusätzlich auch Aufnahmen der jeweiligen Gesamtfaktionen gemacht. Alle Aufnahmen führte ich mit einem Siemens-Röntgendiffraktometer mit folgender Einstellung durch:

Strahlung Cu $\text{K}\alpha$, 32 kv, 20 mA und einer Zählrohrspannung von 1750 V. Die Winkelgeschwindigkeit betrug $\frac{1}{2}^\circ$ pro Minute, das Verhältnis Mittelwert/Meßfaktor 4/1, die Zeitkonstante 4. Bei den Feinstfraktionen machte ich immer je drei Aufnahmen: eine mit dem lufttrockenen Präparat, eine mit Aethylglykol behandeltem und eine dritte mit einem bis auf 550°C erhitzten Präparat. Die einzelnen Untersuchungen wurden in erster Linie qualitativ ausgewertet. Quantitative Aussagen sind infolge des Massenschwächungsfaktors nur schwer möglich.

Folgende Mineralien konnten also auf röntgenographischem Weg festgestellt werden: Quarz, Feldspat, Dolomit, Kalzit, Muskovit und Chlorit (da der 7-Å-Reflex des Chlorites bei manchen Proben nach Erhitzen auf 550°C sehr stark geschwächt wird, könnte neben Chlorit auch Kaolinit vermutet werden. In der Probe Ladendorf 1 konnte Montmorillonit dadurch nachgewiesen werden, daß der 14-Å-Reflex nach der Behandlung mit Aethylglykol nach 16,9 Å wanderte). Der hohe Untergrund bei den Proben aus feuchten Lössen, Staublehmen und den Verlehmungszonen läßt hier auf ein stärkeres Hervortreten von gelförmigen Fe-Verbindungen schließen (Abb. 15 und 16).

Sehr interessant ist auch ein Vergleich der einzelnen Fraktionen untereinander. Bei den trockenen, echten Lössen und Lössen aus Ca-Horizon-

ten ist bis auf Kalzit eine starke Abnahme sämtlicher Minerale in der Feinfraktion im Vergleich zur Gesamtfraktion zu beobachten. In der gleichen Reihenfolge der in Abb. 15 aufgezeigten Diagramme ist gegen unten zu eine Zunahme dieses Kalzitgehaltes in der Feinfraktion zu sehen (also in der Reihenfolge: trockener Löß → echter Löß → Löß aus Ca-Horizont). Es handelt sich also hier sichtlich um die sekundär gebildeten Kalzitkriställchen, die bei den feuchten Lössen, Staublehmen und Proben aus Verlehmungszonen fast gänzlich fehlen (Abb. 16).

4.34 Differential-Thermo-Analyse

Ein DTA-Gerät, System Norton, diente für diese Untersuchungen. Die Aufheizgeschwindigkeit betrug stets 10° C/min., innerte Substanz verwendete ich totgebranntes Al_2O_3 . Zu den Untersuchungen gelangten stets die Gesamtfractionen.

Die endothermen Reaktionen bei 800° C sind auf Dolomit und Kalzit zurückzuführen und treten nur bei den Lössen auf. Die Probe Ladendorf 1 zeigt aber außerdem noch eine zweistufige Entwässerung im Bereich von 150° C bis 200° C, was die bei den Röntgenuntersuchungen gemachte Vermutung hinsichtlich Montmorillonit bestätigen würde.

Ganz anders sehen die DTA-Kurven von Staublehmen und Proben aus Verlehmungszonen aus. Es fehlen Kalzit und Dolomit hier gänzlich, dagegen sind starke endotherme Reaktionen zwischen 150° C und 200° C und exotherme Reaktionen zwischen 800° C bis 900° C zu beobachten, die auf größere Mengen von Tonmineralien hinweisen. Nach den gemachten Untersuchungen wäre hier eine Zuordnung zu „mixed layer“ Mineralien, und zwar Illit/Montmorillonit möglich, da auch die Röntgenaufnahmen breite Reflexe bei 10 Å und bei etwa 4.9 Å zeigen. Die breiten exothermen Reaktionen zwischen 200° C bis 400° C bei den feuchten Lössen, Staublehmen und Proben aus Verlehmungszonen würden dann auf Al- und Fe-Hydroxyde deuten, welche schon oft in Bodenbildungen beschrieben wurden (H. FRANZ, 1960). Quarz ist in allen Proben an der α - β -Umwandlung bei 575° C zu erkennen.

Bei den Staublehmen, bei den Proben aus den Verlehmungszonen und in geringerem Maß auch bei den feuchten Lössen ist ein stärkeres Hervortreten der Tonmineralien zu beobachten, im Gegensatz zu den Lössen, wo hauptsächlich Kalzit und Dolomit typisch sind (Abb. 17).

4.35 Dünnschliffuntersuchungen

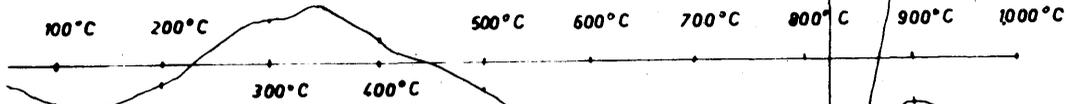
An Hand von Dünnschliffen untersuchte ich in erster Linie die Gefügeausbildungen der verschiedenen Lößarten, um dann nach Art und Grad der Verkittung Beziehungen zu den festgestellten Festigkeitseigenschaften herzustellen. Beim Anfertigen der Dünnschliffe wurde nach der Methode von H.-J. ALTEMÜLLER (1962), das heißt unter Verwendung des Kunstharzes Vestopal H, vorgegangen. Als Spülmittel bei dem Schleifvorgang mußte Wasser vermieden werden, da es das Bodenmaterial auch

Stillfried 1 (trockener Löss)

Hollabrunn 1 (echter Löss)

Stillfried 4 (Ca-Horizont)

Sieghartskirchen 1 (feuchter Löss)



Kulm 1
Staublehm

Feilendf. 6 (Lösslehm)

Ladendf. 1 (echter Löss)

nach der Einbettung noch zum Quellen bringen kann. Es erwies sich auch bei meinen Untersuchungen das Shell-Öl V 0847 als vollwertiger Ersatz.

Trockener Löß: besitzt ein mehr oder weniger loses Einzelkorngefüge, die Körnchen sind fast überhaupt nicht miteinander verkittet. Das Karbonat liegt noch in Form von primären Kalzit- und Dolomitmikrinen vor, die nur leicht angelöst sind. Eine Einregelung der Mineralkörnchen, selbst der Glimmerschüppchen (Muskovite und Biotite) ist nicht zu beobachten.

Echter Löß: hier kann von einem typischen „intertextischen“ Gefügetyp gesprochen werden (W. L. KUBIENA, 1935). Die Berührungsstellen der Körner sind mit Kalzitkriställchen verkittet, welche als eine Art „Kontaktzement“ wirken (H. FREUND, 1955). Neben diesen feinsten Kalzitkriställchen können aber auch durch „Aufblättern“ der Muskovite Kleinstbruchstücke geliefert werden. Die Bindesubstanz ist meistens durch Eisenhydroxyd hellbraun gefärbt. Die feinen Wurzelröhrchen sind teilweise mit frischen, neugesproßten, radialsymmetrischen Kalzitkristallen ausgekleidet, die Pseudomorphosen nach den Pflanzenzellen fossiler Wurzeln bilden können; teilweise haben sich kleinste Kalzitkriställchen an den Kanalwänden angelagert, die dann in die nähere Umgebung weiterwachsen und somit Bildungen von Kalkkonkretionen verursachen können.

Ca-Horizont: fast sämtliche Hohlräume sind bereits mit sekundär gebildeten Kalzitkriställchen gefüllt, die die gröberen Körnchen fest miteinander verkitten. Das Bindemittel liegt also hier als Porenzement vor; als Gefügetyp käme das „mörtelartige“ Gefüge in Frage.

Lößkindel: die Poren sind nun vollkommen mit Kalzitkriställchen gefüllt und man könnte in diesem Fall von einem „Basalzement“ nach D. HONES sprechen. Die Mineralkörner des ursprünglichen Löß-Gefügeskelettes werden verdrängt, bzw. durch die sekundär gebildeten Kalzitkriställchen stark korrodiert.

Feuchter Löß: die Körner liegen in einer dichten Grundmasse, die sich hier aber nicht aus Kalzitkriställchen, sondern einem sepiabraun gefärbten Gefügeplasma zusammensetzt (darunter ist nach W. L. KUBIENA die Gesamtheit der Schlämstoffe und löslichen Salze gemeint). In den wegsamen Gefügeteilen (Leitbahnen) kann dieses Plasma in die Tiefe abfließen. Zahlreiche große dunkelbraune bis undurchsichtige Fe-Konkretionen sind häufig. Es ist keine Einregelung der Körnchen zu beobachten. Als Gefüge käme das „porphyropeptische“ in Frage.

Stablehme: das Schliffbild erinnert stark an das der feuchten Lösses, nur sind die Leitbahnen wesentlich deutlicher ausgebildet. Die Körner sind locker in der Grundsubstanz eingelagert und zeigen ebenfalls keine Regelung („porphyropeptischer“ Gefügetyp).

Verlehmungszonen (Lößlehme): untersucht wurden B-Horizonte fossiler Braunerden. Kennzeichnend ist ein weitgehend geflocktes, lockeres Schwammgefüge, das durch unbewegliche Eisengele ockerbraun gefärbt erscheint. Die Hohlräume sind nicht mit Fließplasma gefüllt und die Eisenkonkretionen zeigen oft eine „zerspratzte“ Form.

Bei den trockenen und echten Lössen und den Proben aus Ca-Horizonten setzt sich das Bindemittel in erster Linie aus feinsten Kalzitkriställchen zusammen, die mehr oder weniger dicht eingelagert sind. Dazu kommt aber sicherlich noch eine verfestigende Wirkung von Eisenhydroxyden, die dem Bindemittel eine leicht bräunliche Färbung verleihen. Das Gefügeskelett bilden hauptsächlich die sehr sperrig angeordneten Körner der für den Löß typischen Stammfraktion von 15 bis 60 μ .

Bei den feuchten Lössen, Staublehmen und Proben aus Verlehmungszonen fehlt Kalzit als Bindemittel; es treten dafür Tonsubstanzen und limonitisches Eisen an seine Stelle. Neben dem Braunerdeteilplasma tritt bei den feuchten Lössen, den Staublehmen und den vergleyten (fossilen) Parabraunerden auch Braunlehm-Teilplasma auf (W. L. KUBIENA, 1956). Letzteres ist hochbeweglich und kann in den Leitbahnen des Gefüges abströmen. Im Dünnschliff ist diese Tonsubstanz an der Doppelbrechung zu erkennen, die durch Einregelung der Einzelteilchen in die Fließrichtung erklärt werden kann.

Die untersuchten (fossilen) B-Horizonte von Braunerden zeigen noch die ursprüngliche sperrige Anordnung der Körner des Lößgefüges, das ja vor der Bodenbildung zugrunde lag. Eine Tonsubstanzwanderung ist hier nicht zu beobachten. Bei den feuchten Lössen und ganz besonders bei den Staublehmen ist diese sperrige Anordnung des Gefügeskelettes nicht vorhanden. Die Körner sind hier mehr oder weniger locker im Gefügeplasma eingebettet. Diese zum echten Löß unterschiedliche Gefügeausbildung findet eine Erklärung in den feuchteren Klimabedingungen, wo während der Sedimentation stärkere bodenbildende Prozesse mit Tonproduktion und Tonverlagerung auftraten.

Die Entstehung der einzelnen Gefügearten steht also mit der Bodendynamik in engem Zusammenhang. Sie ist das Ergebnis ganz bestimmter Umwandlungs- und Stoffverlagerungsvorgänge.

Abb. 19: Trockener Löß. Die einzelnen Körnchen liegen lose nebeneinander und sind fast nicht verkittet. Nicols //, Vergrößerung 1: 450.

Abb. 20: Echter Löß. Verkittung mit Kalzitkriställchen (als „Kontaktzement“ hell aufleuchtend!) in den Porenwickeln. Nicols +, Vergrößerung 1: 450.

Abb. 21: Kalzitpseudomorphosen nach fossilen Wurzelzellen in echtem Löß. Nicols +, Vergrößerung 1: 450.

Abb. 22: Feuchter Löß. Querschnitt durch eine Leitbahn. Beispiel eines porphyropeptischen Gefüges. Nicols //, Vergrößerung 1: 90.

Abb. 23: Dünnschliff einer abgescherten Lößprobe normal zur Scherfläche gesehen. Nicols //, Vergrößerung 1: 90.

4.4. Zusammenfassung der Ergebnisse der bodenmechanischen und sediment-petrographischen Untersuchungen.

	Trock. L.:	Echter L.:	Feucht. L.:	Staublehm:	Verl. Z.:	Ca-Horiz.:
Kornverteilung:						
Feinsand	5—30%	5—30%	5—30%	5—30%	5—30%	5—30%
Schluff	70—80%	70—80%	70—80%	50—60%	60—70%	70—80%
Rohton + Schwebel	5—20%	5—20%	5—20%	20—40%	15—25%	5—20%
Sortierung	1,5—2	1,5—2	1,5—2	3	2—3	1,5—2
wirksame Korngröße	5—15 μ	5—15 μ	5—15 μ	1—4 μ	3—6 μ	5—15 μ
Wassergehalt:						
	5—15%	5—15%	20%	20%	20%	5—15%
Atterberg'sche Grenzen:						
Fließgrenze	23—29%	27—31%	31—33%	42—72%	36—51%	27—28%
Ausrollgrenze	22—25%	17—23%	21—22%	22—32%	17—24%	20—22%
Plastizitätszahl	1—4	8—10	10—11	20—40	19—27	6—7
Spez. Gewicht in g/cm³						
	2,72—2,76	2,72—2,76	2,72—2,76	2,72—2,76	2,72—2,76	2,72—2,76
Raumgewicht in g/cm³						
	1,37—1,55	1,37—1,55	1,59—1,70	1,59—1,70	1,55—1,66	1,37—1,55
Porenvolumen						
	45—50%	45—50%	37—42%	37—42%	40—43%	45—50%
Proctordichte:						
Optimaler Wassergehalt	16—19%	16—19%	16—19%	29—33%	21—27%	16—19%
Zylinder-Druckfestigkeit in kg/cm² (Proben lufttrocken)						
	4—6	7—10	20			
Scherfestigkeit in kg/cm² (Proben lufttrocken)						
	$\tau = 1,3$ (p = 1 kg/cm ²)	$\tau = 2,3$ (p = 1 kg/cm ²)	$\tau = 3,9$ (p = 1 kg/cm ²)		$\tau = 4,2$ (p = 1 kg/cm ²)	$\tau = 2,8$ (p = 1 kg/cm ²)
Permeabilität in md.						
	zu ss 1353—1900	zu ss 1450	zu ss 63	zu ss	zu ss	zu ss 448—633
	⊥ zu ss 1371—1925	⊥ zu ss 1742	⊥ zu ss 62	⊥ zu ss	⊥ zu ss	⊥ zu ss 544—669
Kalkgehalt:						
	12—34%	12—20%	0—2%	0%	0—6%	26—30%

4.5 Schlussfolgerungen aus den bodenmechanischen und sedimentpetrographischen Untersuchungen

Im folgenden werden die Ergebnisse aus den bodenmechanischen und sedimentpetrographischen Untersuchungen der nach geologisch-pedologischen Gesichtspunkten getroffenen Lößtypeneinteilung nach J. FINK gegenübergestellt und diskutiert.

Um die Festigkeiten der verschiedenen Lößarten besser herausarbeiten zu können, habe ich immer die jeweiligen Extremtypen zu den Untersuchungen herangezogen, wie zum Beispiel einen typischen „echten“ oder typischen „trockenen“ Löß.

In der Natur sind diese Unterschiede oft sehr verschwommen und es gibt viele Übergänge. In diesem Sinne sind auch die einzelnen Zahlenangaben zu werten. Um allgemein gültigere Werte zu erhalten, hätte die Anzahl der zu untersuchenden Proben wesentlich vergrößert werden müssen. Dies war aber leider bei meinen Arbeiten am bodenmechanischen Institut der TH-Wien aus arbeitstechnischen Gründen nicht möglich.

Wie wirken also die Bindungskräfte, die die Festigkeit bei den verschiedenen Lößarten verursachen? In der Literatur (z. B. K. TERZAGHI, 1961, und K. F. G. KEIL, 1959) werden ganz allgemein folgende zwei Möglichkeiten genannt:

A) **Echte Kohäsion** (= physikalisch „echte“ Adhäsion): Diese beruht auf den Anziehungskräften zweier stofflich verschiedener Körper, bedingt durch die Oberflächenenergie der Nahkräfte. Es handelt sich hier vermutlich um elektrostatische Kräfte (London-Van der Waals'sche Kräfte), auf der Basis eines Ionenaustausches.

B) **Scheinbare Kohäsion**: Sie ist eine nur durch Oberflächenspannung des Kapillarwasserdruckes ausgelöste, ihrem Wert nach leicht veränderliche und schwankende reversible Adhäsionserscheinung. Sie hat ihren höchsten Wert in der Schrumpfgrenze und erhält ferner bei günstigstem Wassergehalt den auf geotechnischem Wege größtmöglichen Wert. Diese scheinbare Kohäsion verschwindet, sobald die Kapillardruckkräfte aufgehoben sind, z. B. bei vollständigem Überfluten mit Wasser.

Nach den bodenmechanischen Untersuchungen (Scherversuche, Druckversuche, Bestimmung der Konsistenzgrenzen) zu urteilen, scheint sich die Haftfestigkeit bei den trockenen, echten Lössen und denen aus Ca-Horizonten mehr auf eine scheinbare als auf eine echte Kohäsion zu gründen. Es kann daraus geschlossen werden, da die Haftfestigkeit dieser Proben unter Wasser fast Null ist, selbst bei den stärkst verkitteten Lössen, den Lössen aus Ca-Horizonten. Dieser Verlust der Haftfestigkeit tritt bei Eintauchen in Wasser sehr rasch ein (auch bei destilliertem Wasser), so daß ein so plötzliches Auflösen der Kalkverkittung doch nur schwer denkbar ist.

Wie ja aus den mikroskopischen Untersuchungen ersichtlich ist, liegt der sekundär gebildete Kalk in Form von Mikrokriställchen vor und bildet so die in der Literatur schon häufig beschriebenen Kalkhäutchen. Diese

Kalzitkriställchen lagern sich nun, zusammen mit anderen feinsten Mineralsplitterchen, hauptsächlich in den Porenwickeln ab (siehe Abb. 20, echter Löß). In diesem Zusammenhang kommt nun der Beobachtung W. BERNATZIG's (zit. n. H. FRANZ, 1960) große Bedeutung zu. Dieser hat die unter dem Namen der scheinbaren Kohäsion bekannte Tatsache, daß der im feuchten Zustand geringe Zusammenhalt der Teilchen mit zunehmender Austrocknung sehr stark anwächst, am Schema einer Kugelschüttung mit großen und kleinen Kugeln kausal erläutert. Solange genügend Feuchtigkeit vorhanden ist, sind nicht bloß die großen Kugeln mit Hydrathüllen umgeben, sondern darüber hinaus die Lücken zwischen ihnen weitgehend mit Wasser gefüllt und die kleinen Kugeln im Kapillarwasser suspendiert. Schreitet die Austrocknung fort, so werden die kleinen Teilchen auf immer engeren Raum zusammengedrängt, um schließlich dichteste Lagerung anzunehmen. Von diesem Augenblick an verhindert das Vorhandensein der kleinen Partikel eine weitere Wasserabgabe und es entsteht ein mit fortschreitender Austrocknung steigender Unterdruck im Kapillarwasserrest. Die Kraft, welche die Teilchen zusammenhält, nimmt gleichzeitig zu. Je mehr Teilchen vorhanden sind, desto größer ist der von ihnen eingenommene Raum und die Berührungsfläche zwischen den Hydrathüllen der großen Kugeln, um so größer damit auch die erhaltene Festigkeit.

Diese Erläuterungen könnten meiner Meinung nach gut auf die Lößfestigkeit angewendet werden. Sie würde am einfachsten das Verhalten der trockenen, echten Lösses und der Lösses aus den Ca-Horizonten bei den Scherversuchen erklären. Die „kleinen Partikelchen“ W. BERNATZIG's würden beim kalkver kitteten Löß die aus dem kalkgesättigten Porenwickelwasser auskristallisierten Mikrokriställchen (die Lösung und Wiederausfällung des Kalkes erfolgt nach der bekannten Beziehung $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Ca}[\text{HCO}_3]_2$) in Verbindung mit anderen feinsten Partikelchen (z. B. Glimmerschüppchen etc.) darstellen. Der so rasche Verlust der Festigkeit bei Wasserzugabe könnte dann einfach als Folge des Verlustes obengenannter Kapillardruckkräfte (= scheinbare Kohäsion) erklärt werden. Die trockenen Lösses erreichen dann in der Schrumpfgrenze verständlicherweise eine geringere, die echten Lösses und Lösses aus Ca-Horizonten die höhere Festigkeit (dank höheren Gehaltes an diesen „Mikrokriställchen“, die in der Literatur immer sehr vereinfacht als „Kalkhäutchen“ gedacht wurden). Es sind aber auch sicherlich neben den Kräften, die eine scheinbare Kohäsion verursachen, auch solche einer gewissen echten Kohäsion vorhanden, da sonst nicht der Zusammenhalt des trockenen und echten Lösses bei Erhitzen auf höhere Temperaturen erhalten bleiben könnte (wie aus den Röntgenuntersuchungen zu entnehmen ist, können auch bei den trockenen, echten Lössen und bei den Lössen aus Ca-Horizonten geringe Mengen von Tonmineralien vermutet werden).

Bei der Verkittung mit Kalzit handelt es sich, wie schon L. KÖLBL, 1930, richtig bemerkte, um einen diagenetischen Vorgang. Die sogenannten „trockenen“ Lösses erscheinen nun stets am wenigsten verkittet und ver-

festigt, was wenig verwundert, da sie ja unter relativ trockenen Klimabedingungen abgelagert wurden und daher am wenigsten Wasser für eine Zirkulation in diesem Sediment zur Verfügung stand und heute noch steht. Die echten Lössе dürften in dieser Hinsicht eine Mittelstellung zu den feuchten Lössen darstellen und es liegt hier die Vermutung nahe, daß in dem gleichen Zeitabschnitt, wo in der feuchten Lößlandschaft die echten Lössе sedimentiert wurden, in der trockenen Lößlandschaft die Akkumulation der trockenen Lössе erfolgte — ähnlich der von J. FINK gemachten Parallelisierung der feuchten Lössе auf der einen und der echten Lössе auf der anderen Seite (J. FINK, 1964).

Bei den feuchten Lössen, bei den Staublehmen und bei den Lößlehm wurde alles oder fast alles Karbonat zum Teil schon während der Sedimentation, zum Teil später durch eine stärker wirkende Verwitterung weggelöst. Daraufhin konnte in vergrößertem Maß Silikatverwitterung einsetzen; alles eine Folge des hier feuchteren Klimas. Die Silikatminerale wurden auch chemisch angegriffen und es kam zur Bildung sekundärer Tonminerale. Bei der Verwitterung entstand dann ein Gefügeplasma, das große Ähnlichkeit mit der von W. L. KUBIENA beschriebenen Braunlehmsubstanz besitzt und bei den feuchten Lössen und Staublehmen in beweglicher Form vorliegt. Bei diesen letztgenannten Sedimenten, oder besser Böden, ist die Festigkeit eher dann durch ein „Kleben“, durch echte Kohäsion infolge des höheren Gehaltes an Tonsubstanzen und Eisenhydroxyden verursacht, die auch unter Wasserbedeckung bestehen bleibt (auf die stark verklebende Wirkung von Fe-Hydroxyden haben besonders F. SCHEFFER und P. SCHACHTSCHABEL hingewiesen [1956]). Die bei diesen Böden festgestellten niedrigeren Porenvolumina sind dann nicht durch ein Zusammenpressen der darüberliegenden Schichten entstanden, sondern durch Neubildungen und Einschlammungen von Tonsubstanzen (4.23).

Die für diese obengenannten Vergleiche herangezogenen Proben stammten alle aus un- oder nur wenig „gekappten“ Profilen und wurden auch aus annähernd gleichen Tiefen unter der Terrain-Oberkante entnommen. Damit konnten verschiedene Vorbelastungen bei den einzelnen Proben ausgeschlossen werden.

Was nun die verschiedenen großen Zunahmen der Scherwinkel bei zunehmender Austrocknung betrifft (4.27), kann dies mit der unterschiedlichen Ausbildung der Gefügeskelette der einzelnen Lößarten in Verbindung mit der Bindesubstanz erklärt werden.

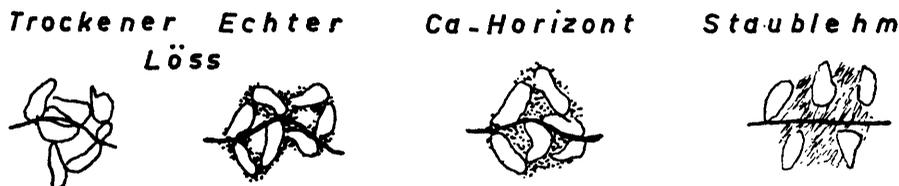


ABB. 18

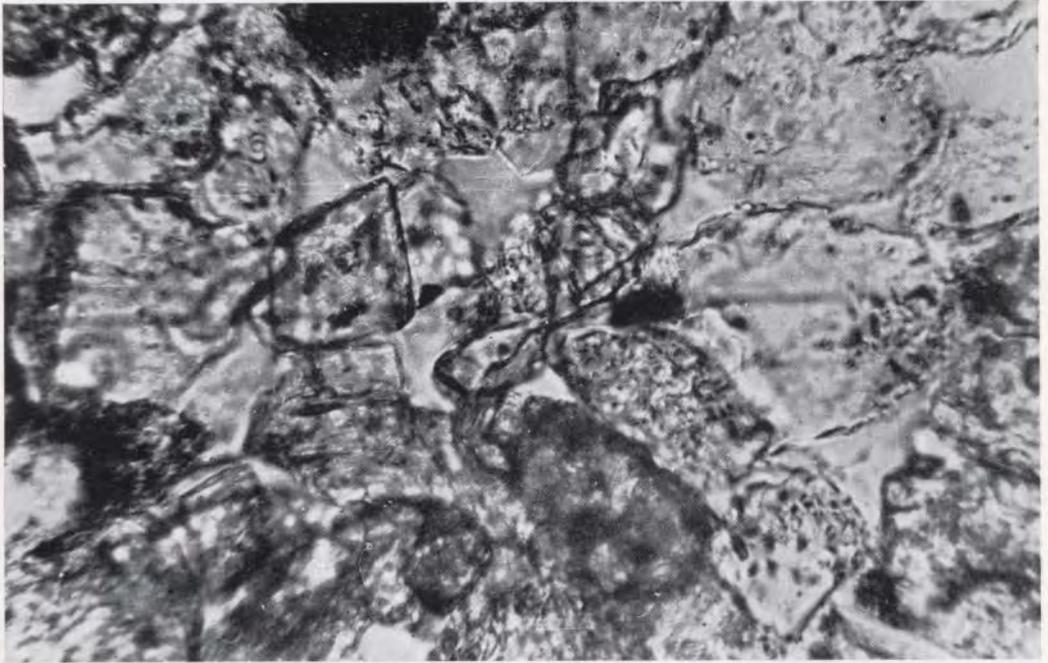


Abb. 19

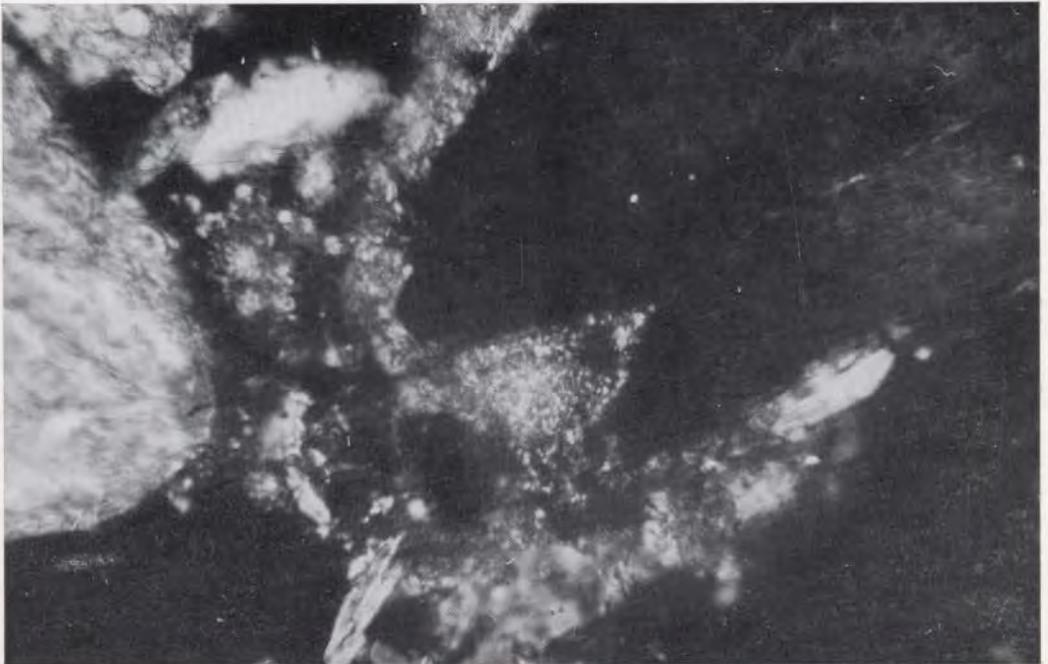


Abb. 20



Abb. 21

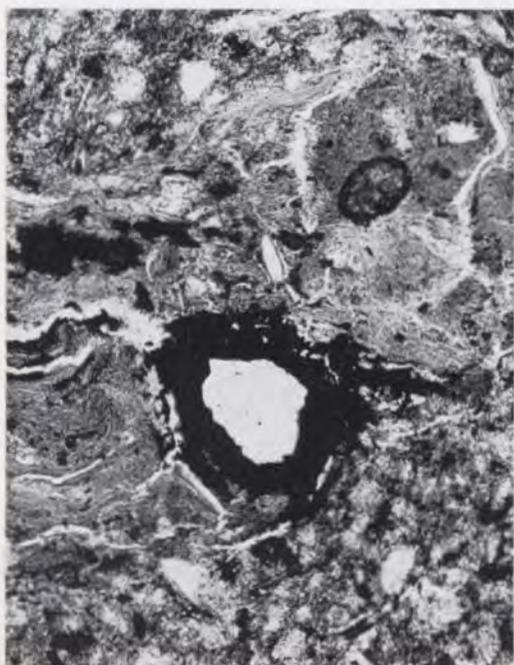


Abb. 22



Abb. 23

In Abb. 18 sind die einzelnen Gefügetypen mit bereits ausgebildeten Scherflächen schematisch dargestellt (siehe auch Abb. 23). Bei den trockenen, echten Lössen und Lössen aus Ca-Horizonten sind die einzelnen Körner sperrig im Gefüge angeordnet, bzw. ineinander verzahnt. Diese Verzahnungswirkung kann dann je nach Gehalt und Menge der Kalzitkriställchen infolge der Kapillarspannungskräfte wesentlich erhöht werden, d. h., eine Art zusätzlicher Gefügereibung erzeugt werden. Die Korn-an-Korn-Reibung wird also durch die Bildung sekundärer Gefügeelemente vervielfacht, der Scherwinkel dann stark vergrößert.

Bei den feuchten Lössen und bei den Staublehmen schwimmen die einzelnen Körner in einer überwiegenden Grundmasse, eben in der Binde-substanz. In dieser Grundsubstanz, die ja infolge der kleinen Korngrößen keinen großen Reibungswinkel besitzen kann, wird dann eher eine glatte Scherfläche gebildet. Es fehlt also hier der Anteil aus der Gefügereibung.

Bei den festigkeitsmäßig untersuchten B-Horizonten von fossilen Braunerden ist die sperrige Anordnung der Körner des Lößgefüges, aus dem sich ja diese Zonen entwickelt hatten, noch erhalten. Die Verkittung hingegen erfolgt wie bei den Staublehmen und feuchten Lössen mit Tonsubstanzen, die einen höheren Zusammenhalt verursachen als die verkittende Wirkung der Kalzitkriställchen. Es liegt also hier eine besonders günstige Kombination der beiden letztgenannten Elemente vor und die Scherfestigkeit bei diesen untersuchten Proben erreicht besonders hohe Werte (Pseudogleye und Rotlehme konnten hinsichtlich Festigkeit im Laboratorium nicht untersucht werden, da sie eine stark blockige Struktur besitzen und keine Versuchskörper gewonnen werden konnten).

Die Scherfestigkeit gründet sich also bei den trockenen, echten Lössen und selbst bei denen aus Ca-Horizonten eher auf einen Reibungsanteil, bei den feuchten Lössen und bei den Staublehmen zu einem höheren Prozentsatz auf die Haftfestigkeit.

Mit Hilfe dieser Ergebnisse konnte nun an die nächste Frage herangegangen werden, wodurch nämlich die relativ große Standfestigkeit des Lösses erklärt werden könnte, d. h., sein Vermögen, senkrechte Böschungen zu bilden. Diese letztgenannte Eigenart ist aber nur bei den trockenen bzw. echten Lössen zu beobachten. Die feuchten Lössen, ganz besonders aber die Staublehmen neigen vielmehr zu flach geböschten Hängen. Selbst in jungen Anschnitten, z. B. bei Abbauwänden in Ziegeleien, ist ein baldiges Verflachen und Verstürzen zu beobachten. Aus den Druckversuchen bei unbehinderter Seitenausdehnung geht hervor, daß die Festigkeit bei den Lössen richtungsunabhängig ist. Das kann auch bei Gewölben und Kellern, die in den Löß gegraben sind, beobachtet werden. Die Firste halten dort praktisch genauso fest wie die Seitenwände. Es ist also hinsichtlich Festigkeit keine bevorzugte Richtung zu beobachten und eine stabilisierende Wirkung der Wurzelröhrchen, die ja hauptsächlich in der lotrechten Richtung ausgebildet sind, kann demnach nicht angenommen werden. An der Bildung dieser senkrechten Absonderungsflächen scheinen auch Entspannungsvorgänge nicht beteiligt zu sein, da eigentlich keine

großen Vorbelastungen angenommen werden dürfen, die durch spätere Abtragungsvorgänge wieder eliminiert wurden. Dies ist aus der geologischen Entstehungsgeschichte dieser doch sehr jungen Sedimente undenkbar. Und warum schließlich und endlich zeigen die feuchten Löss und die Staublehne nicht auch eine solche Erscheinung der senkrechten Absonderung?

Am einfachsten kann nun eine Deutung gegeben werden, wenn man die Wirkung von Wasser auf die verschiedenen Lößarten beobachtet und in Zusammenhang mit deren unterschiedlichen Gefügeausbildungen bringt. Ersteres konnte man sehr gut im niederschlagsreichen Frühjahr 1965 tun. Nach den lange andauernden Regenfällen kamen die Staublehne stark ins Rutschen (z. B. gut zu sehen war das in der Ziegelei Groß-Petersdorf oder in Straßeneinschnitten im südlichen Burgenland), wogegen der echte Löß fast immer seinen steilen Böschungswinkel beibehielt. Eine weitere Beobachtung war, daß nach Entnahmen von ungestörten Proben die verbleibenden Öffnungen bei den Aufschlüssen in echten Lössen meist nach stärkeren Niederschlägen durch den Abgang einer ganzen, aus dem darüberliegenden Löß stammenden Lößplatte abgedeckt wurden. Bei den Probeentnahmestellen aus feuchten Lössen und aus Staublehnen hingegen verschwanden diese Aushöhlungen infolge Ausfließens und durch plastische Verformungen des Bodenmaterials.

Hier macht sich nun meiner Meinung nach das besonders ausgebildete Gefüge der kalkver kitteten Lössse bemerkbar. Infolge der großen Porosität, der starken Kapillarwirkung der zahlreichen Poren kann sich der Löß vollsaugen wie ein Schwamm. Ein eventueller Wasserüberschuß wird rasch mit Hilfe der als Drainageröhrchen wirkenden fossilen Wurzelbahnen in die Tiefe abgeleitet (siehe Abb. 21). Der echte Löß kann also das Wasser rasch auf eine große innere Oberfläche verteilen, es kann schwerlich zu Porenwasserüberdrücken kommen. Ist aber dennoch zuviel Wasser vorhanden, wie nach besonders lang andauernden Regenfällen, so wird die kapillare Verspannung der hier nur scheinbaren Kohäsion des Lösses eher in der lotrechten Richtung durch Überflutung aufgehoben werden, da ja hier infolge der bevorzugt senkrechten Richtung der Drainageröhrchen (= fossile Wurzelkanälchen) zuerst ein Wasserüberschuß herrschen wird. Es kann deshalb zu keinen Fließvorgängen kommen, da durch den Wasserüberschuß in also vertikaler Richtung ein mehr oder weniger plötzliches Abbrechen — durch Aufheben der nur scheinbaren Kohäsion! — von prismatischen Körpern erfolgen muß, da der Zusammenhalt in horizontaler Richtung infolge des hier geringeren Wassergehaltes länger erhalten bleiben kann. (Der große Einfluß des Wassers auf die Festigkeit der trockenen und echten Lössse geht aus den Scher- und Druckversuchen bei behinderter Seitenausdehnung hervor; 4.26 und 4.27.)

Ganz anders ist die Situation beim Staublehm zu deuten. Infolge des dichteren Gefüges, der vorhandenen quellbaren Tonmineralien und der Eisenhydroxydgelte bindet er alles Wasser schon an der Oberfläche und läßt es nur an wenigen Rissen in die Tiefe dringen, da die Poren und Leit-

bahnen ja vorwiegend mit Tonsubstanzen verstopft sind. Kleine Probenwürfelchen bleiben nach dem Eintauchen in Wasser im Inneren völlig trocken, an der Außenseite bildet sich stets eine gut durchfeuchtete, sehr glitschige Rinde. Das gleiche spielt sich auch in der Natur ab. Das Wasser kann nur an wenigen Klufflächen in die Tiefe dringen und umgibt die hier typischen grobprismatischen Gefügeaggregate statt sie zu durchtränken. Es bleibt also nur auf wenige Flächen konzentriert und kann nur langsam abgeleitet werden. Die starke Quellfähigkeit der Tonminerale, der hier bestimmt bald auftretende Porenwasserüberdruck bringt das Gelände dann leicht ins Rutschen.

Bei den feuchten Lössen konnte diese Neigung zu Rutschungen nur selten beobachtet werden, obwohl man nach den, den Staublehmen sehr ähnlichen Festigkeitseigenschaften und Gefügeausbildungen, auch ein diesen Sedimenten ähnliches Verhalten in der Natur erwarten müßte. Die feuchten Lössen sind aber in der Natur, als Folge ihrer geologischen Entstehungsgeschichte, meistens mittels einer Kappe echten Lösses bedeckt und dadurch vor stärkerem Nässezutritt geschützt (siehe Abb. 3).

Die trockenen und echten Lössen sind also trotz ihres geringeren Zusammenhaltes („scheinbare Kohäsion“) dank des günstigeren Mikro- und Makrogefüges in der Natur standsicherer als die hauptsächlich durch echte Kohäsion „verklebten“ und damit eigentlich „festeren“ Staublehmen.

Die fossilen Verlehmungshorizonte bilden hinsichtlich der Festigkeitseigenschaften ein Bindeglied zwischen den typischen Lößeigenschaften der echten Lössen und den Festigkeitseigenschaften von feuchten Lössen und Staublehmen. Die B-Horizonte fossiler Braunerden liegen festigkeitsmäßig näher den echten Lössen, solche von vergleyten Parabraunerden näher den feuchten Lössen und Staublehmen.

Zusammenfassend kann noch gesagt werden, daß die echten Lössen zwar böschungstabiler, aber infolge des höheren Porenvolumens setzungsempfindlicher als die feuchten Lössen und Staublehmen sind (4.23 und 4.4).

Die verschiedenen bodenmechanischen Verhalten der in dieser Arbeit untersuchten Lössen konnten also gut auseinandergelassen und den einzelnen Lößtypen nach J. FINK zugeordnet werden. Es stellte sich nämlich heraus, daß die bodenmechanischen Verhalten dieser Lockersedimente (hier besser als Böden zu bezeichnen!) von den verschiedenen mineralchemischen Zusammensetzungen der gerade hier in besonderem Maß entscheidenden feinsten Korngrößen abhängen. Die Zusammensetzung letzterer steht aber wieder in einem engen Zusammenhang mit der pedologischen Entwicklungsgeschichte dieser „Böden“.

5. LITERATURVERZEICHNIS

- ALTEMÜLLER, H. J.: Bodentypen aus Löß im Raume Braunschweig und ihre Veränderung unter dem Einfluß des Ackerbaues. — Dissertation, Bonn 1957.
- ALTEMÜLLER, H. J.: Verbesserungen der Einbettungs- und Schleiftechnik bei der Herstellung von Bodendünnschliffen mit VESTOPAL-Z. für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde. 99 (144) Bd., H. 2/3, 1962.
- BOROWICKA, H.: Die Festigkeitseigenschaften der Böden. — Forschungsgesellschaft für Straßenbauwesen im Ö. I. A. V., Arbeitsgruppe Untergrundforschung 1963, H. 23.
- BRINDLEY, G. W.: X-Ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals. — London 1951, Taylor and Francis Ltd, London.
- BROWN, G.: The X-Ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals. — London 1961. Jarrold and Sons Ltd., Norwich.
- FELGENHAUER, F., FINK, J., und de VRIES, H.: Studien zur absoluten und relativen Chronologie der fossilen Böden in Österreich. 1. Oberfellabrunn. — *Archaeologia Austriaca*, 25/1959.
- FINK, J.: Die fossilen Böden im österreichischen Löß. — *Quartär*, 6/ 1954.
- FINK, J.: Zur Korrelation der Terrassen in Österreich. — *Eiszeitalter und Gegenwart* 7, 1956, Oehringen/Württ.
- FINK, J.: Leitlinien einer österreichischen Quartärstratigraphie. — *Mitt. Geol. Ges. Wien*, Bd. 53, 1961.
- FINK, J.: Die Südostabdachung der Alpen. — *Mitt. Bodenkundl. Ges. Wien*, H. 6, 1961.
- FINK, J.: Studien zur absoluten und relativen Chronologie der fossilen Böden in Österreich. II. Wetzleinsdorf und Stillfried. — *Archaeologica Austriaca* 31/1962.
- FRANZ, H.: Feldbodenkunde. — Verlag Georg Fromme u. Co., Wien und München 1960.
- FREUND, H.: Handbuch der Mikroskopie in der Technik. — Umschau-Verlag, Frankfurt am Main 1955.
- GRAHAMAN R.: Über Herkunft und Entstehung des Lösses in Mitteleuropa. — *Bull. Inform. Service Ass. Study European Quarternary*, Nr. 3 (Moskau-Leningrad 1932).
- GUENTHER, E. W.: Sedimentpetrographische Untersuchung von Lössen. — *FUNDAMENTA*, Monographien zur Urgeschichte, Reihe B, B. 1, 1961.
- HOLZER, H.: Ein Beitrag zur Frage nach der Herkunft des Lösses. — *Zeitschr. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie*. Bd. 11, H. 1, 1952.
- JUNG, H.: Untersuchungen über ein Lößvorkommen bei Derenburg am Harz. — *Chemie der Erde*. Bd. 15, Jena 1945.
- KEIL, K. F. G.: Geotechnik. — VEB. Wilhelm Knapp Verlag. Halle 1959.

- KIESLINGER, A.: Zur Kohäsion des Sandes. Unfälle und Unfallsverhütung in Sandgruben. — *Geologie und Bauwesen*. Jahrg. 28, H. 1, Wien 1962.
- KÖLBL, L.: Studien über den Löß. Über den Löß des Donautales und der Umgebung von Krems. — *Mitt. geol. Ges. Wien* 23, 1930.
- KUBIENA, W. L.: Über das Elementargefüge des Bodens. — *Bodenkundl. Forsch.* 4, Berlin 1935.
- KUBIENA, W. L.: Mikromorphologie der Lößböden. — *Eiszeitalter und Gegenwart* 7, 1956. Oehringen/Württ.
- MACKENZIE, R. C.: *The Differential Thermal Investigation of Clays*. — London 1957, Central Press, Aberdeen.
- MILOVIC, D. M.: O nekim geomehanickim karakteristikama kopnenog i barskog lesa. — *VESNIK, Knjiga 1, Serija B, Tome 1*, Beograd 1960.
- MÜLLER, G.: *Methoden der Sedimentuntersuchung*. — E, Schweizer-Bart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart 1964.
- MÜNICHSDORFER F.: Der Löß als Bodenbildung. — *Geolog. Rdsch.* 17, 1926.
- PETTIJOHN, F. J.: *Sedimentary Rocks*. — Harper Brothers New York 1957.
- REDLICH, K. A., TERZAGHI, K. - v. KAMPE: *Ingenieurgeologie*. — Wien und Berlin. Verlag von Julius Springer 1929.
- RICHTHOFEN F. v.: *China. Ergebnisse eigener Reisen und darauf gegründeter Studien*. — Berlin 1877—1912.
- SCHEFFER, F. - SCHACHTSCHABEL, P.: *Bodenkunde*. — Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart. 1956.
- SCHEIDIG A.: *Der Löß und seine geotechnischen Eigenschaften*. — Verlag von Theodor Steinkopff. Dresden und Leipzig 1934.
- SCHÖNHALS, E.: *Gesetzmäßige Beziehungen zwischen Körnung und Kalkgehalt des Lösses und die Erkennung von Verwitterungszonen mit Hilfe des typischen Streubereiches*. — *Geol. Jb.* 66, Hannover 1952.
- STINY, J.: *Technische Gesteinskunde*. — 2. Auflage. Springer Verlag, Wien 1929.
- TERZAGHI, K. - PECK, R. B.: *Die Bodenmechanik in der Baupraxis*. — Springer Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1961.
- WIESENEDER, H. - KAUFMANN, A.: *Zur Auswertung der Korngrößenanalysen von Sanden*. — *Erdölzeitschrift*, H. 8, 1957.
- WOLDSTEDT, P.: *Das Eiszeitalter*. — Bd. 1, zweite Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1954.
- WINKLER-HERMADEN, A.: *Ergebnisse und Probleme der quartären Entwicklungsgeschichte am östlichen Alpensaum (außerhalb der Vereisungsgebiete)*. *Anz. Akad. Wiss., Math. Nat. Kl.* 110, Wien 1955.
- WINKLER-HERMADEN, A.: *Über Quartärforschung im steirischen und südburgenländischen Becken*. *Anz. Akad. Wiss., Wien, Math. Nat. Kl. Nr. 9*, 1960.