

Z81/15

MITTEILUNGEN

der

**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT**

Bd. 15

1972

Schriftleitung: P. Hugenroth / Göttingen

MITTEILUNGEN

der

DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT

Tagung 1971 der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in

STUTTGART-HOHENHEIM

- Referate -

Tagung der Kommissionen I und VI am 22. und 23. 2. 1972 in

HANNOVER

- Referate -

REFERATE
zur Tagung der
DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT in
STUTTGART-HOHENHEIM

I N H A L T

1. <u>Zum Problem der Schwarzerde-Bildung in Norddeutschland, F. Bailly</u>	4
2. <u>Bedeutung und Methode der erweiterten Korngrößenanalyse, H. Tributh</u>	8
3. <u>Vertikale und horizontale Verteilung der Bodenbildung auf Kalken und Dolomiten im mittleren Abschnitt der Alpen, Z. Gracenin</u>	15

Zum Problem der Schwarzerde-Bildung in Norddeutschland

von
F. Bailly *)

Während die Schwarzerden aus LÖB in den zentralen Teilen der Schwarzerde-Gebiete Mitteleuropas im allgemeinen geringe Hydromorphie-Merkmale besitzen, dominieren in den Randgebieten z. T. Schwarzerden mit starker Hydromorphie. Alle diese Schwarzerden (SE) ähneln Steppenböden, vor allem hinsichtlich der Mächtigkeit und der Farbe des A_h -Horizontes und dem Auftreten von Krotowinen. Zudem ist ihre großräumige Ausdehnung ziemlich eng an die Verbreitung relativ trockener Gebiete in Mitteleuropa gebunden. Daraus wird die Hypothese abgeleitet, daß diese Böden unter **S t e p p e n b e d i n g u n g e n** entstanden seien. Fest steht allerdings, daß es sich um Relikt-SE handelt; darauf deuten u. a. die schwache rezente Bioturbation, der schwach ausgeprägte Mull-Charakter, die Krümen-Degradation (Aufhellung des oberen A_h), die Tiefen-Degradation (Verbraunung, Lessivierung) sowie Radiocarbon-Daten und siedlungsgeschichtliche Funde hin.

Eine andere Hypothese sieht in den Schwarzerden typische **F e u c h t b ö d e n** mit vermutlich primärem Anmoor-Charakter. Unter anderem weisen darauf auch kleinräumige Beziehungen zwischen Schwarzerde-Verbreitung und hydrologischer Situation hin; allerdings scheint dabei der Gehalt des Bodenwassers an Ca-hydrogencarbonat eine maßgebliche Rolle zu spielen.

Die für Mitteleuropa noch immer bestehende Problematik hinsichtlich der SE-Bildung wird im folgenden anhand einiger neuerer Kartierergebnisse aus dem Raum Hannover beleuchtet.

*) F. Bailly, Fachhochschule Osnabrück, 45 OSNABRÜCK,
Fachbereich Gartenbau, Oldenburger Landstr. 24

Normalerweise lassen sich in den Lößbörden südlich von Hannover alle Standorte mit Ca-hydrogencarbonat-Einfluß in eine der beiden in Abb. 1 wiedergegebenen, im Prinzip analogen Bodenreihen eingliedern. Die erste Bodenreihe (Abb. 1, oben) führt von tiefgründig entkalkten Parabraunerden (PB) über Parabraunerde-Pseudogleye (PB-PS) zu nicht lessivierten Pseudogleyen bis Gleyen. Die andere Reihe (Abb. 1, unten) führt von tiefgründig entkalkten Parabraunerden zu sog. "Degradierten" Schwarzerden (=Parabraunerde-Pseudogleye mit dunkel-humosen B_{th} -Horizonten) zu nicht lessivierten Schwarzerden (=Pseudogleye bis Gleye mit Relikt-SE-Merkmalen). In beiden Fällen verringert sich mit zunehmender Hydromorphie die Entkalkungstiefe; beide Bodenreihen können gelegentlich zu kalkreichen Niedermooren (mit Wiesenkalk) überleiten.

In den Nicht-Schwarzerde-Gebieten südwestlich von Hannover (Calenberger Börde) sind Bodenvergesellschaftungen, die der erstgenannten Bodenreihe entsprechen, weit verbreitet; insbesondere spielen Böden aus dem mittleren Teil dieser Reihe eine wichtige Rolle. Dies zeigt beispielhaft ein Geländeschnitt bei Wichtringhausen (Abb. 2), aus dem sich vor allem der engräumige, im Gelände meist mit scharfer Grenze kartierbare Wechsel von lessivierten zu nicht lessivierten Pseudogleyen sowie die Beziehung zwischen Entkalkungstiefe und Lessivierung erkennen läßt. (bei den seinerzeit von SCHROEDER (1954) untersuchten Böden dieses Raumes handelt es sich ausschließlich um nicht lessivierte Pseudogleye).

Im Nordosten der Calenberger Börde treten vereinzelt auch Böden mit Relikt-SE-Merkmalen auf. Kartierergebnisse aus dem Gebiet südlich der H a r e n b e r g e r H ö h e zeigt der in Abb. 3 wiedergegebene Geländeschnitt. Hier verläuft die Grenze zwischen den Böden mit Relikt-SE-Merkmalen (im Norden) (Pseudogleye-Parabraunerden mit dunklem B_{th} -Horizont, örtlich auch nicht lessivierte Pseudogleye-Gleye mit SE-Charakter) und den analogen Böden ohne SE-Merkmale (in der Mitte und im Süden) anscheinend willkürlich durch die heutige Landschaft; sie zeigt keine Beziehungen zur Art des Ausgangsgesteins (Löß-Sandlöß), zum Aufbau des Untergrundes, zum Stau- und Grundwasser-einfluß, zur Lage der Carbonatgrenze oder zur heutigen Acker-Wald-Verbreitung.

Kartierungen in einem benachbarten Gebiet unter naturnahem Eichenhainbuchenwald (K i r c h w e h r e n e r W a l d) zeigen ein noch verwirrenderes Bild. Die Ergebnisse engräumiger Bohrungen (im Abstand von weniger als 100 m) wurden in Abb. 4 in Form von fünf einander parallelen, hangabwärts gerichteten Geländeschnitten wiedergegeben. Es tritt folgendes Inventar an Böden auf (von trocken zu feucht):

- a) Tiefgründig entkalkte Parabraunerden o h n e SE-Reste an den höchsten Standorten (Abb. 4, westl. Teil von Schnitt 1).
- b) Mäßig entkalkte Parabraunerde-Pseudogleye m i t SE-Resten in Form dunkler B_{th} -Horizonte an den mittleren Standorten (Abb. 4, Schnitte 2 - 4 sowie Teile der Schnitte 1 und 5). Die Intensität der Schwarzfärbung des B_{th} -Horizontes wechselt allerdings im Gelände fleckenförmig außerordentlich stark, ohne daß sich dafür eine Ursache (Untergrund, Entkalkung, Hydromorphie, Vegetation usw.) heute noch feststellen ließe.
- c) Mäßig entkalkte, nicht lessivierte Pseudogleye bis Gleye o h n e SE-Merkmale an den tiefsten Standorten (Abb. 4, östlicher Teil von Schnitt 5).

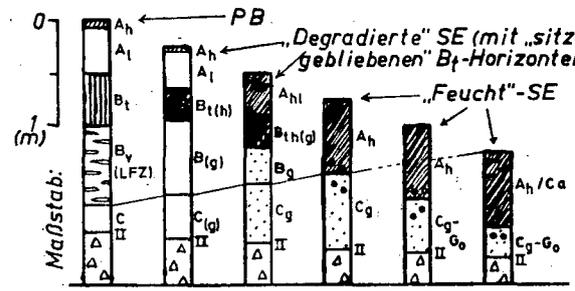
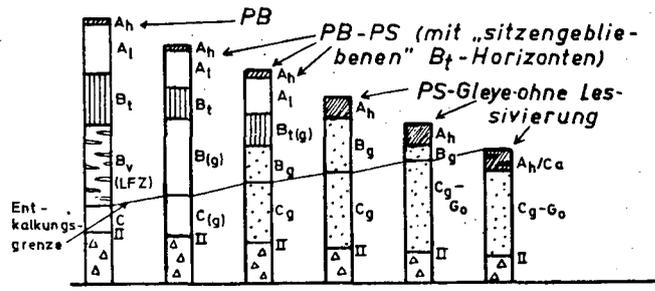
Die Vergesellschaftung umfaßt also Böden beider in Abb. 1 dargestellter Bodenreihen gleichzeitig, wobei die SE-Merkmale weder in den trockensten noch in den feuchtesten Böden, sondern nur in den mittleren Gliedern auftreten.

Daraus ergibt sich folgendes:

- 1) Die Steppenhypothese trägt zur Erklärung der großräumigen SE-Verbreitung bei, nicht aber zur Erklärung der kleinräumigen Verteilung von SE und Nicht-SE. Aus der offensichtlichen großräumigen Abhängigkeit der SE-Verbreitung vom Klima darf allein noch nicht geschlossen werden, daß Steppengesellschaften die einzige Ursache für die Entstehung von schwarzerde-artigen Böden in Mitteleuropa sein müssen.
- 2) Die Feuchtbodenhypothese erklärt zwar - insbesondere unter Einbeziehung des Ca-hydrogencarbonat-Einflusses - in vielen Fällen zwanglos das Auftreten und auch die z. T. gute Erhaltung von SE.

Sie versagt jedoch ebenfalls in Grenzgebieten wie dem hier gezeigten, in denen entweder einheitliche Gebiete mit ausgeprägtem Ca-hydrogencarbonat-Einfluß anscheinend willkürlich von SE-/Nicht-SE-Grenzen durchzogen werden oder aber in denen SE-Reste zwar an Standorten mit mäßigem Ca-hydrogencarbonat-Einfluß anzutreffen sind, nicht aber an solchen mit höherem Ca-hydrogencarbonat-Einfluß.

- 3) Neben Klima und Ca-hydrogencarbonat-Feuchtmilieu haben auf die Verbreitung von SE weitere, im Einzelnen unbekanntere Faktoren eingewirkt, deren Einflüsse in den SE-Randgebieten wie dem gezeigten relativ stark gewesen zu sein scheinen. Hinsichtlich dieser unbekannteren Faktoren ist man allerdings noch auf Spekulationen angewiesen. - Die Entstehung tiefgründig humoser A-Horizonte mit (ehemals) Mull-Charakter kann nicht allein durch die Tätigkeit Krotowinenbildender Kleinsäuger erklärt werden, sondern ist an reichliches Vorhandensein erdfressender Bodenwühler wie Regenwürmer gebunden. Sofern man die durch Regenwürmer hervorgerufene Bioturbation als einen der für SE bodengenetisch relevanten Vorgänge akzeptiert, könnte folgende Möglichkeit in Betracht gezogen werden: Der heute nicht immer deutbare Verlauf der Grenze von SE zu Nicht-SE kann eine Folge davon sein, daß in der Spät- und Nacheiszeit zeitweilig Grenzen von Vegetationseinheiten innerhalb unserer Landschaft bestanden, die sich im Einzelnen heute nicht mehr rekonstruieren lassen, die aber damals auch bodengenetisch wirksame faunistische Grenzen zur Folge hatten. Es müssen dies nicht notwendigerweise Wald/Steppen-Grenzen sein, wie dies z. B. für Teile des Thüringer Beckens postuliert wird. Dabei können auch die noch wenig bekannten Vorgänge der Ausbreitung von Pflanzen und Tieren aus Refugien sowie spätere Arealverschiebungen und Veränderungen der Populationsdichte eine Rolle spielen. Eine Lösung dieser für die Frage der SE-Entstehung wesentlichen Probleme scheint allerdings derzeit noch nicht möglich zu sein.



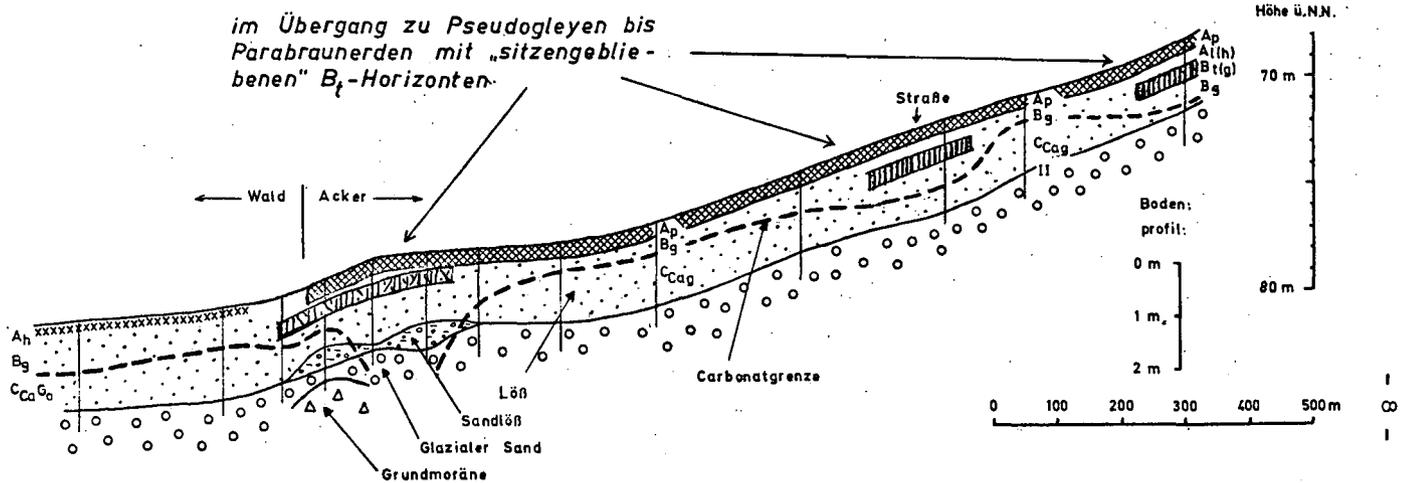
Topographische Lage (vorwiegend):
 Kuppe → Senke
 (F. Bailly 1969/70)

Abkürzungen:	
PB =	Parabraunerde
PS =	Pseudogley
SE =	Schwarzerde
Symbole für den Untergrund:	
	Lehmige Grundmoräne
	Sande und Kiese

N

Gley - Pseudogleye ohne Lessivierung

S



Geländeschnitt Wichtringhausen (schematisch) (Hangneigung und Bodenprofil unterschiedlich stark überhöht)

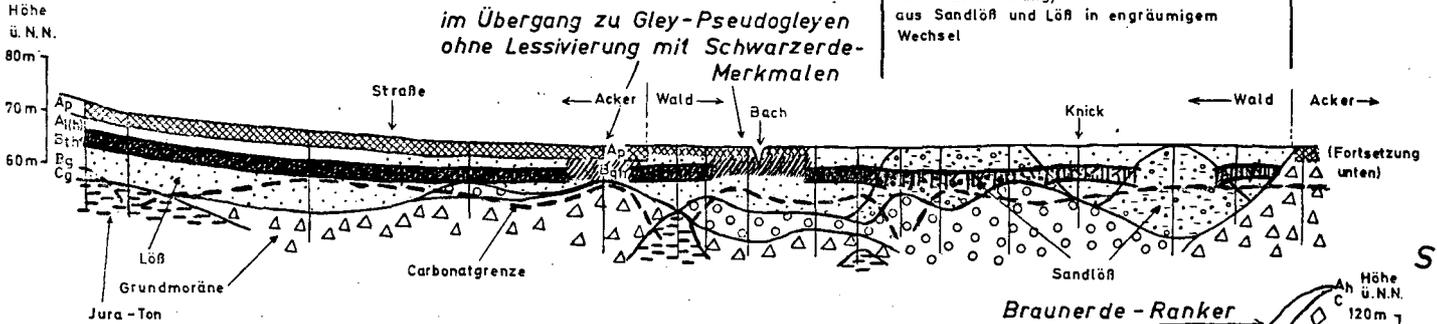
(F. Baillly, 1969/70)

NW

Parabraunerde-Pseudogleye mit „sitzengebliebenen“, stark humosen B_t -Horizonten („Degradierete“ Schwarzerden)

Gley-Pseudogleye mit deutlicher bis undeutlicher Lessivierung, aus Sandlöß und Löß in engräumigem Wechsel

im Übergang zu Gley-Pseudogleyen ohne Lessivierung mit Schwarzerde-Merkmalen



Bodenprofil:
0 m
1 m
2 m

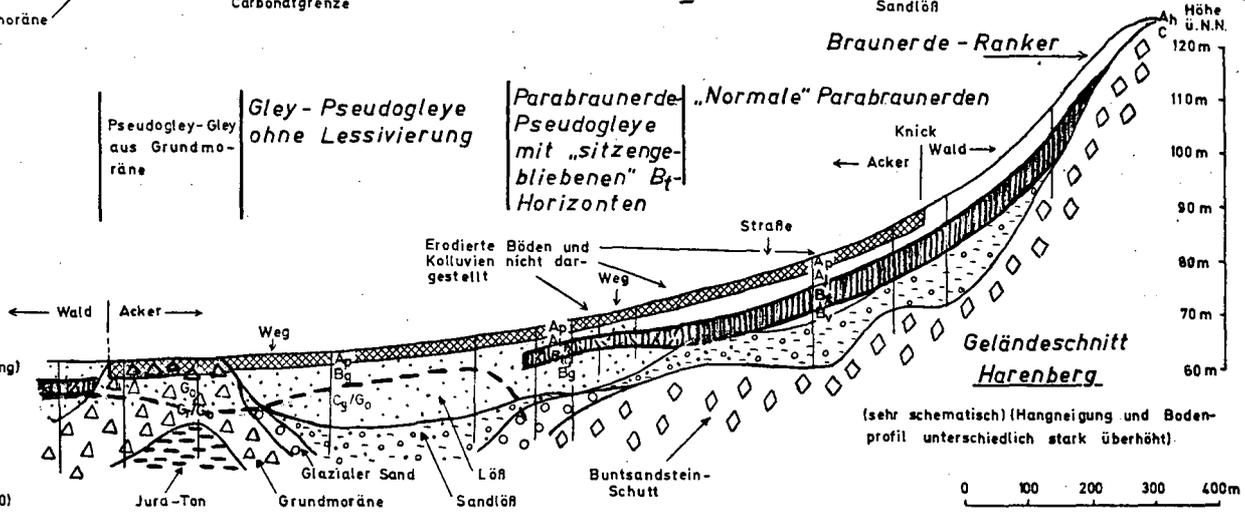
Pseudogley-Gley aus Grundmoräne

Gley-Pseudogleye ohne Lessivierung

Parabraunerde-Pseudogleye mit „sitzengebliebenen“ B_t -Horizonten

„Normale“ Parabraunerden

Braunerde-Ranker

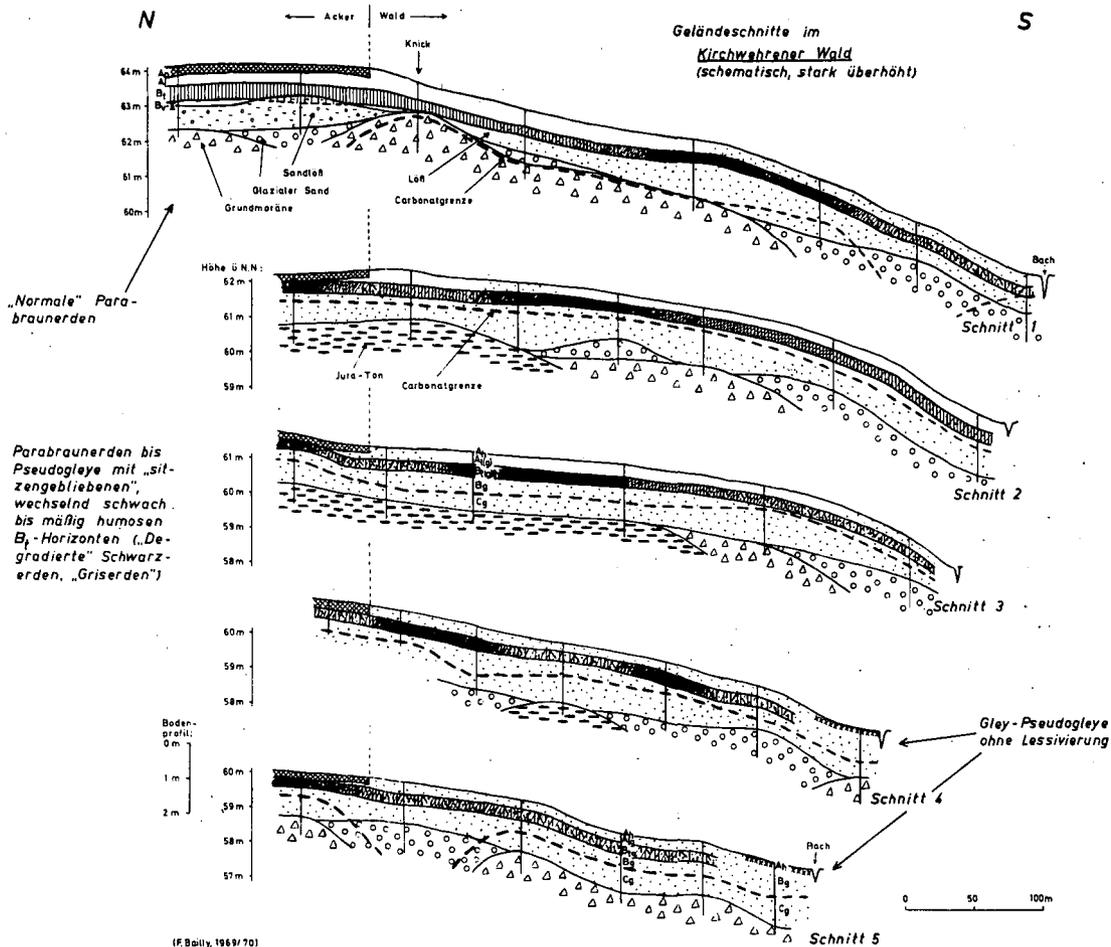


(F. Bailly, 1969/70)

(sehr schematisch) (Hangneigung und Bodenprofil unterschiedlich stark überhöht).

19

Abb. 3



Bedeutung und Methode der erweiterten Korngrößenanalyse

von

H. Tributh

Einleitung

Ziel der erweiterten Korngrößenbestimmung ist es, auch die Korngrößenzusammensetzung innerhalb der Tonfraktion $< 2 \mu$ zu ermitteln. Zu diesem Zweck wird die übliche Sedimentationsmethode in Form der Pipettmethode nach KÖHN mit der beschleunigten Sedimentation der Teilchen in der Zentrifuge kombiniert. Das Grundprinzip besteht darin, daß aus den Schlämmsylindern eine äquivalente Menge Suspension entnommen wird, um auch die Teilchen $< 2 \mu$ mit Hilfe der Zentrifuge zu gewinnen. Dadurch ist es möglich, analog der Unterteilung von Sand und Schluff den Anteil der Tonfraktionen $2 - 0,6 \mu$, $0,6 - 0,2 \mu$, $0,2 - 0,06 \mu$ und $< 0,02 \mu$ zu bestimmen.

Bedeutung

Die Bedeutung der erweiterten Korngrößenanalyse von Böden läßt sich in zwei Punkten zusammenfassen:

1. Bessere Beurteilung der kolloidalen Eigenschaften

Zwischen der Gesamtaustauschkapazität (AK_t) und dem log. der Korngröße besteht eine hochgesicherte lineare Beziehung, so daß sich mit steigendem Anteil von Feinton die AK_t wesentlich erhöht. Ähnlich steigen auch die Werte der linearen Schrumpfung; mit Ausnahme bei Böden, die in den feinsten Fraktionen einen hohen Anteil an röntgenamorphen Stoffen aufweisen (vgl. TRIBUTH 1970).

2. Quantitative Erfassung genetisch bedingter Veränderungen der Korngrößenzusammensetzung

Schon bei früheren Untersuchungen (TRIBUTH 1970) konnte der durch die erweiterte Korngrößenanalyse registrierte ungewöhnlich starke Rückgang der Fraktion $0,06 - 0,02 \mu$ im 8v-Horizont einer Sauren Braunerde durch die Röntgenanalyse als Auswirkung der Tonzerstörung nachgewiesen werden. In der kleinsten Fraktion $< 0,02 \mu$ gab es dafür ein Maximum, das vorwiegend aus röntgenamorphen Substanzen bestand.

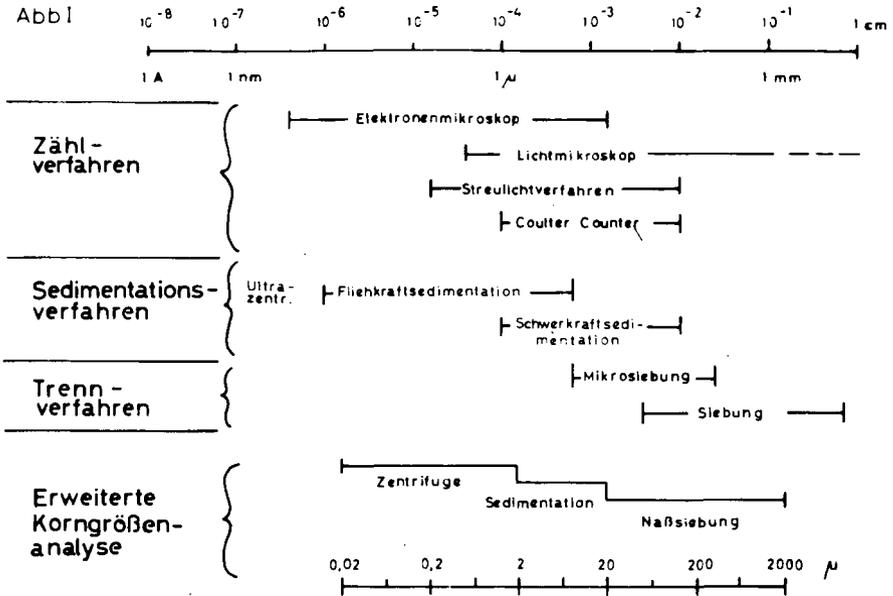
Wie die z.Z. laufenden Untersuchungen an Steppenböden erkennen lassen, bietet sich die Feintonfraktion $< 0,02 \mu$ als ein gutes Unterscheidungsmerkmal zwischen dem Löß in den C-Horizonten und den darüber gebildeten Böden an. In den C-Horizonten hat diese Fraktion jeweils einen Anteil von weniger als 1%, dagegen steigt der Feinton $< 0,02 \mu$ bis zu 10% in den darüberliegenden Horizonten an. Ohne den Ergebnissen der speziellen Untersuchung über Tonmineralumwandlungen vorzugreifen, läßt sich schon jetzt ableiten, daß es sich um genetisch-bedingte Veränderungen der Korngrößenzusammensetzung handelt.

METHODE

Aus der Darstellung verschiedener Bestimmungsverfahren (LESCHONSKI, 1970) und dem Bereich der erweiterten Korngrößenanalyse (Abb. 1) wird deutlich, daß ein Bestimmungsverfahren allein das Korngrößenspektrum von $2000 - 0,02 \mu$ nicht erfassen kann. Der Naßsiegung von $2000 - 20 \mu$ folgt deshalb die Schwerkraftsedimentation bis 2μ und der Einsatz der Zentrifuge ermöglicht eine Erweiterung der Korngrößenanalyse bis $0,02 \mu$.

Von der Gewinnung der Analysenproben, der Vorbehandlung und der Durchführung der Korngrößenanalyse, die in Abb. 2 in ihrem zeitlichen Nacheinander dargestellt sind, sollen hier nur die Schwerpunkte, wie Probenteilung, Dialyse und die Durchführung der Korngrößenanalyse eingehender erläutert werden.

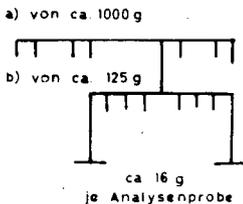
Abbl



AbbII

I. Gewinnung der Analysenprobe

1. Einzelproben
2. Sammelprobe, ca. 1,5 kg
3. Lufttrocknung
4. Siebung auf 2mm
5. Probenteilung

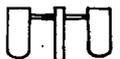
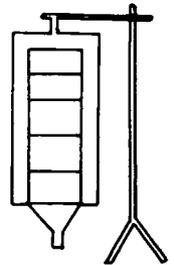


II. Vorbehandlung der Analysenprobe

1. Karbonatzerstörung
2. Humuszerstörung
3. Eisenentfernung
4. Vordialyse
5. Elektrodialyse
6. Dispergierung mit Ultraschall

III. Durchführung der Korngrößenanalyse

1. Naßsiebung
 - > 630 μ
 - > 200 μ
 - > 63 μ
 - > 36 μ
 - > 20 μ
2. Sedimentation
 - < 20 μ
 - < 6 μ
 - < 2 μ
3. Fliehkraftsedimentation
 - < 0,6 μ
 - < 0,2 μ
 - < 0,06 μ
 - < 0,02 μ



1. Probenteilung

Da die auf 2 mm abgeseibte Sammelprobe wesentlich größer ist, sollte jede Korngrößenanalyse mit einer Probenteilung beginnen. Wie Untersuchungen im Institut für Verfahrenstechnik, der T.U. Karlsruhe gezeigt haben, führt jede wahllose Entnahme aus dem Probenbeutel zu beträchtlichen Fehlern (ALEX 1970). Das z. Z. beste Gerät liefert die Fa. Retsch KG. (Haen), das mit zwei Umdrehungen pro Sekunde auch stark entmischtes Probenmaterial gleichmäßig auf 8 rotierende Gefäße verteilt. Zu beachten ist, daß die aus der zweiten Verjüngung erhaltene Analysenprobe nicht durch Ergänzung oder Entnahme einer Teilmenge auf ein bestimmtes Gewicht gebracht werden darf. Dagegen können bei kleineren Ausgangsmengen zwei oder auch mehr in gradzahligen Abstand befindliche Proben vereinigt werden.

2. Dialyse

Durch die Vorbehandlung, wo durch verdünnte HCl (bis pH konstant bei 4,5) die Bodenprobe karbonatfrei, der Humus mit H_2O_2 (10%) zerstört und das Eisen durch die Na-Dithionit-Citrat-Extraktion (JACKSON 1958) entfernt wird, erhalten wir durch das Auswaschen mit 2 M NaCl eine Bodensuspension, die stark mit NaCl angereichert ist.

Ein Nachwaschen mit aqu.Dest. in der Zentrifuge ist nur so oft möglich, bis ein Teil der Tonfraktion dispergiert, so daß der Überstand nicht mehr dekantiert werden kann. Die weitere Entsalzung bis zur optimalen Dispergierung der gesamten Probe muß dann durch die Dialyse erfolgen. Die einfachste und billigste Form ist die Dialyse der Bodensuspension in Cellophanschläuchen im Wasserbad. Dieses Verfahren erfordert jedoch Zeit (10 - 14 Tage) und "Fingerspitzengefühl" bei der Bestimmung des Endpunktes der Dialyse. Trotz negativem Cl-Test des Spülwassers mit $AgNO_3$ und äußerlich wahrnehmbaren Dispergierungserscheinungen passiert es häufig, daß die Suspensionen dann später wieder ausflocken, so daß die Korngrößenbestimmung abgebrochen werden muß. Besser ist deshalb die Kontrolle mittels Leitfähigkeitsmesser, wobei zum Endpunkt der Dialyse die Werte unter 60 μS liegen sollten.

Eine wesentlich schnellere (4 - 6 Std.) und wirkungsvollere Entsalzung wird mit der Elektrodialyse erreicht, über deren Problematik zu einem späteren Zeitpunkt ausführlich berichtet werden soll. Vorteilhaft ist in jedem Falle die Möglichkeit, laufend den Grad der Entsalzung zu berechnen und damit objektiv den Endpunkt der Dialyse zu bestimmen. Der finanzielle Aufwand ist allerdings wesentlich größer und die methodischen Schwierigkeiten bestehen darin, den Abfall des pH-Wertes während der Elektrodialyse zu begrenzen.

Durchführung der erweiterten Korngrößenanalyse

Da die allerfeinsten Kolloide des Bodens bei der Eintrocknung der Suspension im Trockenschrank z.T. irreversibel schrumpfen und Aggregate bilden, wird bei der erweiterten Korngrößenanalyse die Bestimmung der Fraktionen aus der vorbehandelten Suspension - also ohne Eintrocknung - mit je einer Parallele durchgeführt.

1. Naßsiegung

Zunächst werden die drei Sandfraktionen und der Grobschluff, der bei Lößböden in zwei Fraktionen unterteilt wird, mit Hilfe der Naßsiegung gewonnen. Es ist wichtig, daß diese größeren Teilchen vor der Sedimentationsanalyse abgeseibt werden, da diese die Sinkgeschwindigkeit der kleineren Teilchen beeinflussen. Die Siebung erfolgt im Siebsatz durch einen Vibrator. Sobald die Flüssigkeit durchgelaufen ist, werden die Siebe einzeln mit der Spitzflasche nachgespült.

2. Sedimentation im Schwerefeld

Die Suspensionsmenge, die das 20 μ -Sieb passiert hat, wird im Standzylinder aufgefangen und auf 1000 ml aufgefüllt. Die Berechnung der Ausgangsmenge (Analysenprobe) sollte so erfolgen, daß unter Beachtung der Gewichtsverluste durch die Vorbehandlung und nach Abzug der Fraktionen, die auf den Sieben zurückgehalten wurden, die Volumenkonzentration im Sedimentationszylinder $C_v = 10^{-3}$ wegen der Wägefehler nicht unterschritten wird; aber wegen der gegenseitigen Beeinflussung der Sinkgeschwindigkeit

sollte $C_v = 2 \times 10^{-3}$ (d.h. max. 5,30 g Boden $< 20 \mu$ auf 1000 ml) nicht überschritten werden. Der Feststoffgehalt wird durch die Nullprobe ermittelt, die als erste sofort nach dem Aufschütteln mit Hilfe der Pipett-Methode nach Köhn (THUN, HERRMANN u. KNICKMANN 1955) gezogen wird; sie dient als Bezugsbasis für die Berechnung der Mengenanteile der Fraktionen $< 20 \mu$. Nach erneutem Aufschütteln werden die Fraktionen $< 6,3 \mu$, nach 46 Min. 55 Sec., und die Gesamtonfraktion $< 2 \mu$, nach 7 h, 45 Min., gewonnen.

3. Flihkraftsedimentation

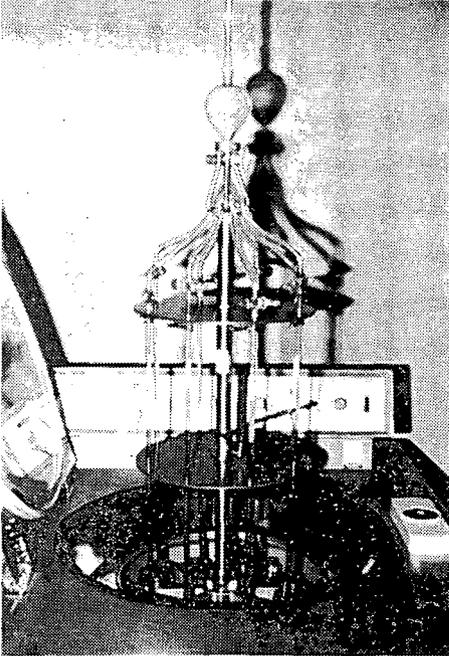
Wie aus Abb. 1 ersichtlich ist, liegt die Grenze der Schwerkraftsedimentation bei der Teilchengröße von 1μ . Bei den kleineren Teilchen ist die brownsche Molekularbewegung größer als die Sedimentation, so daß in diesem Bereich die Flihkraftsedimentation mit Hilfe der Zentrifuge zur Anwendung kommt. Für die Korngrößenbestimmung innerhalb der Tonfraktion werden aus jedem Sedimentationszylinder 100 ml Suspension $< 2 \mu$ entnommen und in graduierte Zentrifugengläser übergeführt. Die Bedingungen, die an die Zentrifugen gestellt werden müssen, wie ausschwingende Gehänge, Temperaturkonstanz und vibrationsfreier Lauf, werden weitgehend von der Zentrifuge IV KS (Fa. Christ) erfüllt, die mit 8 Gehängen gleichzeitig 4 Proben mit je einer Parallele aufnimmt. Um die Fehlermöglichkeiten bei der Entnahme der Zentrifugengläser aus der Zentrifuge und beim Transport zur Abseuganlage zu beseitigen, wurde eine Abseuganlage entwickelt, die nach dem Auslaufen der Zentrifuge auf die Achse aufgesteckt wird (s. Photo, S. 14), so daß aus allen 8 Zentrifugengläsern jeweils gleichzeitig 10 ml entnommen werden können.

Die in Anlehnung an TANNER und JACKSON (1947) berechneten Laufzeiten betragen für die Fraktionen:

$< 0,6 \mu = 7 \text{ Min.}, 30 \text{ Sec.}, < 0,2 \mu = 17 \text{ Min.}, 34 \text{ Sec.},$

$< 0,06 \mu = 47 \text{ Min.}, 31 \text{ Sec.}, < 0,02 \mu = 5 \text{ Std.}, 33 \text{ Min.},$

so daß alle Tonfraktionen mit der Zentrifuge an einem Tage gewonnen werden können.



LITERATUR

1. ALEX, W.: Was gehört zu einer Pipette-Apparatur für die Teilchengrößenanalyse. - G I T, Fachz.Lab. 14, H. 6, 1970
2. LESCHONSKI, K.: Theorie der Teilchengrößenanalyse. - Umdruck Inst.f.Verfahrenstechnik der TU Karlsruhe, 1970
3. JACKSON, M.: Soil Chemical Analysis Constable, London, 1958
4. TANNER, C. B. u. M. L. JACKSON: Nomographs of sedimentation times for soil particles under gravity of centrifugal acceleration. - Soil Sci. Amer. Proc. 12, 60-65, 1947
5. THUN, R. u.a.: Methodenbuch I - Untersuchung von Böden. - 3. Aufl., Neumann-Verlag, Radebeul u. Berlin, 1955
6. TRIBUTH, H.: Die Bedeutung der erweiterten Tonfraktionierung für die genauere Kennzeichnung des Mineralbestandes und seiner Eigenschaften.- ZPflErn.Bodenkde. 126, 117-134, 1970.

Vertikale und horizontale Verteilung der Bodenbildung
auf Kalken und Dolomiten im mittleren Abschnitt der
Alpen*)

von

Z. Gracanin

EINLEITUNG

Verschiedene Autoren (wie z.B. H. Jenny 1930, H. Pallmann u.a. 1938, R. Ganssen 1957, S. 134, W. L. Kubiens 1948, 1970, S. 44, I. Neuwinger 1970, Z. Gracanin 1968, 1971 u.a.) haben sich bereits mit der vertikalen Zonalität der Bodenentwicklung auf Carbonatgesteinen in den Alpen befaßt. Auffallend ist jedoch, daß die Höhenangaben für einzelne Höhenstufen und die Nomenklatur der Höhenstufen † stark voneinander abweichen.

Dies ist kein Wunder, denn entsprechend der kleineren oder größeren mittleren Massenerhebung und damit auch der kleineren oder größeren Erwärmung befinden sich die einzelnen Höhenstufen in verschiedenen Teilen der Alpen in unterschiedlichen absoluten Höhen.

Die bodenbildenden Faktoren ändern sich nicht nur in vertikaler, sondern ganz erheblich auch in horizontaler Richtung. So fallen z.B. die Niederschläge von den sehr niederschlagsreichen Außenalpen zu den inneren Alpentteilen stark ab.

Damit ändern sich auch der Aufbau der Höhenstufen und die Art und Geschwindigkeit der Bodenentwicklung.

Die Veränderung der klimatischen und damit auch der Bodenbildungsbedingungen mit der Höhe kommt am auffallendsten in der Vegetation

*) Untersuchungen durchgeführt mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft

zum Ausdruck, weswegen sie vielfach als Grundlage für die Höhengliederung der Alpen benutzt wurde. Auch für unsere bodenkundlichen Betrachtungen erscheint die Vegetation geeignet, als Grundlage für die Aufteilung der Alpen in kleinere Teillandschaften mit einer enger gefaßten Amplitude der bodenbildenden Faktoren zu dienen.

Ein Beispiel dafür ist aus der Abb. 1 zu ersehen, das in einem stark schematisierten Querschnitt durch die Allgäuer und Lechtaler Alpen (Nördliche Kalkalpen) die Verteilung der Höhenstufen im Bereich der reinen Kalke und Dolomite darstellt.

Wir können hier zunächst vier physiognomisch leicht ins Auge fallende Höhenstufen unterscheiden, und zwar die Waldstufe, die Latschenstufe, die Stufe der Alpenmatten und schließlich die subnivale Stufe, gekennzeichnet durch eine sehr lückenhafte Vegetationsdecke, die aus Steinschuttgesellschaften, Felsspaltgesellschaften und vereinzelt auftretenden Polsterrassen besteht.

Die obere Grenze einzelner Höhenstufen steigt vom Alpenrand bei Oberstdorf zum Arlbergpaß deutlich an, wobei sie auf den N-exponierten Hängen tiefer liegt, als auf den Südhängen.

Die nähere Betrachtung der Waldstufe zeigt uns, daß sie nicht gleichmäßig aufgebaut ist: am Alpenrand bei Oberstdorf (811 m über N.N., 1721 mm N., 5,8°C mittl. Jahrestemp.) sind Buchenwälder weit verbreitet, und zwar in unteren Lagen der Nordalpine Buchenwald (*Fagetum boreoalpinum* Oberd. 1950) und in oberen Lagen der Hochstauden-Bergmischwald (*Acer-Fagetum* Bartsch 1940). An besonderen Standorten ist dazwischen auch der subalpine Fichtenwald (*Piccetum subalpinum* Br.-Bl. 1939) entwickelt. Auf dem stark entwaldeten Hochtannenbergschneepaß sind nur Reste des subalpinen Fichtenwaldes zu finden; die Buche fehlt vollkommen. Ebenso im Lechtal bei Lech (1454 u.N.N., 1357 mm, ca. 3,6°C) gibt es keine Buche, hier ist das Gebiet des subalpinen Fichtenwaldes.

Ganz anders ist der Aufbau der Höhenstufen in den Engadiner Dolomiten (Zentralalpen, Abb. 2). Hier im Gebiet Il Fuorn (1794 m) - Buffalora (1968 m, mittl. Jahresniederschläge 974 mm, mittl. Jahres-

temperatur $-0,2^{\circ}\text{C}.$), dominiert in der Waldstufe im Bereich der Carbonatgesteine die aufrechte Bergföhre (*Pinus mugo* Turra grex arborea), die Fichte kommt nur vereinzelt in der Schlußgesellschaft, dem Alpenrosen-Arven-Lärchenwald (*Rhododendro-Vaccinietum cembretosum* Br.-Bl. 1927) vor, die Buche und die Tanne fehlen vollkommen. Die aufrechte Bergföhre baut auch die Waldgrenze (in 2300 - 2400 ü.N.M.) auf, so daß ihre Bestände unmittelbar in die Alpenmatten übergehen.

In der Alpenmattenstufe sind über Carbonatgesteinen zwar dieselben Rasengesellschaften wie in den Außenalpen verbreitet, und zwar besonders der Polsterseggenrasen (*Caricetum firmae*/Kerner/Br.-Bl. 1926) und die Blaugrashalde (*Seslerio-Caricetum sempervirentis* Br.-Bl. 1926), doch kommt der erstere größtenteils in einer trockeneren Ausbildung mit der stachelspitzigen Segge (*Carex mucronata* All.) vor.

Die subnivale Stufe nimmt in den Engadiner Dolomiten über ca. 2600 m größere Flächen ein, die nivale Stufe wird auf den höchsten Erhebungen bei ca. 3000 m eben erst erreicht.

Die Südlichen Kalkalpen zeigen z. B. in der Brenta eine ähnliche Höhengliederung wie die Nördlichen Kalkalpen, lediglich die Waldstufe ist wesentlich mehr gegliedert; ihre tiefsten Lagen weisen einen submediterranen Charakter auf.

Die Bodenbildung in der Waldstufe

Für die Bodenbildung in der Waldstufe ist charakteristisch, daß sie nicht vom festen, anstehenden Gestein, sondern in der Regel vom Hangschutt oder Moränenschutt ausgeht, der oft neben dem Detritus der reinen Kalke und Dolomite auch ± Beimengungen aus silikatreichen Schichten enthält. Diese Beimengungen stammen zum Teil aus den lokalen Quellen (z. B. aus den Kössener, Raibler oder Allgäuer Schichten im Oberhang), zum Teil wurden sie aber auch durch Eis aus der Ferne gebracht.

Carbonatrohöden sind in der Waldstufe selten. Sofern sie z. B. durch Niedergang von Muren oder Entblößung der Hänge durch Erdbeben oder Bodenerosion gebildet werden, leitet die schnelle Besiedlung durch die Vegetation bald die Bodenentwicklung ein.

Bei genügender Menge nichtcarbonatischer, speziell toniger Bestandteile werden in den Allgäuer Alpen Mullrendzinen unter Buchenwald gebildet.

Wo die Beimengung nichtcarbonatischer Bestandteile nur gering ist, ist die Buche auch in den Allgäuer Alpen nicht konkurrenzfähig genug; hier, ebenso wie in einem großen Teil der Waldstufe der Lechtaler Alpen entwickelt sich der subalpine Fichtenwald und unter ihm die dystrophe Tangelrendzina. Sie zeichnet sich durch einen etwa 20 - 40 cm mächtigen, stark sauren organischen Auflagehorizont. Dieser O-Horizont besitzt meist nur wenig unzersetzte Nadelstreu (O_1), dafür aber mächtige Vermoderungs- (O_p) und Humusstoffhorizonte (O_h). Häufig sind beide von vermorschtem Holz durchsetzt. Die pH-Werte, gemessen in wässriger Suspension betragen hier ca. 4,0-4,5, in n/10 KCl ca. 3,5-4,0. Die lufttrockene Feinerde enthält etwa 75-80% organische Substanz und nur wenige Prozente Asche.

Erst unter dieser sauren organischen Auflage tritt ein ± neutraler A_h oder A_{hC_v} -Horizont auf, der den Übergang zum meist überwiegend dolomitischen Hangschutt bildet.

Wegen ihrer sauren organischen Auflagehorizonte hat die dystrophe Tangelrendzina als Standort mit einer typischen Rendzina kaum etwas zu tun. Sie ist ökologisch dem Podsol ± gleichwertig; man spricht von "analoge Böden" im Sinne von H. Pallmann (1947). Auf ihr gedeihen acidophile Pflanzen wie die Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus* L.), die Preiselbeere (*Vaccinium vitis-idaea* L.) und der Wald-Bärlapp (*Lycopodium annotinum* L.) sowie auch acidophile Pflanzengesellschaften wie der subalpine Fichtenwald (*Piceetum subalpinum* Br.-Bl. 1939), der in den Zentralalpen auf Podsolen verbreitet ist.

Typischer Tangelhumus und Tangelrendzinen wie sie W. L. Kubiens (1953) vor allem aus Pineto-Ericeten und Piceeto-Ericeten beschrieben hat, konnten in den Allgäuer und Lechtaler Alpen nicht beobachtet werden. Vor allem fehlt es an kalkreicher Kleintierlösung; die intensiven Auswaschungsprozesse werden demnach nicht durch Bioturbation kompensiert, so daß es in der Regel - sofern keine Carbonatzufuhr vom Oberhang erfolgt - zur starken Versauerung der organischen Auflagehorizonte kommt (Z. Gracani 1972, 1972a).

Auch in den Engadiner Dolomiten (Zentralalpen) kann die Bodenentwicklung auf Carbonatgesteinen und carbonatischem oder carbonatreichem Schutt zur Bildung von dystrophen Tangelrendzina führen, die dort den Standort des Alpenrosen-Arven-Lärchenwaldes (*Rhododendro-Vaccinium cembretosum* Br.-Bl. 1927) darstellt. Sie wurde dort ursprünglich als "extrem degradiertes Humuskarbonatboden" oder auch "sehr stark deckenmoriger subalpiner Waldhumuskarbonatboden" im Sinne der Pallmann'schen Bodenklassifikation bezeichnet (J. Braun-Blanquet, H. Pallmann, R. Bach 1954). Später wurden für sie von E. Frei, P. Juhasz und R. Bach (1966) Bezeichnungen "Rohhumusrendzina" und "Morrendzina"¹⁾ verwendet.

Allerdings nimmt die dystrophe Tangelrendzina als Endstadium der Bodenentwicklung über \ddagger reinen Carbonatgesteinen in den Engadiner Dolomiten wesentlich kleinere Flächen als in den Außenalpen ein. Wegen des trockeneren Klimas ist hier die Bildung dystropher Tangelrendzinen noch langsamer als in den Außenalpen und außerdem auf feuchtere Stellen, z. B. Nordhänge oder Hangfuß beschränkt. Außerdem begünstigen in den Engadiner Dolomiten die wiederholten Kahlschläge seit dem Mittelalter den Abbau der organischen Auflagehorizonte.

Auch in den Außenalpen haben Entwaldung und Weidewirtschaft vielfach zum Abbau saurer organischer Auflagehorizonte geführt, so daß sich sekundär unter Grünland geringmächtige, skelettreiche Rendzinen gebildet haben, die keine sauren organischen Auflagehorizonte oder nur stellenweise deren kleine Reste als Überbleibsel des Waldes aufweisen.

1) Rohhumus wird im Schweizerischen Schrifttum meist als "Mor" bezeichnet.

Auf reinen Carbonatgesteinen ist in der Waldstufe auch trotz einer gewissen Staubzufuhr die Ansammlung der Tonsubstanz äußerst langsam, so daß man meist nur stellenweise in Taschen eine geringe Tonansammlung und eine Tendenz zur Bildung der Terra fusca beobachten kann (Z. Gracani 1970, 1972). Besser entwickelte Terra fusca-artige Böden waren aber dort zu beobachten, wo die carbonatischen Gesteinsserien tonreicher sind oder tonreichere Zwischenschichten enthalten (z. B. die Seefelder Schiefer im Hauptdolomit).

Als Bestandteil gemischter geologischer Schichtserien (z. B. Allgäuer Schichten, einige Zeit auch Lias-Fleckenmergel genannt), soweit der Wechsel carbonatischer und anderer Komponenten auf engem Raum erfolgt, ermöglichen Kalk- und Dolomite die Entwicklung von Pararendzinen. Fortschreitende Bodenentwicklung, verbunden mit zunehmender Entcarbonatisierung, führt auf solchen Mischsubstraten sowohl in den Außenalpen wie auch in den Zentralalpen zur Bildung von Braunerden.

Auf rein carbonatischen oder auch nur carbonatreichen Moränen finden wir in der Waldstufe auf Grünland oder unter Wald häufig Buckelwiesen mit mosaikartig verteilter Bodenentwicklung: geringmächtige, skelettreiche Rendzinen auf den Buckeln und mächtigere, oft Terra fusca-artige Bodenbildungen oder Braunerden, manchmal auch Podsole in den Dellen (vgl. Z. Gracani 1970a und dort zitiertes Schrifttum).

Die Bodenbildung in der Latschenstufe

Eine eigene Latschenstufe ist lediglich in den Außenalpen ausgebildet. Sowohl auf anstehenden reinen Kalken und Dolomiten wie auch auf ihrem Detritus stellt die dystrophe Tangelrendzine unter Latschenkrummholz mit seinen acidophilen Begleitern das weiteste und zugleich sehr verbreitete Stadium der Bodenentwicklung dar.

Seitdem in der Pflanzengeographie und der Pflanzenökologie im vorigen Jahrhundert die Begriffe kalkliebende und acidophile (ursprünglich: Kiesel-) Pflanzen eingeführt wurden, erstaunt es immer wieder in den Alpen, aber auch in den Dinariden, die acidophilen Pflanzen auf organischen Auflagehorizonten nur wenige

Zentimeter bis einige Dezimeter über den anstehenden Carbonatgesteinen oder deren Detritus anzutreffen (O. Sendtner 1853, J. Schädler und H. Preißecker 1937, I. Horvat (1950, 1962), H. W. Zöttl 1950, 1965, Z. Gracanin 1950, 1968a, 1970 u.a.).

Auf der dystrophen Tangelrendzina der Latschenstufe in den Alpen findet man z. B. die Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus* L.), die Preiselbeere (*Vaccinium vitis-idaea* L.), die Moorbeere (*V. uliginosum* L.), die rostblättrige Alpenrose (*Rhododendron ferrugineum* L.), den grünen Alpenlattich (*Homogyne alpina* / L./Cass.), die Sieber's Waldhainsimse (*Luzula silvatica* / Huds./Gaud. sep. sieberi / Tausch./Cif. et Giacom.), das Torfmoos (*Sphagnum* sp.), das Weißmoos (*Leucobrium glaucum* / L./Schpr.) u.a. acidophile Arten.

Dies hat den bayerischen Pflanzengeographen O. Sendtner (1853) veranlaßt, bereits in der Mitte des vorigen Jahrhunderts die ersten chemischen Analysen der dystrophen Tangelrendzinen vom Mädele Joch in den Allgäuer Alpen und aus dem Karwendel durchzuführen. Allerdings sprach er damals noch vom Moder und nicht von der Tangelrendzina; dieser Name wurde erst von W. L. Kubiena (1948, 1953) geprägt.

Örtlich, vor allem in Taschen und Mulden, haben tonige Zwischenlagen, Zufuhr von Fremdmaterial, in besonders günstigen Lagen wohl auch lange andauernde Bodenentwicklung, im Bereich der Kalke und Dolomite zur Bildung Terra fusca-artiger B-Horizonte geführt, ohne daß dadurch die sauren organischen Auflagehorizonte der dystrophen Tangelrendzina wesentlich beeinflußt wurden.

Wesentlich häufiger als in der Waldstufe sind in der Latschenstufe Carbonatrohböden auf Schutthalden sowie initiale und verschiedene unreife Entwicklungsstadien der Rendzinen anzutreffen. Sie werden vielfach von Pionier- und Rasengesellschaften eingenommen, die ihre Hauptverbreitung in der Stufe der Alpenmatten haben (vgl. H.W. Zöttl 1950, 1965, Z. Gracanin 1972).

Auch die Latsche selbst kommt nicht nur auf den dystrophen Tangelrendzinen vor, sondern auch auf carbonatreichen Rendzinen mit nur geringen neutralen bis schwach sauren Moderauflagen (auf größeren Flächen z.B. auf dem Hohen Frassen bei Bludenz in den Lechtaler Alpen). In solchen Fällen wird die Latsche besonders von der Schneeheide (*Erica carnea* L.) und der bewimperten Alpenrose (*Rhododendron hirsutum* L.) begleitet.

Carbonatische Moränen weisen auch in der Latschenstufe oft eine auffällige Kleinmorphologie in Form von Buckelwiesen auf. Wie in der Waldstufe findet man auch hier auf den Buckeln geringmächtige, skelettreiche Rendzinen, doch in den Dellen sind die Bodenbildungen wesentlich humusreicher als in der Waldstufe (Z. Gracanin 1970a, 1971).

Vor allem durch die Weidewirtschaft wurden in vorigen Jahrhunderten große Flächen der Krummholzbestände in Grünland umgewandelt, was einerseits den Abbau der organischen Auflagehorizonte, andererseits aber auch erhebliche Schäden durch Bodenerosion zur Folge hatte. Nachdem in neuerer Zeit die Weidewirtschaft immer mehr zurückgeht, breitet sich die Latsche vielfach wieder aus und verbessert so den Schutz des Bodens gegen Abtragung.

Die Bodenbildung in der Stufe der Alpenmatten

In der Alpenmattenstufe, die in den Außenalpen Höhenlagen von ca. 2000-2300 m bis ca. 2400-2600 m und in den Zentralalpen von ca. 2300-2400 m bis ca. 2700-2800 m einnimmt, gibt es keine dystrophen Tangelrendzinen. Dafür sind die organischen Reste der Alpenmatten zu gut zersetzbar.

Die ausgedehnten Alpenmatten dienen von alters her als natürliche Grundlage der alpinen Weidewirtschaft. In neuerer Zeit werden sie häufig dem Wild überlassen.

Die ± geschlossenen Alpenmatten werden öfters von Felsen und Schutthalden unterbrochen. Die Boden- und Vegetationsentwicklung ist am

besten auf den Schutthalden zu studieren, so z.B. auf dem Südhang der Weißschrofenspitze (2752 m, Hauptdolomit) in den Lechtaler Alpen. In Abhängigkeit von dem Ausgang der Schuttrinnen aus dem Felsen zeigt die Schutthalde eine deutliche Zonierung:

- 1) An Stellen, wo die Schuttrinnen immer wieder neuen Schutt aus dem Felsen auf die Schutthalde bringen, ist nur ein junger Carbonatrohboden (= Hauptdolomitschuttröhboden) anzutreffen, der von der alpinen Täschelkrauthalde (*Thlaspietum rotundifolii* Br.-Bl. 1926) nur spärlich bewachsen ist.
- 2) Auf etwas geschützteren Stellen, die zwar auch noch etwas bewegt sind, wo aber die Materialzufuhr nicht so groß ist, siedelt sich die Silberwurz (*Dryas octopetala* L.) an und ermöglicht die Entwicklung eines Initialstadiums des Polsterseggenrasens (*Caricetum firmae* / Kerner/ Br.-Bl. 1926) und der initialen alpinen Rendzina.
- 3) An einer Stelle, die durch kleine Felsen vor der Schutzzufuhr aus dem Oberhang weitgehend geschützt ist, sind der typische Polsterseggenrasen und die alpine Rendzina entwickelt.
- 4) In günstigen Lagen (nicht zu windausgesetzt, ausreichende Schneebedeckung) führt die weitere Boden- und Vegetationsentwicklung zur Blaugras-Horstseggenhalde (*Seslerio-Caricetum sempervirentis* Br.-Bl. 1926) und zu den reiferen Stadien der alpinen Rendzina.

Für diese Entwicklung sind charakteristisch: Ansammlung der stark humifizierten organischen Substanz und der nichtcarbonatischen Bestandteile, eine ± starke Entcarbonatisierung und oft auch eine Verschiebung der pH-Werte vom schwach alkalischen in den neutralen bis schwach sauren Bereich.

Soweit keine Carbonatzufuhr vom Oberhang erfolgt, wird auf harten Kalken und Dolomiten bei genügender Befeuchtung eine stark humose, mineralarme Variante der alpinen Rendzina, die Pechrendzina, gebildet. Auf physikalisch leicht zerfallenden Dolomiten und Kalken oder auch bei Carbonatzufuhr vom Oberhang bleibt selbst die mächtigste alpine Rendzina mineral- und insbesondere carbonatreich.

Eine über die alpine Rendzina hinausgehende Bodenentwicklung und eine starke Bodenversauerung, wie sie J. Braun-Blenquet und H. Jenny (1926) vom "Rätischen Plattenkalk"¹⁾ auf dem Murter-Sattel (2600 m über N.N., Schweizerischer Nationalpark, Engadiner Dolomiten) beschrieben haben, findet auf reinen Carbonatgesteinen wie Hauptdolomit oder Wettersteinkalk nicht statt. Dafür ist der Gehalt an nichtcarbonatischen Bestandteilen im Ausgangsgestein, auch unter Einbeziehung der viel zitierten rezente Staubzufuhr zu gering. Andererseits liefert auch die Vegetation der Alpenmatten keine so schwer zersetzbaren Pflanzenreste, wie in der Wald- und Latschenstufe.

Bei der alpinen Rendzina sind oft als auffällige Oberflächenformen Girlandenböden (Abb. 3) und Streifenböden mit Wechsel von Schutt- und Vegetationsstreifen entwickelt (Z. Gracenin 1968, 1969), stellenweise trifft man aber auch Erdströme an. Es sind größere, mehrere Meter lange, hangebwärts gerichtete Formen deren Stirn ähnlich wie bei Girlanden von der Vegetation zusammengehalten wird.

Die in den Mulden und ebenen Lagen auch in der Alpenmattenstufe stellenweise vorkommende Terra fusca - soweit sie nicht dem erhöhten Tongehalt der Ausgangssubstrate zuzuschreiben ist - sollte nach W. L. Kubiena (1970, S. 44-45) als ein Teil der während der Gebirgsbildung hochgehobenen alten tertiären Landschaft angesehen werden. Ob auch eine intensive äolische Staubzufuhr zur Deutung der bestehenden Terra fusca-Vorkommen herangezogen werden kann, wie dies von F. Solar (1964) für das Raxplateau gemacht wurde, konnte für den mittleren Abschnitt der Alpen noch nicht endgültig geklärt werden. Dagegen spricht aber die überwiegend schluffige Textur der bisher beobachteten äolischen Ablagerungen in den Alpen.

Zu geringe Anlieferung der Nährstoffe aus den nichtcarbonatischen Bestandteilen der reinen Carbonatgesteine scheint die Ursache dafür zu sein, daß die obere Grenze der geschlossenen Alpenmatten auf reinen Carbonatgesteinen nicht so hoch liegt wie auf den Silikat- und Mischgesteinen.

1) Rätischer Plattenkalk ist eine geologische Schichtserie aus nicht ganz reinem Kalk mit schieferigen Zwischenschichten.

Viehtritt und zu starke Bestoßung der Alpenmatten haben in früheren Zeiten vielfach zur Zerstörung der Grasnarbe und zur Bodenerosion durch Wind und Wasser geführt. Heute ist die Weidewirtschaft vielerorts stark zurückgegangen, dafür stellen aber die Trittwirkung zahlreicher Touristen (besonders in der Nähe der Bergstationen von Seilbahnen) und auch die in manchen Teilen der Alpen viel zu hohen Wildbestände neue Gefahren für die Bodenerhaltung dar. Geköpfte Bodenprofile, kahle Felsen und Carbonatrohböden sind oft die Folge.

Die Bodenbildung in der subnivalen Stufe

An die Alpenmattenstufe schließt mit einem allmählichen Übergang die subnivale Stufe an: die alpinen Rasen lösen sich auf und immer häufiger findet man feines Verwitterungsmaterial ohne Pflanzenbewuchs. In den Allgäuer und Lechtaler Alpen liegt dieser Übergang auf reinen Carbonatgesteinen bei etwa 2300 - 2400 m, in den Engadiner Dolomiten bei ca. 2600 - 2700 m (auf Silikat- und Mischgesteinen etwas höher!).

Initiale Pflanzengesellschaften wie die alpine Täschelkrauthalde (*Thlaspietum rotundifolii* Br.-Bl. 1926) bewächst meist nur spärlich die ausgedehnten Schutthalden auf den Hängen sowie Abwitterungshalden aus Frostschutt in ebenen oder nur mäßig geneigten Lagen.

Aber auch an Stellen, wo genügend Feinerde vorhanden ist, besteht die Vegetation meist nur aus weit auseinanderstehenden Pflanzen der Täschelkrauthalde oder einzelner Arten aus den Alpenmatten.

Die Bodenentwicklung ist daher sehr beschränkt und führt meist zu Carbonatrohböden. Ihre Oberfläche ist oft von einer Skelettschicht bedeckt, die die darunterliegende Feinerde vor dem Abtrag durch Wind und oberflächlich abfließendes Wasser schützt. Im Sinne von W. L. Kubiens (1953) sind solche Böden als alpine Hamada-Rohböden (Alpine Hamada-Römark) zu bezeichnen.

An besonders günstigen Stellen entwickeln sich, besonders unter dem stengellosen Leimkraut, alpine Polsterrendzinen. Es sind

einzelne isolierte Polster inmitten von Carbonatrohböden, die unter extremen klimatischen Verhältnissen der subnivalen Stufe nicht zu einer geschlossenen Boden- und Vegetationsdecke führen können.

An feinerdereichen Stellen bilden sich stellenweise als besondere Oberflächenform der Carbonatrohböden der subnivalen Stufe die Erdstreifenböden bei denen unbewachsene Erdstreifen mit Schuttstreifen abwechseln (Z. Gracani 1968).

Manchmal findet man in den Böden der subnivalen Stufe noch im Hochsommer Bodenfrost. So war z.B. der Hamada-Rohboden (Abb. 4 und 5) zwischen dem Vadret (=Gletscher) da Triazza und Vadret da Lischana (Engadiner Dolomiten) noch am 8. August 1965 gefroren. Solche Beobachtungen hat man auch in anderen Teilen der Alpen gemacht, doch blieb es lange umstritten, ob es sich um lange andauernden Bodenfrost, der doch im Spätsommer verschwindet, oder um Vorkommen von Permafrost handelt.

Für die Trennung des Permafrostes von gewöhnlichem Bodenfrost benutzt man meist die Definition von J. Pévé (1966), wonach unter Permafrost eine Lage im Boden und/oder Untergrund zu verstehen ist, deren Temperaturen während mindestens zwei Jahren unter Nullpunkt liegen. Es war daher erst durch stationäre Beobachtungen von Bodentemperaturen möglich, den Permafrost mit Sicherheit nachzuweisen. Dies gelang H. Elsässer (1968, 1970) auf der Fuorcla da Fallär in 2830 m über N.N. oberhalb Juf in Avers (Graubünden, Schweiz).

Weitere vermutliche Vorkommen des Permafrostes werden von G. Furrer und P. Fitze (1970) meist aus Höhenlagen von 2700 m und höher angegeben. Dies bedeutet aber, daß die meisten der früher aus den Alpen beschriebenen Solifluktionerscheinungen nicht dem Permafrost, sondern bestenfalls einem lange andauernden Bodenfrost zuzuschreiben sind.

Bodenbildung in der nivalen Stufe

In den Allgäuer Alpen ist eine eigene nivale Stufe nicht ausgebildet. In den Lechtaler Alpen in Höhenlagen über ca. 2800 m und in den Engadiner Dolomiten über ca. 3000 m über N.N. bleiben in ebenen Lagen Schnee und Eis über den ganzen Sommer erhalten und machen eine eigentliche Bodenbildung unmöglich. Doch solche ebenen Lagen sind in diesen Höhen selten; die steilen Felsen und ausgesetzten Grate abern auch über der klimatischen Schneegrenze aus und ermöglichen eine spärliche Ansiedlung von höheren Pflanzen und eine gewisse Verwitterung und Bodenbildung, so daß in der nivalen Stufe außer Schnee, Eis und Felsen auch Frostschutt, gewöhnliche Carbonatrohböden und Hamada-Rohböden, äußerst selten auch Polsterrendzinen anzutreffen sind.

Zusammenfassung

Umfangreiche Untersuchungen in den Allgäuer und Lechtaler Alpen, in den Engadiner Dolomiten, im Karwendel und in der Brenta zeigen, daß die Bodenbildung auf Kalken und Dolomiten im mittleren Abschnitt der Alpen eine deutliche vertikale Zonalität aufweist. Carbonatrohböden und Rendzinen einzelner Höhenstufen unterscheiden sich voneinander sowohl durch unterschiedliche Entwicklungsmöglichkeiten wie auch in ihren Eigenschaften als Pflanzenstandort. Ebenso wie die Vegetationsgrenzen liegen auch die Höhenstufen der Bodenentwicklung in den Zentralalpen höher als in den Außenalpen.

Das Endstadium der Bodenentwicklung auf reinen Kalken und Dolomiten und deren Detritus stellt in den Außenalpen in der niederschlagsreichen Waldstufe und in der Latschenstufe weit verbreitete und in feuchteren Teilen der Engadiner Dolomiten stellenweise vorkommende dystrophe Tangelrendzina mit ihren sauren organischen Auflagehorizonten. In den Außenalpen ist sie in der subalpinen Waldstufe der

Standort des subalpinen Fichtenwaldes, in höheren Lagen des Latschen-Krummholzes; in den Engadiner Dolomiten (Zentralalpen) wird sie dagegen vom Alpenrosen-Arven-Lärchenwald bewachsen.

Eine stärkere Beimischung tonhaltigen Fremdmaterials oder nicht-carbonatische Zwischenschichten können die Entwicklung von Mullrendzinen bewirken, die in den Außenalpen vor allem Buchenwaldstandorte darstellen.

In der Stufe der Alpenmatten führt die Bodenentwicklung auf reinen Kalken und Dolomiten zur alpinen Rendzina, die Standorte des Polsterseggenrasens (*Caricetum firmae* /Kerner/ Br.-Bl., 1926) und der Blaugras-Horstseggenhalde (*Seslerio-Caricetum sempervirentis* Br.-Bl., 1926) bildet.

In der subnivalen Stufe gibt es keine produktiven Böden mehr. Felsen, Frostschutt, gewöhnliche und Hamada-Carbonatrohböden sowie die stellenweise entwickelten Polsterrendzinen tragen nur eine spärliche Vegetation.

In der nivalen Stufe ist ein großer Teil der Bodenoberfläche das ganze Jahr über mit Schnee und Eis bedeckt; die stellenweise auf ausgesetzten Greden und steilen Felsen auftretende Vegetation kann selten eine Bodenentwicklung über das Rohbodenstadium hinaus bewirken.

In der subnivalen und nivalen Stufe kann an geeigneten Stellen auch der in den Alpen inselartig vorkommende Permafrost die Bodenentwicklung beeinflussen.

S c h r i f t t u m

BRAUN-BLANQUET, J., JENNY, H., Vegetations-Entwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen (Klimaxgebiet des Caricion curvulae). Mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse im schweizerischen Nationalpark. Denkschriften der Schweiz. Naturforsch. Ges., 63, Abh. 2, S. I-IX und 183-349, 1926.

BRAUN-BLANQUET, J., PALLMANN, H., BACH, R., Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark und seinen Nachbargebieten, II: Vegetation und Böden der Wald- und Zwergstrauchgesellschaften (Vaccinio-Piceetalia). Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen des Schweizerischen Nationalparks, 4 (N.F.), Liestal 1954.

CAMPELL, E., TREPP, W., Vegetationskarte des Schweizerischen Nationalparks 1:10.000. Mit einer Beschreibung der Pflanzengesellschaften von W. TREPP. Ergebnisse der wiss. Untersuchungen im schweizerischen Nationalpark, Bd. 11, H. 58, S. 17-42, Liestal 1968.

ELSASSER, H., Untersuchungen an Strukturböden im Kanton Graubünden. Diss. Phil. Fak. II Univ. Zürich. Juris Druck + Verlag, Zürich 1968.

ELSASSER, H., Die ungebundene Solifluktion. Alpen, Bern, 46, 104-107 (1970).

FRANZ, H., Feldbodenkunde als Grundlage der Standortsbeurteilung und Bodenwirtschaft. Mit besonderer Berücksichtigung der Arbeit im Gelände. Verlag Georg Fromme & Co., Wien München 1960.

FREI, E., JUHASZ, P., BACH, R., Bodenkarte der Schweiz 1:1 000 000. Erläuterungen zur Karte und zur Systematik der Böden der Schweiz. Schweiz. Landw. Forschung, 5, 537-551, Bern 1966.

FURRER, G., FITZE, P., Beitrag zum Permafrostproblem in den Alpen. Vierteljahresschrift d. Naturforsch.Ges. Zürich, 115, 353-368 (1970)

GANSSEN, R., Bodengeographie, K.F. Koehler Verlag, Stuttgart 1957.

GRACANIN, Z., Pedološka istraživanja (Bodenkundliche Untersuchungen) in: MORVAT, I.: Istraživanja i kartiranje planinskog skupa Risnjaka i Snježnika (Exploration et représentation cartographique de la végétation du massif montagneux de Risnjak et de Snježnik) Sumarski List, Jahrg. 74, S. 97-118, Zagreb 1950.

GRACANIN, Z., Boden- und Vegetationsentwicklung auf dem Hauptdolomit in der alpinen Rasenstufe der Allgäuer und Lechtaler Alpen. Zfsg. des Referats am Intern. Symposium über Fragen der Gesellschaftsentwicklung (Syndinamik) hektrogr., Rinteln/Weser 1967.

GRACANIN, Z., Höhenlage, Aufbau und bodensystematische Stellung der Streifenböden in den Allgäuer und Lechtaler Alpen und Engadiner Dolomiten. Mitt.d.Deutsch.Bodenkundl.Ges., 8, 251-272 (1968).

GRACANIN, Z., Ein Beitrag zur Kenntnis der Böden der natürlichen Fichtenwälder (*Picea excelsa/Lam./Lk.*) in Kroatien. Pflanzensoziologie und Landschaftsökologie, hrsg. von R. TÜXEN, S. 300-323, Verlag Dr. W. Junk N.V., Den Haag 1968.

GRACANIN, Z., Streifenböden auf Kalk und Dolomit und ihre Vegetation in den Ostalpen. Zfsg.d.Referats am 13.Intern.Symposium über den Problembereich Vegetation und Substrat, hektrogr., Rinteln/Weser 1969.

GRACANIN, Z., Nutzung und Schutz von Böden aus Carbonatgesteinen im Bereich der alpinen Waldgrenze. Forstarchiv, Hannover, 41, 169-173, (1970).

GRACANIN, Z., Buckelwiesen und ihre Bodenbildungen in den westlichen Lechtaler Alpen. Allg.Forst- u. Jagdzeitung, 141, 193-205 (1970a).

GRACANIN, Z., Age and development of the hummocky meadow (Buckelwiese) in the Lechtaler Alps (Austria). In: D.H.YAALON (Hrsg.), Paleopedology, S. 117-127, International Society of Soil Science and Israel Universities Press, Jerusalem 1971.

GRACANIN, Z., Die Böden der Alpen. In: GANSSEN, R., Bodengeographie, 2. Aufl. K.F.Koehler Verlag 1972 (im Druck).

GRACANIN, Z., Standorte der subalpinen Fichtenwälder im Bereich der Kalke und Dolomite. 1972a (in Vorbereitung).

HORVAT, I., Istrazivanje i kartiranje vegetacije planiskog skupa Risnjaka i Snježnika (Prethodni izvjestaj) (Exploration et représentation cartographique de la végétation du massif montagneux de Risnjak et de Snježnik). Sumarski List 74, 97-118. Zagreb 1950.

HORVAT, I., Vegetacija planina zapadne Hrvatske. Sa 4 karte biljnih zajednica sekcije Susak (La végétation des montagnes de la Croatie d'Ouest. Avec 4 cartes des groupements végétaux de la section Susak). Prirodoslovna Istrazivanja 30 (=Acta Biologica 2) 3-179. Zagreb 1962.

JENNY, H., Hochgebirgsböden. Handbuch der Bodenlehre hrsg. von E. BLANCK, 3, 96-118, Springer, Berlin 1930.

KUBIENA, W. L., Entwicklungslehre des Bodens. Springer, Wien 1948.

KUBIENA, W. L., Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. Ferdinand Enke, Stuttgart 1953.

KUBIENA, W. L., Micromorphological features of soil geography. Rutgers University Press, New Brunswick, New Jersey 1970.

NEUWINGER, I., Böden der subalpinen und alpinen Stufe in den Tiroler Alpen. Mitt. Ostalpin-din. Ges. f. Vegetkde., 11, 135-150, Obergurgl, Innsbruck 1970.

PALLMANN, H., Pédologie et phytosociologie. Compt. Rend. Conférence de Pédologie Méditerranéenne, S. 3-36, Algèr, Montpellier 1947.

PALLMANN, H., HASLER, A., SCHMUZIGER, A., Beitrag zur Kenntnis der alpinen Eisen- und Humuspodssole. Bodenkunde und Pflanzenernährung, 9/10 (54/55), 94-122, 1938.

PÉWÉ, T., Permafrost and its effect on life in the North. Oregon State University Press 1966 (zit. nach FURRER und FITZE 1970).

SCHADLER, J., PREISSECKER, H., Studien über Bodenbildung auf der Hochfläche des Dachsteins (Landfriedalm bei Obertraun). Mit einem botanischen Beitrag von B. WEINMEISTER. Jahrbuch d. Oberöstr. Musealvereines, Bd. 87, S. 313-367, Linz 1937.

SENDNER, O., Die Vegetations-Verhältnisse Südbayerns nach den Grundsätzen der Pflanzengeographie und mit Bezugnahme auf Landes-cultur. Literarisch-artistische Anstalt, München 1854.

SOLAR, F., Zur Kenntnis der Böden auf dem Raxplateau, Mitt. Österr. Bodenkundl. Ges., 8, 1-72, Wien 1964.

ZÖTTL, H., Die Vegetationsentwicklung auf Felschutt in der alpinen und subalpinen Stufe des Wettersteingebirges. Dies. Naturwiss. Fak. Univ. München 1950.

ZÖTTL, H., Zur Entwicklung der Rendzinen in der subalpinen Stufe. Z. f. Pflanzenern.Düng.Bodenkunde, 110, 109-125, (1965).

ZOLLER, H., Flora des Schweizerischen Nationalparks und seiner Umgebung. Ergebnisse der wiss. Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark, Bd. 9, Nr. 51, Liestal 1964.

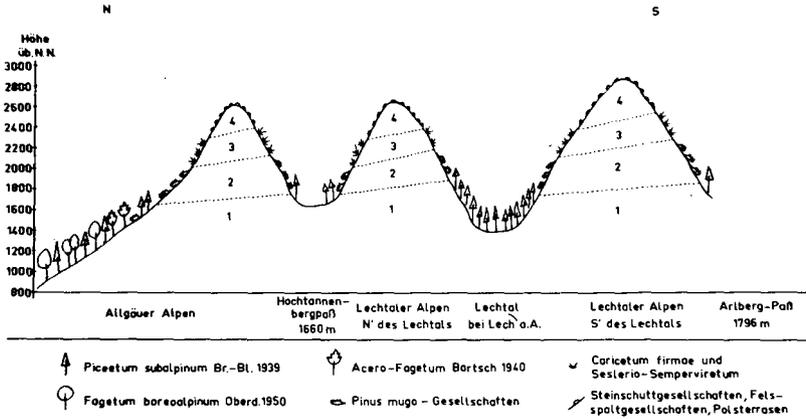


Abb. 1 Stark schematisierter unmaßstäblicher Querschnitt durch die Höhenstufen der Allgäuer und Lechtaler Alpen im Bereich der Kalke und Dolomite vom Alpenrand bei Oberstdorf bis zum Arlbergpaß: 1 = Waldstufe, 2 = Latschenstufe, 3 = Stufe der Alpenmatten, 4 = Subnivale Stufe.

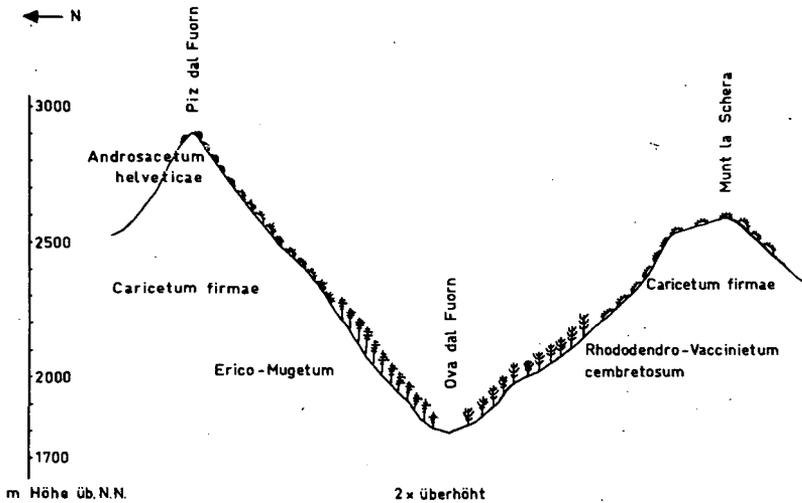


Abb. 2 Querschnitt durch die Höhenstufen bei Il Fuorn (1794 m über N. N., Engadiner Dolomiten, Zentralalpen): der Erika-Bergföhrenwald (*Erico-Mugetum*) und der Alpenrosen-Arven-Lärchenwald (*Rhododendro-Vaccinietum cembretosum*) gehen unmittelbar in die Stufe der Alpenmatten (hier größtenteils vom *Caricetum firmae* eingenommen) über. Das *Androsacetum helveticae* deutet die subnivale Stufe an.



Abb. 3 Girlandenböden, eine häufige Form der alpinen Rendzina. Vegetation: der Polsterseggenrasen (*Caricetum firmæ* /Kerner/Br.-Bl.) Gamsboden bei der Göppinger Hütte (Lechtaler Alpen), 2240 m ü. N.N., Hauptdolomit. (Aufn. v. Verf.)



Abb. 4 Breiter Rücken zwischen Vadret da Triazza und Vadret da Lischana, 3000 m ü. N.N., mit dem Hamada-Carbonatrohboden, der am 8. August 1965 noch gefroren war: wahrscheinlich ein Permafrost-Vorkommen. (Aufn. v. Verf.)

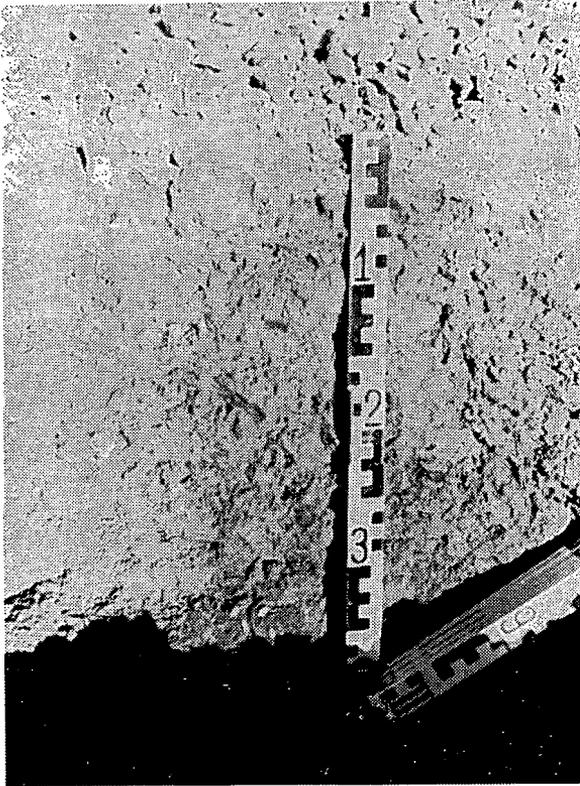


Abb. 5 Subnivaler Hamada-Carbonatrohboden
(Zersatz des Hauptdolomits), am 8. August 1965
noch gefroren. Breiter Rücken zwischen dem
Vadret da Triazza und Vadret da Lischana,
3000 m über N.N., schwache Neigung zum NW.
(Aufn. v. Verf.)

Synthetische und natürliche Bodenverbesserungsmittel

Tagung der Kommissionen I und VI am
22. und 23. 2. 1972 in Hannover

INHALT	Seite
1. <u>Zum Geleit, K.H. Hartge und B. Wohlrab</u>	45
2. <u>Ziel und Grenzen der Anwendung von natürlichen und synthetischen Bodenverbesserungsmitteln, K.H. Hartge</u>	46
3. <u>Mikroskopische Merkmale der Bodenstabilisierung mit Kalkhydrat, H.-J. Altenmüller</u>	57
4. <u>Modellversuche über den Einfluß hoher Kalkgaben auf die Verformung und Verdichtbarkeit des Bodens, C. Sommer</u>	65
5. <u>Der Einfluss hoher Gaben von Kalkhydrat auf Plastizität Krümelstabilität und Wasseraufnahme des Bodens, W.Czeratzki</u>	73
6. <u>Einfluss des Kalkes auf das Bodengefüge, G.Schaffer und D. Mosebach</u>	77
7. <u>Parameter und Jahresgang der Strukturwirkung meliorativer Kalkung von LÖB-Parabraunerde-Ap-Horizonten, K. Scheffer</u>	85
8. <u>Direkte Wirkungen meliorativer Carbonatgaben zu sauren Sand-, Lehm- und Tonböden auf Ertrag und Qualität bei Getreide, P. Hugenroth und B. Meyer</u>	95
9. <u>Wirkung des Kalkes auf Gefügeeigenschaften einer Parabraunerde in einem polyfaktoriellen Tiefenbearbeitungs- und Kalkungsversuch, T.Harrach, G. Werner, A. Wourtsakis</u>	107
10. <u>Haben CaCO_3 und austauschbare Kationen einen Einfluß auf den Eindringwiderstand? , H. H. Becher</u>	111
11. <u>Der Einfluss des Kalks auf die Infiltrationskapazität eines Schlufflehm Bodens, H. Wichtmann</u>	117
12. <u>Die Verwendung von 'Waschbergen' als natürliches Bodenverbesserungsmittel zur Melioration von leichten Sandböden, W.Rochus</u>	127
13. <u>Utilization of Oxyhumolites in the Application of high Fertilizer Doses, F. Jonás</u>	135
14. <u>Müllklärschlammkompost zur Bodenverbesserung im Weinbau, I. Buchmann</u>	143
15. <u>Die Bedeutung der Flugasche für die Verbesserung der biophysikalischen Eigenschaften schwerer Tonböden, J. Šimek</u>	149

16. Die Torfkomponente in der Bodenbildung auf Sandmischkulturen, H. Kuntze 155
17. Bodenbiologische Untersuchungen bei der Anwendung natürlicher und synthetischer Bodenverbesserungsmittel, H.-J. Banse 163
18. Versuche mit Torf- und Hygromull bei der Begrünung steriler Sandböden, R. Eggelsmann 171
19. Der Einfluß von Schaumstoffen (R) Hygromull und (R) Styromull auf Ertrag und physikalische Bodeneigenschaften im Modellversuch, H. Rasp 181
20. Theoretical and practical approach for determining the optimal moisture content at the moment of soil conditioning, D. Gabriëls, M. De Boodt 185
21. Research with synthetic soil conditioners at Iowa State University, Ames, Iowa, U.S.A., D.M.Gabriëls, R.R. van der Ploeg, P. Benecke 205
22. Physikalische und chemische Wirkung von Bodenverbesserungsmitteln auf Kieselsäurebasis (Agrosil), H. Gebhardt 225
23. Synthetische Bodenverbesserungsmittel auf tiefgepflügten Heidepodsolen, R. Bartels 247
24. Einsatz des synthetischen Aggregans "Sedipur" zur Oberflächen-Strukturierung und meliorativen Krümen-Konditionierung von Schluff-, Lehm- und Ton-Böden, B. Meyer 253
25. Der Einfluss von CURASOL auf Gefügeeigenschaften von Böden, T. Harrach, G. Jachimsky, H.-U. Preuß 259
26. Über die Möglichkeiten zur Verminderung der Erosion durch Altpapier, B. Walter, E. Petermann, D. Hase 265

Zum Geleit

Die Kommissionen I (Bodenphysik) und VI (Bodentechnologie) haben die Reihe ihrer gemeinsamen Arbeitssitzungen in den Jahren zwischen den satzungsmäßigen Tagungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft fortgesetzt.

Am 22. und 23. Februar 1972 trafen sich über 90 an der Arbeit dieser Kommissionen interessierte Mitglieder, sowie einige ausländische Kollegen in Hannover als Gäste der Fakultät für Gartenbau und Landeskultur der TU Hannover. Es wurden 24 Referate zum Thema

"Synthetische und natürliche Bodenverbesserungsmittel"

gehalten. Dank der Rücksichtnahme der Referenten und der Diskussionsredner auf die mühevoll Aufgabe der Diskussionsleiter, blieb Platz für lebhaft Diskussionen.

Die Verteilung der Referate gab einen interessanten Überblick über das relative Gewicht der verschiedenen Probleme bei der Bodenverbesserung mit bereits bekannten Substanzen und zeigt darüber hinaus das wache Interesse an der Verwendung neuer Mittel - seien es nun zweckvoll entwickelte, oder was häufiger ist, bei anderen Prozessen anfallende, die mit mehr oder weniger Vorteil verwendet werden können.

Insgesamt läßt sich feststellen, daß der Problembereich der Bodenverbesserung zwar in zunehmendem Maße Objekt wissenschaftlichen Interesses ist, daß aber bei näherem Hinsehen auch allgemein anerkannte Sachverhalte neuer Interpretierungen bzw. genauerer Begrenzung ihres Geltungsbereiches bedürfen.

Mögen die Referate und die Diskussionsbemerkungen anlässlich dieser Sitzung allen Teilnehmern Anregungen zu weiteren Arbeiten, aber auch Ansätze für ordnende Erkenntnisse und Zusammenhänge gegeben haben.

Im Februar 1972

gez. K.H. Hartge
für Kommission I

gez. B. Wohlrab
für Kommission VI

Ziel und Grenzen der Anwendung von natürlichen
und synthetischen Bodenverbesserungsmitteln

von

K. H. Hartge

Die Verwendung von Bodenverbesserungsmitteln erfolgt in der Erwartung, die Erträge der Kulturpflanzen zu erhöhen oder die Standortbedingungen für einen Erstbewuchs zu verbessern. Da diese Erwartung - augenscheinlich ganz widersinnigerweise - oft enttäuscht wird, entsteht ein periodischer Wechsel von anwachsendem und verebbendem Interesse an diesem Problembereich. Es erscheint aus diesem Grunde sinnvoll, Möglichkeiten und Grenzen der Wirkung von sogenannten Bodenverbesserungsmitteln kurz und daher notgedrungen grob zu umreißen; auch wenn die Einzelheiten als solche bekannt sind.

Was ist ein Bodenverbesserungsmittel?

Wenn von Bodenverbesserungsmitteln gesprochen wird, dann sind solange es um den Boden als Pflanzenstandort - also als Kultursubstrat - geht, Substanzen gemeint, die zwar die Eigenschaften des Bodens als Pflanzenstandort verbessern, aber keine Düngemittel im engeren Sinne des Wortes sind. Sie sind eher "Bodendünger" im Sinne von Fink (1969).

Praktisch handelt es sich dabei fast immer um Substanzen, deren Einsatz den Wasser- und Lufthaushalt des Bodens für die betreffende Kultur günstiger macht.

Eine Verbesserung des Wasser- bzw. Lufthaushaltes auf diesem Wege ist aber stets eine Veränderung der Bodenstruktur, oder genauer gesagt, der Porengrößenverteilung. Denn die Porengrößenverteilung

Institut für Bodenkunde der TU Hannover,
3000 HANNOVER, Herrenhäuser Straße 2

ist diejenige Eigenschaft, die darüber entscheidet, ob eine Veränderung der Wassermenge im Boden eine Verbesserung oder Verschlechterung dieses Bodens als Pflanzenstandort bedeutet.

Wenn man nun Bodenverbesserungsmittel als Substanzen definiert, die es ermöglichen, die Bodenstruktur den Bedürfnissen anzupassen, dann drängt sich naturgemäß der Gedanke auf, daß auch Bearbeitungsmaßnahmen zu diesem Ziel führen. Daher ist es naheliegend, die Bodenverbesserungsmittel in dem vorhin beschriebenen Sinn in zwei Gruppen einzuteilen:

1. Substanzen, die selbst die Porengrößenverteilung ändern,
2. Substanzen, die eine durch Bearbeitungsmaßnahmen veränderte Porengrößenverteilung stabilisieren.

Zu der ersten Gruppe gehören alle in großen Mengen ein- oder auf-gebrachten Substanzen, wie Fremdkörnungen (Ton- oder Schluffzufuhr zu Sand, Sandzugaben zu Ton). Hierher gehören auch die Waschberge (Rochus, 1972), Flugaschen (Šimek, 1972) aber auch humifizierte organische Substanz wie Torf oder Kompost, ferner synthetische Verbindungen wie Styropor oder Hygromull. Diese Mittel sind in der Regel nur wirksam, wenn sie in derartigen Mengen zugeführt werden, daß sie einen erheblichen Anteil an der "verbesserten" Bodenschicht erreichen.

Zu der zweiten Gruppe gehören Substanzen, die in verhältnismäßig geringen Mengen angewendet werden, wie vor allem synthetische Stabilisatoren wie Agrosil (Gebhard, 1972), Curasol (Harrach, Joachimski u. Preußé, 1972), aber auch der Kalk oder Mulchmittel wie z.B. Pappschnitzel (Walter und Petermann, 1972).

Zusammenfassend kann man also sagen: Bodenverbesserungsmittel sind Substanzen, die die Porengrößenverteilung für die Kultur günstiger gestalten bzw. eine durch Bearbeitung hergestellte Porengrößenverteilung konservieren helfen.

Was für eine Porengrößenverteilung soll angestrebt bzw. stabilisiert werden?

Zur Beantwortung dieser Frage muß man von der Feststellung ausgehen, daß die Porengrößenverteilung als solche für die Pflanze belanglos ist.

Ebensogut wie in einem Boden kann man der Pflanze auch mittels einer Drahtklammer freischwebend Halt geben - wenn man nur für regelmäßige, ausreichende Zufuhr von Wasser und Luft sorgt. - Das wäre im Extrem bei einer Wasserkultur der Fall.

Wenn man aber die Pflanze mangels anderer Standorte im Boden verankern muß, dann muß der Boden an seinem Einfluß auf die regelmäßige, ausreichende Zufuhr von Luft und Wasser zu den Wurzeln der Pflanze gemessen werden.

Die Frage, welche Porengrößenverteilung erstrebenswert ist, ist daher nicht allgemein zu beantworten, sondern hängt vom Wassernachschub zum Boden ab.

Hier ist eine grundsätzliche Feststellung wichtig:

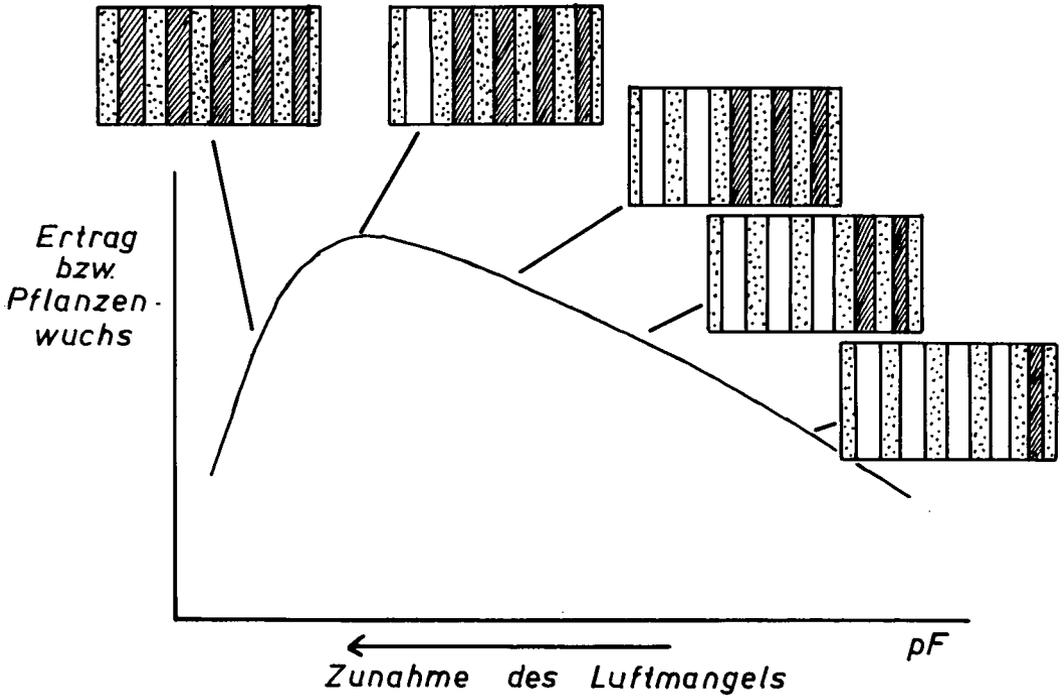
Jede Pflanze wächst umso besser, je leichter sie den Zutritt zum Wasser hat, d. h. je weniger Arbeit sie verrichten muß, um dem Substrat das Wasser zu entziehen, oder anders gesagt, je niedriger die Wasserspannung im Substrat ist.

Wegen des durch die p_f -Kurven charakterisierten Zusammenhanges zwischen Wasserspannung und Wassermenge, sind aber umso mehr Poren in einem Boden voll Wasser, je niedriger die Wasserspannung ist.

Das bedeutet, daß die Verbesserung der Wasserversorgung eine Verschlechterung der Luftversorgung der Wurzeln zur Folge hat, die irgendwann anfängt, eine weitere Wachstumsbegünstigung zu verhindern. Dieser Zusammenhang ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Die Kurve in der Abbildung ist nach Ergebnissen von Bierhuizen (1959) gezeichnet. In den Rechtecken über der Kurve sind schematisch die Füllungsgrade der Poren eingezeichnet. Die Abbildung zeigt, daß es vorteilhaft ist, bei dem nassesten Zustand zu kultivieren, der vom drohenden Luftmangel her gerade noch vertretbar ist.

Aus diesem Grund ist es wünschenswert, das Porensystem umso grobporiger zu gestalten, je mehr Wasser man anzubieten hat, je mehr man sicher ist, daß Wassermangel und damit hohe Wasserspannungen und geringe Nachlieferungen während der Kulturzeit vermieden werden können.

Zusammenhang zwischen Ertragshöhe, Wasserspannung und Anteil der luftgefüllten Poren



Zunahme der Wasserspannung

- Abnahme des Vorrats
- Abnahme der Nachlieferung infolge sinkender Wasserleitfähigkeit
- Zunahme der Entzugsarbeit

Legende:



Abbildung 1

In Abb. 2 ist dieser Zusammenhang noch einmal, aber diesmal im Hinblick auf die "beste" Porengrößenverteilung dargestellt. Die Abbildung soll verdeutlichen, daß diejenige Porengrößenverteilung die erstrebenswerteste ist, die bei der vorherrschenden Nachschubsituation am meisten Wasser mit geringer Wasserspannung anbieten kann, ohne daß dabei Luftmangel auftritt.

Wenn man also z. B. bei pF 1,8 kultivieren kann, weil Niederschläge oder Bewässerung dies ermöglichen, dann muß man

- entweder sich auf grobporige Substrate beschränken
- oder Bodenverbesserungsmittel verwenden, die das Substrat grobporiger machen
- oder Bodenverbesserungsmittel verwenden, die durch Bearbeitung die erzeugte Grobporigkeit stabilisieren.

Die Abbildung läßt aber gleichzeitig erkennen, daß bei geringem Wasserangebot der Wassergehalt und damit wegen der Anzahl der leitenden Poren auch der Wassernachschub umso stärker zurückgeht, je grobporiger das Substrat ist.

Wenn man daher weiß, daß die Gefahr wegen fehlenden Wassernachschubs in Bereiche höherer pF -Werte (z.B. pF 3,0) zu kommen, größer ist, als die Gefahr mittels Wasserüberschuß Luftmangel zu erzeugen, dann muß man:

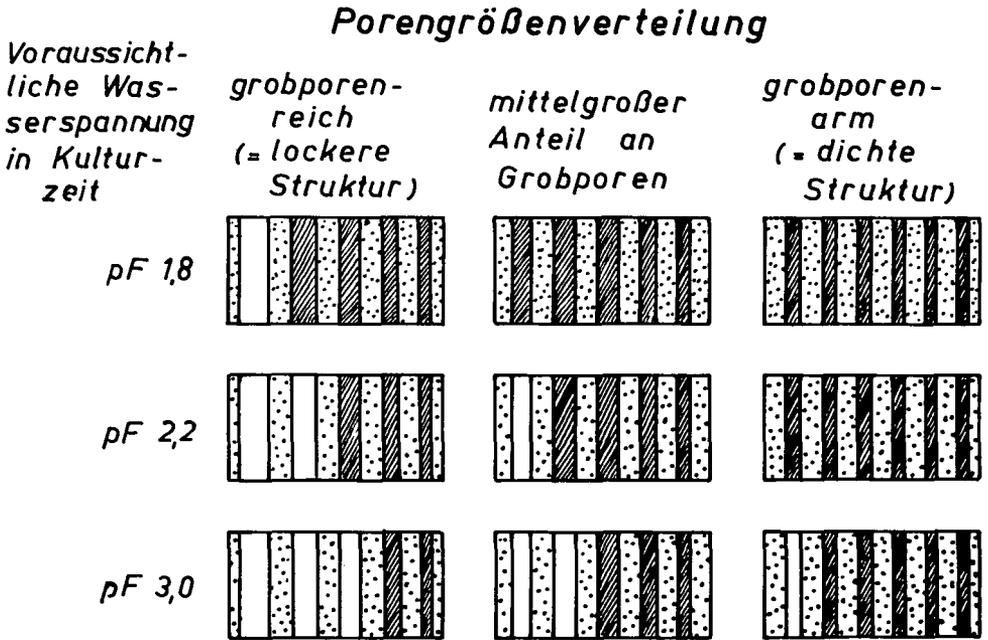
- entweder auf grobporige Substrate verzichten
- oder Substanzen zuführen, die den Boden feinporiger machen
- oder den Boden festdrücken, um Sekundärporen zu zerstören.

Diese Zusammenhänge haben für den praktischen Pflanzenbau eine so große Bedeutung, daß sie zur Ausbildung sehr spezieller Kulturgewohnheiten führten, ohne daß die Gemeinsamkeit des prinzipiellen Hintergrundes deswegen immer erkannt wurde. Hier seien einige solcher Kulturgewohnheiten bzw. Erfahrungen aufgezählt:

Die Wertschätzung des Pflügens als Symbol des Ackerbaues bzw. des "Umgrabens" als Symbol des Gärtners:

Diese Maßnahmen sind absolut auf Situationen zugeschnitten, in denen das Wasserangebot im Verhältnis zu den in der Regel vorhandenen Grobporen zu groß ist. Unter diesen Umständen

Zusammenhang zwischen Wasserspannung und Porenfüllungsgrad bei grobporenreicher und grobporenarmer Struktur



Legende:



Abbildung 3

ist Aggregation (=Lockerung = Schaffung grober Sekundärporen) für die Pflanzenproduktion wichtiger als die damit unausweichlich verbundene Verkleinerung des Wassernachschubes (= Verkleinerung der ungesättigten Wasserleitfähigkeit).

Die Bedeutung des Ausdrucks "Vergießfestigkeit" als Charakterisierung einer gärtnerischen Erde:

Da im Gartenbau das Wässern als Kulturmaßnahme eine große Rolle spielt, ist das Erhalten einer hinreichend grobporigen Struktur im Kultursubstrat so wichtig, daß dieser Aspekt der Strukturstabilität einen eigenen terminus technicus erhielt.

Die Praxis des Herbstpflügens zwecks Förderung der Entstehung einer Frostgare:

Diese Maßnahme ist umso notwendiger, je grobporenärmer der Boden und je größer das Wasserangebot ist, weil durch das mechanische Bearbeiten weder die erwünschte Porengrößenverteilung, noch für diese eine ausreichende Verschlämmfestigkeit erreicht wird.

Die Technik des Bodenbrennens (Guie) im humiden Hochland von Äthiopien (Wehrmann und Johannes, 1965):

Diese Maßnahme erzeugt den gleichen Effekt in einem wärmeren Klima bei hohem Wassernachschub wie bei uns der Frost.

Die Beobachtung, daß das Pflügen in aridem Klima oft nachteilige Folgen hat:

Das Pflügen führt stets zu einer Vergrößerung des Porensystems und damit (s. oben) zu einer Verkleinerung des Wassernachschubes (= Verkleinerung der ungesättigten Wasserleitfähigkeit), die bei trockenem Klima den unerwünschten Anstieg der Wasserspannung fördert.

Die Forderung nach "festem Fuß" bei einigen landwirtschaftlichen Kulturen und nach "gutem Antreten" beim Pflanzen von Gehölzen:

Diese Forderungen hängen mit der Tatsache zusammen, daß offensichtlich gerade Anfangsentwicklungen wie Keimen oder Anwachsen stark erschwert werden, wenn die Wassernachlieferung infolge Lockerheit des Substrates (=geringe ungesättigte Wasserleitfähigkeit) gering ist.

Zusammenfassend kann man also sagen: Die Porengrößenverteilung, die mit Hilfe von Bodenverbesserungsmitteln erzeugt oder stabilisiert werden kann, muß von der verfügbaren Wassermenge her beurteilt werden. Vergrößerung des Porensystems ist nur bei zu hohem Wasserangebot bzw. bei einer beabsichtigten Erhöhung des Wasserangebotes von Nutzen.

Wann und warum müssen Bodenverbesserungsmittel versagen?

Die Antwort auf diese Frage ist im Grunde in den vorigen Abschnitten gegeben, sie sei deshalb nur noch einmal anders formuliert:

Das Erzeugen oder Stabilisieren einer grobporigen Struktur mit Hilfe von Bodenverbesserungsmitteln hat in mancher Hinsicht eine ähnliche Wirkung wie eine Dränung.

Für sich allein angewandt haben diese Maßnahmen daher nur eine vorteilhafte Wirkung, wo bisher ein deutlicher Luftmangel infolge Wasserüberschuß vorlag.

Dies ist jedoch selbst in humidgemäßigem Klima eine Ausnahme und führt dazu, daß Ertragszuwachs als Folge der Stabilisierung von Porensystemen selten sind (v.d. Ploeg, 1972). Auf der gleichen Ebene können auch die oft unzureichenden Erfolge von Untergrundmeliorationen liegen.

Wenn eine Intensivierung der Kultur mittels zusätzlicher künstlicher Wassergaben geplant ist, dann gewinnt die Grobporigkeit an Gewicht und damit auch die Stabilisierung der grobporigen und damit lockeren Struktur.

Dieser Zusammenhang wird durch das in Abb. 3 dargestellte Versuchsergebnis illustriert. Hier ist an einem Sellerie-Versuch (Hartge, 1966) gezeigt, daß der Grobporenanteil, dessen Erhaltung der wesentlichste Zweck von Bodenverbesserungsmitteln ist, für sich allein keinen Zusammenhang mit dem Ertrag hat. Erst eine Aufschlüsselung der Ergebnisse nach dem Wassernachschub zeigt, daß die Erhaltung einer grobporigen Struktur bei hohem Wasserangebot zu Ertragszunahmen führt, während sie bei geringem Angebot wertlos ist.

Ertragsentwicklung infolge Düngung bei Sellerie in Abhängigkeit vom Grobporenanteil und Wasserzufuhr während der Kulturdauer

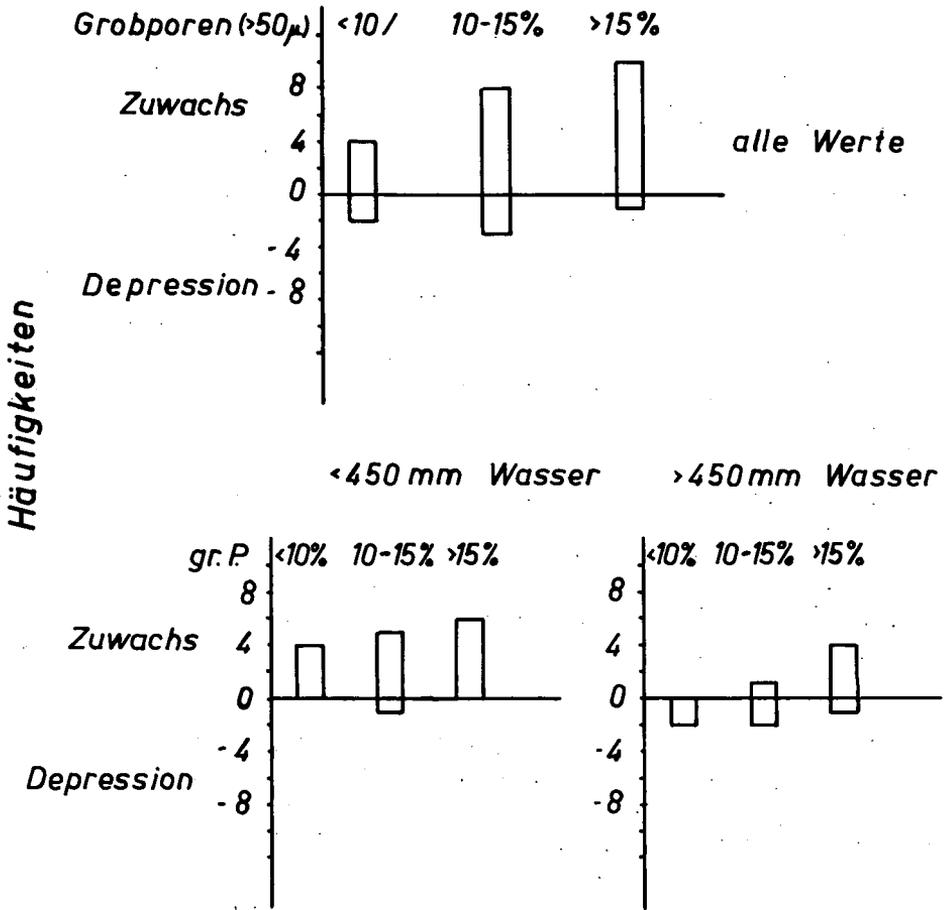


Abbildung 3

Zusammenfassung

Bodenverbesserungsmittel erhalten ihren Wert durch den Einfluß, den die durch sie hervorgerufene oder stabilisierte Veränderung des Porensystems auf den Wasser- und Lufthaushalt ausübt.

Abgesehen von den einstweilen oft hohen Kosten dieser Mittel ist es die Nichtbeachtung dieses Zusammenhanges, die dazu geführt hat, daß das Schwergewicht der Anwendung synthetischer Stabilisatoren sich von den Kulturflächen weg zu Erstbegrünungen hin verschoben hat.

Literatur

- Bierhuizen, J. F. (1959): Plant growth and soil moisture relationships. Arid Zone Research UNESCO, Madrid Symp. Proc. 309-315
- Finck, A. (1969) : Pflanzenernährung in Stichworten, Verlag Hirt, Kiel
- Gabriels, D.H., van der Ploeg, R.R., und Benecke, P. (1972): Some physicochemical aspects of soil conditioning with respect to soil structure improvement. Vortrag Komm. I u. VI, DBG, 22./23.2.72 in diesem Band
- Gebhard, H. (1972) : Zur Wirkung von Bodenverbesserungsmitteln auf Kieselsäurebasis (Agrosil), Vortrag Komm. I u. VI, DBG, 22./23.2.72 in diesem Band
- Harrach, T., Joachimski, G., und Preuße, H.O. (1972): Der Einfluß von Curasol auf Gefügeeigenschaften von Böden. Vortrag Komm. I u. VI, DBG, 22./23.2.72 in diesem Band
- Hartge, K. H. (1966) : Einfluß der Porengrößenverteilung auf den Ertrag von Salat und Sellerie bei K- und P-Düngungsversuchen. Z. Pflanzenernährg., Düngung, Bodenkd 112, 114-121
- Rochus, W. (1972) : Die Verwendung von Waschbergen als natürliches Bodenverbesserungsmittel für leichte Sandböden. Vortrag Komm. I u. VI, DBG, 22./23.2.72 in diesem Band

Šimek, I. (1972) : Die Bedeutung der Flugasche für die Verbesserung der biophysikalischen Eigenschaften schwerer Tonböden. Vortrag Komm. I u. VI, DBG, 22./23.2.72 in diesem Band

Walter, B., und Petermann, E. P. (1972): Über Möglichkeiten zur Verminderung der Erosion durch Altpapier, Vortrag Komm. I u. VI, DBG, 22./23.2.72 in diesem Band

Wehrmann, J., und Legesse, W. Johannes (1965): Effect of "Guie" on soil condition and plant nutrition. African soils 10, 129-145.

Mikroskopische Merkmale der
Bodenstabilisierung mit Kalkhydrat

VON

H.-J. Altemüller

Einleitung

Zur Klärung einiger Fragen bei der Bodenstabilisierung wurden auf Anregung des Bundesverbandes der Kalkindustrie, Köln-Bayenthal, Modellversuche durchgeführt, an welchen bodenphysikalische und mikroskopische Untersuchungen vorgenommen wurden (2). Über den bodenphysikalischen Teil berichtet CZERATZKI (4). Die folgenden Ausführungen befassen sich mit einigen Ergebnissen der mikroskopischen Untersuchung. Eine ausführliche Darstellung ist in Vorbereitung.

Drei Versuchsböden mit vorherrschend sandiger, schluffiger und toniger Korngrößenzusammensetzung wurden mit pulverförmigem Kalkhydrat in Stufen von 1, 3, 5 und 7 Gew.% gründlich vermischt, dann befeuchtet und in Kunststoffzylinder von 100 cm³ Inhalt eingepresst. Die Zylinder wurden mit Deckeln beiderseitig verschlossen und luftdicht versiegelt. Danach folgte eine Lagerung von 1, 3 und 12 Monaten.

Zur Theorie der Stabilisierung

Verfahren mit derart hohen Zugaben an Kalkhydrat haben sich in der Praxis des Feldwege- und Straßenbaues eingeführt und zeigen wesentliche Veränderungen der mechanischen Bodeneigenschaften.

Nach BRAND (3) sind dabei zwei Stadien der Kalkwirkung zu unterscheiden, ein "Soforteffekt" durch Anlagerung von Ca-Ionen und die damit verbundene Koagulation und Veränderung der Wasserbindung, die sich in einer "Strukturumwandlung" äußert (Hinweis auf die andersartige Krümelung der Boden-Kalk-Gemische) und ein "Langzeiteffekt" durch hydraulische Verfestigung (Mineralumwandlung, ähnlich der Bindung in Zementen).

Der langfristige Effekt der hydraulischen Verfestigung ist der in der Straßenbaupraxis angestrebte Zustand. Sicher nachgewiesen ist die Umwandlung und Mineralneubildung allerdings nur bei Boden-Zement-Gemischen (5). Bei der Vermörtelung liegt es näher, an die Umwandlung in Ca-Carbonat zu denken, wobei die Reaktion mit dem Bodenkomplex eine Begleitrolle spielen kann. Es ist auffallend, daß nach dem Zusatz von Kalkhydrat die charakteristischen Reflexe der Tonminerale in Röntgen-Analysen verschwinden. Nach neuesten Untersuchungen von PETTRY und RICH (6) handelt es sich hierbei lediglich um einen Maskierungseffekt, der durch Waschen mit Säuren wieder beseitigt werden kann. Die Autoren sehen als Endstadium der Stabilisierung die Bildung von Ca-Carbonat an. Es steht allerdings außer Zweifel, daß wesentliche Effekte der Stabilisierung schon ausgeprägt sind, bevor Ca-Carbonat nachgewiesen werden kann.

Herstellung der Präparate

Die Zylinderproben wurden nach Ablauf der Lagerungszeit an der Luft getrocknet und anschließend im Vakuum nach üblichem Verfahren mit dem Einbettungsmittel Vestopal getränkt und zu Dünnschliffen verarbeitet (1). Die Lufttrocknung hat sich später als problematisch erwiesen, da sie besonders bei den kurzzeitig gelagerten Proben relativ schnell zu Veränderungen führen kann. Bei Fortsetzung der Untersuchungen müssen zum Vergleich auch andere Trocknungsverfahren angewandt werden.

Zusammenfassung der mikroskopischen Untersuchung

Veränderungen der Kornpackung und Aggregatformen durch den Zusatz von Kalkhydrat sind im mikroskopischen Bild kaum nachweisbar. Die Präparate ohne Zusätze zeigen in schwachen bis mittleren Vergrößerungen etwa die gleiche räumliche Verteilung der Bodengemengteile. Durch die labormäßige Vorbereitung sind hier allerdings auch keine großen Unterschiede zu erwarten. An den Deckelflächen der Proben konnte in dünner Schicht ein weißlicher Belag festgestellt werden, der aus Ca-Carbonat besteht. Hier handelt es sich offenbar um einen Effekt während der Lufttrocknung. Im Inneren der Probe war Ca-Carbonat nicht nachweisbar. Weder im Hellfeld-Durchlicht noch bei gekreuzten Polarisatoren zeigten sich irgendwelche Neubildungen. Es wurden deshalb weitere Präparate mit besonders sorgfältiger Schlifftechnik zur Anwendung des Phasenkontrastverfahrens hergestellt.

Im Phasenkontrast wird bei mittlerer bis starker Mikroskopvergrößerung erkennbar, daß die Bodenbestandteile besonders nach einjähriger Lagerung von einem gelartigen Belag eingeschlossen werden, der eine Lichtbrechung bei $n=1.54$ aufweist und lichtoptisch völlig isotrop ist. Daraus erklärt sich die Schwierigkeit der Erkennung im Hellfeld und bei gekreuzten Polarisatoren.

Abb. 1 zeigt die Anordnung der Feinskelettkörner mit den tonigen Bestandteilen im schluffigen Versuchsboden ohne Ca-Hydrat.

In Abb. 2 sind die gelartigen Beläge schematisch dargestellt, die sich im Laufe einjähriger Lagerung ausbilden. Die Belagdicke ist wechselnd und hier etwas übertrieben gezeichnet. Bei Zusatzmengen von 5 und 7 % Ca-Hydrat sind die Beläge gut erkennbar. Bei den geringen Zusätzen ist der Nachweis erschwert.

In der Bildung der gelartigen, optisch isotropen Beläge dürfte der eigentliche Stabilisierungseffekt begründet sein, der identisch ist mit dem von BRAND (3) postulierten "Langzeiteffekt". Sollte es sich hierbei um eine hydraulische Verfestigung wie beim Abbinden von Zement handeln, so müßte dieses Stadium eine Endphase des Prozesses darstellen. Die Probleme der Lufttrocknung bei der Präparat-

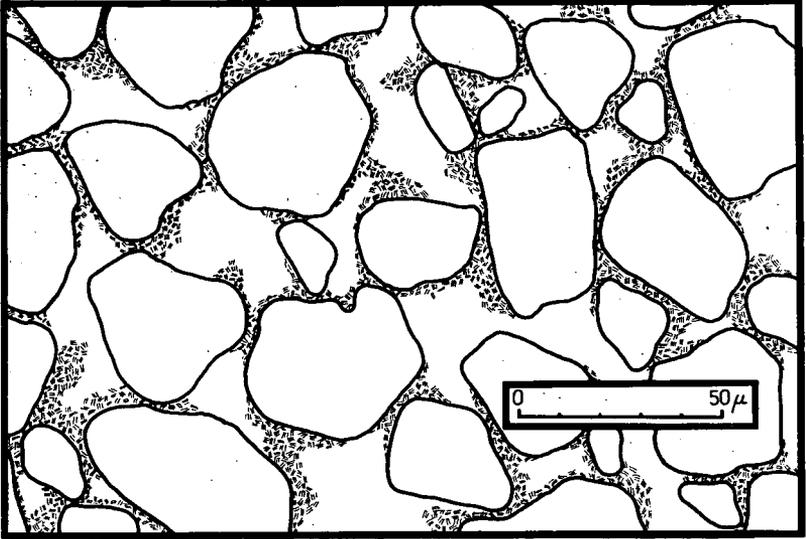


Abb. 1: Bodengefüge ohne Kalkhydrat. Vereinfachte, schematische Darstellung von Schluffkörnern mit toniger Feinmasse.

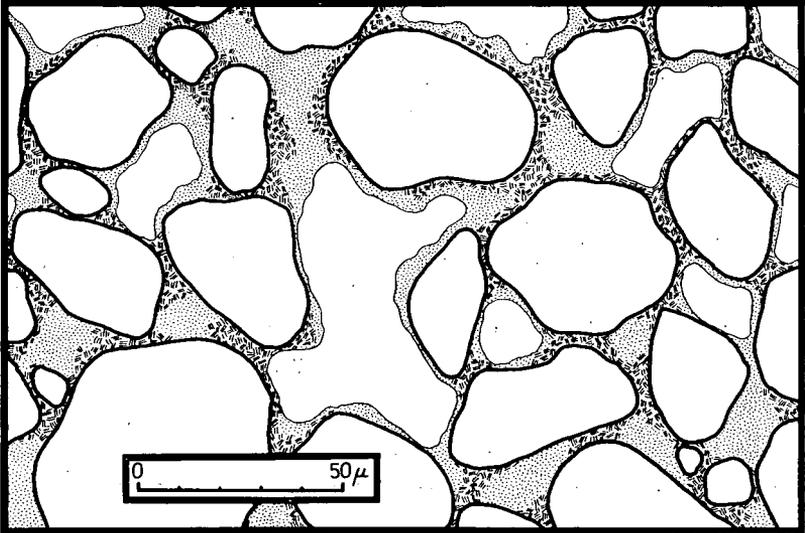


Abb. 2: Gelartige Belagbildung (feinpunktiert) nach Zusatz von 7 Gew.% Kalkhydrat und einjähriger Feuchtlagerung unter Luftabschluß.

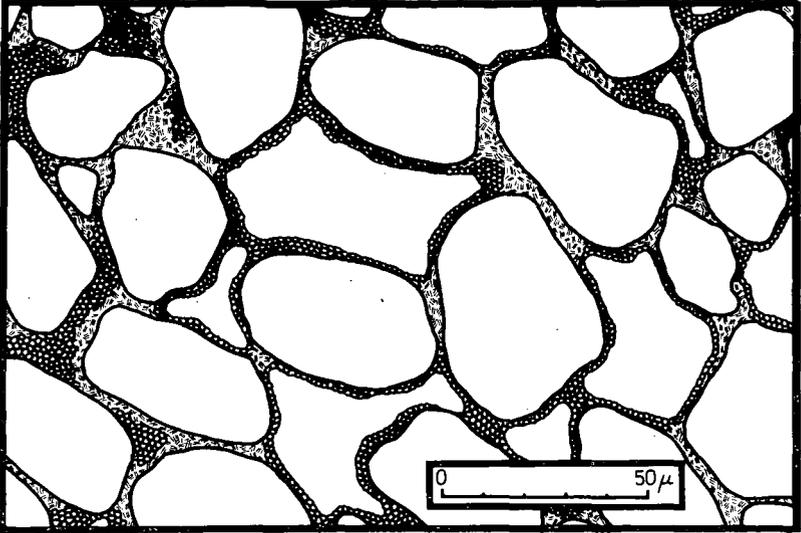


Abb. 3: Carbonatbildung nach vorausgegangener Gelpase.
Pflasterartig ineinander verzahnte Kriställchen umgrenzen Hohlräume.

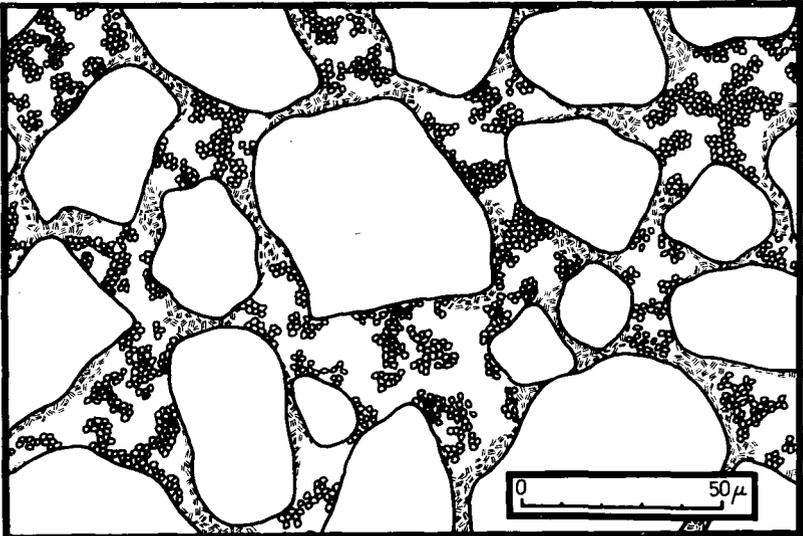


Abb. 4: Carbonatbildung nach ungenügend oder nicht ausgebildeter Gelpase. Carbonatkriställchen ohne einheitliche Bindung im Gefüge verteilt.

herstellung haben jedoch deutlich werden lassen, daß der Gelfilm nur so lange erhalten bleibt, wie die Versuchsbedingungen andauern. Bei längerer Lagerung an der Luft wandelt sich der Gelfilm offenbar vollkommen in Ca-Carbonat um.

In Abb. 3 ist die Carbonatphase einer einjährig gelagerten Probe nach anschließender, mehrere Monate andauernder trockener Lagerung an der Luft dargestellt. Die Carbonatkriställchen sind eng pflasterartig ineinander verzahnt und zeichnen ein Gefüge nach, das den vorausgegangenen belagartigen Zustand noch vorstellen läßt.

Werden dagegen solche Proben an der Luft gelagert, die nur 1 bis 3 Monate im abgeschlossenen Zylinder vorbereitet wurden, bei denen ein Gelfilm also noch unvollkommen ausgebildet wurde, dann bilden sich Ca-Carbonate nur in nesterartiger, unregelmäßiger Verteilung ohne allgemeine Bindung. Dieses Stadium der "zu frühen" Carbonatisierung ist in Abb. 4 dargestellt. Es ist vorstellbar, daß diese Art der Carbonatbildung ohne Stabilisierungseffekt bleibt. Und wenn sich die im Straßenbau bekannte Vorstellung, daß die Carbonatbildung unerwünscht ist, mit diesen Versuchen in Verbindung bringen läßt, ist es wohl diese lose Carbonatbildung, die damit gemeint ist. Eine Carbonatisierung nach einer wohlausgebildeten "Gelphase" dürfte die befürchteten Nachteile nicht aufweisen.

Literatur

- 1) ALTEMÜLLER, H.-J.: Verbesserung der Einbettungs- und Schleiftechnik bei der Herstellung von Bodendünnschliffen mit Vestopal. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk. 99 (144), 164-177 (1962)
- 2) ALTEMULLER, H.-J.: Mikroskopische Untersuchungen über die Wirkung von Kalkhydrat bei der Bodenstabilisierung. Inst. f. Bodenbearbeitung der F.A.L. Braunschweig-Völkenrode. Unveröff.Ber. (1961).
- 3) BRAND, W. : Systematik der Bodenverfestigung und Technologie der Bodenstabilisierung mit Kalk. Straße und Autobahn, H. 10 (1960) Bad Godesberg.
- 4) CZERATZKI, W. : Einfluß hoher Gaben von Kalkhydrat auf Plastizität, Krümelstabilität und Bodenwasserspannung. (Beitrag in diesem Heft)
- 5) MITCHELL, J.K.; EL JACK, S.A.: The structure of clay cement and its formation. Inst. of Transportation and Traffic Engineering, Univ. of California, Berkeley (1965).
- 6) PETTRY, D.E.; RICH, C.I.: Modification of certain soils by calcium hydroxide stabilization. S.S.S.A. Proceed. 35, 834-838 (1971).

Modellversuche über den Einfluß hoher Kalkgaben auf die
Verformung und Verdichtbarkeit eines Bodens

von

C. Sommer

1. Einleitung

Ein Blick in die entsprechende Fachliteratur zeigt, daß der Veränderung physikalischer Bodeneigenschaften durch Zugabe der verschiedensten Kalkformen seit langem Aufmerksamkeit geschenkt wird. Der Straßenbauer tut dies unter ganz anderen Aspekten als der landwirtschaftlich orientierte Bodenkundler, was sich nicht zuletzt in der Untersuchungsmethodik widerspiegelt. Das Ziel des ersteren ist es, durch Bodenstabilisierung dauerhafte Verkehrswege zu schaffen (1). Wie verschieden hohe Kalkgaben die Festigkeit beim Zylinderdruckversuch mit unbehinderter Seitendehnung beeinflussen, wird in (4) für Kaolinit und Montmorillonit gezeigt. Aus landwirtschaftlicher Sicht steht die Strukturstabilität im Vordergrund (2), weil die verschlammende Wirkung des Wassers das Pflanzenwachstum behindern kann. Hinzu kommen andere physikalische Eigenschaften (6) und nicht zuletzt der Ertrag.

Für den Landtechniker andererseits ist der Acker die Fahrbahn seines Schleppers, die ihm Schwierigkeiten bei der Übertragung größer werdender Triebkräfte macht und die empfindlich gegenüber immer höheren Fahrzeuggewichten ist. Deshalb wird dem Verformungsverhalten und den Festigkeitseigenschaften eines Bodens besonderes Interesse entgegengebracht (8), (9).

Dabei geht es u.a. um das Problem, wie groß die durch äußere Belastungen hervorgerufene Bodenverdichtung ist. Entsprechende Untersuchungen haben zum Ziel, die Abnahme des Porenraumes als

Funktion bestimmter Ausgangsdaten (gewisse Bodenkennwerte, aufgebrauchte Belastung, Dauer und Art der Belastung usw.) anzugeben. Hierzu werden sowohl Feld- als auch Labormethoden herangezogen.

2. Versuchsdurchführung

2.1 Das Versuchsmaterial

Die Untersuchung physikalischer Bodeneigenschaften hängt nicht nur von dem Untersuchungsmaterial, sondern oft noch stärker von den Randbedingungen ab. Vorbehandlung eines Bodens und die Versuchsmethodik spielen eine entscheidende Rolle.

Die Ergebnisse, über die hier berichtet wird, sind an Bodenproben gewonnen worden, die einem Kalk-Feldversuch des Instituts für Pflanzenbau und Saatgutforschung der FAL entstammen. Er wurde vor fünf Jahren auf einem schluffig-tonigen Lehm (Abb. 1) angelegt und führt neben einer Nullparzelle (0) eine solche mit 30 dz (I) und eine mit 60 dz (II) Branntkalk pro Hektar und Jahr mit jeweils 4 Wiederholungen. Für den Landwirt sind solche Gaben durchaus ungewöhnlich, wenn auch der Kalkgehalt dadurch nur auf ca. 3.1 % angehoben wurde. Die von den Parzellen 0 und II entnommenen Bodenproben werden luftgetrocknet und gesiebt. Da aus Vorversuchen (9) bekannt war, daß bei Verwendung gesiebter Böden die Ergebnisse, wie sie mit der hier verwendeten Methodik zu erhalten sind, von der Größe der Aggregate abhängen, wurden zunächst nur 1 - 2 mm und < 1 mm Aggregate verwendet.

2.2 Versuchsmethodik

Die Verdichtbarkeit und die Verformung so hergestellter Modelle dieses UTL werden im Proctorversuch und im Kompressionsdurchlässigkeitsapparat (KD-Apparat) untersucht. Beide Geräte werden vom Bauingenieur für Untersuchungen des Baugrundes eingesetzt. Wenn die Belastung dort - aus landwirtschaftlicher Sicht gesehen - auch eine ganz andere ist, so haben doch Arbeiten wie (8) gezeigt, daß an Überlegungen und Ergebnissen, wie sie der Bauingenieur ermittelt, angeknüpft werden kann.

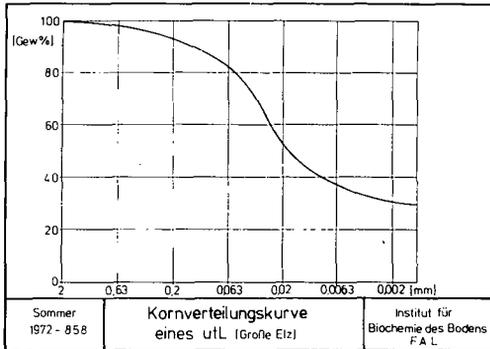


Abb. 1 Kornverteilungskurve des uTL

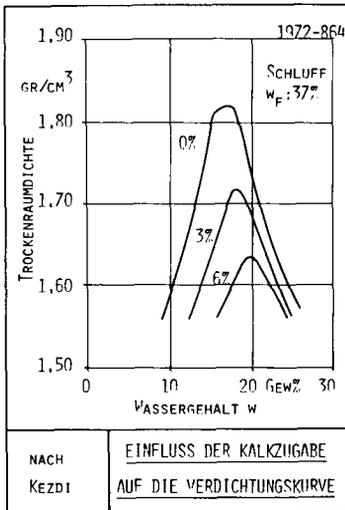


Abb. 2 Einfluß der Kalkzugabe auf die Proctorkurve nach KEZDI

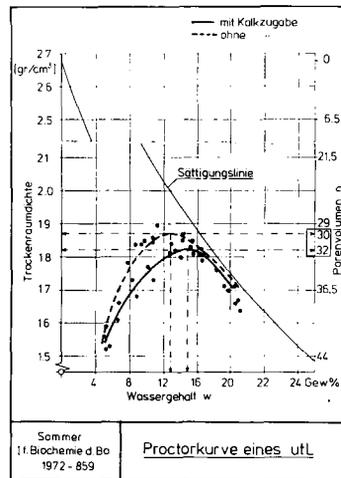


Abb. 3 Proctorkurven des uTL

2.2.1 Das Proctorgerät

Mit Hilfe dieses Gerätes soll für einen gestörten Boden die Abhängigkeit des Trockenraumgewichtes γ_t (gr/cm^3) vom Wassergehalt w (Gew.%) für eine bestimmte Verdichtungsart ermittelt werden. Dazu wird der Boden in einem zylindrischen Gefäß durch einen kreisförmigen Stößel bestimmten Gewichts, der aus konstanter Höhe mehrfach fallen gelassen wird, schichtweise verdichtet. Wiederholt man diesen Versuch bei unterschiedlichem Wassergehalt, so kann man die Funktion $\gamma_t = f(w)$ auftragen. Dieses Verfahren ist genormt, weil bekannt ist, daß die Höhe der eingeleiteten Energie die Meßergebnisse stark beeinflusst (7), (5).

Abbildung 2 zeigt nach (3) den Einfluß der Kalkzugabe auf die Proctorkurve für einen Schluff. Die Verringerung des maximalen Trockenraumgewichtes wird mit der Änderung der Struktur erklärt: das Wasser wird zur Hydratation benötigt, und die Beweglichkeit der koagulierten Teilchen wird kleiner.

2.2.2 Der Kompressions-Durchlässigkeitsapparat

In diesem Gerät wird die Bodenprobe ($d=100$ mm, $h=15$ mm) in senkrechter Richtung belastet, wobei - wie im Proctorgerät - ein seitliches Ausweichen unmöglich ist; im Gegensatz zu jenem Gerät kann jedoch Porenwasser während der Belastung durch die zwei Filtersteine entweichen. Speziell für unsere Versuche kommt bei dem Gerät noch der sogenannte Saugstutzen hinzu, über den mit Hilfe der entsprechenden Saugspannungskurve der gewünschte Anfangswassergehalt eingestellt wird. Die Untersuchungen wurden zunächst mit der Saugspannungsstufe $S_1=15$ cmWS begonnen.

3. Meßergebnisse

3.1 Die Proctorkurven

Die Ergebnisse für Bodenproben der Parzelle 0 und der Parzelle II zeigt Abbildung 3. Es wird deutlich, daß die für die genormte Art der Verdichtung maximal erzielbare Dichte (verbesserte Proctordichte) durch die Kalkzugabe verringert und gleichzeitig zu einem höheren Wassergehalt verschoben wird. Allerdings macht dies jeweils nur ca. 2 Vol% bzw. 2 Gew% aus.

3.2 Die Setzungelinien

Unter bestimmten Voraussetzungen können mit Hilfe des Zeit-Setzungsdiagramms gewisse Bodenkennzahlen ermittelt werden. Man bekommt solche Linien, wenn bei aufgebrachtter Belastung der zurückgelegte Weg des Kolbens zu bestimmten Zeitpunkten gemessen wird. Die Zeit kann logarithmisch und die Setzung der Probe in % der Ausgangshöhe aufgetragen werden. Für jeweils fünf Proben bringt Abbildung 4 die Ergebnisse. Die Kurven - nur bei kleinen Belastungen sind es annähernd Geraden - liegen bei "mit Kalkzugabe" über denen "ohne Kalkzugabe": bei gleicher Belastung hat zum Zeitpunkt t_1 letztere stets eine stärkere Setzung erfahren. Dabei sind die Differenzen für die verschiedenen Belastungen unterschiedlich groß.

3.3 Die Verdichtungskurven

Trägt man das Restporenvolumen, das nach bestimmter Belastungshöhe und -zeit (hier 23-stündig) in der Probe verbleibt, über den zugehörigen Drücken (kp/cm^2) auf, so erhält man die Verdichtungskurven, wie sie in Abb. 5 für die Aggregate 2-1 mm und in Abb. 6 für die Aggregate $< 1\text{mm}$ gezeigt werden. Bei den größeren Aggregaten sind die Differenzen zugunsten "mit Kalkzugabe" etwas größer und erst ab etwa 3 kp/cm^2 von Bedeutung.

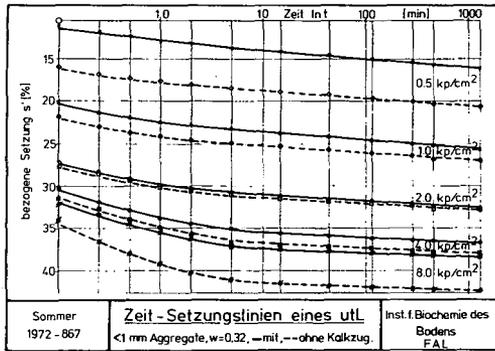


Abb. 4 Zeit-Setzungslinien des utL Aggregate 1 mm

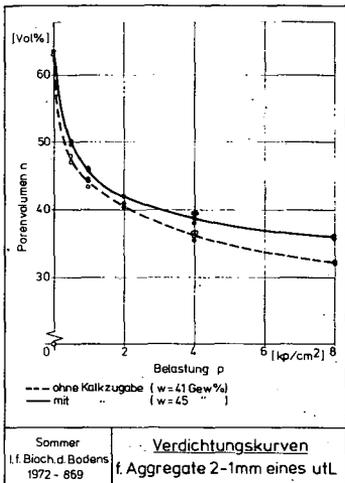


Abb. 5 Verdichtungskurven für Aggregate 2-1 mm

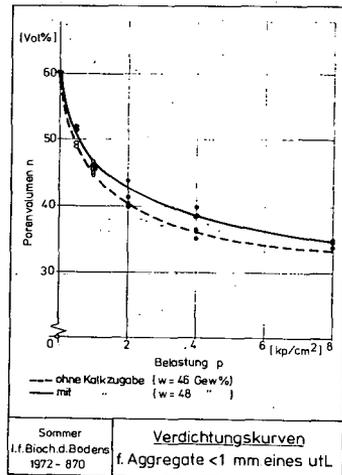


Abb. 6 Verdichtungskurven für Aggregate 1 mm

4. Schlußbemerkungen

Wenn auch die Zahl der Meßwerte z.Zt. noch nicht ausreichend ist, um eine statistische Verrechnung durchzuführen, so zeigen die Proctor- und die Verdichtungskurven doch gleiche Tendenzen: für eine bestimmte Verdichtungsart ist bei dem mit Kalk behandelten Boden das Trockenraumgewicht (innerhalb eines gewissen Wassergehaltbereiches) verringert bzw. das in der Probe verbleibende Porenvolumen (von einer gewissen Belastung ab) vergrößert worden. Damit ist durch die Kalkzugabe die Verdichtungsempfindlichkeit herabgesetzt worden. Nach (1) wirkt sich dies nicht etwa ungünstig auf die Tragfähigkeit aus.

In weiteren Untersuchungen soll geprüft werden, ob ein der Proctorkurve entsprechender Zusammenhang für die Belastung im KD-Apparat zu erhalten ist und wie sich die Ergebnisse ändern, wenn mit nicht vorbehandelten Proben aus dem Feld gearbeitet wird.

5. Literaturhinweise

- (1) Brand, W.: Die Bodenstabilisierung mit Kalk
"Straße und Autobahn" 10 (1958), 85
- (2) Hartge, K.: Der Einfluß des pH-Wertes und der Kalkung
auf die Strukturstabilität von Böden
Landwirtschaftl. Forschung 12 (12. Sonderheft
1959), S. 37-40
- (3) Kezdi, A.: Handbuch der Bodenmechanik, Band II
VEB Verlag 1969
- (4) Ranganathan, B.V.; Sivasundra, P.:
Strength-gain in thermally cured lime
stabilized clays
Proc. 4th Conf. on Soil Mechanics, Budapest 71
S. 263-272
- (5) Richard, S.J.: A soil compactor and procedure used for
preparing soil cores for measuring physical
properties
Soil Science Proc. 29(1965), S. 637-639
- (6) Schaffer, G.: Einfluß der Kalkung auf verschiedene
Bodeneigenschaften
Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung
1. Jg. (1969), S. 301-312
- (7) Schultze/Muhs: Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten
Springer Verlag 1967
- (8) Söhne, W.: Druckverteilung im Boden und Bodenverformung
unter Schlepperreifen
Grundlagen der Landtechnik, Heft 5 (1953),
S. 49-63
- (9) Sommer, C.; Stoinev, K.W.: (unveröffentlichter Bericht)

Der Einfluss hoher Gaben von Kalkhydrat auf Plastizität,
Krümelstabilität und Wasseraufnahme des Bodens

von
W. Czeratzki

Im Strassenbau wird für die Stabilisierung des Baugrundes im Sinne einer Erhöhung seiner Befahr- und Belastbarkeit seit langem die Beimischung von hohen Kalkgaben vorgenommen. Obwohl im landwirtschaftlichen Bereich auf die Fläche bezogen solche Gaben nicht vorkommen, ist infolge der oft schlechten Verteilung und Einmischung durch die Ackergeräte auch bei kleinen Kalkgaben nesterweise mit einem ähnlich hohen Mischungsverhältnis von Kalk und Boden zu rechnen, insbesondere bei Meliorationskalkungen im Zusammenhang mit meliorativen Massnahmen der Bodenbearbeitung. Da in solchen Fällen die Entnahme von repräsentativen Bodenproben schwierig ist, gelingt es nicht immer eine sichere Kalkwirkung festzustellen. In Modellversuchen mit steigenden Kalkhydratzusätzen bis zu den im Strassenbau üblichen hohen Mengen wurde an 3 Böden der Einfluss des Kalkes auf Krümelstabilität, Plastizität und Verlauf der Entwässerungskurven untersucht. Die Kennwerte der 3 Versuchsböden sind aus Tab. 1 ersichtlich.

Tab. 1 Modellversuche mit Kalkhydrat.
Kennwerte der verwendeten Böden.

	Humus %	Kalk %	pH	T-Wert	Ca.-Sät.%
Völkenrode 1	0.9	0.16	5.8	4.32	59
Northeim 2	0.3	5.00	7.9	6.26	100
Künzelsau 3	1.0	1.12	6.2	16.93	83
Körnung mm:	2.0-0.2	0.2-0.02	0.02-0.002	< 0.002	
Völkenrode 1	22.1	55.6	14.5	7.8	
Northeim 2	0.9	76.6	9.2	13.3	
Künzelsau 3	1.0	38.4	25.6	30.7	

Eine positive Wirkung des Kalkhydrates auf die Krümelstabilität konnte bei allen 3 Böden und allen Aufwandsmengen festgestellt werden. In Abb. 1 ist die Wirkung des Kalkhydrates bei Aufwandsmengen von 0.1-0.5% der Bodentrockenmasse dargestellt. Die stabilisierende Wirkung des Kalkhydrates ist deutlich zu erkennen.

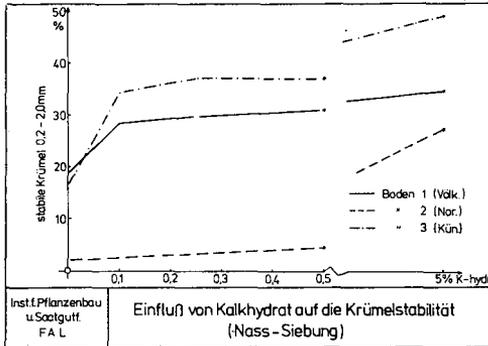


Abb. 1

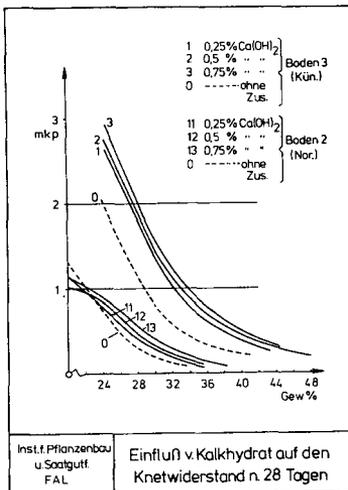


Abb. 2

Bei den gleichen Aufwandsmengen wurde, wie Abb. 2 zeigt, auch die Plastizität im Sinne einer Stabilisierung des Bodens beeinflusst. Allerdings reagierte die Plastizität weniger empfindlich und liess unter bestimmten Bedingungen einen Rückgang der Kalkwirkung nach längerer Probenlagerung erkennen.

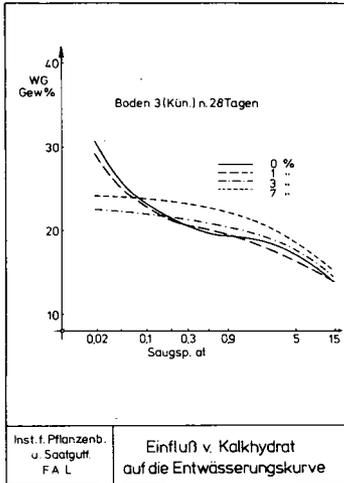


Abb. 3

Die Wasseraufnahme des Bodens bei niedriger Saugspannung wurde durch mittlere (0.1-0.5%) Kalkgaben erhöht, durch hohe Gaben (1-7%) wesentlich gesenkt. Wie Abb. 3 zeigt, beginnt die Senkung der Wasseraufnahme beim Boden 3 erst bei Kalkhydratgaben 1 %. Auch beim 15-at Wassergehalt konnten nach längerer Lagerung der Proben Veränderungen festgestellt werden. Beim Boden 1 fiel bei den Stufen 0 - 5 % Kalkhydrat der 15-at Wert von 6 auf 4 Gew.% H_2O , beim Boden 2 schwankten die Werte unregelmäßig, beim Boden 3 stiegen sie, insbesondere bei 7 % Kalkhydrat

von 14 auf 17 Gew.% H_2O an. Dies lässt auf stärkere Veränderungen des Tonkomplexes durch das Kalkhydrat schließen.

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl mittlere als auch hohe Gaben von Kalkhydrat zum Boden zu einer wesentlichen Veränderung der für die Stabilisierung wichtigen Parameter: Krümelstabilität, Plastizität und Wasseraufnahme geführt haben.

Dabei war der Tongehalt, wie das Ergebnis mit Boden 1 zeigt, für den Stabilisierungseffekt des Kalkhydrates nicht entscheidend. Ca^{++} -Sättigung sowie freies Kalziumkarbonat im Ausgangsmaterial hatten keinen messbaren Einfluss auf den Stabilisierungseffekt des Kalkhydrates.

Einfluß des Kalkes auf das Bodengefüge

(Veränderungen der Zusammendrückbarkeit, der Fließ- und Schrumpfgrenze bei vorbehandeltem Krümmenmaterial, verursacht durch Brannt- und Hüttenkalk in Abhängigkeit von der Zeit des Einwirkens.)

von

G. Schaffer und D. Mosebach

Durch frühere Untersuchungen des Verfassers ¹ wurde der Einfluß von verschiedenen Kalkformen auf verschiedene Bodeneigenschaften bei mehreren Feldversuchen ermittelt. Eine Reihe von bodenphysikalischen Eigenschaften, die für den praktischen Ackerbau relevant sind, erfuhren durch die Kalkung keine signifikanten Veränderungen.

Eine gewisse Bestätigung dieser negativen Ergebnisse aus Feldversuchen war durch die Untersuchung der Festigkeitseigenschaften von Bodenformlingen aus Krümmenmaterial von verschiedenen Feldversucheparzellen möglich; über diese Ergebnisse wurde ebenfalls schon berichtet ².

Um den möglichen Einfluß der Kalkwirkung in Abhängigkeit von der Zeit erfassen zu können, wurden weitere Modellversuche durchgeführt, über deren Ergebnisse hier berichtet wird.

Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Es wurde 0,1 % - 0,5 % - 1 % und 3 % CaO in Form von Branntkalk (80 % CaO) bzw. Hüttenkalk (40 % CaO) mit Krümmenmaterial (Ap-Horizont)

der Null-Parzellen von den Feldversuchsflächen in Höckelheim*) und Magelsen*) im lufttrockenen Zustand innig vermischt und in Blumentöpfe aus Keramik (5 l) eingefüllt. Der Inhalt wurde kapillar angefeuchtet und 14 Monate feucht gehalten. Nach 1, 7 und 14 Monaten wurde die Zusammendrückbarkeit von zylindrischen Bodenformlingen nach Pfefferkorn 3 sowie die Fließ- und Schrumpfgrenze 4 bestimmt.

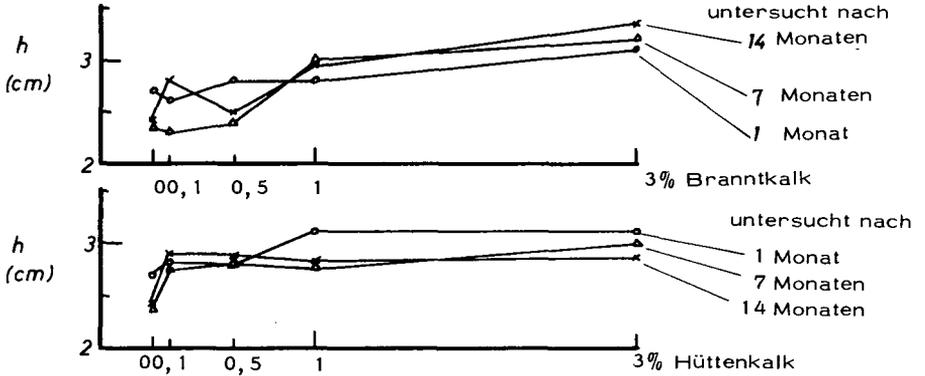
Da die Zusammendrückbarkeit vornehmlich vom Wassergehalt der Bodenformlinge abhängt, wurden diese Untersuchungen bei verschiedenen Wassergehalten, die den Saugspannungen von p_f 1,4 - 2,4 - 2,9 entsprachen, durchgeführt. Die Meßergebnisse wurden in Abhängigkeit der Wassergehalte dargestellt. Die pro Versuchsvariante angefallenen 12 Meßpunkte lagen auf einer Regressionsgeraden, wobei der Korrelationskoeffizient immer größer war als 0,94, wodurch eine eindeutige Zuordnung bestätigt wird. Aus diesen graphischen Darstellungen, die hier wegen gebotener Kürze nicht wiedergegeben sind, wurden die Zusammendrückbarkeitswerte bei einem bestimmten Wassergehalt, bei dem der Boden gut plastisch war, - Höckelheim 24 %, Magelsen 30 % WG - für jede Versuchsvariante entnommen und in der Abbildung 1 zur Darstellung gebracht.

Bei dem tonigen Schluff (Höckelheim) kann in Abhängigkeit von der Kalkmenge (jedoch unabhängig von der Kalkform) eine tendenzmäßige Erhöhung der Zusammendrückbarkeit und demnach eine Verfestigung festgestellt werden. Ein nahezu gegenteiliges Bild zeigt sich jedoch bei dem schluffigen Lehm (Magelsen). Richtet man nunmehr das Augenmerk auf die Einwirkungszeit des Kalkes, so kann aufgrund aller Ergebnisse in den vier Diagrammen zusammenfassend festgestellt werden, daß sich kein diesbezüglicher Einfluß in den Meßwerten widerspiegelt, der eine Regel erkennen ließe.

*) Die Bodeneigenschaften wurden schon unter 1 mitgeteilt.

Abb. 1

Zusammendrückbarkeit von Bodenformlingen (nach Pfefferkorn)
toniger Schluff / Krümenmaterial aus erodierter Parabraunerde
(Höckelheim/Northeim) bei 24 Gew. % Wassergehalt



schluffiger Lehm / Krümenmaterial aus braunem Auenboden
(Magelsen/Verden) bei 30 Gew. % Wassergehalt

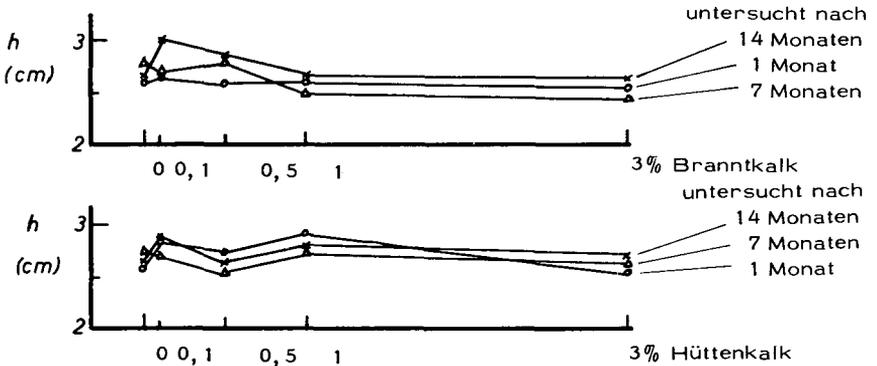
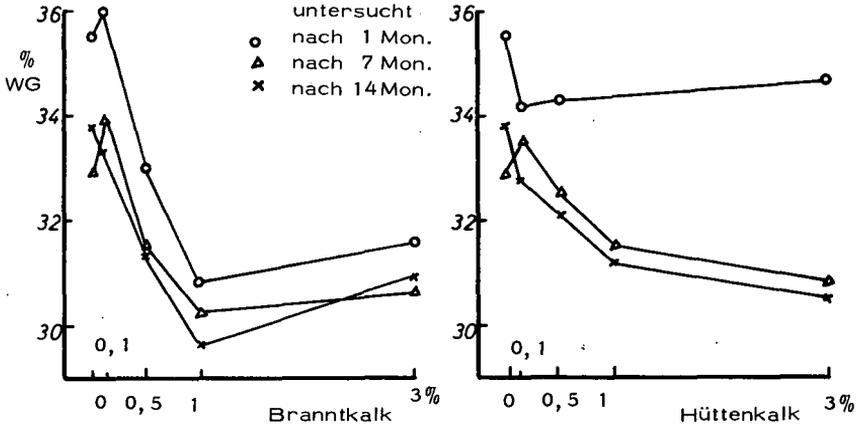


Abb. 2

Fließgrenze (Casagrande)

toniger Schluff / Krümenmaterial aus erodierter Parabraunerde
(Höckelheim/Northeim)



schluffiger Lehm / Krümenmaterial aus braunem Auenboden
(Magelsen/Verden)

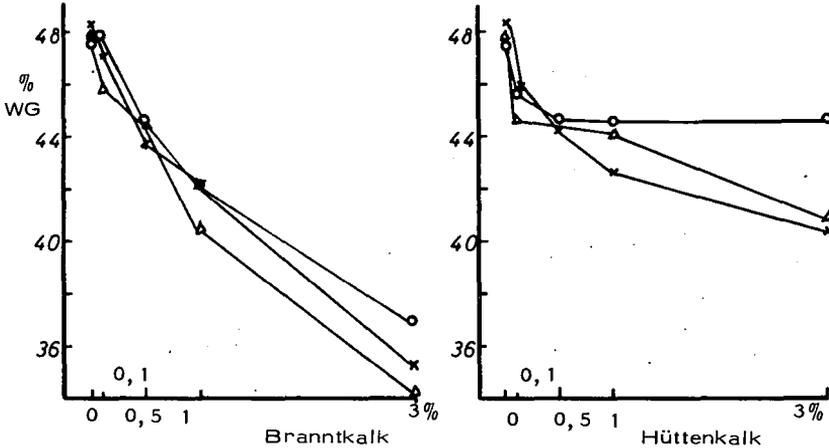
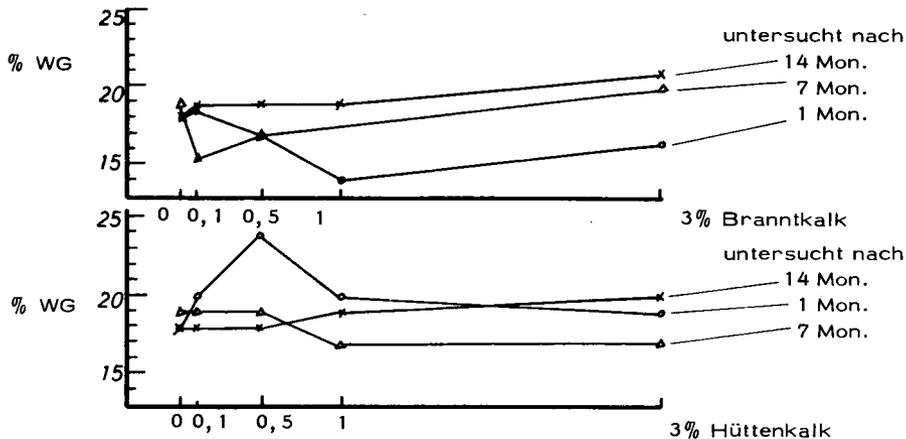


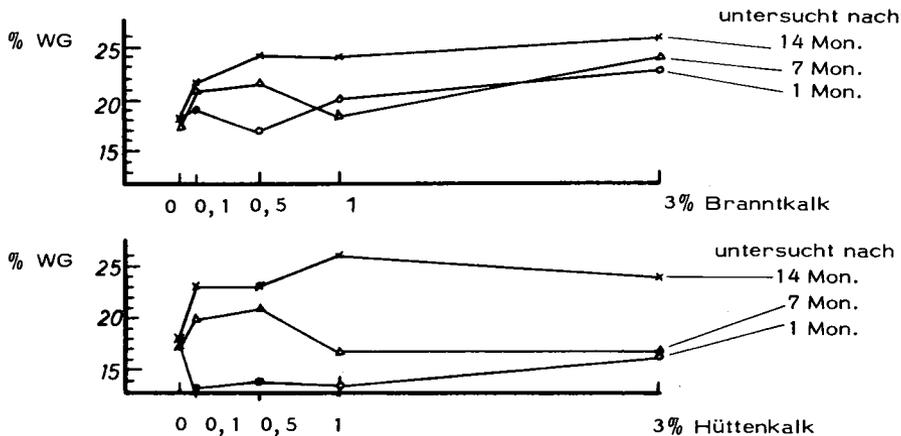
Abb. 3

Schrumpfgrenze bei Bodenformlingen

toniger Schluff / Krümmenmaterial aus erodierter Parabraunerde
(Höckelheim/Northeim)



schluffiger Lehm / Krümmenmaterial aus braunem Auenboden
(Magelsen/Verden)



Im Gegensatz zu der Zusammendrückbarkeit wurde die Fließgrenze durch Kalkzugabe zu beiden Böden erheblich beeinflusst, wie es die Abbildung 2 erkennen läßt. Nahezu unabhängig von der Kalkform (Brenntkalk, Hüttenkalk) verschiebt sich mit zunehmenden Kalkmengen der Wassergehalt der Fließgrenze in niedrige Wassergehaltsbereiche.

Das bedeutet, daß beide Böden nach Kalkzugabe schon bei geringeren Wassergehalten zu fließen beginnen. Ein Einfluß der Kalkeinwirkungszeit auf den Boden zeigt sich hingegen nur tendenzmäßig. Diese Untersuchungsergebnisse der Fließgrenze stehen im Gegensatz zu den Untersuchungsbefunden von Brand 5, der allerdings seine Bodenproben unter Luftabschluß aufbewahrte.

Um noch weitere Aussagen über mögliche Konsistenzveränderungen durch Kalk zu bekommen, wurde die Schrumpfgrenze bestimmt. Die Ergebnisse in Abbildung 3 lassen den Schluß zu, daß zwar ein Einfluß durch Kalk festzustellen ist; die Ergebnisse lassen jedoch keine gesetzmäßigen Zusammenhänge erkennen. Ebenso ist der Einfluß der Einwirkungszeit nur tendenzmäßig vorhanden, indem sich die Schrumpfgrenze mit der Zeit erhöht. Das bedeutet praktisch, daß der Boden beim Schrumpfungsvorgang schon bei einem höheren Wassergehalt aufreißt.

Wenn man alle Ergebnisse zusammenfaßt, läßt sich feststellen, daß die Zusammendrückbarkeit und die Schrumpfgrenze bei vorbehandeltem Krumenmaterial durch Kalk in Abhängigkeit von der Zeit des Einwirkens nicht eindeutig bzw. gesetzmäßig beeinflusst wurden. Die Fließgrenze wurde hingegen durch Kalk stark herabgesetzt; die Einwirkungszeit machte sich jedoch auch hier nur andeutungsweise bemerkbar.

Diese Untersuchungen wurden gefördert mit Hilfe von Forschungsmitteln des Landes Niedersachsen.

LITERATUR

- 1 Schaffer, G.: Einfluß der Kalkung auf verschiedene Bodeneigenschaften;
Z. Kulturtechnik und Flurbereinigung,
10. Jg., 301-312, 1969
- 2 Schaffer, G.: Einfluß des Kalkes auf das Bodengefüge;
Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft,
11, 71-74, 1970
- 3 Pfefferkorn, C.: Zur Kenntnis der Plastizität der Tone
und Kaoline; Ziegelwelt, 73. Jg., 1942
- 4 Schultze, E. und H. Muhs:
Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten;
Springer Verlag, Berlin, 2. Aufl., 1967
- 5 Brand, W.: Der Einfluß von Kalziumhydroxyd auf die
Eigenschaften schluffiger Böden im
Straßenbau; Diss. TH Aachen, 1962

Parameter und Jahresgang der Strukturwirkung meliorativer

Kalkung von Löß-Parabraunerde- A_p -Horizonten

von

K. Scheffer

Als aussagekräftiger Parameter für die Strukturwirkung von Kalk auf Schlufflehm Böden soll der natürliche Gang der Porenmenge und -verteilung im Jahreslauf herangezogen und diskutiert werden. In Anlehnung an eine frühere Arbeit (1) werden die ermittelten Volumenanteile der einzelnen Porenbereiche zu folgenden Gruppen zusammengefaßt:

1. Weitporen (WP), $pF < 1,0-2,0 \hat{=} \text{Poren-}\phi > 300-30 \mu\text{m}$
2. Mittelporen (MP), $pF 2,0-2,5-3,0 \hat{=} \text{Poren-}\phi 30-10-3 \mu\text{m}$
3. Engporen (EP), $pF > 3,0 \hat{=} \text{Poren-}\phi < 3 \mu\text{m}$

In Abbildung 1 wurde zusätzlich eine Unterteilung des MP-Bereiches ($30 - 10 \mu\text{m}$, $10 - 3 \mu\text{m}$) vorgenommen, um für die Beurteilung der Kalkwirkung eine qualitative Aussage über wechselnde Anteile überwiegend durchlüfteter bzw. wasserführender Poren treffen zu können.

Die Einteilung in die oben genannten Porenbereiche wurde vorgenommen, um, wie die Ergebnisse zeigen werden, zwei Effekte der Kalkwirkung besonders deutlich zu machen: 1.) Auflockerung des Bodens durch Erhöhung des Gesamtporen-Volumens (GPV) bei entsprechender Vermehrung der WP, besonders der Poren $> 300 \mu\text{m}$, 2.) Auflockerung durch isovolume Porenverteilung zwischen MP und EP zugunsten MP.

Untersuchungsflächen: Für die Untersuchung der Wirkung meliorativer Kalkgaben auf die Porengrößen-Verteilung in der Ackerkrume standen vier Versuchsflächen auf Löß-Parabraunerde zur Verfügung, die Kalkgaben von 320 dz CaO/ha (Greibenstein, Drüber), 250 dz CaO/ha

(Höckelheim) als Branntkalk, sowie 250 dz CaO/ha als Hüttenkalk (Höckelheim) erhalten hatten. Die Versuchsflächen in Höckelheim wurden 1964, die in Grebenstein und Drüber 1967 angelegt.

Untersuchungsmethode: Während eines Untersuchungszeitraumes von 1 - 4 Jahren wurden zu ausgewählten Zeitpunkten auf jeder Vergleichs-parzelle 5 - 10 Stechzylinder-Proben aus der Ackerkrume (5 - 10 cm Tiefe) entnommen und die Porengrößen-Verteilung über die pF-Charakteristik ermittelt.

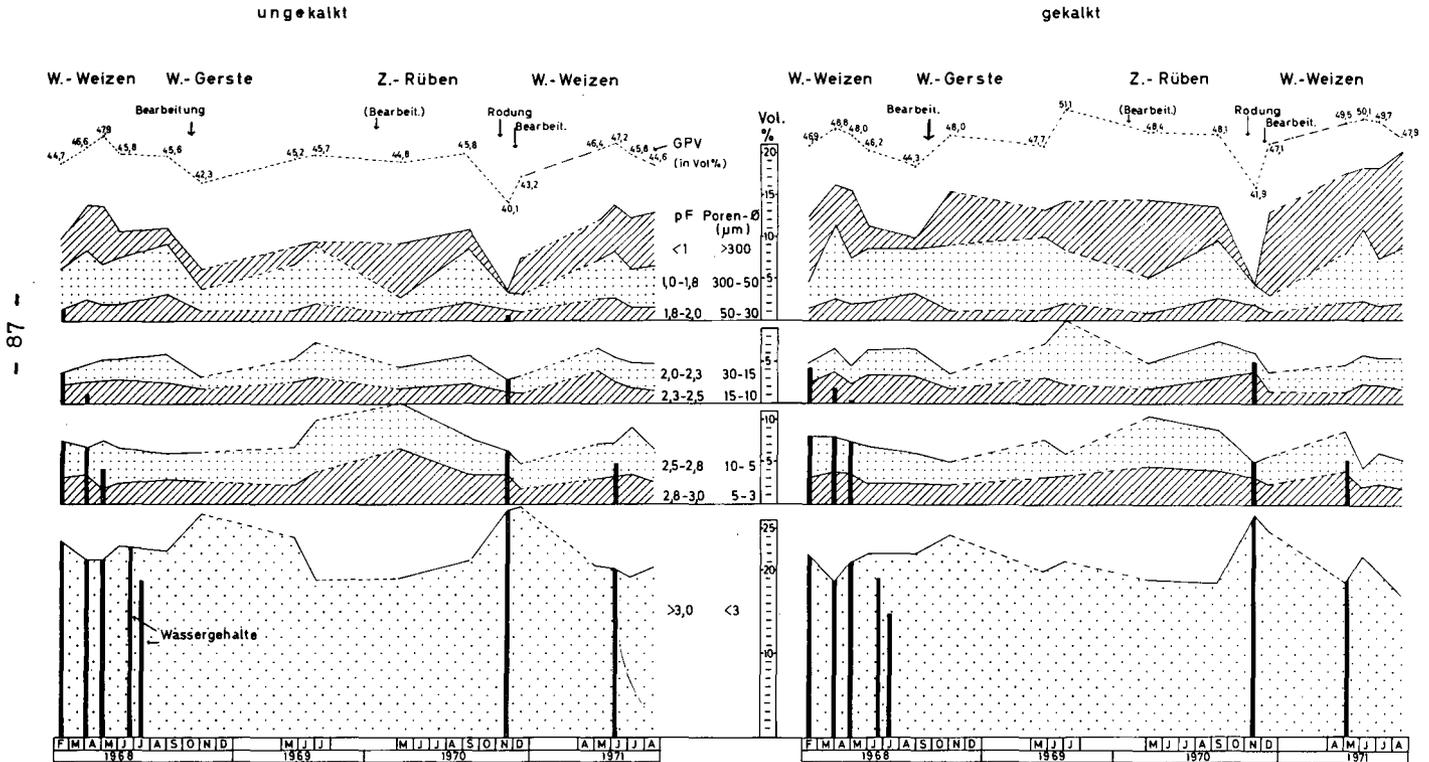
Ergebnisse: In Abb. 1 ist der zeitliche Gang des GPV und der Volumenanteile der einzelnen Porenbereiche für die Versuchsfläche Grebenstein wiedergegeben. Der Untersuchungszeitraum erstreckt sich über 4 Jahre. Zu einigen Zeitpunkten wurden Bodenfeuchtemessungen durchgeführt. Der mit Wasser gefüllte Porenraum ist aus Abb. 1 ersichtlich.

Der Vergleich zwischen der gekalkten (K) und der ungekalkten (O) Fläche läßt zunächst deutliche Unterschiede im WP-Volumen erkennen. Die gekalkte Fläche weist zu fast allen Untersuchungszeitpunkten einen deutlich höheren Anteil an WP und damit, wie auch aus dem unterschiedlichen Porenfüllungsgrad mit Wasser ersichtlich ist, einen höheren Anteil an durchlüfteten Poren auf.

Sehr deutlich unterscheiden sich auch die Vergleichs-parzellen nach einer Bodenbearbeitung (Pflug- und Bestellungsarbeiten) voneinander. Während durch die Bodenbearbeitung 1968 auf O eine starke Einengung im WP-Volumen um 5 Vol.% eintritt, werden die WP auf K um 5,6 Vol.% vermehrt. 1970 wird zwar auf beiden Flächen eine WP-Volumen-Vergrößerung durch Bodenbearbeitung erzielt, jedoch ist sie auf O im Vergleich zu K sehr gering. Es ist wichtig festzustellen, daß auf beiden Flächen durch die Bodenbearbeitungsmaßnahmen das WP-Volumen eingeengt wird. Scheinbar übt die hohe Kalkgabe in diesem Porengrößen-Bereich keine strukturstabilisierende Wirkung mehr aus.

In den Abbildungen 2, 3, 4, 5 sind die Untersuchungsergebnisse von Grebenstein und den übrigen drei Untersuchungsflächen in folgender Form dargestellt: Die Kurven geben die + und - Abweichungen der

Abb.1: Zeitliche Änderung des Gesamtporen - Volumens und der Porenverteilung
 Vergleich: ungekalkter → mit 320 dz CaO/ha gekalkter Löß-Parabraunerde -Ap -Horizont (Greibenstein)



Kalkparzelle von der nicht gekalkten Fläche an. Die Werte der Vergleichsparzelle sind für das GPV und die einzelnen Porengrößenbereiche in Form einer horizontalen Bezugsgeraden dargestellt.

1. Auf allen vier Versuchsflächen ist durch Kalkdüngung das GPV erhöht worden. Diese Erhöhung geht zu einem großen Teil mit einer Vermehrung der $> 300 \mu\text{m}$ einher.
2. Die zusätzliche Vermehrung der WP $300 - 30 \mu\text{m}$, sowie der MP $30 - 10 \mu\text{m}$ ist in Grebenstein auf isovolume Porenverteilung, d.h. Verringerung der Poren $< 10 \mu\text{m}$ zurückzuführen. Auf den übrigen drei Flächen konnte der MP-Anteil $30 - 10 \mu\text{m}$ durch Kalk nicht erhöht werden. Isovolume Porenverteilung tritt in Höckelheim auf der Hüttenkalk-Fläche zwischen den Poren $< 10 \mu\text{m}$ und $> 30 \mu\text{m}$ auf und stellt eine zusätzliche Auflockerung dar. Im Gegensatz hierzu läßt sich in Drüber eine Porenverteilung zwischen $< 3 \mu\text{m}$ und $3 - 10 \mu\text{m}$ feststellen, wobei allerdings die EP auf Kosten der MP vermehrt werden. Dies stellt, trotz der starken Vermehrung in den WP (Luftporen), eine geringfügige Verdichtung dar, die sich auf die kapillare Wasserführung auswirken dürfte.
3. Der Branntkalk auf der Versuchsfläche Höckelheim führt zu keiner eindeutigen Verbesserung der Bodenstruktur. Der Untersuchungszeitraum ist zu kurz, um eine endgültige Aussage machen zu können. (Die Untersuchungen werden 1972 fortgesetzt.)
4. Ein Vergleich der beiden Kalkdünger Branntkalk und Hüttenkalk in ihrer Eigenschaft als Gefügestabilisator ist aufgrund unterschiedlicher Pflanzenbestände nicht möglich. Es muß jedoch auf die nicht erwartete starke Auflockerung des Bodens durch Hüttenkalk besonders hingewiesen werden.

Zusammenfassende Bewertung

Die hier mitgeteilten Ergebnisse zeigen, daß durch eine meliorative Kalkdüngung eindeutige Effekte auf die physikalischen Eigenschaften von Löß-Parabraunerde-Ackerkrumen zu erzielen sind. In erster Linie ist die Wirkung des Kalkes auf eine Stabilisierung des durch mechanische Einflüsse geschaffenen lockeren Aggregierungsgefüges

Abb.2: + u. - Abweichungen im Zeitgang einer gekalkten gegenüber einer ungekalkten Parzelle (0)

Boden: Löß-Parabraunerde-Ap-Horizont Kalk: 320 dz CaO/ha als Branntkalk

Ort: Grebenstein Meßgrößen: Gesamtporen-Volumen (GPV) u. einzelne

Porenbereiche

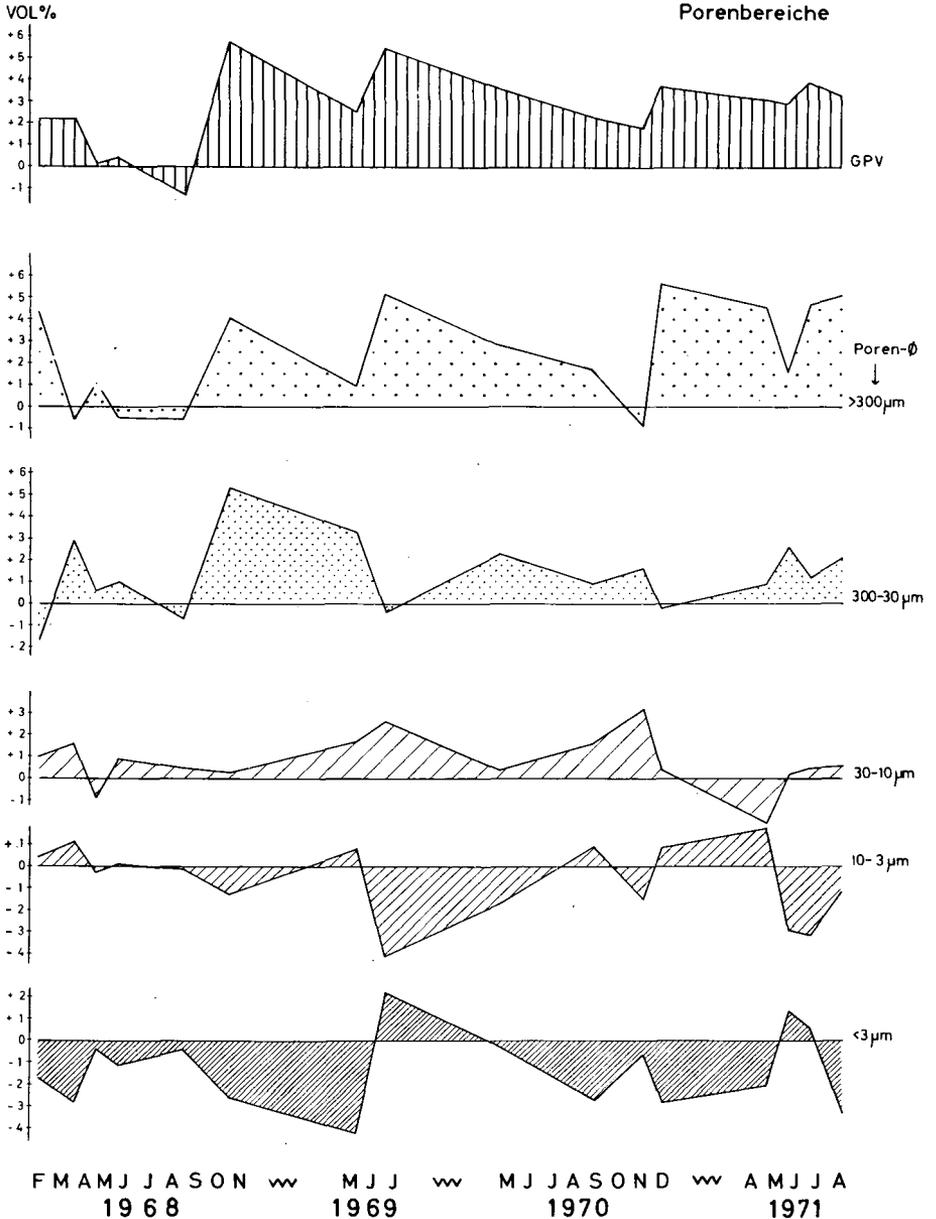


Abb. 3: + u. - Abweichungen im Zeitgang einer gekalkten gegenüber einer ungekalkten Parzelle (0)

Boden: Löß-Parabraunerde - Ap- Horizont

Kalk: 320 dz CaO/ha als Branntkalk Ort: Drüber

Meßgrößen: Gesamtporen - Volumen (GPV) u. einzelne Porenbereiche

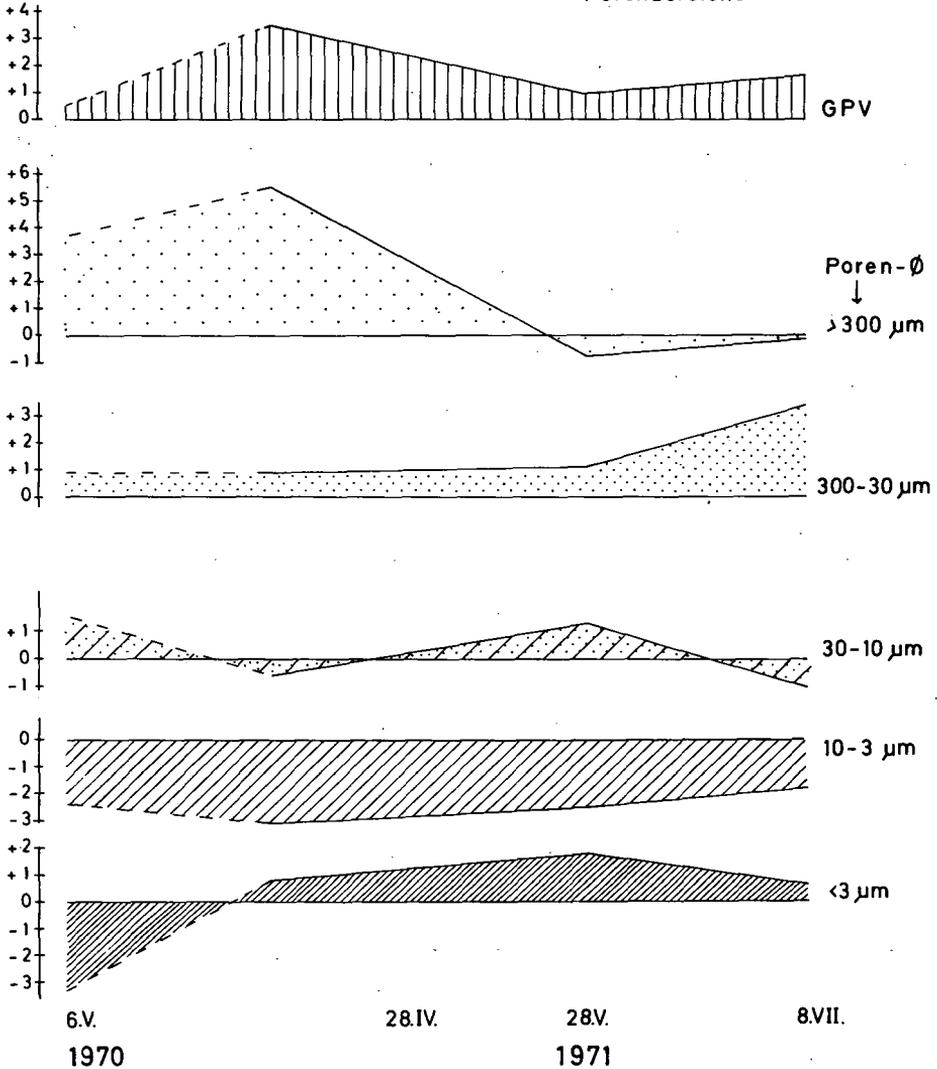


Abb.4: +u.- Abweichungen im Zeitgang einer gekalkten gegenüber einer ungekalkten Parzelle (0)

Boden: Löß-Parabraunerde - Ap- Horizont

Kalk: 250 dz CaO/ha als Branntkalk Ort: Höckelheim

Meßgrößen: Gesamtporen - Volumen (GPV) u. einzelne Porenbereiche

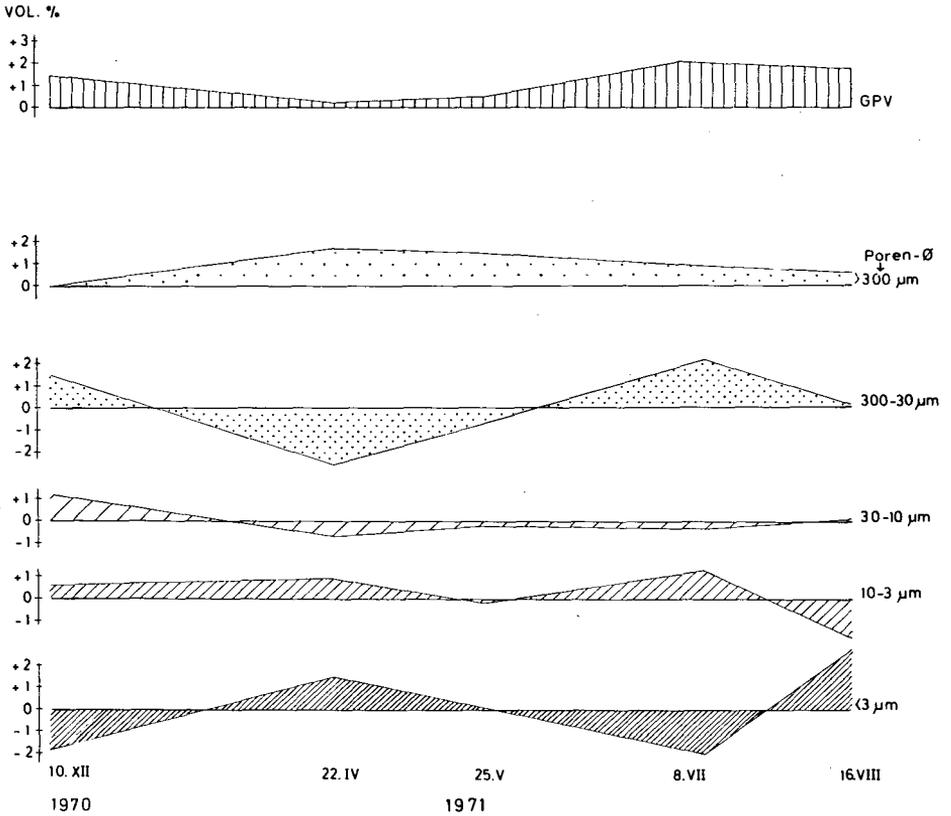
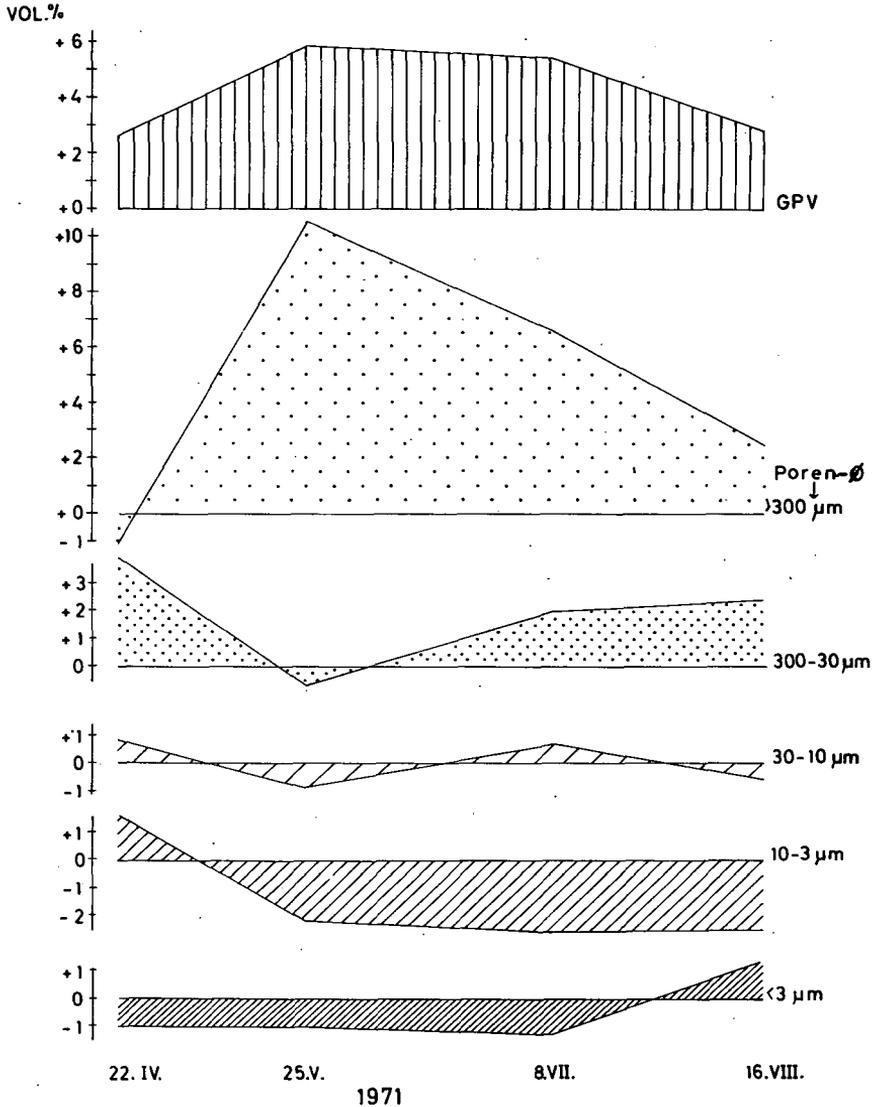


Abb.5: +u.- Abweichungen im Zeitgang einer gekalkten gegenüber einer ungekalkten Parzelle (0)

Boden: Löß-Parabraunerde-Ap-Horizont

Kalk: 250 dz CaO/ha als Hüttenkalk Ort: Höckelheim

Meßgrößen: Gesamtporen-Volumen (GPV) u. einzelne Porenbereiche



zurückzuführen. Im Mittel der 4 Untersuchungsflächen und der 29 Untersuchungszeitpunkte ergeben sich folgende Veränderungen im GPV und in den einzelnen Porengrößen-Bereichen durch meliorative Aufkalkung:

	Porengrößen-Bereiche (μm)					
	GPV	> 300	300-30	30-10	10-3	< 3
mit Kalk	48,1	5,9	8,3	6,7	7,0	20,3
ohne Kalk	45,7	3,4	7,1	6,2	8,0	21,0
Diff.:	+ 2,4	+ 2,5	+ 1,2	+ 0,5	- 1,0	- 0,7
rel. (ohne Kalk = 100%)	105	174	117	108	88	97

LITERATUR

- 1 MEYER, B. und SCHEFFER, K., 1970: Physikalisch-pedohydrologische Veränderungen einer grundwasserfernen Parabraunerde aus mächtigem Jungwürm-Löß durch Tiefumbruch. Göttinger Bodenkundl. Ber. 16, 9-65 (1970)

43

Direkte Wirkungen meliorativer Carbonatgaben zu sauren Sand-,
Lehm- und Tonböden auf Ertrag und Qualität bei Getreide

von

P. Hugenroth und B. Meyer¹⁾

Anknüpfend an Reaktivitätstest-Untersuchungen von Ca- und Mg-carbonat-Düngern im Labor (I) wurden Kleinparzellen-Feldversuche angelegt, um die Reaktivität der getesteten Düngecarbonate unter natürlichen Bedingungen im Boden zu messen. Die als Langzeit-Experimente angelegten Versuche sind noch nicht abgeschlossen. Im folgenden werden die am Pflanzenbestand der Parzellen durchgeführten Beobachtungen und Analysen mitgeteilt.

VERSUCHSANLAGE:

Verwendete Böden: Über einer 30 cm mächtigen Schicht von extrem saurem Schlufflehm als Unterfüllung (pH(KCl)3,6) wurden in 3 Versuchsblöcken 30 cm-Schichten von Sand (S, Tertiär), Schlufflehm (L, saure Lössbraunerde, identisch mit der Unterfüllung) und Ton (T, Keuper) ausgebracht, deren pH(KCl)3,4-3,6 betrug.

Tab.1:

Getestete Carbonatgesteins-Dünger, die mit dem Boden vermengt wurden:

	%	Dolomit- gehalt	rel. Lösungsrate Oxalat	Acetat	P ₂ O ₅ total	K ₂ O total	Nichtcarb. -gehalt
Kalk-Stein	SÖ	2	14,7	8,5	0,052	0,012	6
Dolomitstein I	Sch	93	1,0	2,4	0,012	0,003	2
Dolomitstein II	HH	98	1,9	4,4	0,009	0,003	2

Verglichene Carbonatgesteins-Fractionen

SÖ	6000-2000	2000-630	630-112 µm
Sch	2000-630	630-200	200-63 µm
HH	2000-630	630-200	200-63 µm

¹⁾ Institut für Bodenkunde, 3400 GÖTTINGEN, v. Siebold-Str. 4

Carbonatgaben (dt/ha)

	T	L	S
Sü	1355	301	30
Sch	1300	289	29
HH	1300	289	29

Nährstoffdüngung

90 kg N/ha, 250 kg K/ha, 450 kg P_2O_5 /ha (im Voraus als Rhenania-phosphat). Unterschiede und Defizite in der Wasserversorgung wurden ausgeglichen.

Versuchsfrucht

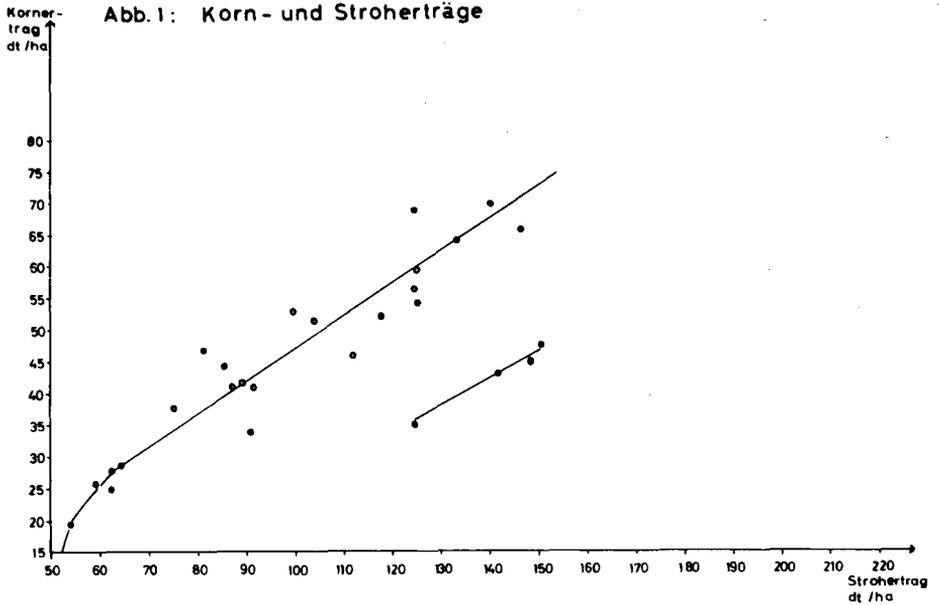
Sommerweizen (1971) im Vergleich mit unbewachsenem Boden, 4 Wiederholungen. 2maliges Pikieren: a) nach dem Auflaufen, um dieselbe Pflanzenzahl zu erzielen, b) während des Schossens, um dieselbe Primärhalmzahl zu erzielen.

Ausrechnung

Die für die Kleinparzellen ermittelten Mengenangaben sind zur Veranschaulichung auf dt/ha bzw. kg/ha umgerechnet worden. Sie sind daher nur bedingt mit solchen Angaben zu vergleichen, die auf großen Versuchsschlägen gewonnen werden.

Korn- und Stroh-Ertrag (Abb. 1):

Trotz sehr unterschiedlicher Kornerträge (20 - 70 dt/ha) sind Korn- und Stroh-TrS-Ertrag annähernd linear proportional ($S:K \approx 2,1$). Nur bei Sand und Dolomit II (HH) ist das Verhältnis ≈ 3 . Ursache ist, daß der Dolomit II als derjenige Carbonatdünger mit der größten Mg-Wirksamkeit einzustufen ist, und daß auf dieser Parzelle als einziger Sandparzelle eine Bestockung mit Lichtkonkurrenz als Folge ausreichender Mg-Versorgung eintritt. Auf allen Versuchsböden, insbesondere auf Ton und Sand, nehmen die Kornerträge mit zunehmender Mahlfineinheit der Carbonatdünger zu, maximal bis zu 30 %.



TAB.2: Aschegehalte und -zusammensetzung von Korn und Stroh (‰ Tr S)

	KORN					STROH			
	Asche	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O
GESAMT	17.8	7.7	0.5	2.3	3.7	2.1	1.6	1.1	6.0
	15.9-19.6	5.8-9.4	0.3-0.6	1.8-3.1	3.1-4.3	1.1-3.9	0.6-2.6	0.3-2.7	3.9-8.6
SCHLUFFLEHM	18.5	8.3	0.4	2.5	3.5	3.3	1.9	1.8	5.2
SAND	17.6	7.7	0.5	2.2	3.9	1.6	1.5	0.7	7.0
TON	17.3	7.1	0.5	2.3	3.7	1.6	1.5	1.0	5.9

Phosphat-Aufnahme und Ertrag (Abb. 2):

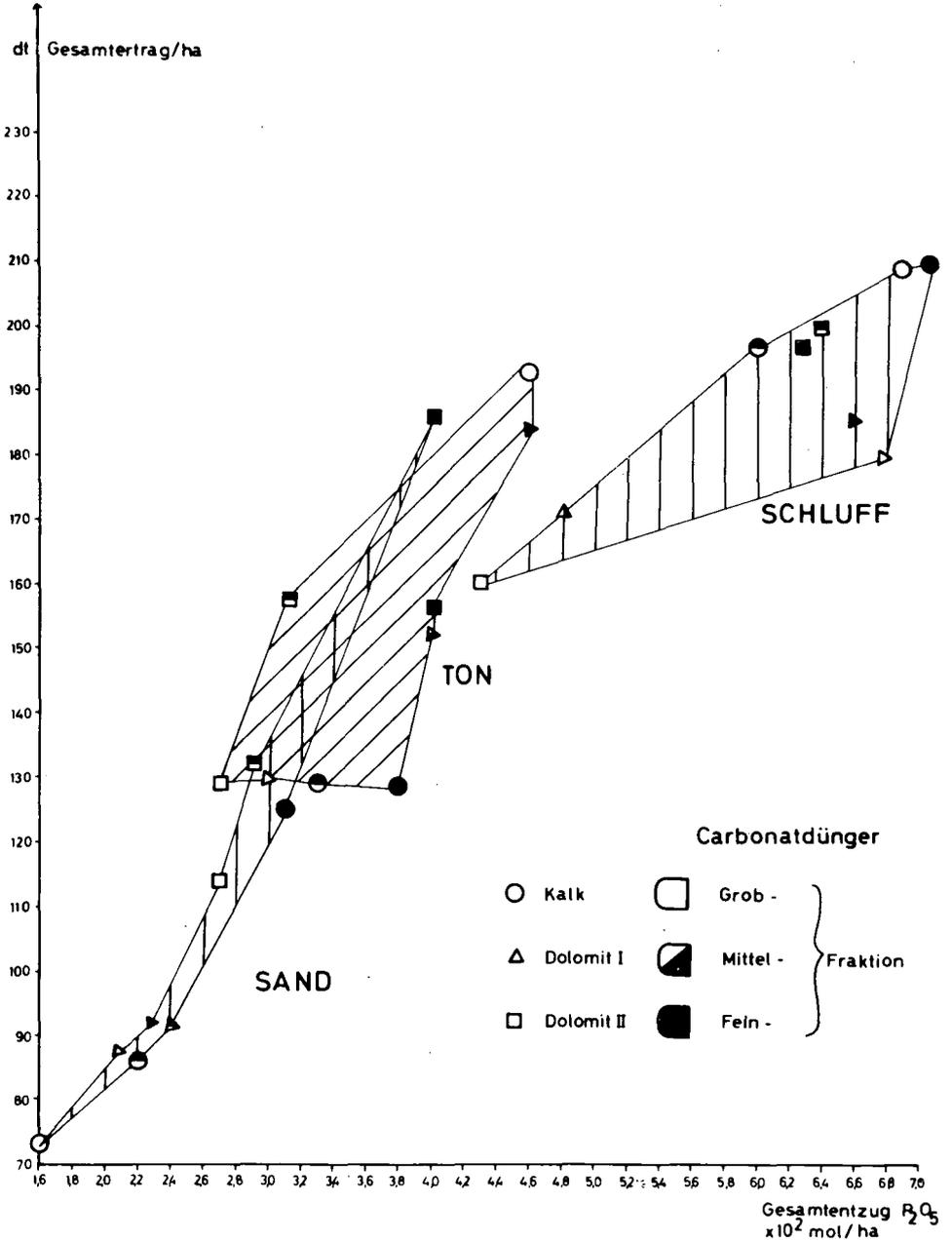
Trotz der starken vorausgegangenen P-Düngung ist in diesem Versuch an sauren Böden die P-Versorgung der Pflanzen aus dem Boden heraus als der den Ertrag bestimmende Faktor anzusehen. Die Funktions-Kurve Gesamt- P_2O_5 -Entzug / Trocken-Gesamterntemasse ist S-förmig. Den nur geringfügigen P-Gehaltsänderungen im Korn bei steigendem Ertrag stehen größere Zunahmen im P-Gehalt des Stroh gegenüber. Die P-Wirkung der Carbonatdüngung kann

- a) auf einer schrittweisen Neutralisation des Bodens und damit einer Mobilisierung des als Al- und Fe-Phosphat festgelegten P,
- b) auf einer zusätzlichen P-Zufuhr in Form von Ca-Phosphatbeimengungen im Carbonatdünger und
- c) auf einer Umfällung des Phosphats als Ca- und Ca/Mg-Phosphat im unmittelbaren Reaktionsbereich der Carbonatkörnchen beruhen.

Der Sand, bei dem von einer unterschiedlichen Neutralisationswirkung (a) her kaum eine differenzierte P-Wirkung zu postulieren ist, zeigt wider Erwarten, daß der lösungsaktivste und P-reichste Kalk (SÖ) eine geringere P-Wirkung hat als die lösungsträgsten Dolomite.

Die Wirkung der Carbonatfraktionen steigt dabei noch deutlich mit zunehmender Feinheit an. Dies läßt vermuten, daß hier der Prozeß c) eine entscheidende Rolle spielt. Die mit zunehmender Feinheit des Mahlungsgrades und mit zunehmender Mg-Aktivität der Kalkprovenienzen einhergehende Verbesserung der P-Versorgung auf dem Sand scheint somit ihre Ursache darin zu haben, daß einerseits durch eine erhebliche Vermehrung der lokalen Fällungszentren für das P als Ca-Phosphat durch Anwendung feinerer Carbonat-Korngrößen und andererseits durch Fällung des Phosphats in diesen Zentren als löslicheres Ca/Mg-Phosphat eine Verbesserung der P-Speicherung in pflanzenverfügbarer Form bewerkstelligt wird. Die dennoch erstaunlich hohe und wenig reversible P-Fixierung beim Sand mag auf dessen geringen Tonanteil zurückgeführt werden, der überwiegend aus mit Lepidokrokit umhülltem Kaolinit besteht.

Abb. 2: Gesamt-Erntemasse und Gesamt- P_2O_5 -Entzug



Tab. 3 : Mit der Carbonatdüngung zugeführte P_2O_5 -Mengen

P_2O_5 kg/ha		T	L	S
Kalk	SÜ	70,4	15,7	1,56
Dolomit I	Sch	15,6	3,5	0,35
Dolomit II	HH	11,7	2,6	0,26

Andererseits spiegelt die klare Gruppierung der P-Entzüge nach den verwendeten Bodenarten den unterschiedlichen P-Vorrat und die Fixierungskapazität für Dünger-P sowie das Remobilisierungsvermögen bei stufenweiser Neutralisation wider. Bei dem P-armen Ton kommt trotzdem wie beim Sand der Wirkungsmechanismus c) zum Tragen.

Lediglich die mit dem Kalk SÜ zugeführten hohen P-Mengen (schwarzer Ring) lassen einen Mengen-Effekt b) des mit dem Kalk zugeführten P erkennen. Beim Schluff, der primär höhere P-Vorräte besitzt, tritt dagegen neben den Wirkungsmechanismen b) und c) der Neutralisationsmechanismus a) in Erscheinung.

Immerhin ist somit auch der P-Gehalt der Dünger Carbonate in Anbetracht der großen Anwendungsmengen solcher Mergel bei Meliorationen als zusätzliches Qualitätsmerkmal zu bewerten.

Mg- und Ca-Lieferung

Als ertragswirksamer Faktor rangiert das Mg hinter dem P, beim Sand dagegen teilt es sich mit dem P in die Rolle als ertragsbegrenzender Faktor. Nach Tab. 2 in Verbindung mit Abb. 1 gehen 40 - 60 % des dem Boden entzogenen Mg in das Korn und in das Stroh, beim Ca nur 10 - 15 % ins Korn und 85 - 90 % ins Stroh. Nach Abb. 3 steigt mit wachsendem Kornerttrag der Mg-Entzug durch die gesamte Erntemasse überproportional, der Mg-Entzug mit dem Korn unterproportional.

Korn:

Mg und P

Die Ursache hierfür liegt in der ertragsabhängigen Wechselbeziehung P / Mg im Korn. P_2O_5 , das 41 - 45 % der Kornasche ausmacht, ist zu über 90 % im Phytinat gespeichert, und daher eng mit Ca und Mg

MgO
kg/ha

Abb.3: Mg-Entzug durch Gesamt-Erntemasse und Korn
als Funktion des Korn-Ertrages

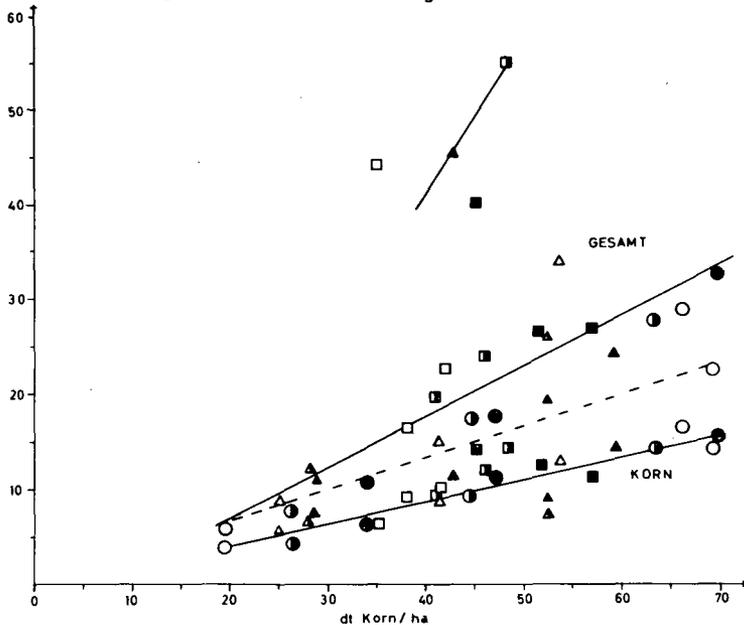
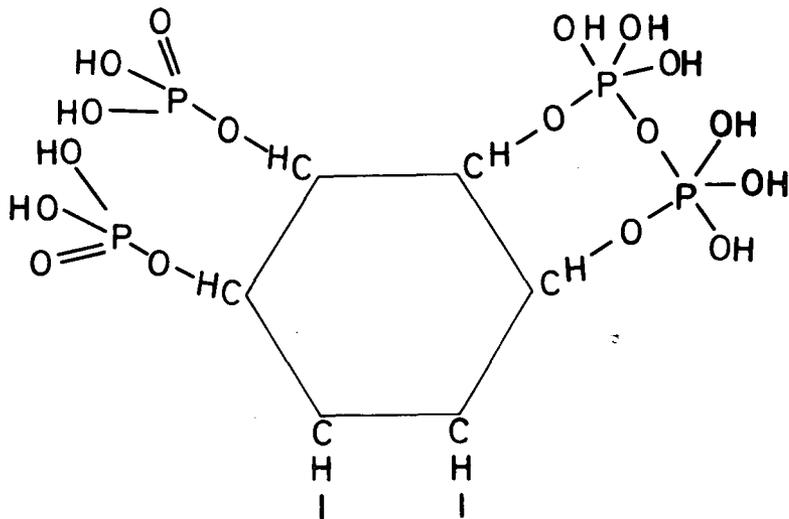


Abb.4: PHYTIN



n. ANDERSON

PHYTIN

n. NEUBERG

assoziiert. Das Atomverhältnis (Mg + Ca) : P beträgt im vorliegenden Versuch 1,2 (1,07 - 1,49). Das bedeutet, daß sich sämtliches Mg und Ca auf das Phytin verrechnen läßt, da nach Abb. 4 die Grenzwerte für die Strukturformeln des Phytins nach ANDERSON (1,0) und nach NEUBERG (1,5) nicht unter bzw. überschritten werden (2). Dabei besteht die Tendenz, daß mit steigender P- und Mg-Aufnahme das Verhältnis nach 1,0 strebt (ANDERSON-Typ).

Mg und Ca

Das Mg/Ca-Verhältnis im Korn bzw. am Phytin (4 - 14,3) und damit die Aschequalität insgesamt werden unerwartet stark von der Art des Carbonatdüngemittels, und zwar nahezu unabhängig von der Bodenart, beeinflußt (Abb. 5). Die Korn- Ca/Mg-Gehaltsverhältnisse lassen sich in deutlich abgegrenzte Gruppen fassen, welche die gleiche Abfolge aufweisen wie sie sich für die verwendeten Düngecarbonattypen aufgrund der zunehmenden Mg-Reaktivität ergeben. Innerhalb der Düngemergelgruppen SÜ und HH steigt mit abnehmender Dünger-Korngröße das Ca/Mg-Verhältnis im Weizenkorn. In der Gruppe Sch tritt in der Fraktionsfolge des Ca/Mg-Verhältnisses ein Knick auf. Dies entspricht genau den früher (1) geschilderten Korngrößen-Verteilungs-Inhomogenitäten von Calcit und Dolomit in der Probe Sch.

Stroh: (Abb. 6)

Noch deutlicher als beim Korn spiegelt das Ca/Mg-Verhältnis im Stroh die relativen Ca- und Mg-Gehalte und -lösungsraten der Carbonatdünger wider. Dabei ist kaum noch ein Einfluß der verwendeten Carbonat-Korngrößen, wohl aber ein modifizierender Einfluß der Bodenart erkennbar (Reihenfolge: Sand - Ton - Lehm). Zugleich macht sich hier mit steigendem Ertrag ein sinkendes Ca/Mg-Verhältnis bemerkbar. Dies erklärt bei zunehmenden Erträgen die überproportionalen Mg-Entzüge von der Fläche, wenn neben dem Korn auch das Stroh fortgeführt wird.

Kalium:

Ungefähr 75 % des dem Boden entzogenen K gehen in das Stroh. Bei unseren kleinen Korn/Stroh-Verhältnissen werden somit die K-Gesamtentzüge recht hoch. Auch hier fällt die Gruppe des Dolomits II mit

Abb.5: CaO/MgO-Molverhältnis im Korn als Funktion des Kornertrages
S = Sand L = Schlufflehm T = Ton

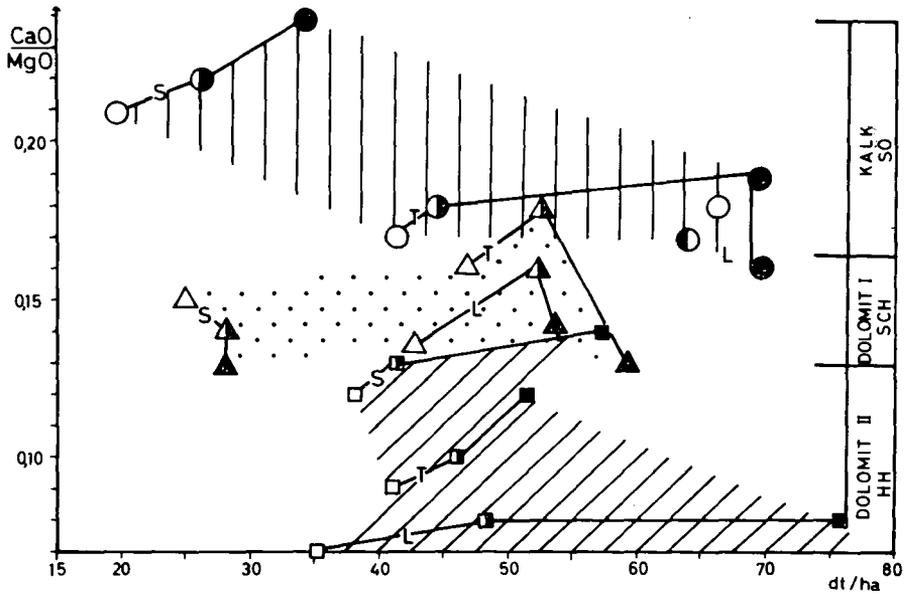
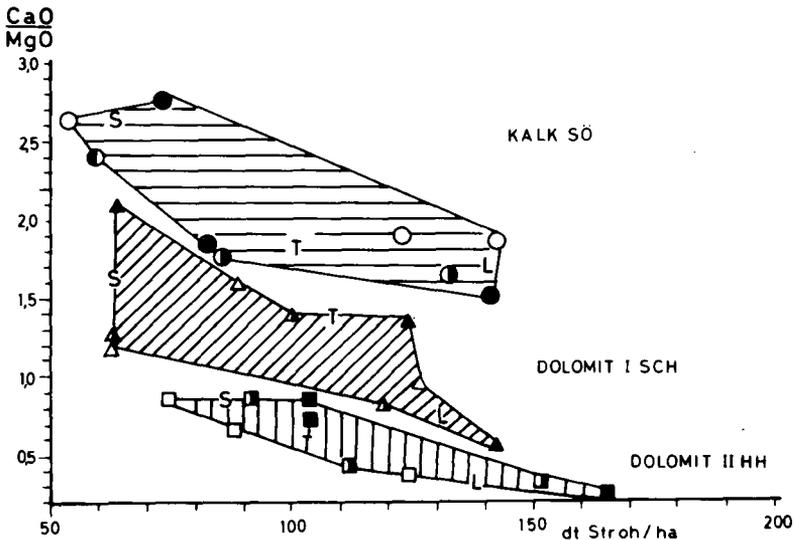


Abb.6: CaO/MgO-Molverhältnis im Stroh als Funktion des Strohertrages
S = Sand L = Schlufflehm T = Ton



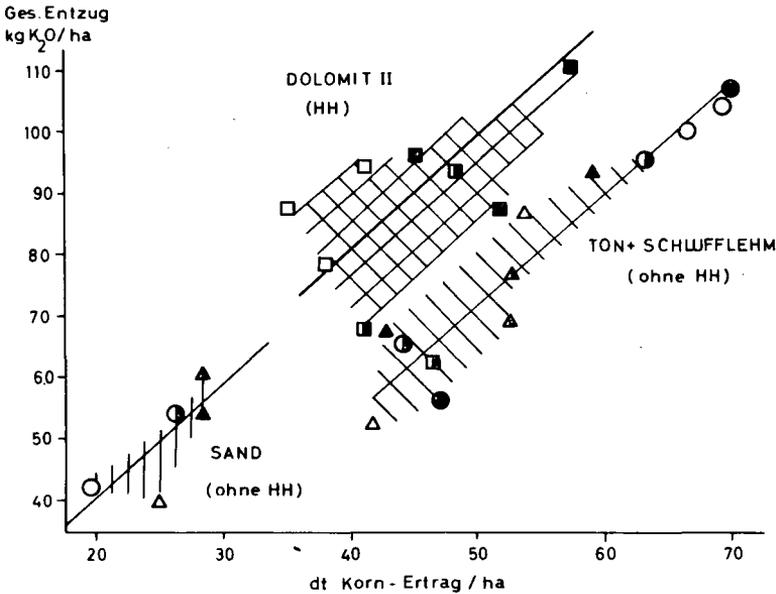
hoher Mg-Reaktivität durch wesentlich höhere K-Entzüge auf. Dies liegt in erster Linie an den K_2O -Gehalten des Strohs, die in der Reihenfolge Kalk (SÜ) - Dolomit I (Sch) - Dolomit II (HH) von 4,96 auf 5,64 und 6,15 steigen. Dieser Befund steht im Widerspruch zu den K-Gehalten der verwendeten Carbonatdünger, die in derselben Reihenfolge fallen. In Verein mit der Tatsache, daß die K-Gehalte auf Sand ebenfalls generell höher liegen als auf Ton und Schluff wird der Schluß nahegelegt, daß die K-Aufnahme als physiologischer Prozeß bei den Mg-aktiven Dolomiten in erster Linie durch Rückdrängung des antagonistisch wirkenden Ca-Ions bedingt ist und synergistisch zur Mg-Aufnahme zu sehen ist.

ZUSAMMENFASSUNG

Testversuche an verschiedenen Düngercarbonaten unterschiedlicher Körnung mit verschiedenen sauren Böden ließen unter Verwendung von Sommerweizen als Testpflanze folgende direkte Ertrags- und Qualitätseinflüsse erkennen:

Als ertragswirksamster Faktor war die durch Carbonatzufuhr veränderte Mobilität der Phosphorsäure zu bewerten. Vor der Neutralisationswirkung und Remobilisierung von Boden-P rangierte der Fällungsmechanismus als pflanzenverfügbares Ca/Mg-Phosphat in den unmittelbaren Reaktionszentren um die Carbonatkörper, beim Sandboden lag gleiches Gewicht auf dem Mg (über die Bestockungsförderung). Als wirksamster Faktor für die Aschequalität war das Ca/Mg-Verhältnis der Carbonate zu betrachten. Steigende Mg-Reaktivität erniedrigt die Ca/Mg-Verhältnisse im Stroh stark, im Korn mäßig, erniedrigt das Verhältnis Erdalkali zu P am Phytin im Korn, und erhöht die K-Gehalte im Stroh. Nicht nur bei der Melioration von schweren Böden, sondern generell auf leichten Böden scheint mit der Wahl der Düngercarbonatqualität eine erhebliche Einflußmöglichkeit auf die Getreidequalität gegeben zu sein. Dies ist in Anbetracht steigender Erträge insofern von Bedeutung, als bei Korn- und Strohentnahme die Mg-Entzüge vom Boden überproportional steigen.

Abb. 7: K-Gesamt-Entzug als Funktion des Kornertrages



LITERATUR

- 1.) Hugenroth, P. und Meyer, B., 1971 : Zum Reaktivitätstest carbonatischer Ca- und Mg-Dünger nach der Oxalatmethode (Balks und Wehrmann) und der Acetatmethode, Landw. Forsch., 26, 1. Sonderheft, 320-333 (1971)
- 2.) Wiame, J. M., 1958 : L. acide phytique (phytine) in: Handbuch der Pflanzenphysiologie, 9, 143-144, Springer-Verlag Berlin, 1958

Wirkung des Kalkes auf Gefügeeigenschaften einer Parabraunerde
in einem polyfaktoriellen Tiefenbearbeitungs- und Kalkungsversuch

von

T. Harrach, G. Werner und A. Wourtsakis

1. Fragestellung

Von einer Kalkung erwartet man allgemein die Verbesserung des Bodengefüges. Ergebnisse zahlreicher Autoren sprechen für die Richtigkeit dieser Auffassung, die jedoch u. a. von SCHAFFER (1969, 1970), SCHAHABI und SCHWERTMANN (1970) sowie GAESE et al. (1971) in Frage gestellt wird. Auch bei der Tiefenbearbeitung des Bodens - also beim meliorativen Tiefpflügen und Tieflockern - hegte man bisher hinsichtlich der Kalkwirkung große Erwartungen. Die Ergebnisse von GORA (1967, 1970) und SIDIRAS (1971) entsprechen diesen Erwartungen, die von MEYER und SCHEFFER (1970) sowie WOURTSAKIS (1971) jedoch nicht.

Diesen widersprüchlichen Aussagen sollen die von uns in einem Tiefenbearbeitungs- und Kalkungsversuch erzielten Untersuchungsergebnisse gegenübergestellt werden.

2. Versuchsanlage

Auf einer schwach bis mäßig pseudovergleyten Parabraunerde aus grobschluffreichem Löß in Beberbeck bei Hofgeismar wurde 1966 zusammen mit dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Justus Liebig-Universität und dem Landeskulturamt Wiesbaden ein polyfaktorieller Tiefenbearbeitungs- und Kalkungsversuch

T. Harrach, G. Werner u. A. Wourtsakis, Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Justus Liebig-Universität Gießen, 6300 GIESSEN, Ludwigstraße 23

angelegt, über den bereits GRAB (1969, 1971) und WOURTSAKIS (1971) berichteten. Zur Ergänzung und Vertiefung der früheren Ergebnisse wurden im Herbst 1969 und Frühjahr 1971 umfangreiche bodenphysikalische Untersuchungen auf 9 Versuchsvarianten (Kontrolle, Tiefumbruch, Tieflockerung mit jeweils drei Kalkstufen: 0, 100 und 302 dz CaO je ha) durchgeführt. Die Probenentnahmen erfolgten einer Empfehlung von CZERATZKI (freundliche mündliche Mitteilung) entsprechend aus drei Profilgruben je Variante, um Fehlaussagen infolge der Ungleichmäßigkeit des Bodens zu vermeiden.

3. Ergebnisse

Alle Untersuchungen führten hinsichtlich der Kalkwirkung zu einem überraschenden Ergebnis: Das Gesamtporenvolumen, die einzelnen Porenbereiche ($< 0,2$, $0,2-10$, $10-30$, $30-50$ und $> 50 \mu$ Äquiv. Durchmesser), der Wassergehalt, das Luftvolumen, der Eindring- und Abscherwiderstand lassen übereinstimmend nur sehr widersprüchliche Unterschiede zwischen den einzelnen Kalkstufen erkennen. Eine eindeutige Kalkwirkung auf die Gefügeeigenschaften des Bodens ist weder in der Ackerkrume noch im Unterboden nachweisbar. Dies gilt gleichermaßen für die Kontroll-, die Tiefumbruch- und die Tieflockerspazelle.

4. Diskussion

In der bereits zitierten Literatur werden verschiedene Ursachen für eine nicht nachgewiesene Kalkwirkung auf das Bodengefüge diskutiert. Für unsere Untersuchungen seien drei mögliche Gründe besonders herausgestellt:

- a) zu geringer Tongehalt des Bodens (9,0 % im A_p - und A_1 -Horizont und 21 % im B_t -Horizont),
- b) ungenügende Kalkverteilung in der Krume nach der Oberflächenkalkung und im Unterboden nach der Kalkeinbringung beim Tiefpflügen und Tieflockern und schließlich
- c) Bodenunterschiede innerhalb der Versuchsanlage.

Die Untersuchungsergebnisse wurden besonders stark durch die Ungleichmäßigkeit des Bodens beeinflusst, indem die Streuung der bodenphysikalischen Meßwerte innerhalb der Versuchsvarianten größer ist als die Unterschiede zwischen den einzelnen Kalkstufen. Die Bodenunterschiede, die sich zwar auch im Grad der Pseudovergleyung bzw. für wenige Tage bei der Abtrocknung im Frühjahr bemerkbar machen, wurden bei der Anlage des Versuches nicht für so gravierend gehalten, daß sie die Durchführung der Untersuchungen von vornherein als aussichtslos erscheinen ließen. Eine andere geeignete Fläche mit einheitlicherem Boden konnte auch nicht gefunden werden.

LITERATUR

- 1) GAESE, D., M. A. MUSHTAQ u. E. SCHLICHTING: Wirkung einer Meliorationskalkung in lehmigen Böden der Braunerde-Gruppe. - Landw. Forsch. 24, 316-327, 1971
- 2) GORA, A.: Untersuchung der leistungsbegrenzten Kennwerte azidischer sekundärer Pseudogleye aus verschiedenem geologischem Substrat und von Maßnahmen zu ihrer Regulierung unter besonderer Berücksichtigung der Gefügemelioration. - Diss. Jena 1967
- 3) GORA, A.: Einfluß der Tieflockerung und Tiefkalkung auf die Bodenkennwerte zweier auf verschiedenem geologischem Substrat entwickelter azidischer Staugleyformen. - Z. Landeskultur 11, 215-232, 1970
- 4) GRAB, K.: Der Einfluß der Tiefenbearbeitung auf pseudovergleyte Parabraunerden und ihre Produktivität. - Diss. Gießen 1969
- 5) GRAB, K.: Tiefenarbeit auf unterschiedlichen Bodentypen. - Landw. Forsch., Sonderheft 26/I, 208-220, 1971

- 6) MEYER, B. u. K. SCHEFFER: Physikalisch-pedohydrologische Veränderungen einer grundwasserfernen Parabraunerde aus mächtigem Jungwürm-Löß durch Tiefumbruch. - Göttinger Bodenkundl. Ber. 16, 9-65, 1970
- 7) SCHAFFER, G.: Einfluß der Kalkung auf verschiedene Bodeneigenschaften. - Z. Kulturtechnik und Flurber., 10, 301-312, 1969
- 8) SCHAFFER, G.: Einfluß des Kalkes auf das Bodengefüge. - Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 11, 71-74, 1970
- 9) SCHAHABI, S. u. M. SCHWERTMANN: Der Einfluß steigender Kalkgaben auf die Aggregatstabilität zweier saurer Lößbodenhorizonte. - Landw. Forsch. 23, 135-141, 1970
- 10) SIDIRAS, N.: Warum bei Bodenmelioration durch Tiefenbearbeitung kalken? - Mitteilgn. der DLG. 86, 981-983, 1971
- 11) WOURTSAKIS, A.: Der Einfluß des Tieflockerns und Tiefpflügens auf die physikalischen Eigenschaften und den Wasserhaushalt verschiedener Böden Hessens. - Diss. Gießen 1971

Haben CaCO_3 und austauschbare Kationen einen
Einfluß auf den Eindringwiderstand?

von

H. H. Becher

Einleitung

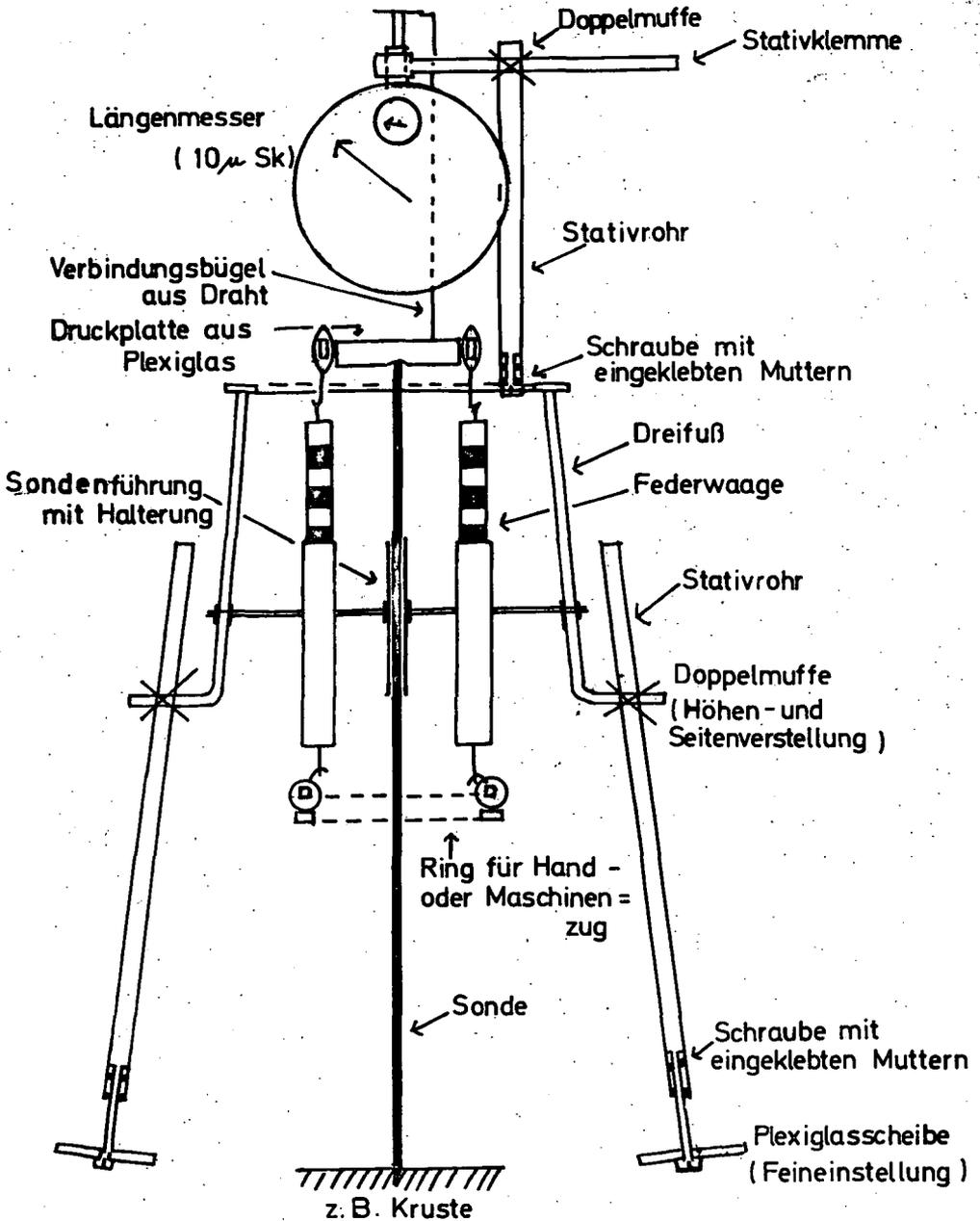
Als Voraussetzung für eine erfolgreiche Gefügemelioration wird eine gute Aggregatstabilität angesehen. Wo diese nicht gegeben ist, versucht man, sie durch Kalkung während oder nach der Meliorationsmaßnahme herbeizuführen. Dadurch sollen die Aggregate gegenüber mechanischen Beanspruchungen stabiler werden, jedoch können Pflanzenwurzeln diese stabilisierten Aggregate nur selten durchwachsen. Sie sind stattdessen auf Schwächestellen und Risse angewiesen.

Ein anderes Problem stellt die Oberflächenverschlammung mit der damit verbundenen Krustenbildung dar. Keimlinge oder bedeckte Jungpflanzen müssen diese homogenisierte und dichte Schicht durchdringen, was ihnen vielfach nicht gelingt und daher zu Ertragsausfällen führt. Deshalb ist es interessant, Größenordnung der Kräfte zum Durchdringen von Aggregaten und Krusten und Faktoren, die diese Kräfte beeinflussen, zu kennen, wovon im nachfolgenden berichtet wird.

Material und Methoden

Die für derartige Untersuchungen zur Verfügung stehenden Sonden und Penetrometer erlauben keine gleichzeitige Kraft- und Längenmessung, jedoch eine in Abb. 1 gezeigte Meßanordnung. Die Eindring Spitze der aus 2,5 mm dickem Federstahl bestehenden Sonde hat einen Winkel von 29° . Über Federwaagen zur Messung des Kraftaufwandes und eine

Abb.1 Konstruktionschema des Penetrometers, 3. Bein weggelassen.



Druckplatte mit Verbindungsbügel zum Längenmesser (10/μ Skalenteilung) wird die Sonde langsam in die Probe gedrückt. Die dabei gemessenen Kraft- und Längenwerte werden in p/cm^2 bzw. $p/cm^2 \cdot mm$ umgerechnet.

Die Untersuchungen erfolgten an A_p -Proben eines humosen Pseudogleys (Ottenhofen) und einer pseudovergleyten Parabraunerde (Pettenbrunn). Die Böden erhielten z.T. eine 1-malige Meliorationskalkung bzw. stehen in einem Kalkdüngungsversuch, so daß Proben von gekalkten und ungekalkten Parzellen entnommen werden konnten, von denen pH, $CaCO_3$, org. Substanz und nach MEHLICH austauschbares Na, K, Ca und Mg bestimmt wurden. Außerdem wurden Teilproben < 8 mm naßgesiebt. Die Penetrometermessungen erfolgten an Aggregaten > 8 mm und an Krusten aus Material < 2 mm, nachdem sie mit Saugspannungen von 50 - 1000 cm WS im Gleichgewicht waren.

Ergebnisse

Bei den Ergebnissen fällt sofort die unterschiedliche, gesicherte Aggregatstabilität (Abb. 2) auf. Hier ist deutlich zu sehen, daß eine pH-Werterhöhung bzw. eine Kalkung nicht unbedingt zu einer Erhöhung, sondern auch zu einer Erniedrigung der Aggregatstabilität führen kann. Ein Einfluß der org. Substanz wurde nicht beobachtet.

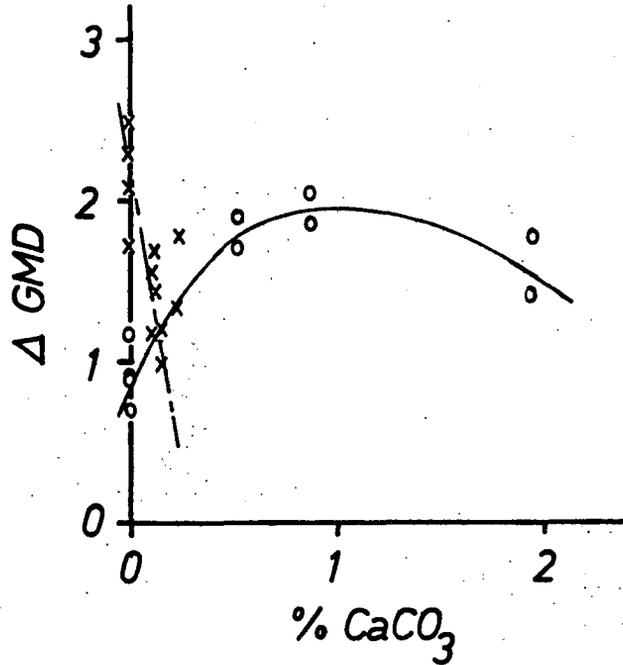
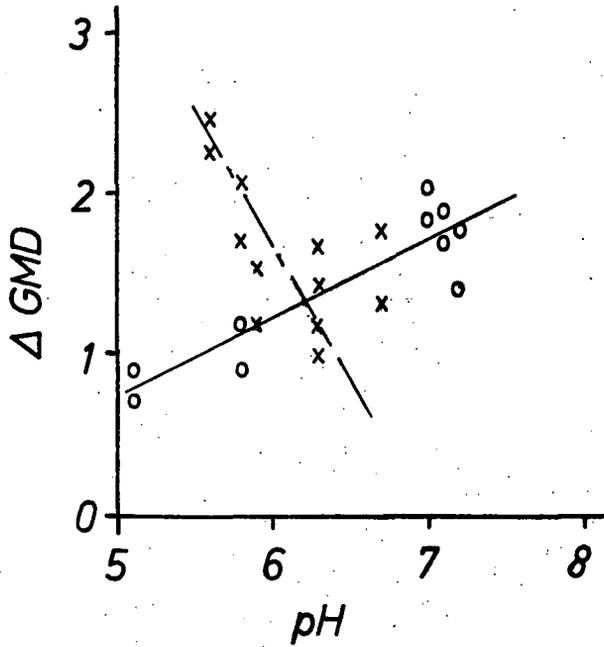
Für die vorläufige Auswertung der Penetrometermessungen wurde der mittlere Kraftaufwand/Sondierung und aus diesen Mittelwerten der mittlere Kraftaufwand pro Saugspannungsstufe und pro Längeneinheit ermittelt. Eine statistische Verrechnung des umfangreichen Zahlenmaterials steht noch bevor, weshalb auf eine weitere bildliche Darstellung verzichtet wird.

Sowohl die Einzelbeobachtungen als auch die Mittelwerte lassen erkennen, daß für die Sondierungen an den Aggregaten mit 550 - 900 p/cm^2 wesentlich weniger Kraft benötigt wurde als für die Krustensondierungen mit 600 - 3000 p/cm^2 . Dagegen erreichte der Druckgradient (= Kraftaufwand/Längeneinheit) bei den Aggregaten mit 250 - 700 $p/cm^2 \cdot mm$ durchschnittlich doppelt so hohe Werte wie

Aggregatstabilität (Naßsiebung) in Abhängigkeit von pH u. CaCO_3

○ Ottenhofen

— x — Pettenbrunn



bei den ~ 1 cm dicken Krusten mit $150 - 400 \text{ p/cm}^2 \cdot \text{mm}$. Betrachtet man den Einfluß der chemischen Faktoren, so verringert sich mit zunehmendem pH bei den Aggregaten die benötigte Kraft um 100 p/cm^2 , während sie für die Krusten bei pH 6 einen um 1500 p/cm^2 geringeren Wert erreicht als bei pH 5 und 7.

Bei 1 % CaCO_3 weist der Druckgradient für Aggregate einen um $300 \text{ p/cm}^2 \cdot \text{mm}$ höheren Wert auf als bei 0 und 2 %, während er für Krusten bei 1 % CaCO_3 um $50 - 150 \text{ p/cm}^2 \cdot \text{mm}$ niedriger liegt. Ähnliche Verhältnisse spiegelt der für Aggregate bei 1 mval Na+K um 100 p/cm^2 höhere und für Krusten bei 0,8 mval um $500 - 1000 \text{ p/cm}^2$ niedrigere Kraftaufwand gegenüber 0 und 2 mval wider. Während für Aggregate bisher kein Einfluß der zweiwertigen austauschbaren Kationen beobachtet wird, steigt für Krusten der Kraftaufwand von 10 nach 25 mval Ca+Mg um $300 - 700 \text{ p/cm}^2$ und der Druckgradient scheint ab 25 mval einen konstanten Wert von $250 \text{ p/cm}^2 \cdot \text{mm}$ - unabhängig von der Saugspannung - anzustreben. Alle Penetrometermessungen weisen - wie nicht anders zu erwarten - eine ausgeprägte Abhängigkeit von der Saugspannung und damit vom Wassergehalt auf.

Diskussion

Die vorläufigen Auswertungsergebnisse besagen, daß Pflanzenwurzeln Aggregate bei pH 7 leichter durchwachsen als bei pH 5, daß aber unter Berücksichtigung des Bodens bei 0,2 - 1,8 % CaCO_3 bzw. 0,2 - 1,8 mval Na+K mit Wuchsbehinderungen zu rechnen ist. Während der Gesamtkraftaufwand für das Durchwachsen eines Aggregates relativ geringe Werte aufweist, erfordert das Erwachsen einer z. B. 1 mm langen Strecke eine wesentlich höhere Kraft als bei den Krusten. Diese werden im Gegensatz zu den Wurzeln von Sprossen bei 1 % CaCO_3 oder 1 mval austauschbarer einwertiger Kationen am leichtesten durchdrungen, unter anderen Bodenverhältnissen auch bei pH 6. Mit weiter zunehmendem pH und Gehalt an austauschbaren Kationen, also zunehmender Versalzung, steigt der Kraftbedarf mehr oder weniger an. Für zur Oberflächenverschlammung neigende Böden ist aus diesem Grund - je nach den Bodenverhältnissen - das Vorhan-

densein von 1 % CaCO_3 , oder aber ein pH von 6 wünschenswert trotz der dann möglicherweise geringeren Naßsiebungsstabilität.

Obwohl für die vorläufige Auswertung bewußt Bodenunterschiede außer acht gelassen wurden, ließ eine flüchtige Durchsicht des Zahlenmaterials erkennen, daß im allgemeinen der Boden Ottenhofen den höheren Kraftbedarf aufwies. Die statistische Verrechnung wird zeigen, ob die angedeuteten Bodenunterschiede stärker hervortreten, d.h. Boden und Wassergehalt würden die wesentlichen, den Eindringwiderstand beeinflussenden Faktoren und die chemischen die zweitrangigen sein.

Zusammenfassung

Neben dem ausgeprägten Einfluß der Saugspannung und einem möglichen Bodeneinfluß wirken pH, CaCO_3 -Gehalt und Gehalt an austauschbaren Kationen auf den Eindringwiderstand in Krusten oder Aggregate ein. Während - wohl für bestimmte Bodenverhältnisse - Werte um 1 % CaCO_3 bzw. 1 mval Na + K für Aggregate unerwünscht zu sein scheinen, sind sie wegen der infolge Oberflächenverschlammung entstehenden Krusten anzustreben. Der Gesamtkraftaufwand zum Durchdringen von Krusten ist höher als bei Aggregaten.

Der Einfluß des Kalks auf die Infiltrations-
kapazität eines Schlufflehmbodens

von

H. Wichtmann

Wenn auch m. W. bisher noch keine Untersuchungen über den Einfluß des Kalks auf die Infiltrationskapazität vorliegen, so ist ein solcher Einfluß durchaus zu erwarten. Viele Mitteilungen berichten über eine Verbesserung der Strukturstabilität durch die Kalkung (Schachtschabel u. Hartge 1958, dort auch zahlreiche Literaturhinweise). Allerdings konnten andere Autoren, zuletzt Schaffer (1969), keine Wirkung des Kalks nachweisen.

Die Böden

Ende August 1968 hat Dr. Gerth auf einer schwach sauren (pH 6.1-6.5), schwach pseudovergleyten Parabraunerde aus Löß auf der Mittelterrasse des Rheins bei Kapellen einen Tieflockerungs-Kalkungsversuch angelegt, über dessen Ziele und Ergebnisse er nach Abschluß der Untersuchungen selbst berichten wird. 1970 wurde der Wasserhaushalt dreier Teilstücke dieses Versuchs mit Tensiomern und Neutronensonde kontrolliert, im folgenden wird über die Ergebnisse von 2 Versuchsgliedern referiert. Beide Versuchsglieder sind 2 x 1,5 m große Flächen, die mit dem Spaten auf 1 m Tiefe ausgehoben und horizontweise wieder verfüllt werden, wobei dem Boden von Versuchsglied 2 knapp 5 kg CaO (165 dz/ha) beigemischt wurde. Die Parzelle mit den Versuchsflächen war 1970 mit Zuckerrüben bestellt.

Ausführliche Darstellung in: Fortschr. in der Geologie von Rheinland und Westfalen Bd. 21, Krefeld 1972.

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, 415 KREFELD,
de Greiff-Str. 195

Methoden

Die Untersuchungsmethoden zielten darauf hin, dem Einfluß des Kalks auf den Wasserhaushalt zu erfassen. Mit Hilfe von Schlauchtensiometern (je 3 Parallelen) wurde die Saugspannung in 4 Meßtiefen insgesamt 16 mal gemessen und mit Hilfe der Neutronensonde der Fa. Berthold die Bodenfeuchte bis in 150 cm Tiefe insgesamt 11 mal erfaßt. Dabei wurde größtmögliche Sorgfalt auf die Verhinderung von Flurschäden gelegt. Die Ablesungen der Schlauchtensiometer erfolgten 5 m vom jeweiligen Meßpunkt entfernt. Die Infiltrationskapazität wurde also nicht wie üblich, durch Infiltrationsmessungen direkt bestimmt, sondern mit Hilfe von Bodenfeuchtemessungen aus den Bodenfeuchteveränderungen zwischen den einzelnen Meßterminen ermittelt. Dieses Verfahren hat den großen Vorteil, daß methodisch keine über die natürlichen Verhältnisse auftretenden Belastungen der Bodenstruktur vorgenommen werden. Als Nachteil muß in Kauf genommen werden, daß die Niederschläge zwischen zwei Meßterminen den kontrollierten Bodenraum bereits durchsickert haben können und sich so der Bilanzierung entziehen. Dadurch kann eine zu niedrige Infiltrationsrate vor allem bei Böden mit hoher Infiltrationskapazität gemessen werden.

Ergebnisse

Die Tensiometermessungen lassen folgende Wirkung des Kalks auf den Wasserhaushalt erkennen:

1. Der gekalkte Boden ist am Anfang des Versuchs trockener.
Die Saugspannung liegt in allen Meßtiefen höher.
2. Bei zunehmender Durchfeuchtung ändern sich die Verhältnisse.
Der gekalkte Boden wird - zuerst in 15 und 40 cm, dann auch in 70 und zuletzt in 100 cm Tiefe - deutlich feuchter. Nur in 15 cm Tiefe setzt sich die Tendenz, daß der Kalk den Boden trockener macht, am Ende des Versuchs fort.
3. Die Durchschnittswerte der Saugspannung in Tab. 1 machen dieses noch einmal deutlich. Der Kalk macht den Boden an sich trockener, erhöht aber gleichzeitig die Wasseraufnahme und dadurch wird der Boden am Schluß des Versuchs feuchter.

Soweit die Tensiometermessungen.

Tab. 1

Durchschnittswerte der Saugspannung in cm Ws

Meßtiefe cm	Meßzeit		cm Ws bei Boden		Differenz ohne Kalk zu mit Kalk
	von	bis	ohne Kalk	mit Kalk	
15	20.6.	6. 7.	460	636	- 126
	9.7.	30.10.	191	141	+ 34
40	20.6.	6. 7.	305	384	- 79
	9.7.	30.10.	442	361	+ 81
70	20.6.	28. 7.	224	236	- 12
	17.8.	30.10.	444	371	+ 73
100	20.6.	28. 7.	188	203	- 15
	18.9.	30.10.	291	243	+ 48

Diese Ergebnisse werden voll und ganz bestätigt durch die Neutronensondemessungen (Abb. 1). Anfangs hat der gekalkte Boden in 20-100 cm Tiefe rund 15 mm weniger Wasser, am Schluß rund 7 mm mehr. Außerdem zeigen die Kurven weitere Unterschiede im Bodenfeuchteverlauf, auf die ich später eingehen werde.

Auch der Bodenfeuchteverlauf in 100-150 cm Tiefe - Abb. 2 - zeigt diese Tendenz. Anfangs hat der Boden unter "gekalkt" praktisch ebensoviel Wasser wie unter "ohne Kalk". Am Ende des Versuchs ist er um 16 mm feuchter. Zweimal ist dem Verlauf der Kurve außerdem zu entnehmen, daß das Wasser den gekalkten Boden schneller durchsickert hat.

Wie sind nun diese Eigenschaften zu erklären? Setzt man den jeweiligen Wassergehalt und die zugehörigen Wasserspannungen in Beziehung zum Bodentrockengewicht (Tab. 2), dann zeigt es sich, daß der gekalkte Boden anfangs um etwa 1 % trockener ist. Allerdings ist die

Tabelle 2

Wassergehalt in 20 bis 100 cm Tiefe bezogen auf Bodentrockengewicht(%)

<u>Datum</u>	<u>gelockert</u>	<u>gelockert + Kalk</u>
19.6.	19,9	19,1
9.7.	19,2	18,1
14.7.	18,7	17,9
28.7.	19,3	18,1
14.8.	19,3	19,0
28.8.	17,6	17,3
18.9.	15,9	16,0
25.9.	15,7	15,9
6.10.	16,1	18,0
23.10.	17,0	17,4
30.10.	17,6	18,4

Saugspannung auch etwas höher. Vom 14.8. bis 18.9. aber - an 3 Meßterminen - hat der gekalkte Boden trotz niedrigerer Saugspannung praktisch ebenso viel oder sogar weniger Wasser als der ungekalkte.

Da die niedrigere Saugspannung die Wasserfüllung größerer Poren anzeigt, ist daraus zu schließen, daß der Anteil an feineren Poren etwa $< 10 \mu$ ab-, der Anteil an größeren Poren aber zugenommen hat, was eine Mitteilung von B. Meyer (1967) über die Wirkung des Kalks bestätigt.

Durch diese Vergrößerung des Porensystems erklärt sich auch die stärkere Austrocknung des gekalkten Bodens, den die Tensiometerwerte bis zum 9.7. in allen und später noch in größeren Meßtiefen anzeigen. Die Wasserleitfähigkeit wird durch die Kalkung verbessert, die Versickerung beschleunigt. Die schnellere Wasserabgabe des gekalkten Bodens aber wird kompensiert durch eine höhere Wasseraufnahme. Wie ist sie zu erklären?

Wie Abb. 3 zeigt, hat vom 25.9. auf den 6.10. eine starke Wasseraufnahme stattgefunden. Sie betrug bei ohne Kalk 6,6 mm, bei mit Kalk aber 29,8 mm. Bei "ohne Kalk" ist das Sickerwasser nur 30 cm tief in den Boden eingedrungen, bei "mit Kalk" jedoch bis in 70 cm Tiefe! Es ist klar, daß eine bessere Wasserleitfähigkeit nicht nur zu einer schnelleren Wasserabgabe, sondern auch zu einer höheren Wasseraufnahme führen kann.

Dabei ist an den Einfluß von Bodenverdichtungen zu denken. Tab. 3 zeigt nämlich, daß der ungekalkte Boden in 30 und 40 cm Tiefe um 1,5 bzw. 2,8 Vol.% weniger Porenvolumen hat. Das Ergebnis bestätigt umfangreiche Beobachtungen von De Leenheer (1959, 1962, 1965), daß freies Kalziumkarbonat die Bildung von Pflugschlen herabsetzt.

Nun lassen es die Ergebnisse jedoch nicht zu, pauschal eine Verbesserung der Wasserleitfähigkeit durch Kalk anzunehmen. Die Dinge liegen zweifellos etwas komplizierter.

Wie der Verlauf der Bodenfeuchtekurve in 20 bis 100 cm Tiefe Abb. 1 zeigt, hat auch der ungekalkte Boden eine teilweise höhere Infiltration, z. B. vom 14.7. auf den 28.7. Die bei ungekalkt

Abb. 1

**Bodenfeuchte in 20 - 100 cm Tiefe
Tieflockerungsversuch Pranke - Kapellen/Erft**

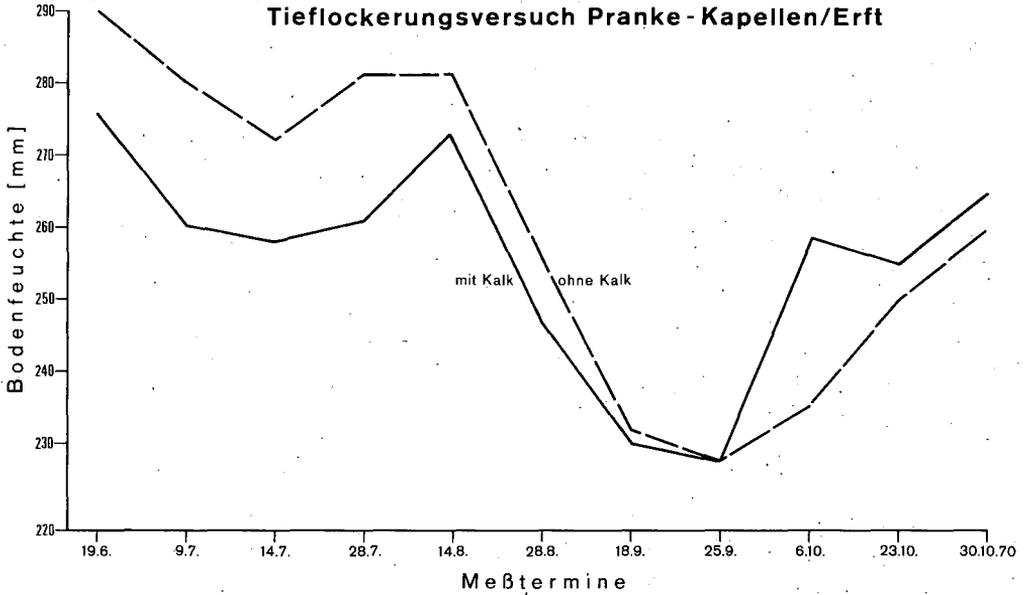


Abb. 2

**Bodenfeuchte in 100 - 150 m Tiefe
Tieflockerungsversuch Pranke - Kapellen**

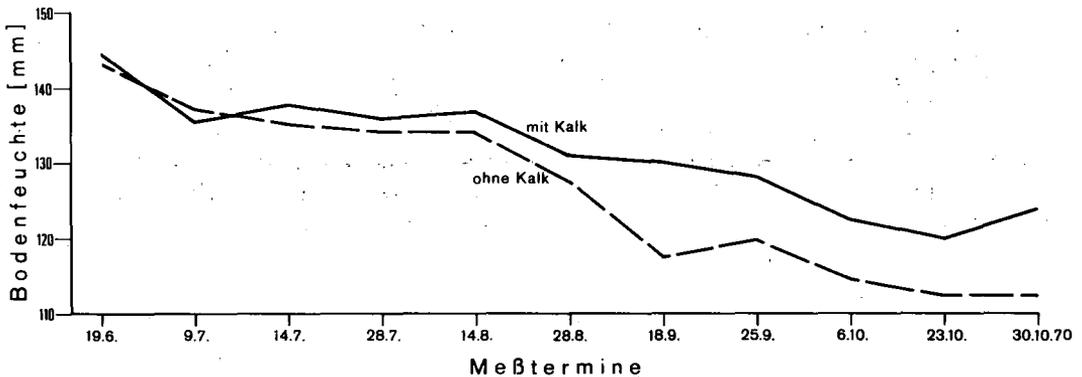


Abb. 3 **Der Einfluß des Kalks auf die Wasseraufnahme**
Bodenfeuchteveränderungen vom 25.9. zum 6.10. 1970

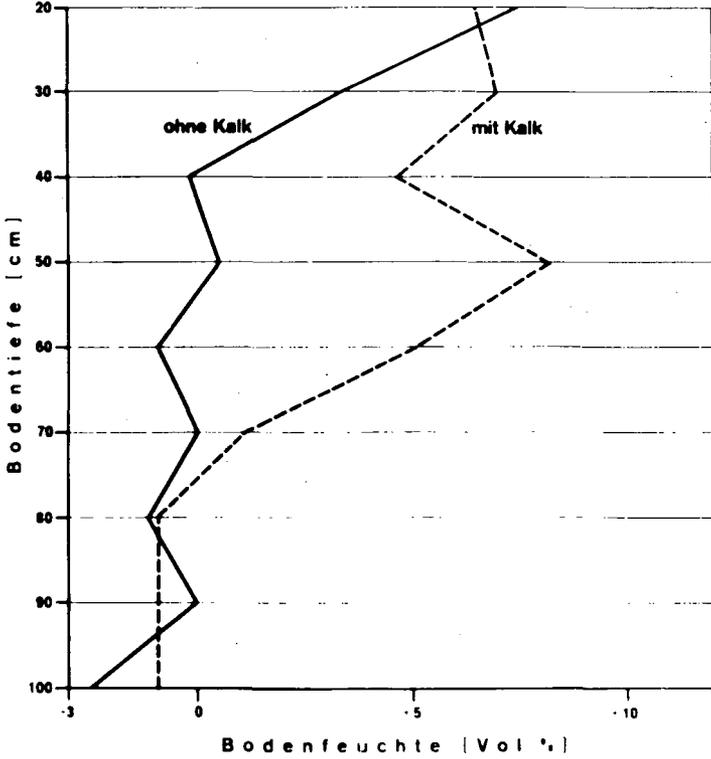


Tabelle 3

Raumtrockengewicht und Porenvolumen

Tiefe cm	gelockert		gelockert + Kalk	
	rt(g/cm ³)	PV(%)	rt(g/cm ³)	PV(%)
20	1,43	46,1	1,44	45,7
30	1,49	43,8	1,45	45,3
40	1,50	43,4	1,43	46,1
50	1,41	46,8	1,41	46,8
60	1,39	47,4	1,40	47,2
70	1,40	47,2	1,41	46,8
80	1,49	43,9	1,44	45,7
90	1,50	43,2	1,44	45,7
100	1,52	42,7	1,49	43,8

stärkere Abnahme der Saugspannung zum gleichen Termin und zu zwei anderen Meßterminen unterstreichen diese Feststellung. Zeitweise hatte der ungekalkte Boden tatsächlich eine etwas höhere Infiltration. Wie eine Überprüfung ergibt, nämlich dann, wenn der Wassergehalt des Bodens bei der Befeuchtung durch den Regen niedrig ist. Was aber kann der Wassergehalt mit der Aufnahme der Niederschläge zu tun haben?

M. E. folgendes:

Hoher Wassergehalt bedeutet geringes Luftvolumen und geringe Gasdiffusion, damit Zunahme des CO₂-Gehaltes, damit Zunahme der Bikarbonatkonzentration und dadurch Stabilisierung der Bodenstruktur und verbesserte Wasseraufnahme und -leitfähigkeit. Und umgekehrt: Niedriger Wassergehalt bedeutet geringere CO₂- und Bikarbonatkonzentration und Abnahme der Strukturstabilität und Zunahme der Bodenver schlämmung, deshalb Rückgang der Wasseraufnahme.

Wie es scheint, müssen wir also mit einer zeitweiligen Stabilisierung der Bodenstruktur durch Kalk rechnen, mit einer labilen oder anders ausgedrückt reversiblen Verbesserung zumindest an der Bodenoberfläche. Dadurch kommt ein wechselnder Effekt zustande neben einem Dauereffekt, den wir für größere Bodentiefen annehmen. Womit nicht gesagt sein soll, daß hier ein unterschiedlicher Wirkungsmechanismus vorliegen muß.

Ich komme zum Schluß meiner Ausführungen mit einer Überlegung zur praktischen Seite des Problems. Es wäre zu früh, an die vorliegenden Untersuchungen große Erwartungen für die Praxis anzuknüpfen, wenn sie für sich allein stünden. Sie bestätigen jedoch nur auf neue Weise die genannten und andere belgische Untersuchungen (De Boodt, De Leenheer, Don Kirkham 1960) sowie Beobachtungen von Czeratzki 1957, Köhnlein 1960. Dabei eröffnen die hier angewandten Methoden allerdings neue Aspekte des Problems. Es geht nicht mehr nur darum, die ertragssteigernde Wirkung der Kalkung bodenphysikalisch zu erklären; schon wichtiger scheint die Möglichkeit, mit Hilfe der Kalkung die Grundwasserneubildung zu erhöhen. Das Wichtigste aber ist die Aussicht, den Oberflächenabfluß zu vermindern.

Die auf die Kalkung zurückzuführende Zunahme der Infiltrationsrate von 6,6 auf 29,8 mm zwischen zwei Meßterminen ist respektabel genug, um an die Möglichkeit zu denken, daß Oberflächenabfluß, Bodenerosion, Überflutungen mit Schäden an Wegen und Wasserläufen, die in den Lößgebieten ziemlich regelmäßig auftreten und Millionenschäden verursachen, durch bessere Strukturpflege und Beseitigung von Pflugsohlen wirkungsvoll herabgesetzt werden können.

Zusammenfassung

In einem Tieflockerungsversuch wurde die Wirkung einer Kalkdüngung von 165 dz/ha mit Tensiometer- und Neutronensondenmessungen geprüft. Dabei haben sich folgende Ergebnisse gezeigt:

1. Im Anfang des Versuchs war der gekalkte Boden trockener. Er hatte in sämtlichen Meßtiefen eine höhere Saugspannung und einen niedrigeren Wassergehalt.
2. Infolge einer um insgesamt 38 mm höheren Infiltration lag die Saugspannung des gekalkten Bodens am Schluß des Versuchs niedriger, der Wassergehalt deutlich höher.
3. Gleicher Wassergehalt bei niedrigerer Saugspannung des gekalkten Bodens an 3 Meßterminen ließ eine Zunahme des Grobporenanteils durch Kalk erkennen, die mit einer Verbesserung der Wasserleitfähigkeit konform ging.

4. Die Einzelbeobachtungen des Versuchs führten zu dem Schluß, daß bei der Stabilisierung der Bodenstruktur durch Kalk zwischen einem Dauereffekt in größeren Bodentiefen und einer reversiblen Wirkung an der Bodenoberfläche unterschieden werden muß. Sie wird in Zusammenhang mit dem Wassergehalt des Bodens, der CO_2 -Konzentration der Bodenluft und der Bikarbonatbildung gedeutet.

LITERATUR

- De Boodt, M., De Leenheer, L., Don Kirkham:
Soil aggregate stability indexes and crop yields.
Soil Science 91, 1961, S. 138-146
- Czeratzki, W.: Bodenverschlammung - Bodenschutz. Mitt. Forschungsanstalt f. Landw. Braunschweig-Völkenrode 7, 1957, S. 83-88
- Köhnlein, J.: Die Bedeutung der Unterbodenporung.
Landw. Forsch. 14. Sonderh., 1960, S. 1-11
- De Leenheer, L.: Praktische Probleme und Feldversuche über die Verbesserung der Bodenstruktur und ihre Beurteilung im Felde.
Landw. Forsch. 12. Sonderh., 1959, S. 41-49
- De Leenheer, L.: Mechanisierung und Bodenstruktur.
Die Bodenkunde 13, 1962, S. 89-97
- De Leenheer, L.: De bodenstructuur en har factoren in de Belgische leemstreek. Landbouwtijdschrift 18, 1965, S. 3-19
- Meyer, B.: Mündliche Mitteilung anlässlich der bodenkundl. Exkursion LUFA Tagung 1967
- Schachtschabel, P., Hartge, K.: Die Verbesserung der Strukturstabilität von Ackerböden durch eine Kalkung. Z. Pflanzenernährg., Düng., Bodenkunde 83 (128), 1958, S. 193-202
- Schaffer, G.: Einfluß der Kalkung auf verschiedene Bodeneigenschaften. Z. f. Kulturtechnik u. Flurberein. 10, 1969, S. 301-313

Die Verwendung von 'Waschbergen' als natürliches Bodenverbesserungs-
mittel zur Melioration von leichten Sandböden

von

W. Rochus

Die Beseitigung von industriellen Abfallprodukten erfordert oft grosse und kostspielige Aufwendungen. Die Suche nach einer sinnvollen Verwendung solcher Materialien ist daher naheliegend. Beispielsweise wird bei der Kohlegewinnung oft ein beträchtlicher Anteil nicht verwertbaren, aus der Nachbarschaft der Kohleflöze stammenden Gesteins mitgefördert, dessen Abtrennung bei der Aufbereitung der Kohle erfolgt. Dieses als 'Waschberge' bezeichnete Material fällt in verschiedenen Korngrössen z. B. bei den Steinkohlebergwerken in Ibbenbüren in Mengen von 6-8 000 to täglich an, was etwa 40 % der geförderten Kohlemenge entspricht. Es ist bisher zum grössten Teil unverkäuflich, verursacht erhebliche Ablagerungskosten und wirft zudem noch Probleme auf (z. B. Luftverschmutzung durch Haldenbrände, Sicherung und Rekultivierung der Halden, Abwasserreinigung und dgl.).

Diese 'Waschberge' bestehen hauptsächlich aus Carbonschiefer-Material mit einem Anteil von etwa 15 % organischer Substanz, hauptsächlich Kohle. Sie werden bisher vorwiegend auf Halden abgelagert. Es sollte nun geprüft werden, ob sich dieses tonreiche Verwitterungsprodukte ergebende Material nicht sinnvoller durch Verwendung in der Landwirtschaft beseitigen und zugleich nutzen lässt. Da in der Umgebung von Ibbenbüren zwischen Osnabrück und Rheine vorwiegend leichte Sandböden vorkommen, deren Anreicherung mit Tonsubstanzen sehr wünschenswert wäre, würden sich hier gute und grosse Absatzgebiete in unmittelbarer Umgebung des Werkes anbieten.

Unter diesen Aspekten wurde die Verwendung der 'Waschberge' als natürliches Bodenverbesserungsmittel untersucht. Hierzu wurde zunächst bei der Klassifizierung eine Feinbergefraktion mit der Korngrösse 0 - 6 mm abgetrennt. Die gröberen Anteile bringen Schwierigkeiten bei der Verteilung auf dem Acker und der späteren Bearbeitung mit sich.

Die Zusammensetzung der Feinberge schwankt naturgemäss innerhalb gewisser Grenzen. Durchschnittswerte der Analysen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Diese Feinberge zerfallen durch Verwitterung im Boden relativ schnell und bewirken bereits nach 2 bis 3 Jahren eine deutliche Anreicherung der Böden mit Tonmaterial und in gewisser Weise auch mit Nährstoffen. Die physikalischen Bodeneigenschaften, insbesondere auch die Wasserbindung, werden hierdurch besonders günstig beeinflusst. Aus der Tabelle 2 ist ersichtlich, dass die Hauptmenge des Materials in der Korngrössenfraktion 0,1 bis 0,315 mm bei dem bereits seit 3 Jahren verwitterten Boden zu finden ist, während der Hauptanteil des erst ein Jahr später ausgebrachten Materials noch im gröberen Kornbereich 1,0 bis 6,3 mm vorliegt. Dementsprechend liegt auch der Wassergehalt bei dem jüngeren sehr deutlich unter dem des bereits länger verwitterten Materials.

Besonders günstig wirkt sich auch die dunkle Farbe der 'Waschberge' aus, durch die im Frühjahr eine schnellere Erwärmung des Bodens erfolgt, die wiederum eine bessere Ausgangsposition für die Keimung und das Wachstum des eingebrachten Saatgutes schafft.

Eine gewisse Schwierigkeit bei der Verwendung der 'Waschberge' in der Landwirtschaft ergibt sich lediglich aus dem Pyritgehalt des Materials, der bis zu 8 % betragen kann. Der Schwefel des Pyrits wird bei der Verwitterung durch Oxidation in Schwefelsäure überführt, wodurch es vor allem bei trockenem Frühjahr kurzfristig, besonders im zweiten Versuchsjahr, zu stärkeren Säureschäden kommen kann. Der Schwefel wird nach stärkerer Frostverwitterung besonders gut für die Oxidation durch die Luft bei der Frühjahrsbestellung zugänglich. Dieses kommt zum Ausdruck beispielsweise im pH-Wert des 'Bodens', der in der Tabelle 3 aufgeführt ist. (Unter 'Böden' sollen hier die

Tabelle 1

Analytische Daten des Waschbergematerials		
Durchschnittswerte in %		
C	14,6	- 16,0
H	0,85	- 1,07
SiO ₂	35,0	- 40,0
Fe ₂ O ₃	9,04	- 9,92
CaO	0,93	- 1,35
MgO	0,14	- 0,16
Al ₂ O ₃	15,11	- 15,87
MnO ₂	0,13	- 0,16
Cl	< 0,05	- 0,07
Glühverlust	22,94	- 25,26
S gesamt	3,25	- 5,45
Na ₂ O	0,27	- 0,35
K ₂ O	1,44	- 1,69
P ₂ O ₅	< 0,01	
CO ₂	2,77	- 3,27

Tabelle 2

Korngrößenverteilung in %

	Acker(60) 1969	Acker(30) 1969	Sand(60) 1969	Acker(60) 1970	Acker(30) 1970
> 6,3 mm Ø	1,1	1,2	1,5	2,1	4,0
6,3 - 3,15	7,3	6,8	5,5	27,8	25,8
3,15 - 2,0	3,1	3,3	2,4	11,8	13,8
2,0 - 1,0	3,2	2,9	2,3	13,2	15,7
1,0 - 0,5	3,0	3,2	2,5	7,1	9,1
0,5 - 0,315	9,7	9,3	8,7	6,5	6,0
0,315 - 0,2	26,4	26,9	24,5	8,7	6,6
0,2 - 0,1	40,7	41,3	45,6	19,9	17,3
0,1 - 0,063	2,2	2,1	2,8	1,6	0,6
< 0,063	3,3	3,0	4,1	1,5	1,1
<hr/>					
% H ₂ O Gehalt der Proben	8,8	8,6	8,8	5,0	4,4

(60) = 60 kg Waschberge pro m² Boden

(30) = 30 kg Waschberge pro m² Boden

aus dem eigentlichen Ackerboden isolierten Nester von 'Waschbergen' verstanden werden.) Im älteren 'Boden' steigt der pH-Wert bereits wieder an, während er im frischen noch sehr niedrig liegt. Bei der quantitativen Bestimmung der wasserlöslichen Schwefelsäure im 'Boden' wird dieses noch deutlicher (siehe Tab. 3).

Aus den folgenden Zeilen der Tab. 3 wird anhand der gefundenen Werte für wasserlösliche Salze deutlich, dass die Auswaschung infolge des trockenen Frühjahrs und Sommers relativ gering war und der Salzgehalt damit entsprechend hoch. Aus der letzten Zeile lässt sich erkennen, dass die 3 Jahre alten Proben nur noch wenig Schwefel im Vergleich mit dem jüngeren Material enthalten. Es wird dadurch nicht mehr zu Säureschäden in folgenden Jahren kommen können. Im Übrigen lassen sich durch rechtzeitige und ausreichende Kalkung natürlich solche Schäden weitgehend vermeiden.

Wie wirkt sich nun der Zusatz von Waschbergen zu verschiedenen Böden auf das Pflanzenwachstum aus? Zu dieser Fragestellung wurden Gefäßversuche durchgeführt, um vergleichbare Bedingungen über längere Zeiträume in der Vegetationshalle gewährleisten zu können. Als Versuchspflanze diente Hafer. Dieser wurde auf verschiedenen Böden (Löss, Ton, Lehm, Sand) a) ohne Zusatz, b) mit Zusatz von 1000 g und c) mit 2000 g Waschbergezusatz bis zur Reife herangezogen. Nach der Ernte wurde der Kornertrag ermittelt. Es wurden jeweils 4 Parallelen angesetzt, alle Gefäße erhielten die gleiche Grunddüngung. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 4 zusammengestellt. Hieraus lässt sich erkennen, dass ein Zusatz von Waschbergen zum Lehm den Kornertrag kaum beeinflusst.

Beim Ton, wo zunächst ein Minderertrag von 25 % im ersten Jahr vermutlich auch infolge der anfänglich gestörten Bodenstruktur zu vermerken war, ist im zweiten Jahr nach dem Waschbergezusatz ein Mehrertrag von 10 % festgestellt. Im dritten Versuchsjahr ist gegenüber den Vergleichsgefäßen ohne Waschbergezusatz kein Unterschied mehr festzustellen. Der Boden befindet sich nach einer Anlaufphase offenbar wieder im ausgeglichenen Zustand.

Beim Lössboden ist bemerkenswerterweise nach einer zunächst 30 %igen Ertragseinbusse im ersten Jahr in den beiden folgenden Jahren ein

Tabelle 3

Analytische Daten der "Bodenproben"

	Acker(60)	Acker(30)	Sand(60)	Acker(60)	Acker(30)
	1969	1969	1969	1970	1970
pH-Wert	3,2	3,4	3,5	2,2	2,2
mg H ₂ SO ₄ /kg Boden	49	25	25	613	417
wasserlösliche Salze mg/kg Boden	4500	3000	3500	8500	8000
davon Sulfat mg/kg Boden	364	304	325	3575	3181
Sulfat in %	0,04	0,03	0,03	0,36	0,33
Eisen g/kg Boden (HCl-löslich)	8,38	8,38	8,82	26,53	25,80
wasserlös- licher Schwe- fel in %	0,36	0,35	0,35	1,36	1,25

Tabelle 4

Prozentualer Ertrag (Hafer, Korn) im Vergleich mit den Kontrollgefäßen (= 100%). (Mittelwert aus 4 Gefäßen)

	Bergeanteil in 8 kg Boden (Mitscherlich gefäße)	Prozentualer Ertrag von den Kontrollgefäßen (= 100 %)		
		1969	1970	1971
Löss	1000 g	68,8	126,5	129,5
	2000 g	70,2	116,2	109,2
Ton	1000 g	78,4	107,9	100,9
	2000 g	70,1	117,6	102,7
Lehm	1000 g	104,4	103,8	104,4
	2000 g	102,5	100,5	100,9
Sand	1000 g	362,4	179,5	186,5
	2000 g	374,1	190,0	236,5

Mehrertrag von jeweils 20 % zu finden. Besonders ausgeprägt ist die Ertragssteigerung beim Sandboden, der mit Waschbergen versetzt wurde. Eine Steigerung gegenüber den Vergleichsgefässen war zwar zu erwarten, allerdings nicht in dieser Höhe. Es bleibt abzuwarten, wie sich die Erträge in der Folgezeit entwickeln. Sollte die Ertragssteigerung und zudem noch eine Ertragssicherung in Zukunft anhalten, würde sicher für die Landwirtschaft ein grosser Anreiz gegeben sein, das Waschbergematerial in die leichten Sandböden einzubringen. Auf diese Weise könnte eine langfristig wirksame und wiederholbare Anreicherung des Bodens mit einem Tonmaterial erfolgen, wobei die Tonsubstanz während des langsamen Zerfalls der Waschberge gleichsam in statu nascendi mit den übrigen Bodenkomponenten in Wechselwirkung treten kann und zur Stabilisierung des Bodens beiträgt. Bekanntlich ist dieses durch einfaches Einmischen von Ton in Sand nicht zu erreichen.

Für den Bergbaubetrieb würde diese Absatzmöglichkeit bedeuten, dass die kostenverursachende Ablagerung eines Teils der Waschberge entfallen könnte. Rentabilitätsberechnungen von landwirtschaftlichen Sachverständigen zufolge wäre die Ausbringung der 'Waschberge' in einem Umkreis bis zu etwa 50 km noch lohnend.

Die mitgeteilten Befunde stellen erste Ergebnisse aus Labor-, Feld- und Vegetationshallenversuchen dar, die zur Ermittlung der Anwendungsmodalitäten und zur Überprüfung der aufgestellten Arbeitshypothese dienen sollten und die in Zusammenarbeit mit den Steinkohlenbergwerken in Ibbenbüren durchgeführt wurden.

Utilization of Oxyhumolites in the Application of high

Fertilizer Doses

von

F. Jonás

Introduction

The significance of organic matter in the soil and in its constituents is today the subject of considerable attention all over the world. The organic matter is investigated from chemical, physical, physico-chemical and biological points of view. Great attention is paid to its role in the dynamics of plant nutrition. However, although much work has been devoted to research in this respect, we still do not know the limits of humus contents /maximum and minimum/ in types of productive soils. Hitherto we have not solved the question of optimum humus content in the soil with regard to the utilization of nutrients introduced into the soil by fertilizers. As long as these important parameters remain unknown, it will be difficult to regulate the content of permanent humus in the soil, i.e. of organic substances of colloid nature, in such a way that their content is optimum, e.g. with regard to the exchange sorption capacity. It is known that the organic constituents in the soil exhibit an essentially higher exchange sorption capacity in comparison with mineral colloids. This sorption capacity of some carbonaceous substances of colloid nature varies up to about 300 - 800 me/100 g of material. In Czechoslovakia such an organic substance is e.g. oxyhumolite. It occurs in the overburden of surface mines in the lignite basins of Northern Bohemia and Sokolov. It is also removed as ballast material in the process of surface mining and deposited on dumps.

F. Jonas, Amelioration Research Institute, ZBRASLAV, Czechoslovakia

Results and discussion

The oxyhumolites are distinguished by acid to strongly acid soil reaction / pH /, a high content of organic substances, $C_{ox} = 20 - 40 \%$. In high-quality oxyhumolites, up to 70 % of the C_{ox} value corresponds to humic acids and 1 and more % to fulvo-acids. The exchange sorption capacity varies in the range of 200 - 400 me/100 g of material. They exhibit a considerable sorption unsaturation and hygrophobic properties. An experiment was undertaken to investigate the influence of oxyhumolites in rising doses per hectare / 250, 400 and 750 q/ha / in combination with high fertilizer doses of 200, 300 and 400 kg NPK / as pure nutrients / per hectare.

Potatoes of the variety Carmen were tested in an exact field experiment in which each variant was five times repeated. The soil exhibited a loamy texture, developed on alluvial sediments of the Labe river. The average temperature of the locality varies about $8,9^{\circ}\text{C}$ with normal yearly precipitations of approximately 512 mm. The deposits of fundamental nutrients before the starting of the experiment were favourable in the soil, so that even on the nonfertilized control plots there were satisfactory conditions for high yields. The experiment was started in the year 1965 distinguished by extraordinary atmospheric precipitations in the vegetation period. Consequently, that year could be characterized as very favourable from the viewpoint of water supply to the plants /this was also proved by respective investigations/.

The oxyhumolite applied in the experiment exhibited a C_{ox} content of 29,52 %, corresponding to 21,21 % of humic substances, i.e. 19,70 % C_{ha} and 1,51 % C_{fa} , with a content of $N_t = 0,89$ /nitrogen total = N_t / ratio C : N about 33 : 1. The exchange sorption capacity was comparatively high, 357,81 me/100 g of material / determined by the Kappen-Gilkovic method/, pH about 4,0. The oxyhumolite was homogenized in the arable soil layer to a depth of 30 cm. After its application, the following changes of some properties in the soil were observed / see tab. 1 / .

Table 1

Chemical properties of the soil after the application of oxyhumolithe

Oxyhumolithe dose in q/ha	pH in water solution	Sorptions properties		Saturation %	C _{ox} %	C _{hs} %	C _{ha} %	C _{fa} %
		total basis me/100q	CEC me/100 g					
Control	6,6	29,29	30,69	95,38	1,22	0,76	0,69	0,07
250	6,0	28,01	32,51	86,13	1,36	0,83	0,75	0,08
400	5,7	26,27	36,95	71,08	1,43	0,95	0,85	0,10
750	5,3	24,16	38,87	62,00	1,73	1,29	1,17	0,12

From a comparison follows that the oxyhumolithe acted very progressively upon the changes in the soil reaction and the exchange sorption capacity. Analyses revealed also the increments in C_{ox} content and humic substances in dependences on the rising doses of oxyhumolithe. Most progressively upon the change of all properties was the action of the dose of 250 q/ha. The drop of the pH value was due to the fact that the soil was not capable of withstanding the acid reaktion of the oxyhumolithe in consequence of its low buffering effect. The increase in the exchange sorption capacity is proportional to the amount of oxyhumolithe supplied.

Besides the observation of the principal chemical properties during the entire vegetation period, also some biochemical and microbiological properties were examined, in particular their changes in the soil in consequence of the application of oxyhumolithe. Data on the development of the specific soil microflora on starch- and meat-peptone agar are given in the table 2.

This survey shows that the development of the soil microflora was most favourable influenced by a dose of 250 q of oxyhumolithe per hectare. The greatest influence was exerted upon the number of actinomycetes, which decreased proportionally to the rising oxyhumolithe dose in comparison with the control. Oxyhumolithe influenced also the number of moulds in comparison with the control

Table 2

Microbiological properties of the soil

Oxyhumolithe dose in q/ha	Millions of cells in g of dry substance			
	Starch agar		Meat-peptone agar	
	bacteria	actinomycetes	bacteria	spore-forming bacteria
Control	28.604	0.561	8.843	3.704
250	38.696	0.422	12.875	3.666
400	28.532	0.356	10.147	3.672
750	29.122	0.323	8.145	3.083
Oxyhumolithe	0.230	-	0.333	1.170

/ if the control is put equal to 100, the effects correspond ton :

250 q = 134, 400 q = 113 and 750 q = 128 /.

Noteworthy is the influence of oxyhumolithe upon the development of azotobacter cells. If we put the control = 100, the corresponding values are : 250 q = 148, 400 q = 51 and 750 q = 44 /average of all determinations during the vegetation period/. Consequently, the development of azotobacter was most favourably influenced by the oxyhumolithe dose of 250 q / increase of 48 % over the control/. On the other hand higher oxyhumolithe doses led to a pronounced decrease in the number of azotobacter cells, evidently in consequence of the elevated acidity.

The influence of oxyhumolithe upon the decomposition of cellulose was also examined in the experiment; the results attained are expressed in relative numbers / control = 100, 250 q = 92, 400 q = 86 and 750 q = 73; oxyhumolithe = 0,046. These values of cellulose decomposition prove likewise quite undoubtedly that increasing oxyhumolithe doses lead to a decrease in the amount of decomposed cellulose. This means consequently that the amount of the respective microflora is reduced, or that its activity /intensity/ is restricted.

The results of biochemical tests / basal and potencial respiration indicate that oxyhumolithe as source of organic matter increases in the soil the group of substances physiologically already less accessible /related to the permanent humus in the soil/. Thus, it increases only in a limited way a group of substances physiologically easily accessible / carbonaceous and nitrogenous compounds/. For these reasons, their main significance will be in the increase of the exchange sorption capacity. Moreover, its stimulating effect upon the development of some specific types of microflora may be assumed / e.g. upon azotobacter/.

Results of the Exact Field Experiment of the Cultivation of Potatoes in the Year 1965

The potato yields attained in the individual variants of the experiment are given in Table 3. These yields correspond to the changes in the chemical, physical, biochemical and microbiological properties of the soil. The highest potato yield under the given conditions was attained in the variant with the application of 250 q of Oxyhumolithe per hectare. These results are also statistically significant in comparison with the control variant /without oxyhumolithe/. Doses of 400 and 750 q of oxyhumolithe per hectare, however, did no more result in statistically significant differences in comparison with the control or with the variant of 250 q. Most favourable was oxyhumolithe in the dose of 250 q/ha in the comparison with the control with an NPK dose of 400 kg in pure nutrients per hectare. Therefore, the improvement of the sorption properties is most distinct in the case of the highest NPK dose. However, in the variant with 250 q of oxyhumolithe no further yield increase was obtained, corresponding to the difference in the yields brought about by NPK doses of 300 kg and of 400 kg per hectare. Thus, under given climatic and soil conditions in the application of oxyhumolithe / without neutralization /the most favourable yield increase was obtained by the NPK dose of 300 kg per hectare /in pure nutrients/ and by the dose of oxyhumolithe 250 q per hectare.

Table 3

Average potatoes yields in the variant of experiment in q / ha

	Variant without oxyhumolit	Variant with 250 q oxyhumolit / ha	Variant with 400 q oxyhumolit / ha	Variant with 750 q oxyhumolit / ha
Ø NPK	266,15 ± 5,50	263,39 ± 11,12	253,72 ± 15,35	284,97 ± 7,75
200 kg NPK/ha	309,72 ± 6,12	347,50 ± 8,96	320,79 ± 7,95	309,98 ± 8,07
300 kg NPK/ha	355,63 ± 7,48	387,23 ± 8,29	330,56 ± 10,00	346,32 ± 5,65
400 kg NPK/ha	317,18 ± 11,30	390,92 ± 10,42	365,78 ± 23,75	342,94 ± 8,96
Average	312,17 ± 7,60	347,26 ± 9,69	317,71 ± 14,01	321,05 ± 7,61

Summary

From the results obtained follows that the problem of applying organic matter of colloidal nature to the soil, in given case of oxyhumolithe, is very complicated. An efficient utilization of a higher content of organic substances of colloidal character will depend on a large number of primary properties of soils where this material is to be employed. These principal properties of the soils will also play their role in a more effective utilization of fertilizers. It must be realized, however, that all procedures for increasing the efficiency in the utilization of fertilizers will also contribute to ensure the nutrition of man. For this reason the investigation of the significance of organogenic substances of colloidal nature must be the subject of adequate attention.

Müllklärschlammkompost zur Bodenverbesserung im Weinbau

von

I. Buchmann

Die Notwendigkeit zur Bodenverbesserung tritt im Weinbau besonders stark in Erscheinung, da die Böden infolge der Monokultur, ungenügender Bedeckung, ständiger mechanischer Lockerung und durch oft notwendiges Befahren in nassem Zustand bei Durchführung des Pflanzenschutzes erheblichen Belastungen ausgesetzt sind.

Starker Humusabbau, Gefügeschäden, Verdichtungen, erhöhte Gefahr von Erosion, Austrocknung und Nährstoffverlusten sowie Auftreten von Rebenchlorose sind die Folgen.

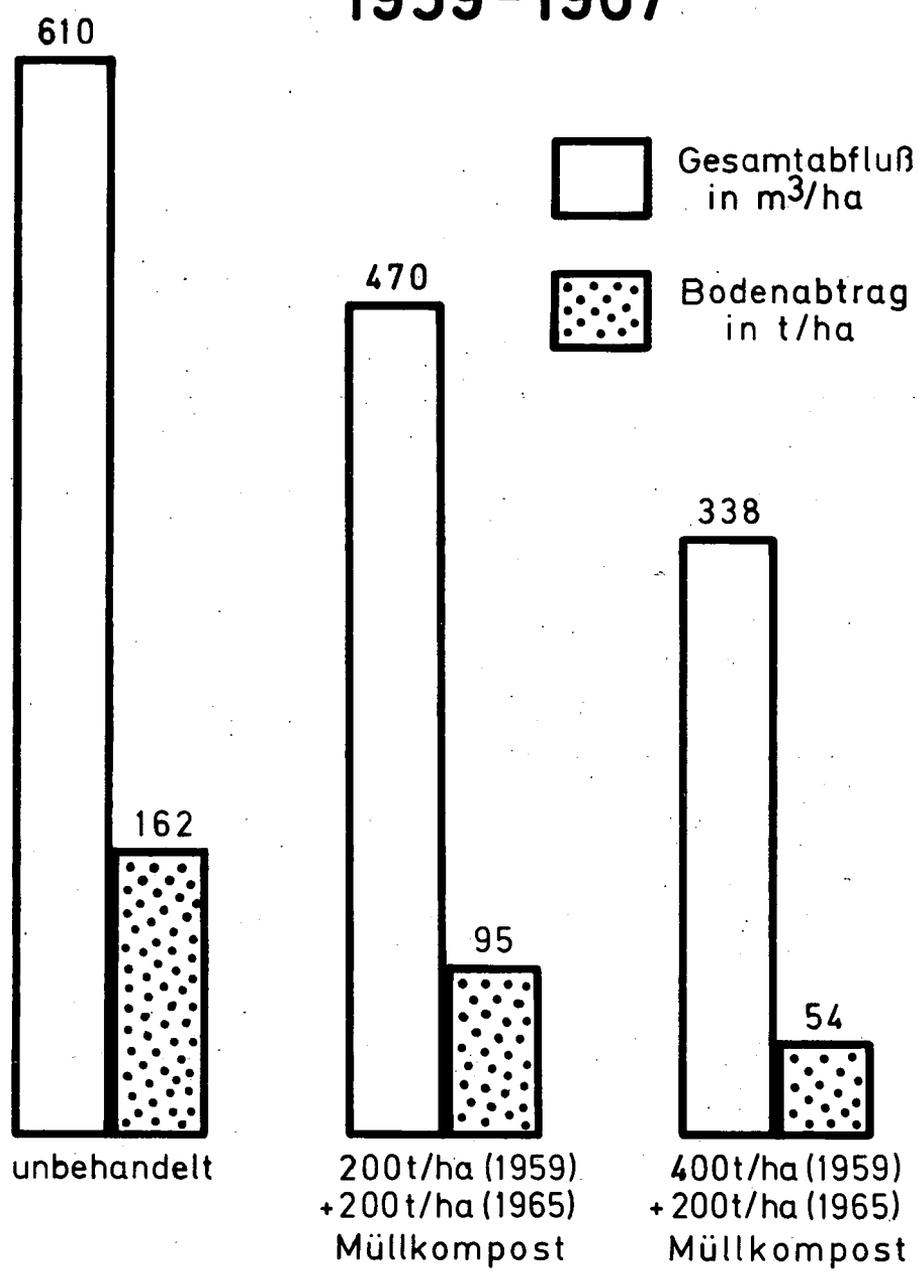
Am natürlichsten erfolgt die Verbesserung gefügeschädigter Böden durch eine geregelte Humusversorgung. Nach SCHRADER (5) müssen im Weinbau jährlich 35 - 60 dz/ha organische Trockenmasse auf sandigen Lehm- und Stalldüngböden und 50 - 70 dz/ha auf skelettreichen Böden ersetzt werden. Die früher übliche Stalldüngversorgung ist in den modernen Weinbaubetrieben ohne Vieh nicht mehr gegeben.

Infolge seines hohen Anteils an wirksamer organischer Substanz hat sich die Anwendung von Müllklärschlammkompost (MKK) gut in die Weinbaupraxis eingeführt. Untersuchungen von BOSSE (3) haben gezeigt, daß der Humusgehalt und die Sorptionskapazität des Bodens mit MKK leichter als mit Stallmist angehoben werden konnten. Die Gefügestabilität und die Einsickerungsgeschwindigkeit von Wasser in den Boden wurden durch den Einsatz von MKK stark verbessert und das Porenvolumen erhöht (1, 3).

Besonders eindrucksvoll war das Ergebnis eines Versuches zur Messung der erosionshemmenden Wirkung von MKK, der von BANSE (1) und BOSSE (2) über 9 Jahre von 1959 bis 1967 in Altenbamberg bei Bad Kreuznach

Landes-Lehr- und Versuchsanstalt für Weinbau, Gartenbau und Landwirtschaft, 655 BAD KREUZNACH, Rüdeshheimer Straße 68

Erosionsversuch ALTENBAMBERG 1959-1967



durchgeführt wurde (siehe Abb. 1). Durch den Einsatz von insgesamt 600 t/ha MKK konnte der Bodenabtrag auf ein Drittel im Vergleich zur unbehandelten Fläche eingeschränkt werden. Der Abtrag von Tonsubstanz verringerte sich anteilig noch stärker auf etwa ein Sechstel.

KADISCH (4) konnte in Untersuchungen an der Landes-Lehr- und Versuchsanstalt Oppenheim die gute Wirkung von einrigoltem MKK im Vergleich mit Styromull und Torf zur Eindämmung von Chloroseerscheinungen nachweisen. Durch 3 m³/a MKK ergab sich eine beträchtliche Erhöhung des Porenvolumens, insbesondere bei den luftführenden Poren. Blattvergilbung trat kaum noch auf, und die Erträge stiegen gegenüber unbehandelt auf das Doppelte. Die günstige Wirkung hielt über einen Zeitraum von mehr als 6 Jahren an.

Ganz allgemein wurde durch die Weinbaubetriebe beim Vergleich mit anderen humusliefernden Bodenverbesserungsmitteln wie Stallmist, Stroh- und Gründüngung eine wesentlich länger anhaltende Verbesserung durch MKK festgestellt. Noch 5 Jahre und länger nach der Kompostanwendung waren die Böden spürbar leichter bearbeitbar. Diese praktischen Feststellungen konnten durch bodenphysikalische Untersuchungen bestätigt werden.

Auf älteren Versuchsflächen mit MKK im Raum Bad Kreuznach wurden Stechzylinderuntersuchungen 5 Jahre nach der letzten Kompostanwendung durchgeführt. Dabei ergaben sich folgende Mittelwerte für die A_p-Horizonte:

Bodenart	Kompostgaben 1959 - 1965	Trockenraumgewicht 1970 in g/100 ccm	Gesamtporenvolumen 1970 in Vol. %
1T	0	112,9	57,4
	500 t/ha	100,1	61,7
x sL	0	141,6	47,1
	600 t/ha	109,8	57,7
uL	0	130,2	52,3
	480 t/ha	118,9	54,6
s1	0	130,3	51,8
	500 t/ha	119,7	54,7

Vor allem das Trockenraumgewicht zeigt noch einen ganz eindeutigen Lockerungseffekt auf den kompostbehandelten Böden.

Beim Porenvolumen lagen auch die Kompostparzellen immer noch über den unbehandelten. Besonders die groben Poren wurden durch MKK vermehrt, wie aus der folgenden Tabelle erkennbar wird.

Bodenart	Kompostgaben 1959 - 1965	Porengrößenverteilung 1970 in Vol. %			
		>50 μ	10-50 μ	0,2-10 μ	<0,2 μ
IT	0	16,6	3,6	18,9	18,3
	500 t/ha	26,5	4,0	17,7	13,5
x sL	0	18,4	2,9	15,7	10,1
	600 t/ha	27,5	4,3	17,6	8,3
uL	0	17,2	5,8	15,3	14,0
	480 t/ha	19,1	7,3	16,7	11,5
sL	0	24,5	8,4	12,1	6,8
	500 t/ha	26,2	9,8	11,3	7,4

Dem erhöhten Anteil an Grobporen entsprechend ergaben Messungen der Luftdurchlässigkeit auch im Mittel bei allen kompostbehandelten Böden höhere Werte als die Nullparzellen.

Die Entwicklung der physikalischen Bodeneigenschaften wird in den nächsten Jahren weiter verfolgt werden.

Für die laufende Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit im Weinbau werden bei Anwendung von MKK Gaben von 80 - 100 t/ha alle 2 - 3 Jahre empfohlen. Wo stärkere Erosion auftritt bzw. lange keine organische Düngung mehr erfolgte, werden einmalig 300 t/ha und mehr verabreicht.

Die Art der Einbringung in den Boden ist abhängig vom Rottegrad. Frisches Material soll zunächst nur ganz flach mit der obersten Bodenschicht vermischt werden. Nur vollkommen durchgerotteter Kompost darf eingepflügt oder einrigolt werden.

Von den humusliefernden Zukaufmitteln zur Bodenverbesserung im Weinbau ist Müllklärschlammkompost mit einem Preis von DM 10,-- je cbm (Bad Kreuznach) zur Zeit das billigste und eines der wirksamsten. Ein Beweis für die guten Erfahrungen mit MKK ist die Tatsache, daß das Kreuznacher Kompostwerk die Nachfrage seit 1970 nicht mehr befriedigen kann.

LITERATUR

1. BANSE, H.J.: Verwertung von Abfällen im Landbau. Beeinflussung des Bodens in physikalischer Hinsicht. Müll- und Abfallbeseitigung, Handbuch, herausgegeben von W. Kumpf, K. Maas und H. Straub, Erich Schmidt Verlag Berlin, Bd. 2, Kennziffer 6820, 1-16, 1968.
2. BOSSE, I.: Ein Versuch zur Bekämpfung der Bodenerosion in Hanglagen des Weinbaus durch Müllkompost. Weinberg und Keller, 15, 385-397, 1968.
3. BOSSE, I.: Bodenverbesserung durch Müllkompost - Versuche im Weinbau - Kali-Briefe 9, Fachgebiet 8, 8. Folge, 1969.
4. KADISCH, E.: Bodenpflege im Weinbau unter Berücksichtigung moderner weinbautechnischer Möglichkeiten. Festschrift 1895 - 1970 der Landes-Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Gartenbau Oppenheim am Rhein. S. 28-65, 1970.
5. SCHRADER, Th.: Möglichkeiten zur Humusversorgung der Weinberge. Rebe und Wein, H. 1/2, 1968.

Die Bedeutung der Flugasche für die Verbesserung der
biophysikalischen Eigenschaften schwerer Tonböden

von

J. Šimek

In einem Dauerversuch, der auf einem allseitig definierten Standort eines schweren Tonbodens (=Pseudogley-Rendzina) über Kreidemergel bei KOMAROV in Ostböhmen durchgeführt wurde, hat man die Möglichkeiten der wirksamsten Leistungsteigerung bei gleichzeitiger Verbesserung des ungünstigen technologischen Verhaltens der Ackerkrume dieses Bodenprofils untersucht. Es wurden folgende Maßnahmen getroffen:

- Tiefpflügen (P) bis zur Tiefe von 40 cm (statt bisheriger Tiefe von 20-25 cm);
- Tieflockerung (L_p) bis zur Tiefe von 80 cm;
- Applikation von Flugasche (A_p) mit einer Dosis von 800 t/ha (= 600 t/ha tr. M.);
- Kombination von L_p mit A_p.

Auf Grund der durchgeführten Beobachtungen und Messungen stellte man fest: Als wirksamste Maßnahme im Sinne des Versuches hat sich die Kombination von L_p + A_p (LA_p) ergeben, und zwar durch:

- grundsätzlich verbesserten hydrothermischen Haushalt, feststellbar besonders im Frühjahr;
- Verminderung des Bearbeitungsaufwandes. Die Zugkraft bei einer Tiefe von 50 - 55 cm (=0,91 kp/cm²) liess sich um 36% gegen P_{40 cm} (=1,42 kp/cm²) herabsetzen (s. Tab. 1);
- beträchtliche Ertragserhöhung gepflanzter Getreidearten: im Hafer in einem Jahr um 30% (gegen P=27,3 q/ha = 100). In dem folgenden Jahr beim Winterweizen um 50% (gegen P= 30,0 q/ha = 100); dabei hat sich auch die Qualität des Kornes ganz erheblich gebessert (s. Tab. 2 und 3).

Tabelle 1

KOMAROV Ergebnisse der Zugkraftmessungen bei der Tiefkultur
1968 - Stoppelfeld nach Melilotus Alb (Steinklee) Dezember

Versuchs- kombination	Tiefe der Ackerkrume in cm	Eingriffs- breite in cm	Zug- kraft (T) in kp	- in %	Quer- schnitt fläche v. Ein- griff ₂ in cm ²	Messb. (s) Wider- stand in kp/ cm ²	in %
P	40 - 45	120	6.418	100	4.800	1,33	100
A _p	50 - 55	120	6.100	95	6.000	1,01	77

1969 - Stoppelfeld nach dem Hafer						September	
Versuchs- kombination	Tiefe der Ackerkrume in cm	Eingriffs- breite in cm	Zug- kraft (T) in kp	- in %	Quer- schnitt fläche v. Ein- griff ₂ in cm ²	Messb. (s) Wider- stand in kp/ cm ²	in %
P	40 - 45	120	6.801	100	4.800	1,42	100
A _p	50 - 55	120	5.480	80	6.000	0,91	64

P - tiefgepflügt

A_p - mit Asche behandelt und tiefgepflügt

Tabelle 2

KOMAROV 1969 Ertragsmessungen - Hafer

Bezeichnung der Versuche- kombination	Ertrag in q/ha	in %	Halmlänge in m Mittelwert	Schösslinganzahl; Mittelwert auf 1 m ²
P ₀	27,30	100	0,8	4,4
L _p	28,40	104	1,1	5,0
A _p	32,70	120	1,05	5,0
(L + A) _p	35,60	130	1,30	6,0

P₀ - tiefgepflügt (Kontrolle)

L_p - tiefgelockert und tiefgepflügt

A_p - mit Asche behandelt und tiefgepflügt

(L+A)_p - tiefgepflügt, tiefgelockert und mit Asche behandelt

Tabelle 3

K O M A R O V 1970

Ertragsmessungen (Winterweizen DIANA 2)

Bezeichng. d.Versuchs- kombination	Ertrag in q/ha	R relativ zu P	Ähren- anzahl pro m ² /R	absolutes Körnergew. (1000 K- 1 g)	Eiweiss- inhalt in %	trock. Kleber- inhalt %	Aufquell- wert	Backwert in Punkten	Bem- er- kung
P ₀	30,0	100	345,100	45,0100	13,3 mittel	7,56 sehr niedrig	30	59	zufrieden- stellend
L _p	40,3	133	381 108	47,5 105	11,6 niedrig	5,97 sehr niedrig	32	55	zufrieden- stellend
A _p	37,4	125	370 105	47,5 105	12,9 mittel	vollkommener Zerfall		-	
(L+A) _p	45,2	151	393 112	48,4 108	15,0 hoch	12,84 sehr hoch	24 hervor- ragend	86	sehr gut

P₀ - tiefgepflügt (Kontrolle)

L_p - tiefgelockert und tiefgepflügt

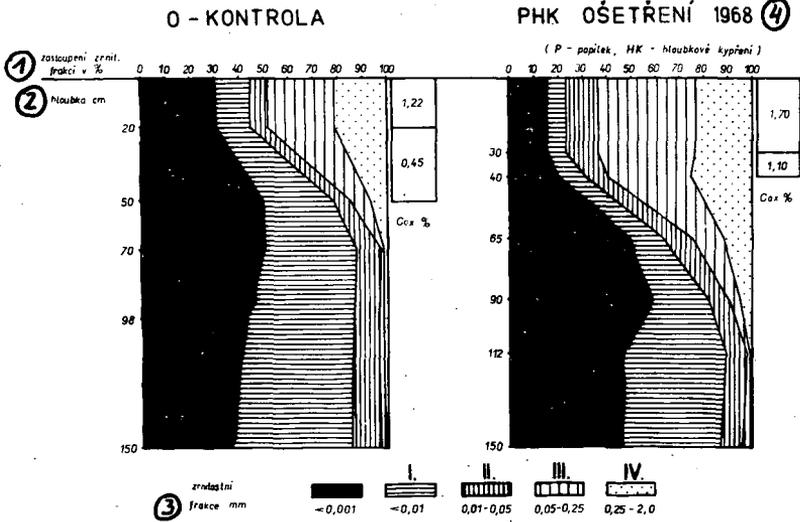
A_p - mit Asche behandelt und tiefgepflügt

(L+A)_p - tiefgepflügt, tiefgelockert und
mit Asche behandelt

Zur Ermittlung der Qualitätsbewertung
wurde der Klassifikator UGS (Institut f.
Genetik und Edelmehlzucht) benutzt;
Punkteauswertung nach PRUGAR (IGE)

Texturänderungen im Bodenprofil nach der Behandlung mit Flugasche

KOMÁROV - ZMĚNY V TEXTURE PŮDNÍHO PROFILU ⑤



0 - Kontrolle - alljährlich tiegepflügt

PHK - behandelt mit Flugasche (800 t/ha) im Jahre 1968, alljährlich tiegepflügt und tiefgelockert

(1) Anteil der Kornfraktionen in %

(2) Tiefe in cm

(3) Kornfraktion in mm

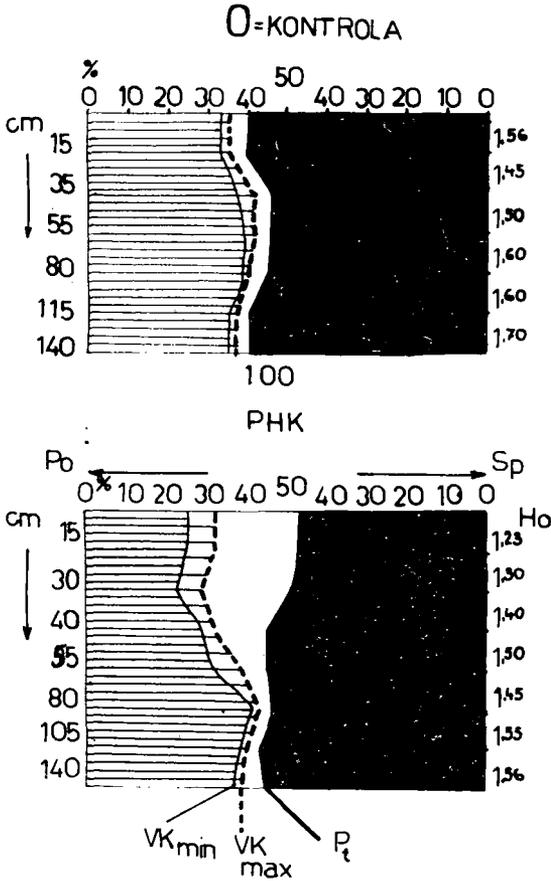
(4) PHK-Behandlung 1968

(p = Flugasche

HK = Tiefpflügen und -lockern)

(5) Komarov - Veränderungen in der Textur des Bodenprofils

Entwicklung von biophysikalischen Eigenschaften
nach der Behandlung mit der Flugasche



- O - Kontrolle - alljährlich tiefgepflügt;
 PHK - behandelt mit der Flugasche (800 t/ha) im Jahre 1968,
 alljährlich tiefgepflügt und tiefgelockert;
 $P_0 = P_t$ - Porenraum; S_p - Raum von fester Bodensubstanz;
 VK - - minimale Wasserkapazität; VK_{max} - maximale Wasserkapazität;
 min.
 - minimale Luftkapazität ; H_0 - Volumengewicht (reduz.)

Bodenkundliche Profiluntersuchungen, die nach 3 Jahren Versuchsdauer durchgeführt worden sind, haben grundsätzliche Änderungen im Aufbau des LA_p -Profils, besonders in der Tiefe bis 50 - 60 cm erbracht, die evident der kombinierten Behandlung (=Tiefpflügen mit Applikation von Flugasche und Tieflockerung) zuzuschreiben sind.

In der Kornverteilung ist eine Verlagerung des Schwergewichtes von den Tonpartikeln zu den 0,25 - 0,05 mm-Partikeln feststellbar, entsprechend der granulometrischen Zusammensetzung der eingemischten Flugasche. Das bedeutet eine sehr erhebliche Verdünnung der Tonanteile, so dass diese Schicht des ehemals schweren Tonbodens nunmehr den Charakter von einem Lehmsand-Boden aufweist (Abb. 1). Dementsprechend haben sich auch alle physikalischen Eigenschaften dieser Schicht verändert (Abb. 2): ein erheblicher Zuwachs von groben Poren brachte mit sich ein Ansteigen der Luftkapazität und eine Verminderung von unerwünscht grosser Wasserkapazität, was alles in der Korrelation der oben mitgeteilten Resultate bodenkundlicher Zugkraft und der Ertragmessungen enthalten ist.

Entsprechende Änderungen in der Profilcharakteristik der L_p -Versuchsparzelle und der A_p -Versuchsparzelle sind nur klein und unbedeutend. Bestimmte erzielte Ertragserhöhungen sind hier deswegen zweifellos von kurzfristiger Dauer.

Bemerkung: Verkürzt bearbeitet nach den Ergebnissen enthalten im Forschungsbericht

J. SIMEK - Zproduktivneni maloplodnych pud s tezkym zrnitostnim slozenim u farmy o.p.VV KOMAROV.
(Leistungsfähigkeitssteigerung bei den schwachproduktiven schweren Tonböden auf dem Staatgute in KOMAROV.)

1971 Praha-Ruzyne, Vyzkumne ustavy rostlinne vyroby-
Pudoznalecky ustav; S. 26, Tab. 13, Graf. 6,
Abb. 5, Lit. 38.

Die Torfkomponente in der Bodenbildung auf Sandmischkulturen

von

H. Kuntze

1. Problemstellung

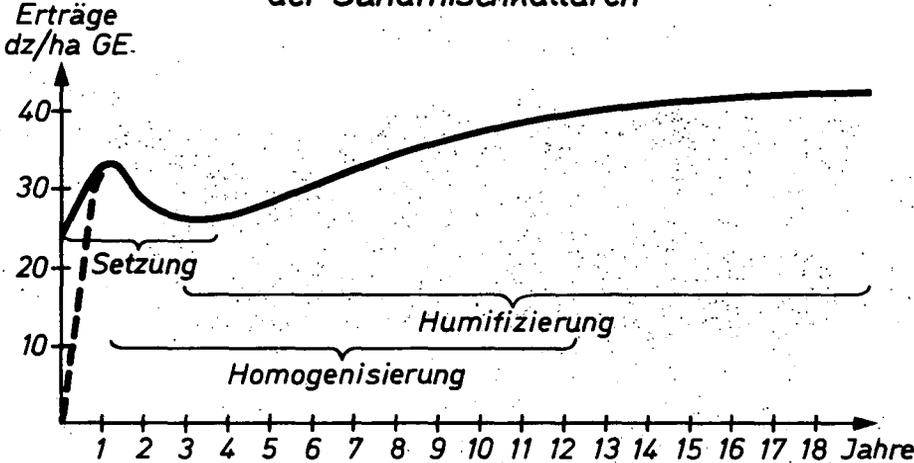
Insbesondere wenig zersetzter Hochmoortorf ist ein altes Bodenverbesserungsmittel, vor allem für humusarme, leichte und schwere Mineralböden. Torfe sind deshalb auch wesentlicher Bestandteil gärtnerischer Erden. Dabei werden zunächst die physikalischen Eigenschaften durch Torfzusätze verbessert.

Von allen Moorkulturverfahren wird der Deutschen Sandmischkultur derzeit besondere Beachtung geschenkt, weil man über sie eine nachhaltige Standortverbesserung, d. h. sicheres Ackerland erzielen kann. Allerdings müssen dazu einige Voraussetzungen erfüllt sein (5). Der Zersetzungsgrad der Torfe ist von geringerem Einfluss als Torfart, Torfmenge und Körnung des Mineralbodens. Über den Einfluss mineralischer und organischer Komponenten auf physikalische Eigenschaften von Sandmischkulturen wurde bereits anlässlich der DBG-Jahrestagung 1969 berichtet (6). Unter Berücksichtigung der durch Bodennutzung anfangs stark geförderten Torfzersetzung sind danach 10 - 12 Gew.% Torf im frischen und 4 - 8 Gew.% organische Substanz im homogenisierten älteren Krumboden für optimale physikalische Eigenschaften von Sandmischkulturen ausreichend. Das entspricht dem Humusspiegel von Plaggeneschböden.

Aus der Ertragsentwicklung auf Sandmischkulturen wird ein Bodenbildungsprozeß abgeleitet. Es sind Phasen der Setzung, Homogenisierung und Humifizierung zu unterscheiden (Abb. 1). Eine Bodenbildung dürfte vor allem durch quantitative und qualitative Veränderungen der Torfkomponenten in der Phase der Humifizierung nachweisbar sein.

H. Kuntze, Nieders. Landesamt für Bodenforschung, Ausseninstitut für Moorforschung und angewandte Bodenkunde, 28 BREMEN,
Friedr.-Meißler-Str. 46/48

Erträge und Bodenentwicklung der Sandmischkulturen



2. Untersuchungsmaterial und -methoden

In der Versuchswirtschaft Domäne Königsmoor stehen für Vergleichsuntersuchungen unterschiedlich alte Sandmischkulturen zur Verfügung. Standort und Moorkulturverfahren sind ausführlich beschrieben (7). Unter der Annahme vergleichbarer Ausgangsbedingungen wurden 1969 Krumenmischproben entnommen von:

1. einer 1938 angelegten Sandmischkultur = 30 Jahre
2. einer 1954 angelegten Sandmischkultur = 14 Jahre
3. einer 1959 angelegten Sandmischkultur = 10 Jahre

Je die eine Hälfte dieser Flächen wurde seither jeweils ohne, die andere mit Stallmist (300 dz/ha) im mindestens dreijährigen Turnus gedüngt. Die Flächen ohne Stallmist trugen im gleichen Turnus 1 - 2jähriges Feldgrasgemenge. Basisdaten wurden aus einem Ödlandrest mit wurzelechtem Hochmoor über Gley podsol (= 0 Jahre) gewonnen. Das Liegende besteht aus fast tonfreiem fein- bis Mittelsand.

Zur Beschreibung der Veränderungen der Torfkomponente innerhalb dieses Untersuchungszeitraumes (0 - 30 Jahre) dienten folgende Methoden:

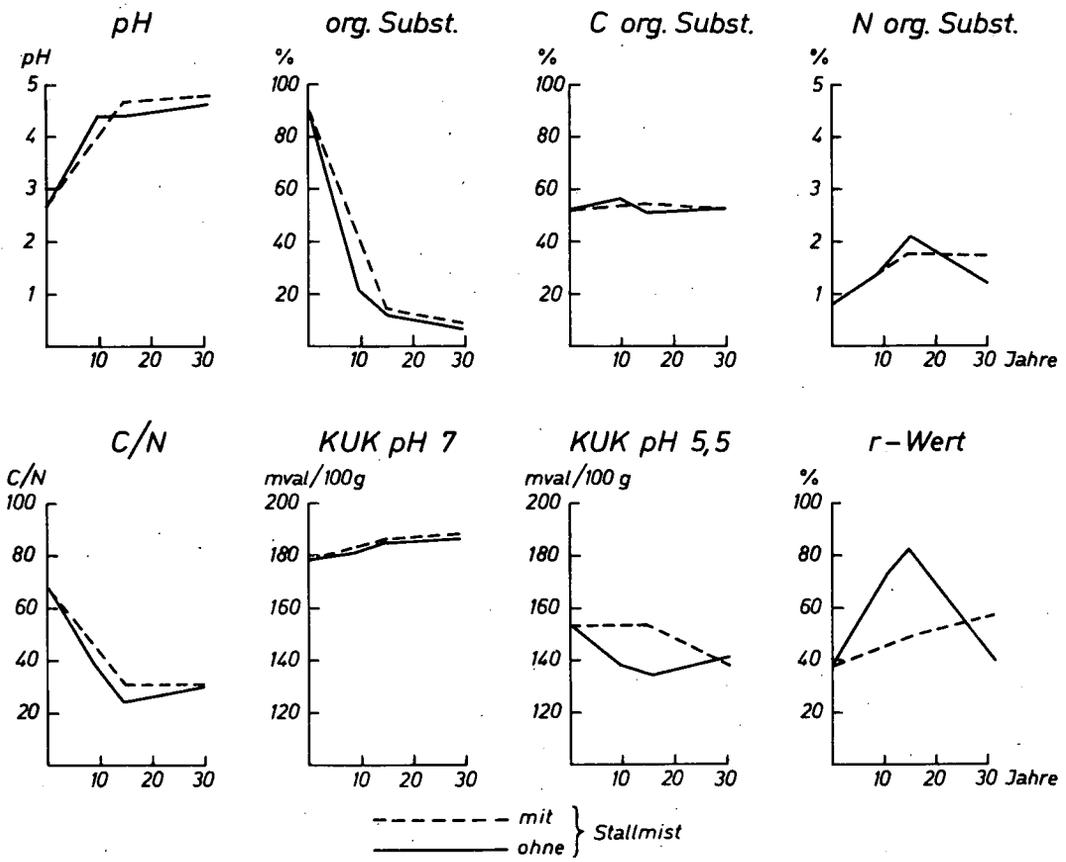
1. pH (nKCl) elektrometrisch
2. Org. Substanz, Gew. % Glühverlust (550° C)
3. C-Gehalt des Glühverlustes, nach Woesthoff
4. N-Gehalt des Glühverlustes, nach Kjeldahl
5. Kationenumtauschkapazität (KUK) bei pH 7 u. pH 5,5 n. Feige (3)
6. r-Wert (Nichtsäurehydrolyisierbares n. Keppeler) gem. DIN 11542(2)
7. Huminsäuren und Fulvosäuren (Gew. %) in Anlehnung an Springer (4).

3. Ergebnisse

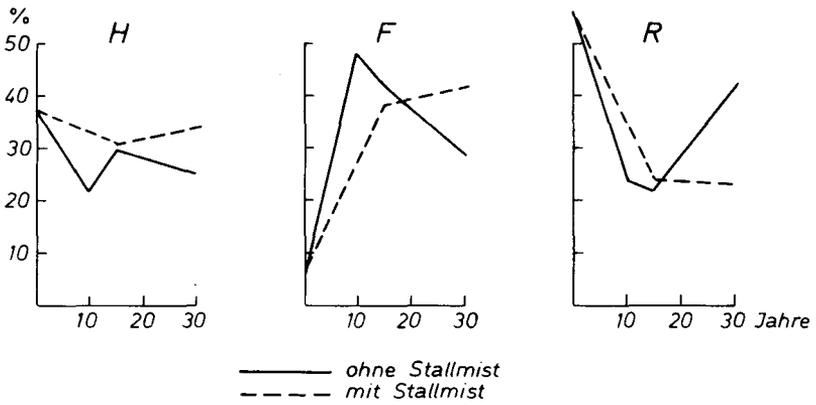
In Abb. 2 und 3 sind die untersuchten Eigenschaften der organischen Komponente im Krumboden von Sandmischkulturen in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen.

Die pH-Werte werden mit Rücksicht auf davon abhängige Geschwindigkeit der Torfzersetzung und die Nährstoffdynamik bewusst niedrig gehalten (1). Angestrebt werden pH 4,7 für Neukulturen, mit dem Alter der Sandmischkultur steigt jedoch offensichtlich der Kalkbedarf (unveröffentl. Ergebnisse).

Humus- und Bodenbildung von Sandmischkulturen



*Huminsäure, Fulvosäure, Rückstand
in % der organischen Substanz
in Abhängigkeit von der Dauer der Ackernutzung*



Je älter die Sandmischkultur, umso niedriger ist der Gehalt organischer Substanz. Der einer logarithmischen Funktion folgende zeitliche Abfall der organischen Substanz wird durch Stallmist etwas verlangsamt. Nach mehr als 15 Jahren nach Anlage der Sandmischkultur sind nur noch geringe Abnahmen an organischer Substanz zu verzeichnen.

Stärker zersetzte Hochmoortorfe haben meist 50 % C. Mit oder ohne Stallmist bleibt der C-Gehalt der organischen Substanz unverändert. Es empfiehlt sich, bei diesen Böden den "Humusgehalt" aus C x 2 zu errechnen.

Der N-Gehalt der organischen Komponente nimmt nur anfangs stark zu. Die Abnahme bei Krumenproben von über 30 Jahre alten Sandmischkulturen könnte auf gelegentlich tiefere Pflügen und damit Erfassen von unbeeinflusstem Unterbodenmaterial zurückgeführt werden, soweit sich hierin nicht auch nur vorübergehende stärkere N-Bindungen an die sich umsetzende organische Substanz andeuten.

Das C/N-Verhältnis stellt sich nach 15 Jahren auf ziemlich konstant 30 ein.

Die Kationenumtauschkapazität von Torfen ist pro Gewichtseinheit organischer Substanz relativ hoch. Die erst bei pH 7 austauschbaren, vornehmlich auf schwach saure (phenolische OH-)Gruppen bezogene Austauschkapazität (variable Ladung) steigt mit dem Zeitraum nach der Kultivierung. Dagegen nehmen die schon bei pH 5,5 am Kationenumtausch beteiligten stärker sauren Gruppen (vornehmlich COOH) ab, ohne Stallmist anfangs stärker als mit Stallmistzufuhr. Diese gegenläufige Entwicklung deutet Polymerisations- und Humifizierungsvorgänge aus der Torfkomponente an. Gewisse Einflüsse des pH-Wertes sind zu beachten.

Nur bei den mit Stallmist versorgten Flächen ist in diesem Sinne auch eine kontinuierliche Zunahme des nichtsäurehydrolyisierbaren Anteils (r-Wert, Vertorfungsgrad) festzustellen. Die Kurve für die Flächen ohne Stallmist zeigt zunächst sehr starke Zunahmen, dann wieder starke Abnahmen. Hier gelten dieselben Einschränkungen der Aussage wie beim N-Gehalt bereits erwähnt (Aufpflügen roher Torfe).

Aus dem Laugenextrakt gefällte Huminsäuren und nicht säurefällbare Fulvosäuren (Abb. 3) lassen keine gesicherten Tendenzen in der Entwicklung erkennen. Mit Stallmist ist der Huminsäureanteil dieser Böden jedoch stets höher als ohne. Es überrascht, dass eher Zunahmen im Fulvosäurenanteil als im Huminsäurenanteil festgestellt wurden. Hierin besteht keine Übereinstimmung zu den aus der Änderung der Kationenumtauschkapazität abgelesenen Abnahmen funktioneller -COOH-Gruppen.

4. Schlussbetrachtungen

Unter der Annahme gleicher Ausgangsbedingungen, die vom Standort vorgegeben sind, konnten auf gesetzten und durch Bodenbearbeitung genügend homogenisierten Sandmischkulturen zunächst starke Abnahmen des Gehaltes an organischer Substanz mit zunehmendem Alter dieser anthropogenen Böden festgestellt werden. Qualitative Veränderungen sind nur im N-Gehalt und durch die Austauschkapazität deutlich zu machen. Konventionelle Bestimmungen der Huminsäure- und Fulvosäuregehalte aus Laugenextrakt sind in Moorböden wegen der heterogenen und unterschiedlich stabilen Torfe problematisch. Gelegentliches Einflügen von unbeeinflusstem Unterbodenmaterial in die Krume bei der Ackernutzung kann zusätzlich die Aussage der Analysen von Bodenproben erschweren. Soweit die jeweils 4 unterschiedlich alten Sandmischkulturen schon für eine Aussage ausreichen, kann an dem zeitlichen Ablauf der Veränderung von Eigenschaften der Torfkomponente in Sandmischkulturen geschlossen werden, dass ungefähr nach 15 Jahren ein Klimaxstadium dieses anthropogenen Bodens erreicht wird. Dann ist auch makroskopisch kein Torf mehr im homogenisierten Krumboden festzustellen. Über die Humifizierung der Torfkomponente kann abschliessend noch nicht geurteilt werden. Das bleibt einem inzwischen begonnenen DFG-Forschungsvorhaben vorbehalten.

LITERATUR

1. BADEN, W.: Die Kalkung und Düngung von Moor und Anmoor. Handbuch der Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde. Springer-Verlag, Wien u. New York 1965, Bd. III, Kapitel XVIII
2. DIN 11 542 Torf für Gartenbau und Landwirtschaft, Blatt 2. Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin u. Köln 1968
3. FEIGE, W.: Bestimmung der Kationenaustauschkapazität und austauschbarer Kationen von carbonatfreien Moorböden. Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkunde, 123., 1971, 105-150
4. FIEDLER, H.J.: Die Untersuchung der Böden. Band 2 . Verlag Th. Steinkopf, Dresden u. Leipzig 1965
5. KUNTZE, H.: Altern Sandmischkulturen? Landw. Blatt Weser-Ems, Nr. 31 u. 32, 1968
6. KUNTZE, H. u. B. DJACOVIC: Einfluss mineralischer und organischer Komponenten auf physikalische Eigenschaften von Sandmischkulturen. Z. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung, 11., 1970, 72 - 87
7. KUNTZE, H.: Moorböden Norddeutschlands Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 13., 1971, 105-150

Bodenbiologische Untersuchungen bei der Anwendung
natürlicher und synthetischer Bodenverbesserungsmittel

von

H.-J. Bause

In Versuchen über die Anwendung von Müllklärschlammkompost im Weinbau, welche in den Jahren 1958 - 1960 angelegt wurden, konnten schon verhältnismäßig kurze Zeit nach Ausbringung der Komposte nicht unerhebliche Veränderungen einiger bodenphysikalischer Kenngrößen ermittelt werden. Vor allem in dichtlagernden ton- und schluffreichen Böden wurden Gesamtporosität, Luftvolumen und Wasserleitfähigkeit signifikant erhöht, wodurch in den Steillagen die Erodierbarkeit eine bedeutende Verminderung erfuhr (1, 2).

Zufuhr organischer Substanz durch nur wenig gerottete Komposte, oft in Kombination mit nachfolgender Einseedung, führte in den Folgejahren zu erhöhter mikrobieller Aktivität und Umsatzleistung. Dies wiederum hatte eine allmähliche Wiederbelebung der vorher arten- und individuenarmen Weinbergsböden mit einer Vielzahl von Bodenkleintieren zur Folge, was durch Einschränkung der früher häufigen Bodenbearbeitungsmaßnahmen noch gefördert wurde.

Bause, der diese Versuche ab 1964 weiter betreute, hat 1966 erstmals über die Wiederbelebung biologisch verarmter Weinbergsböden berichtet (3), und wir haben 1970 auf den von ihm untersuchten Flächen eine weitere Untersuchung vorgenommen (4). Am Beispiel der in der Schicht von 0 - 25 cm gefundenen Regenwürmer soll gezeigt werden, daß mit Müllklärschlammkompost, Stroh und Gründüngung behandelte, bzw. gemulchte Flächen (in Tabelle 1 linke Spalte, Weinberg I) hinsichtlich der gefundenen Arten, Individuenzahlen und der Biomasse gegenüber unbehandelt, d.h. nur mineralisch gedüngt (hier Weinberg II) eine

Tabelle 1

Anzahl und Biomasse (g) der Regenwurmarten *

Bezeichnung	Weinberg I (mit Mulchschicht)		Weinberg II (ohne Mulchschicht)	
	Anzahl	Gewicht	Anzahl	Gewicht
<u>L. terrestris</u>				
Erwachsene	21	129,3	7	53,3
Jungtiere	75	92,6	15	53,4
<u>A. chlorotica</u>				
Erwachsene	3	1,1	0	0
Jungtiere	56	6,2	0	0
<u>L. castaneus</u>				
Erwachsene	29	9,1	0	0
Jungtiere	35	6,1	0	0
=====				
<u>Lumbricus-Röhren /m²</u>				
insgesamt	362 ± 7		170 ± 7	
davon > 5 mm Ø	153 ± 5		54 ± 2	

* Auszug aus 4)

deutliche Überlegenheit aufweisen. Nicht unwesentlich ist weiterhin, daß die in 25 cm Tiefe ermittelte Anzahl von senkrecht in den Unterboden führenden Wurmröhren der tiefgrabenden Art *Lumbricus terrestris* im Weinberg I mehr als doppelt so hoch wie in der unbehandelten Parzelle liegt.

Wurmröhrenzählungen auf einem vegetationsfreien Versuch mit Strohhacksel in Völkenrode ergaben im Mittel von 7 Jahren eine deutliche Überlegenheit der Strohecke gegenüber den Varianten

Stroh eingepflügt und unbehandelt (Tabelle 2). Dieser Befund deckt sich mit der Abundanz der Würmer. Gleiche Tendenzen deuten sich beispielsweise auch bei der Aggregatstabilität, Wasserleitfähigkeit und anderen Parametern in der Krume von 0 - 20 cm an.

Als herausragende Merkmale der mit Müllklärschlammkompost, Grünmasse oder Strohhäcksel bedeckten bzw. gemulchten Flächen erscheinen eine Aktivitätserhöhung bei Bodenmikroben und Bodenkleintieren, verbunden mit Gefügauflockerung und -stabilisierung der darunter liegenden Krumenschicht, sowie als Zusatzleistung tiefgrabender Regenwürmer die zunehmende Verbesserung der Unterbodenporung (5).

Während die bisher genannten Substrate sämtlich mikrobiell abbaubare und durch Bodenkleintiere verwertbare organische Substanz enthalten, mithin bei oberflächiger Anwendung eine Isolierschicht gegen die Atmosphärien bilden und Mikroben und Kleintieren zugleich Nahrung bieten, fällt das letztgenannte Merkmal bei Applikation synthetischer Bodenverbesserungsmittel zumeist fort. Es stellt sich deshalb die Frage, wie reagieren Mikroflora- und Kleintierbesatz auf die Anwendung sogenannter Bodenfestiger, die als Emulsion auf den Boden gebracht werden und innerhalb verhältnismäßig kurzer Zeit eine mehr oder weniger stark verfestigte Oberflächenschicht ausbilden.

Tabelle 2

Regenwurmröhren /m² auf vegetationsloser Fläche (6)

	I		II		III	
	Stroh eingepflügt > 5mm Ø	< 5mm Ø	ohne Stroh > 5mm Ø	< 5mm Ø	Strohdecke > 5mm Ø	< 5mm Ø
1965	62	37	65	39	69	38
1966	87	30	67	35	80	39
1967	72	41	59	52	92	50
1968	149	278	95	166	160	298
1969	32	46	43	52	84	104
1971	45	135	29	50	50	72
\bar{x}	74	95	60	66	89	100

Es wurde zunächst der Bodenfestiger 801 der Chemischen Werke Hüls näher untersucht, dessen Hauptanwendungsgebiete bisher in der Befestigung von Eisenbahn-, Straßen- und Uferböschungen sowie von Abraumhalden, Fließsandflächen u. ä. lagen. Als Versuchsboden wurde ein ca. 30 Jahre lang mit einer 3m hohen Kiesschicht überschüttet gewesener Krumenboden des Völkenroder Versuchsfeldes mit einer Keimzahl von 2,4 Millionen/g (bez. auf TS.), bei völlig fehlendem Kleintierbesatz, für die Untersuchung ausgewählt. Zusätzliche Minereraldüngung wurde nicht verabfolgt. In Kleinparzellen wurden Anwendungsmengen von hier 40, 80 und 160 g Emulsion/m² und organische Zusatzstoffe variiert, außerdem zwei Standorte und Flächen mit und ohne Einsaat geprüft.

Ermittlungen der Gesamtkeimzahl auf den Flächen ohne Einsaat im Zeitraum von Juni bis Oktober zeigten für die obere Schicht von 0 - 10 cm unterhalb der verfestigten Oberfläche eine Erhöhung bis auf maximal 7 Millionen /g TS nur bei den höheren Anwendungsmengen; im Bereich von 10 - 20 cm wurden zumeist unter dem Ausgangswert liegenden Keimzahlen gefunden. Bei zusätzlicher Grassaat war zu allen Untersuchungsterminen bei allen Varianten ein annähernd gleichsinniger Verlauf der Keimzahlen festzustellen, wobei in der oberen Schicht Schwankungen von 2 - 5 Millionen/g TS und in 10 - 20 cm solche von 1 - 4 Millionen/g TS auftraten.

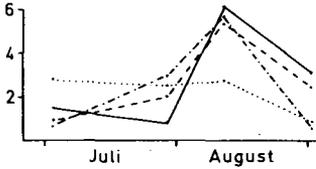
Der Vergleich des Einflusses der verwendeten Zusätze auf die Gesamtkeimzahlen ohne bzw. mit Einsaat läßt auf eine gewisse Hemmung durch Strohzufuhr schließen, während Torf und Müllkompost kaum von dem Standard der Fläche ohne Zusatzstoffe abweichen (Abb. 1).

Eine Ermittlung des Kleintierbesatzes erfolgte im Herbst des ersten Anwendungsjahres. Bei vielen Tiergruppen, wie Regenwürmern, Enchytraeiden, Asseln, Ameisen, Tausendfüßlern, Käfern und Käferlarven war eine meist nur sporadische und unspezifische Einwanderung in den Prüferparzellen festzustellen. Lediglich Collembolen (Springschwänze) und Milben zeigten im ersten Jahr mit entsprechend hohen Individuenzahlen deutliche Tendenzen auf. Erwartungsgemäß war

Keimzahl/g x 10⁶

- 80g/m² ohne Zusatz
- - - 80g/m² + Torf
- ⋯ 80g/m² + Stroh
- · - 80g/m² + Müllkomp

Zusätze
0-10cm (ohne Einsaat)



0-10cm (mit Einsaat)

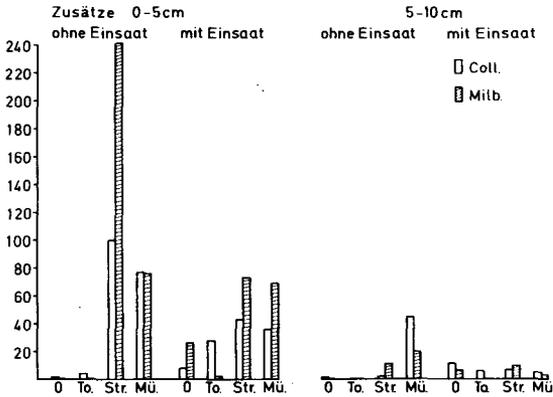
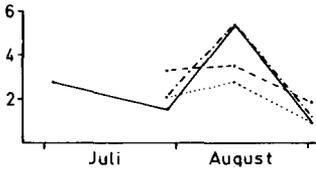


Abb. 1

Einfluß organischer Zusatzstoffe zu normaler 801-Gabe auf die Gesamtkeimzahlen/g Boden (Sommermonate des ersten Anwendungsjahres)

Abb. 2 Einfluß organischer Zusatzstoffe zu normaler 801-Gabe auf Besatzzahlen von Collembolen und Milben (Herbst des ersten Anwendungsjahres; Individuenzahlen / 500 cm³ Boden)

auf dem von Acker- und Grünlandflächen umgebenen Standort eine höhere Einwanderungs- und Vermehrungsquote bei beiden Tiergruppen festzustellen als auf dem Standort in der Nähe eines Hochwaldes. Außerdem zeigten die Flächen mit Graseinsatz gegenüber den vegetationsfreien meist höhere Individuenzahlen.

Bei den untersuchten Zusatzstoffen, auf der Basis von 80 g/m^2 Emulsion (Abb. 2), scheinen Stroh und Müllkompost den Besatz mit Collembolen und Milben unter dem Festiger förderlich zu sein, während Wurf sich nur unwesentlich von der Fläche ohne organischen Zusatz unterscheidet.

Signifikante Unterschiede im Gesamtporenvolumen, Luftvolumen oder in der Aggregatstabilität unter der Bodenfestigerschicht konnten, auch in Abhängigkeit von differenzierten Aufwandmengen im ersten Jahr nicht ermittelt werden. Mikroaufnahmen der Bodenfestigerschicht selbst zeigen, daß zwischen den Partikeln Hohlräume in größerer Zahl und unterschiedlicher Abmessung erhalten bleiben und die Oberflächenverfestigung mit dem Präparat Hüls 801 durch meniskenartige Brückenbildung erfolgt.

Es kann damit gerechnet werden, daß dieser Bodenfestiger in Zukunft beispielsweise auch auf erosionsgefährdeten Weinberghängen oder auf winderosionsgefährdeten Sandböden unseres Gebietes zur Anwendung gelangen wird. Aus diesem Grunde schien es interessant, die mögliche mikrobielle Abbaureate dieses Materials zu untersuchen, weil die verfestigte Oberschicht irgendwann in den Folgejahren, mehr oder weniger zerkleinert, dem Boden wieder einverleibt wird. Wir haben markierten Festiger 801 (nach Auskunft der Hersteller: 1,4 cis ^{14}C -Polybutadien) in Substrate unterschiedlicher Mikroflora eingemischt und in periodisch belüftete Brutgefäße gegeben. Beim Ansetzen der Versuche wurde die höchste Keimzahl in frischem Müllkompost mit 3,5 Milliarden, die geringste bei dem eingangs beschriebenen, lange abgedeckt gewesenen Krumboden mit 2,4 Millionen/g ermittelt.

Die Abbaureate, resp. $^{14}\text{CO}_2$ -Freisetzung in % der applizierten Gesamtaktivität von ca. $0,8/\mu\text{C}$ / Brutgefäß zeigt nach einjähriger Versuchsdauer folgendes Bild: Die verwendeten Böden wiesen höhere

¹⁴CO₂-Freisetzungsraten auf als Stallmist und Müllkomposte. Dabei waren anlehmgige Sande einem nährstoff- und mikrobenreicheren Tonboden überlegen und haben im Laufe eines Jahres zwischen 7-8 % der vorgegebenen Gesamtaktivität in ¹⁴CO₂ transformiert.

LITERATUR

1. BANSE, H.-J.: Beeinflussung der physikalischen Bodeneigenschaften durch Kompostgaben. - Informationsblatt der IAM, Nr. 13, 1961
2. BOSSE, I.: Ein Versuch zur Bekämpfung der Bodenerosion in Hanglagen des Weinbaues durch Müllkompost. - Weinberg und Keller, 15, 385-397, 1968
3. BOSSE, I.: Wiederbelebung biologisch verarmter Weinbergsböden, dargestellt am Beispiel des Regenwurmbesatzes. - Progress in Soil Biology, Eds. O. Graff u. J. E. Satchell, Vieweg-Verlag Braunschweig, 299-309, 1967
4. BANSE, H.-J., BUCHMANN, I. und GRAFF, O.: Biologische und physikalische Untersuchungen an Weinbergsböden des Kreuznacher Kronenbergs. - Landw. Forsch. - im Druck -
5. GRAFF, O.: Der Einfluß verschiedener Mulchmaterialien auf den Nährelementgehalt von Regenwurmröhren im Unterboden. - Pedobiologia, Bd. 10, 305-319, 1970
6. GRAFF, O.: Mündl. Mitteilung

Versuche mit Torf- und Hygromull bei der
Begrünung steriler Sandböden

von

R. Eggelsmann

Einleitung

Auf einer Sandauftragsfläche bestanden erhebliche Schwierigkeiten mit einer Graseinsaat üblicher Art. Bei einer Stärke der Sanddecke von 40 - 60 cm auf Hochmoor reichte die Wasserkapazität und Kapillarität des Sandes für die Anlage und Erhaltung einer Grasnarbe, trotz genügender Feuchtigkeit im Torf, nicht aus.

Da ein Vermischen des Torfes mit dem Sand durch Tiefpflügen aus besonderen Gründen nicht möglich war, wurde im Rahmen eines Begrünungsversuches*) als Bodenverbesserungsmittel Torfmull und Hygromull geprüft. Über die Ergebnisse dieses Feldversuches, der von Frühjahr 1969 bis Herbst 1971 durchgeführt wurde, wird nachstehend berichtet.

Boden

Die Sanddecke besteht nach unserer mechanischen Bodenanalyse zu 93 % aus Grob- und Mittelsand, 5 % Feinsand und Grobschluff und weniger als 2 % Abschlammberes. Der Gehalt an org. Substanz betrug bei Versuchsbeginn etwa 0,4 %. Der pH-Wert (KCl) des Sandes schwankte zwischen 4,5 und 4,8.

*) Für Unterstützung bei der Versuchsdurchführung sagen wir dem Institut für Raumordnung in Bad Godesberg aufrichtigen Dank.

Versuchsanlage

Zur Bodenverbesserung wurden in Vergleich gesetzt:

ohne Behandlung

Hygromull = $1 \text{ m}^3 / 100 \text{ m}^2$

Torfmulld = $0,5 \text{ m}^3 / 100 \text{ m}^2$

Die verwendete Torfmenge (= 3 Ballen) von rd. 35 kg/100 m² entspricht auf 0 - 20 cm Tiefe eingebracht einem Gehalt an org. Substanz von etwa 0,17 Gew.-% (rechnerisch).

Alle Parzellen wurden zur Behandlung 18 cm tief gefräst.

Quer zu den Bodenverbesserungsmaßnahmen wurden sodann sechs Verfahren der Begrünung angewendet. Sie haben kurzzeitig zwar den Grasaufwuchs verschiedenartig gestaltet, aber bereits im Verlaufe des zweiten Versuchsjahres waren diese Unterschiede weitgehend ausgeglichen. Daher bleiben die verschiedenen Begrünungsverfahren hier außer Betracht. Alle nachstehend mitgeteilten Zahlenangaben sind jeweils Mittelwerte aus 6 Einzelwerten.

Bodenverbesserungsmittel

Die Materialeigenschaften beider Bodenverbesserungsmittel sind in Tabelle 1 zahlenmäßig zusammengefaßt.

Der verwendete Torfmull (Düngetorf) war luftgetrockneter, gemahlener Weißtorf, er bestand aus Sphagnum-Acutifolium-Torf, H 3-4. Seine Kennwerte wurden bei BADEN (1965) entnommen und teilweise ergänzt. Torfmull dient seit langem als Bodenverbesserungsmittel steriler Sandböden in der Gartengestaltung (GORDON, 1951; REEKER, 1954).

Hygromull ist bekanntlich ein vollständig organisches Produkt, es ist ein offenporiger Schaum aus Harnstoff - Formaldehydharz. Seine Eigenschaften und Anwendung als Bodenverbesserungsmittel wurden durch WILL (1968), MAIER (1970) und PRÜN (1970) ausführlich beschrieben.

Materialeigenschaften von Hygromull u. Torfmull

Begriff	Dimension	Hygromull	TorfmuII
Material	—	Harnstoff- Formaldehyd- Harz	Sphagnum- acutifolia- Torf, H 3-4
Wassergehalt	Gew.-%	5	35
Spez. Gewicht	g/cm ³	0,011 – 0,013	0,15 – 0,16
Raumgewicht (tr.)	kg/m ³	15 – 30	150 – 250
Speichervermögen für Wasser	Gew.-%	1100	1200 – 2000
	Vol.-%	50	70 – 90
pH (wäss. Lösung)	—	3,0	3,6
Mineralstoff-Gehalt	Gew.-%	<1	1-2
N-Gehalt	Gew.-%	30,5	<1
C : N - Verhältnis	—	1:1	~50:1

Von den Unterschieden in Tabelle 1 sind hervorzuheben: N-Gehalt ($H > T$), pH-Wert ($T > H$), Speichervermögen für Wasser ($T \geq H$), Raumgewicht und spez. Gewicht ($T > H$) und Wassergehalt ($T > H$).

Einfluß auf den Graswuchs

Die Begrünung der Sandauftragsfläche sollte vorwiegend die Wasser- und Winderosion verhindern. Eine landwirtschaftliche Nutzung stand außer Frage. Daher wurden vorwiegend ausläufertreibende Untergräser und Weißklee angesät.

Im zweiten Versuchsjahr erfolgte ein Reinigungsschnitt und später eine Schafnutzung.

Der Aufwuchs wurde durch mehrmalige Schätzung der Deckungs-% im Verlauf der Vegetationsperioden bonitiert.*)

Die Mittelwerte der drei Versuchsjahre 1969/71 sind als Relativwerte in Tabelle 2 in Vergleich gesetzt.

Tabelle 2 Einfluß der Bodenverbesserungsmittel auf die relativen Deckungs-% einer Grasnarbe bei Grobsand

Bodenverbesserung	rel. Deckungs-%		
	1969	1970	1971
ohne	100	100	100
Torfmulld	135	104	96
Hygromulld	153	120	102

Man erkennt, daß bereits im dritten Versuchsjahr die Wirksamkeit der Bodenverbesserungsmittel auf die Dichte der Grasnarbe abgeklungen ist.

*) Die pflanzensoziologischen Aufnahmen wurden durch Dr. Schwaar, Botaniker unseres Institutes, fachlich betreut.

Der Einfluß des Hygromulls als langsamen Stickstofflieferanten war auch im Sommer 1971 nicht zu übersehen, die Gräser hatten hier eine deutlich dunklere Grünfärbung als die der Nachbarparzellen.

Von den 5 angesäten Grasarten und dem Weißklee hatten sich bis zum dritten Versuchsjahr nur zwei Gräser durchgesetzt. Das Rote Straußgras (*Agrostis tenuis*) dominierte auf allen Parzellen, gleichzeitig war der Rotschwengel noch reichlich vertreten. Das nicht angesäte Wollige Honiggras (*Holcus lanatus*) war als Lückenbüßer eingewandert, am stärksten auf betorftten Parzellen.

Organische Substanz in der Krume

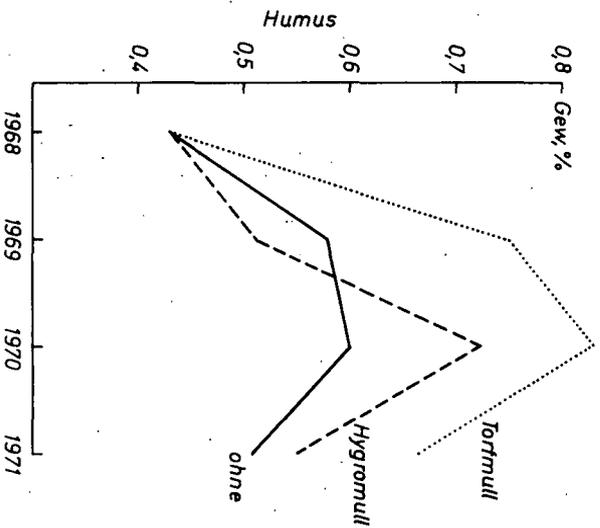
Die Gehalte an org. Substanz in der Krume (0 - 20 cm) haben von anfangs 0,4 Gew.-% bis zum zweiten Versuchsjahr auf 0,6 - 0,8 Gew.-% zugenommen, um dann im dritten Versuchsjahr auf 0,7 - 0,5 Gew.-% abzufallen, z.T. wohl in Auswirkung der extrem trockenen und warmen Witterung des Jahres 1971 (Abb. 1). Von Schwankungen abgesehen ergab sich nach der Bodenverbesserung folgende Reihenfolge der Gehalte an org. Substanz: Torfmull > Hygromull > ohne Bodenverbesserung. Die verhältnismäßig geringen Differenzen zwischen den Verfahren sind allerdings nicht signifikant. Die relative Zunahme betrug - bezogen auf die Ausgangswerte - etwa 75 bis 50 %.

Nutzbare Wasserkapazität der Krume

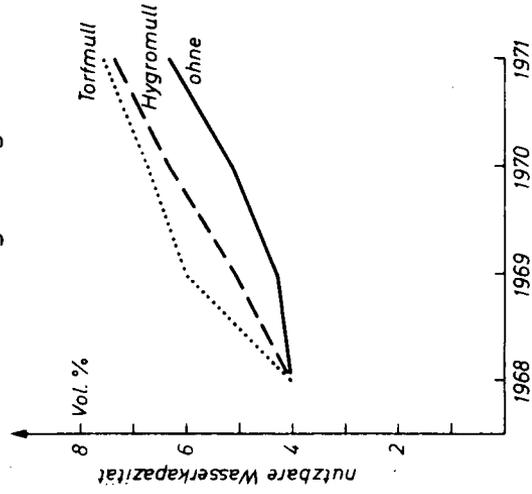
Unter nutzbarer Wasserkapazität (nWK) wird hier der im Boden gespeicherte Wasseranteil verstanden zwischen Feldkapazität (FK = pF 2,0) und permanenten Welkepunkt (PWP = pF 4,2).

Die experimentellen Einzelwerte für FK und PWP deuten eine Zunahme an in der Reihenfolge Torfmull > Hygromull > ohne Bodenverbesserung. Auch die aus beiden abgeleiteten Werte von nWK lassen im Mittel einen Anstieg erkennen, ebenfalls in der Reihenfolge Torfmull > Hygromull > ohne Bodenverbesserung (Abb. 2). Bezogen auf die Ausgangswerte (nWK = 4 Vol.%) betrug die relative Zunahme etwa 80 % (beim Torf- und Hygromull) bis mehr als 50 % (bei den Neutralparzellen). Es muß auch hier darauf hingewiesen werden, daß die geringen absoluten Differenzen statistisch nicht gesichert sind.

Org. Substanz in Grobsand (0-20 cm) nach Begrünung



Nutzbare Wasserkapazität
von Grobsand (0-20 cm)
nach Begrünung



Schlußbemerkung

Die beiden verwendeten Bodenverbesserungsmittel haben in den ersten Vegetationsperioden den Aufwuchs der neuen Grasnarbe wesentlich gefördert. Im dritten Jahr war der Einfluß weitgehend abgeklungen.

Aus bodenphysikalischer Sicht müssen Torfmull und Hygromull als gleichwertig angesehen werden, denn die festgestellten Differenzen sind methodisch nicht gesichert. Die bodenphysikalische Wirksamkeit dürfte länger als drei Jahre anhalten.

Im Hinblick auf den Pflanzenwuchs stellt der langsam wirkende Stickstoff des Hygromulls einen Vorteil dar gegenüber dem Torfmull. Bei einer nicht zu nutzenden Grasnarbe, die lediglich den Boden gegen Erosion schützen soll, ist dieser Vorteil nicht allzu groß. Er kann sich unter bestimmten Verhältnissen auch negativ auswirken, z. B. wenn dadurch die Pflege und Unterhaltung erschwert wird. Die Wirksamkeit des Hygromull-Stickstoffes war hier im sauren Sandboden relativ hoch, was frühere Feststellungen bestätigt (BUCHNER u. a. 1969).

Bei einem Vergleich der Materialkosten (Basis 1971) ist - bei der gleichen Menge wie im Versuch - in Norddeutschland Torfmull billiger als Hygromull.

Zusammenfassung

Auf einer sterilen Sandauftragsfläche wurde 1969/71 in einem Versuch Hygromull ($1 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$) zu Torfmull ($0,5 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$) zu unbehandelt in Vergleich gesetzt. Nach Einarbeitung auf 18 cm Tiefe wurde einheitlich Gras eingesät, um den Sand gegen Erosion zu schützen.

Dreijährige Ertragsbeobachtungen und physikalische Bodenanalysen zeigen eine abklingende Wirksamkeit bis zum 3. Jahr. Die Unterschiede zwischen Torf- und Hygromull waren methodisch nicht gesichert.

LITERATUR

1. BADEN, W.: Die Kalkung und Düngung von Moor und Anmoor. In SCHARRE-LINSER: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung. Band III. S. 1445-1516. Springer-Verlag, Wien-New York, 1965.
2. BUCHNER, A., J. JUNG, P. WEISSER und H. WILL: Anwendung und Wirkung des Bodenverbesserungsmittels Hygromull. Landw. Forschung. 22. S. 94-99, 1969.
3. DIN 11540 - Torfpackungen für Gartenbau und Landwirtschaft. Beuth-Vertrieb Berlin-Köln, 1960. (Entwurf)
4. DIN 11542 - Weißtorf (Techn. Lieferbedingungen für Gartenbau und Landwirtschaft). Beuth-Vertrieb Berlin-Köln, 1964 (Entwurf).
5. GORDON, M.: Die Wasserkapazität getorfte Sandböden. Torfnachrichten. 2. S. 2/3, 1951.
6. GORDON, M., K.-L. HENSELER und H. WICHMANN: Untersuchungen über die Wirkung von Torf auf den Wasserhaushalt des Bodens. Torfnachrichten. 16. S. 17-19, 1965.
7. KUNTZE, H.: Physikalische Untersuchungsmethoden für Moor- und Anmoorböden. Landw. Forschung. 18. S. 178-191, 1965
8. MAIER, S.: Über das physikalische Verhalten von Hygromull. Landw. Forschung. 25. I. Sonderheft, S. 14-20, 1970.
9. PRÜN, H.: Bodenverbesserung mit Hygromull. XI. Seminar Bund Dt. Garten- und Landschaftsarchitekten, Okt. 1970.
10. REEKER, R.: Die Verbesserung steriler Sandböden in der Gartengestaltung. Torfnachrichten. 5. S. 21/22, 1954.
11. WILL, H.: Die Wirkung von Hygromull als Bodenverbesserungsmittel. BASF-Mitt. (Düngung) Dez. 1968.

Die anschließende Diskussion über die Diskrepanz zwischen der relativ guten Wirksamkeit von Torf- und Hygromull auf den Pflanzenwuchs und den verhältnismäßig geringen bodenphysikalischen Einflüssen läßt sich wie folgt zusammenfassen:

Die Grasnarbe aus Untergräsern war insgesamt nur schütter, sie sollte lediglich die Sanddecke gegen Erosion schützen. Auch die Durchwurzelung war nur gering. Eine solche Pflanzendecke ist hinsichtlich der Bodenfeuchte genügsam und hat eine verminderte Evapotranspiration.

Die durch Torf- bzw. Hygromull relativ gering erhöhte nutzbare Wasserkapazität des Sandes bedeutet für diese anspruchslose Vegetation eine im Verhältnis zum Wasserbedarf gute Wirksamkeit, so daß kurze Trockenperioden besser überstanden werden.

Der Einfluß von Schaumstoffen (R) Hygromull und
(R) Styromull auf Ertrag und physikalische Boden-
eigenschaften im Modellversuch

von
H. Rasp

Als HYGROMULL (1) wird nach BUCHNER u. Mitarbeitern (5) ein Harnstoffformaldehyd-Harzschäum bezeichnet, der zur Bodenverbesserung herangezogen wird. Dieser Harzschäum hat vorwiegend offene Zellen, er kann deshalb Wasser und Nährstofflösungen aufnehmen und wieder abgeben.

STYROMULL (2) ist ein geschäumtes Polystyrol in Flockenform. Dieses Material besitzt geschlossene Zellen, es vermag daher kein Wasser aufzunehmen.

Über Ertragswerte aus Versuchen mit Schaumstoffharzen wurde bereits von BAUMANN (3), BUCHNER u. Mitarbeiter (5), PRÜN (11, 12, 13), WILL (14) berichtet. Untersuchungen über physikalische Eigenschaften dieser Produkte liegen von MAIER (10) vor.

Da über bodenphysikalische Auswirkungen des Produktes bisher nur Einzelwerte vorliegen, WILL (14), wurden an der LUFA SPEYER hierüber einige Untersuchungen angestellt.

Wir haben

Kompost	(5,1 % Tonanteil,	1 % CaCO_3)	16 % Humus)
Sand	(4,5 % Tonanteil,	4 % CaCO_3)	
Lehm	(16,8 % Tonanteil,	13 % CaCO_3)	

ohne und mit Zusatz von 25 bzw. 50 Vol.-% HYGROMULL und in einer weiteren Variante mit Zugabe von 35 Vol.-% HYGROMULL plus 15 Vol.-% STYROMULL auf verschiedene Ertragsmerkmale und bodenphysikalische Kennwerte untersucht.

Landw. Untersuchungs- und Forschungsanstalt, 6720 SPEYER am Rhein,
Obere Langgasse 40

Die Düngung des Versuches in Betonkästen mit $1/3$ qm Oberfläche und 25 cm Tiefe war einheitlich.

Aus versuchstechnischen Gründen wurde Weidelgras als Versuchspflanze gewählt. Die Hälfte der Kästen war bepflanzt, die andere wurde unkrautfrei gehalten, nicht gelockert, aber wie die bepflanzte gedüngt und gegossen. Das Weidelgras wurde 5mal geschnitten, Trockenmasse und Stickstoffgehalt wurden festgestellt.

Die Erträge steigen durch die Beimischung von HYGROMULL. Der höchste Ertrag wird durch eine Beimischung aus HYGROMULL und STYROMULL erzielt.

Bei Kompost führt nur diese Beimischung gegenüber unbehandelt zu einem stat. gesicherten Mehrertrag.

Bei Sand ist die 3. und 4. der unbehandelten Variante stat. sehr gut gesichert überlegen.

Bei Lehm sind alle 3 Schaumstoff-Beimischungen stat. sehr gut gesichert überlegen.

Die Stickstoffentzüge entwickeln sich parallel zu den Erträgen. Sie sind in der 4. Variante bei Kompost und Sand am höchsten.

Nach Abschluß der 8-monatigen Vegetation wurden die bodenphysikalischen Daten ermittelt. FIEDLER (6), HARTGE (7).

Das scheinbare spezifische Gewicht des Bodens verringert sich durch die Beimischung etwa in Abhängigkeit der zugesetzten Schaumstoffmengen.

Das Porenvolumen wurde nach von Nitsch bestimmt. Durch die HYGROMULL-Beimengungen vergrößert sich das Porenvolumen. Durch HYGROMULL und STYROMULL fällt es gegenüber der hohen HYGROMULL-Gabe ab.

Die Luftpermeabilität nach KMOCH (8, 9). Durch die Beimischungen mit Schaumstoffen erhalten wir gegenüber unbehandelt eine größere Durchlässigkeit. Dies trifft vor allem zu für den Kompost und den Lehm, wo die 3. und 4. Variante besser abschneidet als die übrigen. Bei Sand finden wir eine solch klare Beziehung nur im unbepflanzten Teil des Versuches.

Die Wasserkapazität. Verglichen wird die volle Sättigung des Bodens mit der Feldkapazität. Durch die Beimischung erhöht sich gegenüber der unbehandelten Kontrolle die Wasserhaltefähigkeit, besonders deutlich bei Kompost. Die Feldkapazität ist bei der Mischbeimengung HYGROMULL + STYROMULL deutlich geringer als bei 50 % HYGROMULL-Zusatz. Bei Sand liegt die Wasserkapazität der 3. Variante (50 Vol.-% HYGROMULL) am höchsten. Eine deutliche Abstufung der Varianten nach Beimischungsmenge und Beimischungsart zeigt der Lehm Boden, der höchste Wert liegt hier in Variante 4.

Als verfügbares Bodenwasser wurde die Wassermenge zwischen der Feldkapazität, pF 2,54 und dem wealting point des Sonnenblumentestes (BLACK 4) erfasst. Es ergibt sich, daß trotz eines geringfügigen Anstiegs des toten Bodenwassers durch die Beimischung der Schaumstoffe der pflanzenverfügbare Wasservorrat des Bodens zunimmt.

Die pF -Werte. Im hohen pF -Bereich üben die Schaumstoff-Zusätze nur einen geringen Einfluß aus, während im Bereich niedriger Saugspannung eine deutliche Differenzierung der verschiedenen Behandlungen festzustellen ist.

Bei Kompost nimmt die wasserhaltende Kraft von "unbehandelt" über die Varianten 2 und 3 zur Variante 4 (35 % HYGROMULL + 15 % STYROMULL) zu.

Bei Sandboden sind die Verhältnisse im bepflanzen Teil ähnlich dem Kompost, allerdings sinkt hier die Kurve der Variante 4 fast auf die Höhe der unbehandelten Variante im Bereich der hohen Saugspannung ab. Im unbepflanzten Teil der Versuchsglieder Sand verläuft die pF -Kurve der Variante 4 noch unter der der unbehandelten Variante.

Die Verhältnisse auf dem Lehm Boden liegen ähnlich wie bei Kompost.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß die Beimischung von 50 Vol.-% HYGROMULL oder 35 % HYGROMULL + 15 % STYROMULL gegenüber unbehandelt bei den drei untersuchten Substraten überwiegend gesicherte Mehrerträge an Pflanzenmasse bringt, daß die Wasserhaltefähigkeit infolge eines vermehrten Porenvolumens steigt und die Luftdurchlässigkeit zunimmt.

Literaturverzeichnis

1. BASF - Werkstoffblatt 7002. 1.02, Sept. 1967
Hygromull - ein Bodenverbesserungsmittel
2. BASF - Werkstoffblatt 7002. 1.01, Juli 1968
Styromull, ein flockiges Bodenverbesserungsmittel
aus Styropor (R)
3. BAUMANN, H., Plastoponik,
Hüthig-Verlag, Heidelberg 1968
4. BLACK und Mitarbeiter, Methods of Soil Analysis, Part 1.
American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin 1965
S. 282 ff.
5. BUCHNER und Mitarbeiter, Anwendung und Wirkung des Bodenverbes-
serungsmittels Hygromull (R), Landw. Forschung 22,
H. 2, 1969
6. FIEDLER, H. J., Die Untersuchung der Böden, Bd. 1.
Steinkopff-Verlag, Dresden und Leipzig 1964
7. HARTGE, K.H., Die physikalische Untersuchung von Böden,
Enke-Verlag 1971
8. KMOCH, H.G. 1961 : Die Bestimmung der Luftdurchlässigkeit des
Bodens und ihre Bedeutung für einige ackerbauliche
Probleme. Verlag Gebr. Bornträger, Berlin
9. KMOCH, H.G. und H. HANUS, 1965: Vereinfachte Methodik und Aus-
wertung der Permeabilitätsmessung des Bodens für Luft.
Zeitschr. f. Pflanzenern., Düngg. u. Bodenkd., 111,
S. 1 - 10
10. MAIER, S., Über das physikalische Verhalten von Hygromull,
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrar-
biologischer Forschung XVIII., 25/1 Sonderheft.
11. PRÜN, H., Hygromull zu Gemüsekulturen unter Glas, Gemüse,
H. 5, 1970
12. PRÜN, H., Hygromull bei Unterglaskulturen,
Der Erwerbsgärtner 25, 19.6.71, S. 1242/3
13. PRÜN, H., Bodenverbesserung mit Hygromull,
Tagungsblatt des XI. Seminars des Bundes Deutscher
Garten- und Landschaftsarchitekten, S. 96 ff.
CALWEY-Verlag, München 1970
14. WILL, H., Die Wirkung von Hygromull als Bodenverbesserungsmittel,
BASF - Mitteilungen für den Landbau, Dez. 1968

Theoretical and practical approach for determining
the optimal moisture content at the moment of soil
conditioning

by

D. Gabriels and M. De Boedt

Soil conditioning as it is conceived now-a-days, aims at creating a soil structure with inter and intra-aggregate voids and which is at the same time stable. Hence two aspects are involved here: the production of soil structure and the consecutive stabilization.

The term "structure" refers to the spatial arrangements of the primary soil particles and their compounds. The primary soil particles do not exist as individuals in the field, but are more or less aggregated into compounds.

Aggregate formation

Before any stabilization treatment can be carried out, soil aggregates have to be formed by binding the individual soil particles into structural units. The concept of aggregate formation developed here is based on the models of aggregates described by Emerson (1958). The majority of the linkages between mineral soil components takes place by means of organic matter or electro-chemical bonds as stated by Edwards and Bremner (1967). Another important linkage factor which is of primary importance by temporary

Research assistant and Professor respectively. Department of Soil Physics, Soil conditioning and Horticultural soil science. Faculty of Agricultural Sciences, University of Ghent, B - 9000 GENT, Compure dinks 533, GELGIUM

aggregation of the particles is the soil moisture tension (suction). The possible ways of aggregate-formation is described in fig. 1.

In a dry sand, consisting of quartz particles, there is no binding agent for the linkage of the particles (part A of fig. 1). Sandy soils have a loose structure. In a clay soil, the clay plates (lamella) are oriented in a certain way to form clay domains (part B of fig. 1). Clay or organic matter can bind the quartz particles together (part C, D and E of fig. 1). or a water meniscus can be formed between particles (part D and E of fig. 1). Synthetic products can act as binding agents such as polyvinyl alcohol (PVA), polyvinyl acetate (PVAc), organic quaternary ammonium salts, polyacrylamide (PAM), hydrocarbons (bituminous emulsions).

Optimum moisture content for structurization

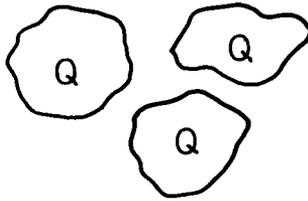
Farmers know for a long time that, when the soil is too dry, the horse or tractor can hardly pull the plow, or when it is too wet the soil is too weak and it is impossible to make a crumbled plow layer. So there must be an optimum moisture content for proper soil structurization.

After wetting the soil, several conditions are possible as shown in fig. 2. In a saturated soil the individual particles are like swimming in the water (part A of fig. 2). In an unsaturated condition it is theoretical possible that every particle (in a loose packing) is surrounded by a waterfilm (Fig. 2 part B a). By mechanical force these individual particles can be brought together and when they touch one another a meniscus is formed between the particles. Also when dry particles, touching each other, are wetted, a meniscus is immediately formed without adding a mechanical force (Fig. 2 part B b).

A meniscus can also be formed when clay particles are present. In the presence of water the clay particles will swell and they can be linked to other particles also by a meniscus. When two particles surrounded by a waterfilm touch one another, a meniscus will be

Fig. 1. Possible ways of aggregate formation.

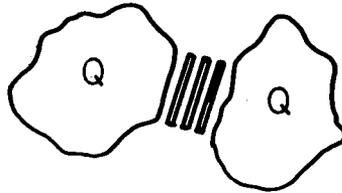
A.
ONLY QUARTZ:
LOOSE STRUCTURE



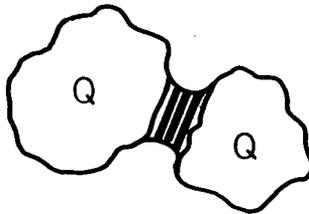
B.
ONLY CLAY:
CLAY DOMAINS



C.
QUARTZ - CLAY
CLAY: BINDING AGENT



D.
QUARTZ - CLAY - WATER
MENISCUS



E.
QUARTZ - CLAY - ORGANIC
MATTER - MENISCUS

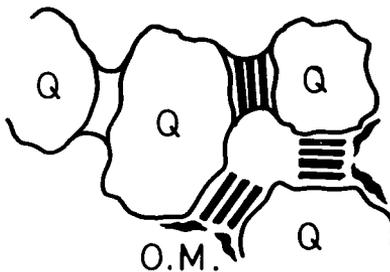
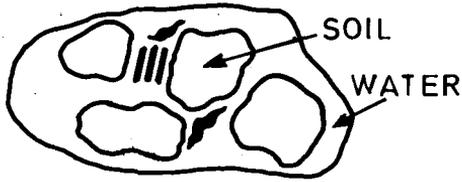


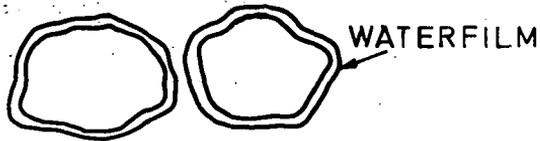
Fig. 2. Different possibilities of moistening the soil.

A. SATURATED CONDITION



B. UNSATURATED CONDITION

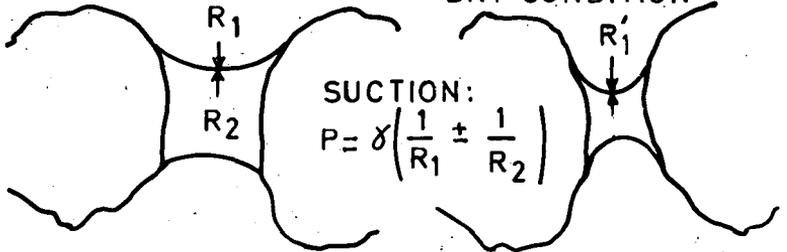
a. LOOSE PARTICLES SURROUNDED BY A WATERFILM



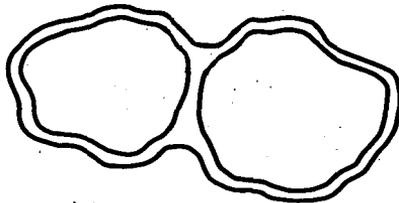
b. SOIL PARTICLES + MENISCUS

WET CONDITION : FLAT MENISCUS.

DRY CONDITION



C. SOIL PARTICLES + WATERFILM + MENISCUS



D. WIRE RING SURROUNDED BY A WATERFILM



formed between them. The force due to the meniscus is a suction, a negative force which pulls on the waterfilm, tending to make it thinner. The difference between atmospheric pressure and the pressure in the soil water is dependent upon the surface tension and the radii of curvature of the meniscus. According to Laplace's law one gets:

$$P = \gamma \left(\frac{1}{r_1} \pm \frac{1}{r_2} \right)$$

in which:

P = the difference between the pressure outside and inside the meniscus

γ = surface tension

$\left(\frac{1}{r_1} \pm \frac{1}{r_2} \right)$ = total curvature at a point on the meniscus
 r_2 is to be taken in such a way that P should be negative hence r_2 must be $< r_1$ and must have a negative sign for the case illustrated in fig. 2 B b.

There exists an optimal moisture content by which the cohesion among the particles is maximum. The reason for the existence of such a moisture content is, that it is the result of two opposite forces: attractive forces such as: the capillary force due to the presence of the meniscus, the Van der Waals forces, the chemical forces, and the repulsive forces due to the presence of the electrical charge of the same sign between the particles.

When the moisture content increases the curvature diminishes, the meniscus will get more flat and the particles can fall apart. When it gets drier, then the influence of the disjoining pressure (see below) is increased and the cohesion among the particles will get lower.

There are two possibilities of unsaturated moistening of the soil:

- 1) only a watermeniscus is formed between two particles and a waterfilm around the particles is virtually not existing.
- 2) a watermeniscus between the particles and a waterfilm exist round the particles.

Case 1 : Intergranular linkage : due to a watermeniscus (fig. 2 B b)

Deryagin (1955) defined the disjoining pressure of a thin parallel layer of liquid separating two solid bodies, as the pressure P with which (in addition to the "normal" hydrostatic pressure in the layer) the liquid layer acts in a state of equilibrium on the adjacent bodies, tending to force them apart.

The hydrostatic pressure P_i in the thin layer is equal to the external pressure P_e , transmitted to it from its adjoining surfaces, less the disjoining pressure $P(h)$ which depends on the thickness h of the layer:

$$P_i = P_e - P(h)$$

Also the pressure P_i in the film decreases with height according to the hydrostatic law

$$P_i = P_0 - \rho g H$$

where P_0 the pressure is at a reference level of the liquid from which the height H is taken; g is the gravitational acceleration; ρ is the density of the liquid; H is the thickness of the water-layer. At equilibrium the disjoining pressure is balanced by the capillary suction of the meniscus.

Case 2 : A watermeniscus is formed between the particles and a waterfilm around the particles (fig. 2 c)

As is known, for the case of a film stretched on a wire ring, there is a suction effect of the wedge-shaped portion of the film in contact with the wire, due to the capillary pressure of the curved meniscus bordering on this region. This capillary suction effect should cause the flat portion of the film to become thinner, which should finally lead to rupture of the film (see cross section, fig. 2 d).

The basic question which arises here is: Can forces arise in the flat portion of the film which balance the capillary suction effect? To obtain a clear answer to this it is necessary to make simultaneous measurements of the equilibrium thickness of the free film and of the capillary pressure (suction force) exerted on it. It may be assumed that at equilibrium this pressure is balanced by the repulsive pressure, P_r of the film.

Deryagin and Titievskaya (1959) obtained curves for the free film, which show the relationship between the repulsive pressure P_r and the film thickness h : isotherms for the repulsive pressure $P_r(h)$.

Suppose that instead of a wire ring with a film stretched on it, the wires are replaced by spherical bodies with a waterfilm around. In the limit this waterfilm can be reduced to a meniscus in between (fig. 2 c). The theory of Deryagin et al explained above can be applied here.

It is not necessary to go further on this matter as not yet all the physical aspects of the disjoining pressure are elucidated. The main point is that there can be an equilibrium between the water in the film and the water under the meniscus. If a drop of water is then added to the film there is a tendency towards a new equilibrium state which results in the movement of water to the region under the meniscus.

Stabilization - migration of bitumen micels

First of all a clear statement has to be made. When speaking about soil conditioning the moisture content has a double function. First of all for the structurization of the individual particles and second to allow maximal migration of the micels of the polymer applied as soil conditioner.

In the foregoing pages the role of the soil water has been discussed to create the proper soil aggregation. Here follows now the discussion of the second aspect.

When the soil is brought at an optimum moisture content for soil structurization, the water under the meniscus, the organic matter and the clay are the natural forces to act as binding agents. But these conditions, especially the binding through the water are still unstable. Water can evaporate, or increase, clay can disperse and/or the organic matter can decompose. Also mechanical action by heavy machines or rainfall can destroy the aggregates especially on unprotected soil.

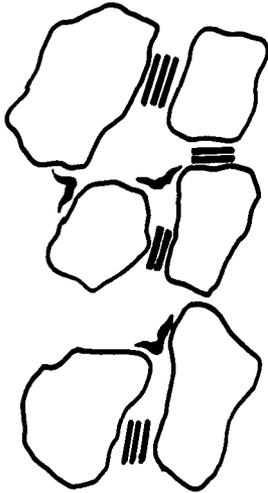
It is logic to look for an artificial product, which can create stable links between the soil particles and hence a stable structure is achieved. Besides, the product should be harmless to plants. Such a treatment can replace the classical manure treatment, for example when only a quick soil stabilization is needed like on a riverbank to allow a subsequent sowing of grass. After the germination the rootgrowth is often impressive so that after a while the organic matter of the roots replaces the degrading artificial products and a natural but quick stabilization of the banks is obtained.

a) Spraying the soil conditioner over a dry soil surface (fig. 3)

When an excessive amount of soil conditioner is used, for example a bitumenous emulsion not optimally diluted, the whole surface of the particles can be coated and only a certain part of the emulsion can penetrate into the deeper layers. As can be seen from fig. 3 only on the places Y a linkage is made, the points P and Z are not effective and at X the second layer of particles is coated but the pore is closed. During a rainfall the first layer is protected against the energy of the raindrops, but the infiltrating water attacks and breaks the aggregates.

Also treating a dry soil with bitumenous emulsion will lead to a failure. When the soil conditioner is incorporated with dry soil, changes are small that the conditioner is fixed just at the points of contact between particles. The products are so sticky that they are fixed immediately at the places of initial contact. Thus the proper application of soil conditioners needs a certain care as explained further.

UNTREATED



TREATED

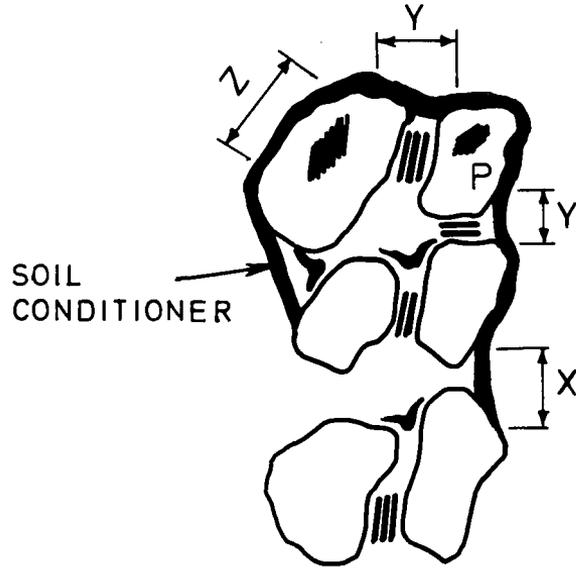


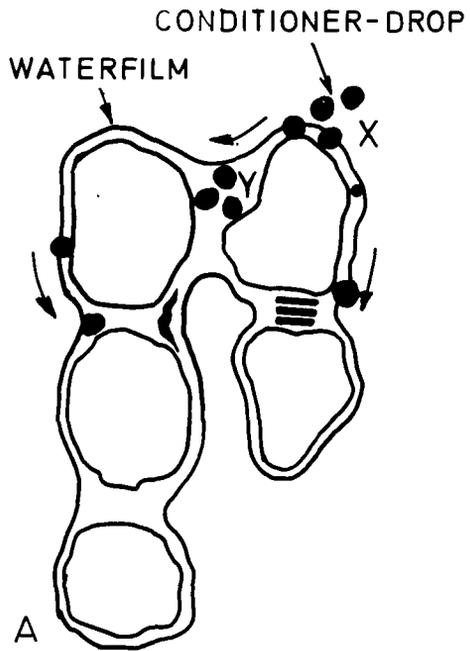
Fig. 3. Surface application of a soil conditioner on a dry soil.

b) Spraying and incorporation of the soil conditioner into a wet soil

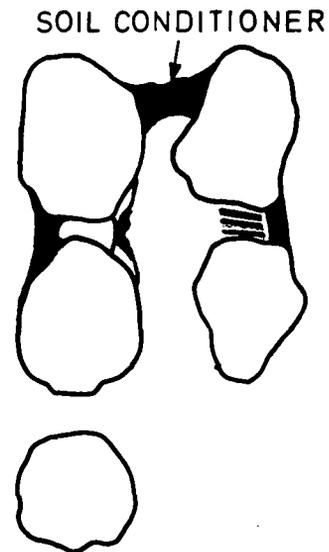
(fig. 4)

If the soil is at a moisture content with a waterfilm around the particles and a meniscus in between, then the concept of migration of the soil conditioner micel can be applied (De Boedt, 1970). As soon as a waterdrop with bitumenous micels joins the waterfilm around the particles (point X of fig. 4) the equilibrium of the moisture distribution between the meniscus water and the waterfilm is broken. The waterfilm becomes thicker, but the meniscus, with the negative pressure, tends to pull on the waterfilm and fluid is moving from X to Y. That is just where it is wanted i.e. a concentration of soil conditioner at the points of contact between the particles. The migration of fluid is based on the theory developped by Deryagin et al (1956) and Deryagin and Melnikova (1956) mentioned before. The concentration of soil conditioner under the meniscus becomes high or when the soil does dry out, the chemical will flocculate and will link the particles together, the soil conditioner acting thus as a binding agent between the particles at the points of contact (foto 1). When particles below the surface, as particle A (fig. 4), are to be linked one must incorporate the conditioner in the soil. The amount of product used is not sufficient to fill the pore space, thus the porosity of the soil is maintained.





THE SPRAYNG OF A
SOIL CONDITIONER



AFTER A DRYING PROCESS

Fig. 4. Application of a soil conditioner on a wet soil.

Laboratory determination of the optimum moisture content for structurization

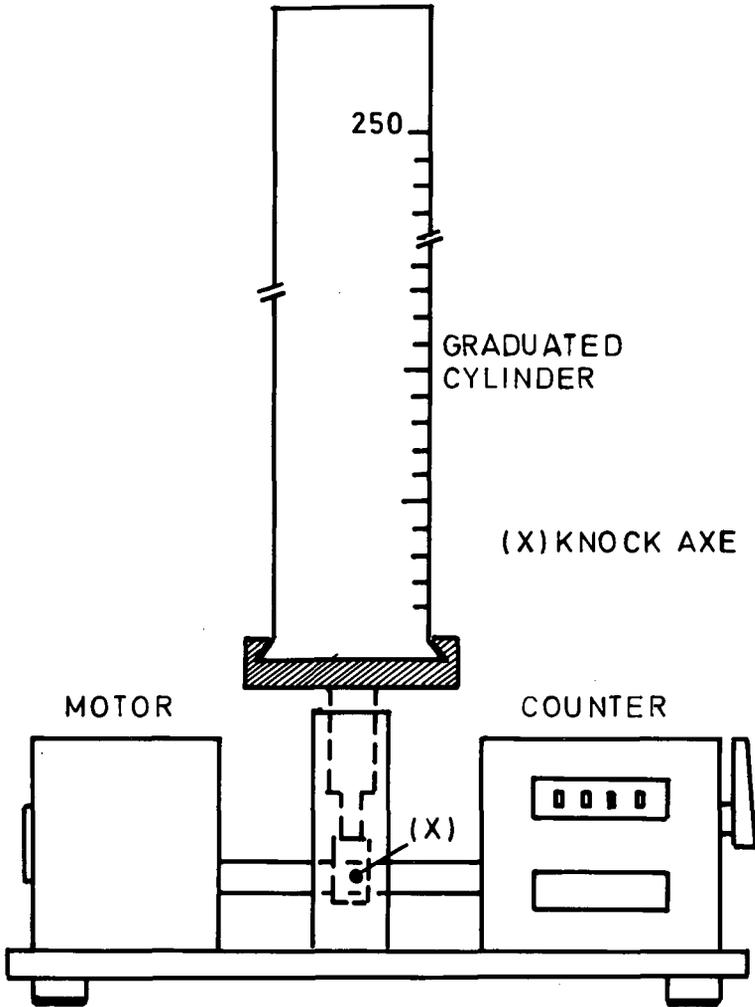
At the laboratory of soil physics of the University of Ghent (Belgium) a device called "Stampvolumeter" is used to determine the optimum moisture content (fig. 5) as described by De Boodt (1970). 250 cc of soil at different moisture contents is brought in a cylindrical glass and subjected to 1000 standardized knocks; the soil will settle to an equilibrium volume (fig. 6). It has been shown that 1000 to 1500 knocks are sufficient to obtain this unchanging volume. This equilibrium volume is a function of the moisture content and is at maximum at a well defined moisture content called the critical moisture content for soil structurization (fig. 7). This optimum moisture percentage is slightly lower than the water held in the soil at a tension of $1/3$ atmosphere ($pF = 2,54$) which is considered by some authors as being the "field capacity". Panabokke and Quirck (1957) found that aggregates wet to $pF 2$ (tension of 100 cm water) before wet sieving showed maximum stability.

The influence of total moisture content on aggregate stability

Experiments have shown that there is a relationship between the total moisture content (critical moisture content of the soil + the amount of liquid added with the soil conditioner) and the aggregation percentage (ag %) and the aggregate stability (S.I.). The percentage of aggregates larger than 2 mm gives an indication of the structurization of the soil. The stability index (S.I.) is obtained as the difference between the mean weight diameter of dry aggregates and the mean weight diameter of the same aggregates after a wet sieving; thus the greater this difference the lower the aggregate stability.

Fig. 8 illustrates the desorption curve for a sandy soil (11,2 % clay; 9,9 % silt; 78,9 % sand). If the sand is initially wetted at different moisture contents and a diluted bitumenous emulsion

Fig. 2. "Stampvolumeter" apparatus for determining the optimum moisture content for soil structuration.



is added to the soil then there is an optimum total moisture content at which the lowest stability index (S.I.) and the highest aggregate percentage (ag %) is obtained. In the case of sand (fig. 8) the optimal total moisture content is about 18 % (11 % initial moisture + 7 % moisture added with the soil conditioner). In general, the optimal total moisture content corresponds approximately with the inflection point on the desorption curve.

According to Hallairs and Baldy (1964) the tangent drawn from pf 6,8 on the desorption curve determines the percentage of film-water in the soil. For an initial moisture content of 11 %, there is about 7,2 % filmwater and 3,8 % meniscus water (see fig. 8). The optimum initial moisture content for structurization corresponds with the point on the desorption curve with the greatest curvature.

If the total moisture content is too low then only the small pores between small particles are filled with liquid and consequently with soil conditioner. So only aggregates formed with small particles are stable. But as soon as the moisture content reaches the optimum value, i.e. the larger pores as well as the smaller ones are filled with water, both small and large particles are involved in the formation of stable aggregates.

How to carry out the treatment

Whether the site is a bank, slope or flat land the same basic procedure is always followed.

First of all, reference is made to the optimal moisture content which must be observed in order to get a good aggregate formation. For soil which is cultivated for the first time, a laboratory test is needed but otherwise the experience of the farmer is in most cases sufficient to obtain a good result. When the soil does not have this moisture content, than it will be necessary to irrigate or to wait until it has rained. To put the soil in good tilth, a cultivator or a fine harrow can be very useful. Once well structured, the soil is sprayed with for example a stable bitumenous emulsion

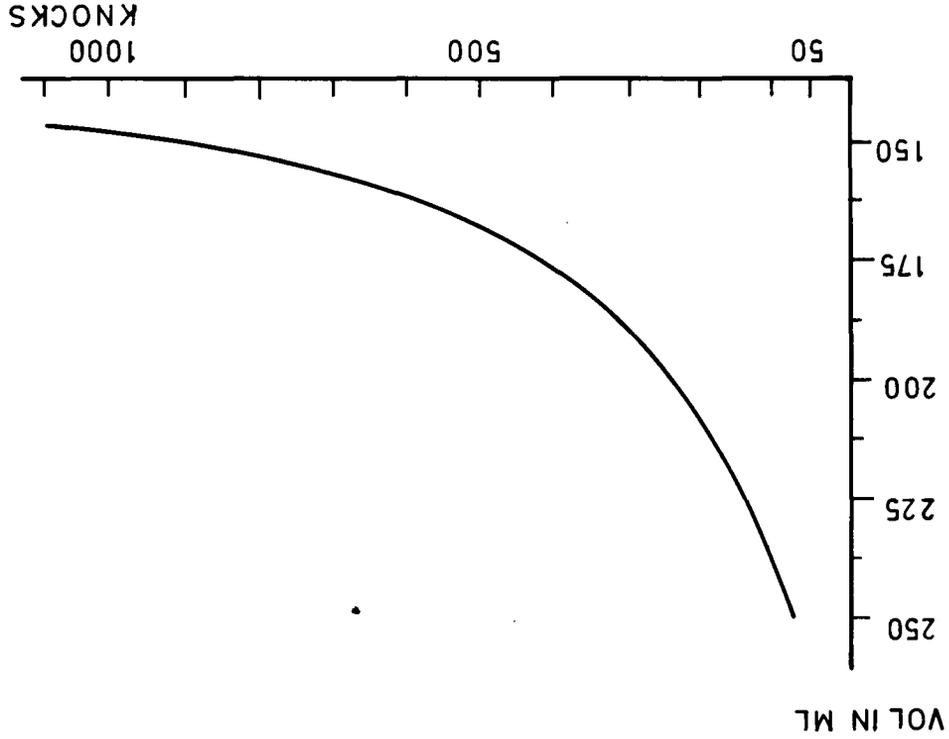


FIG. 1. • Volume of foils as a function of the number of applied knocks.

Fig. 7. Optimum moisture content of soil obtained with "1000 knock" method.

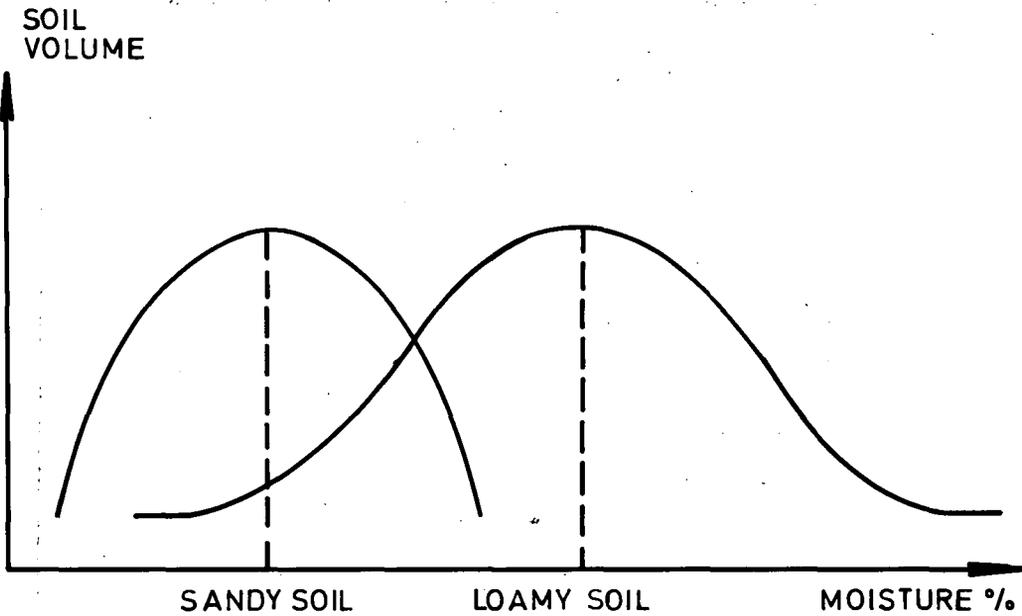
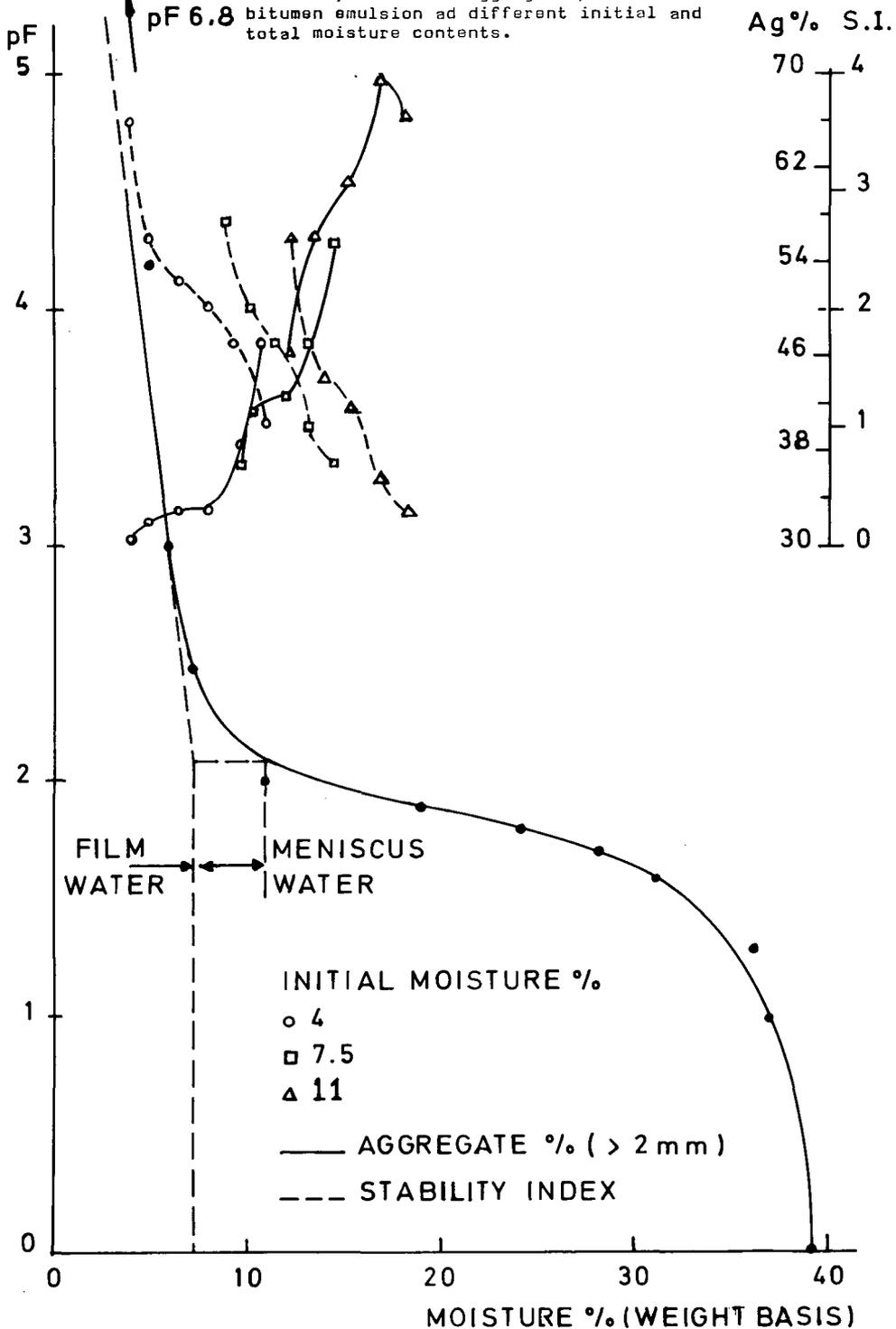


Fig. 8. Desorption Curve of a Sandy Soil. - 201 -
 Stability index and aggregate % after a treatment with a bitumen emulsion at different initial and total moisture contents.



which allows for a dilution of 3 to 5 times with water, depending on the kind of soil to be treated. The optimal amount of 50 % bitumenous emulsion applied in the humid temperature regions varies from 0,5 to 1 liter per m^2 and 1 to 1,5 l/m^2 in arid and semi-arid regions. The diluted emulsion can be sprayed with the ordinary equipment used to spray pesticides. When the diluted emulsion has been put on the soil particles and the penetration is already started then again a cultivator or harrow is used to incorporate, mechanically, the emulsion to a depth of 10 cm. After 24 hours the complete rupture of the emulsion is achieved and the micels are definitely fixed to form stable aggregates.

Reference list

- De Boodt M., 1970. New possibilities for soil conditioning by means of diluted bitumenous emulsions. F.A.O. publication European commission of agriculture. Working party on water resources and irrigation ECA : WR/70/4(b)II, May, 15, 1970.
- De Boodt M., 1970. Neue Möglichkeiten den Böden mittels verdünnter bituminöser Emulsionen zu verbessern. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 11, 77 - 88.
- De Leenheer L. and De Boodt M., 1967. Aggregate stability determination by the change in mean weight diameter. West-European Methods for Soil Structure Determination, State Faculty of Agricultural Sciences, Ghent, Belgium, VI, 28.
- Deryagin B.V., 1955. Definition of the concept of, and magnitude of the disjoining pressure and its role in the status and kinetics of thin layers of liquids. Colloid Journal (USSR), 17, n° 3, 191.
- Deryagin B.V. and Melnikova M.S., 1956. Experimental study of the migration of water through the soil under the influence of salt concentration, temperature and moisture gradients. Rapports VI Congress de la Science du Sol, Paris I, 44, 305 - 313.
- Deryagin B.V., Zachovaena N.V., Melnikova M.K., and Nerpin S.V., 1956. Theory of equilibrium and migration of soil moisture at various moisture contents. Rapports VI Congress de la Science du Sol, Paris I, 42, 291 - 297.

- Deryagin B.V., and Titievskaya A.S., 1959. The repulsive action of free liquid films and its role in the stability of foams. Colloid Journal, 15, 431.
- Edwards A.P., and Bremner J.M., 1967. Micro aggregates in soils. J. Soil Science, 18, 47 - 63.
- Emerson W. W., 1958. The structure of soil crumbs. J. Soil Science, 10, 235 - 244.
- Hallaire M., and Baldy Ch., 1964. Potential matriciel de l'eau dans le soil et tension superficielle de l'eau. In: L'eau et la production végétale. Institut national de la recherche Agronomique, 15 - 25.
- Panabokke C. R., and Quirck J. P., 1957. Effect of initial water content on stability of soil aggregates in water. Soil Sci., 83, 185 - 195.

Acknowledgment

The authors are indebted to Ir. Vandeveldde, Department of Soil Physics, Soil Conditioning and Horticultural Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, State University of Ghent, for data furnished concerning pF-curves, aggregation percentage and stability index for bitumenous treated sand.

Research with synthetic soil conditioners at Iowa State
University, Ames, Iowa, U.S.A.

by

D.M. Gabriels¹, R.R. van der Plöeg², and P. Benecke³

A b s t r a c t

Research with synthetic soil conditioners at Iowa State University Ames, Iowa, U.S.A., over the past twenty years is reviewed. It is pointed out that in Iowa different stages can be recognized in the use of soil conditioners. In the nineteen-fifties the beneficial effects of soil conditioners on soil structure and agricultural productivity were recognized, but it turned out that large scale application of soil conditioning was economically not feasible. In the early 1960's not much agricultural work was done with synthetic soil conditioners in Iowa, but in the last couple of years a renewed interest in synthetic soil conditioners has been developed. The main reason for this renewed interest is concern about the environment rather than a desire to increase the agricultural productivity. To reduce soil erosion by rainfall various synthetic soil conditioners are tested as soil stabilizers.

¹Faculty of Agricultural Sciences, Ghent University, Belgium; formerly graduate assistant at Iowa State University.

²Institute for Soil Science and Forest Nutrition, Georg-August-University, Göttingen; formerly research associate at Iowa State University.

³Institute for Soil Science and Forest Nutrition, Georg-August-University, Göttingen; formerly visiting lecturer at Iowa State University.

Research in the 1950's with soil conditioners for increased agricultural productivity

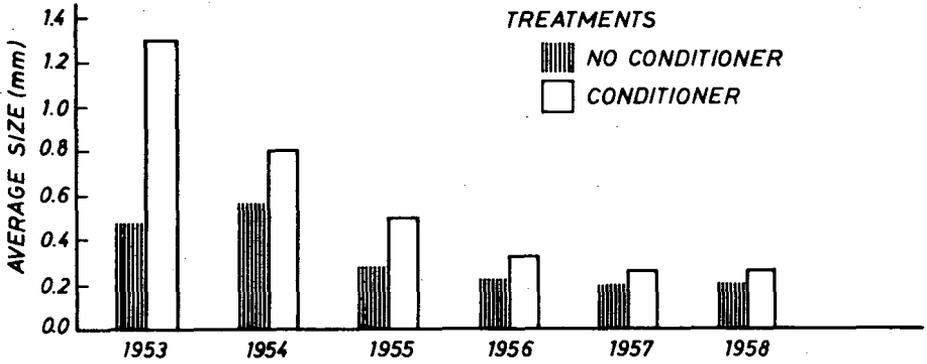
In 1951 the synthetic soil conditioner Krilium was introduced. Success with Krilium on soil structure improvement was overwhelming and consequently many similar products were developed in the early 1950's. "New miracle soil conditioner keeps soil conditioned indefinitely. New conditioner breaks up hard, crusted soil into the equivalent of light, loose, moisture retaining loam. It improves water capacity and aeration! It stabilizes aggregates, prevents slaking and crusting and will result in sturdy stand of turf and flourishing plant life all season long." According to NIELSEN et al. (1959) these and similar statements were commonly used, in the advertisements in the early 1950's. To see how true these statements were for Iowa soils, a number of field experiments were conducted at Iowa State University.

KIRKHAM and RUNKLES (1952) evaluated a number of the new soil conditioners. They discuss some preliminary results of experiments with soil conditioners for some Iowa soils. Beneficial effects of the soil conditioners on physical properties of soils in laboratory and field experiments are reported.

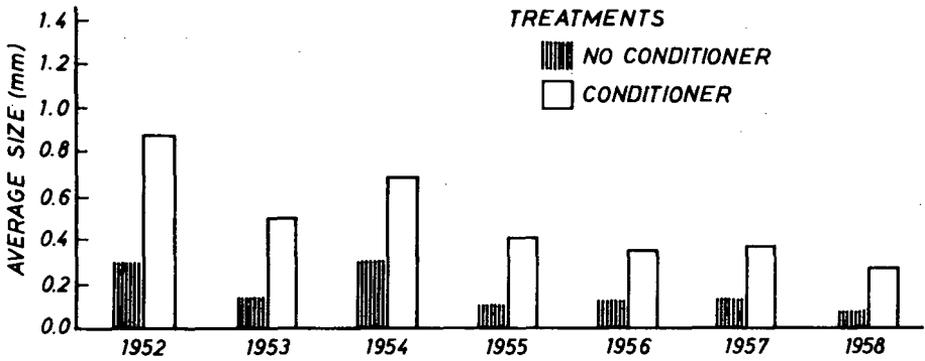
An interesting study was made by SCHWARTZENDRUBER et al. (1954). SCHWARTZENDRUBER et al. examined among others the influence of soil conditioners on some physical soil properties. SCHWARTZENDRUBER et al. (1954) examined the capillary intake rate of water as related to soil structure. They tested the hypothesis that soils in good structure might have higher values for the square-root-of time proportionality constants than soils with poor structure. Of the Iowa soils they were testing, some had been treated with Krilium to improve the structure. They found that the Krilium treatment highly increased the capillary absorption coefficient, the saturated hydraulic conductivity and the water stability of aggregates.

NIELSEN et al. (1959) summarized the results of field experiments with synthetic soil conditioners in Iowa. Experiments over the period 1952-1958 showed that synthetic soil conditioners definitely improved soil aggregation for a period of 3-6 years, but the average corn yields were not increased by the application of the soil conditioner.

WEBSTER



EDINA



LUTON

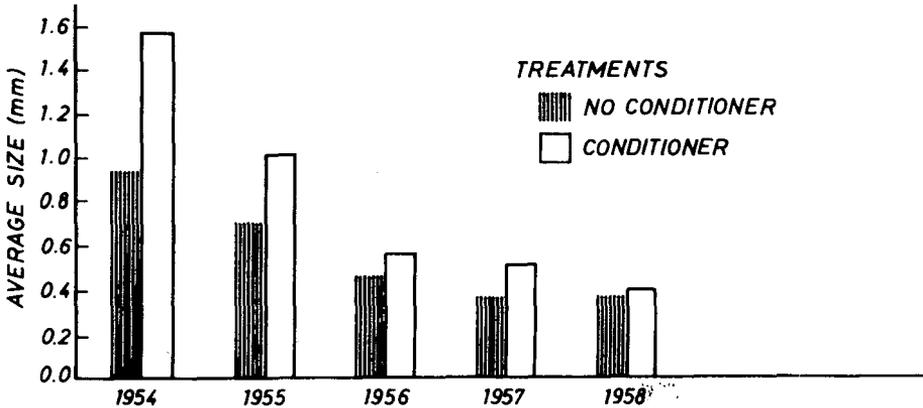


Fig. 1 Influence of soil conditioner with time on the average size of soil aggregates of three Iowa soils (NIELSEN et al. 1959).

Treatment	Agronomy Farm ¹	Southern Iowa Experimental Farm ²	Luton Experimental Field ³
Low fertility	65.7	59.3	51.5
Low fertility + conditioner	60.4	55.9	53.2
High fertility	77.5	91.6	51.3
High fertility + conditioner	82.1	92.6	51.4

¹ Webster silty clay loam

² Edina silt loam

³ Luton clay

Fig. 2 Average corn yields, in bushels per acre (1 bu/acre = 64 kg/ha) received from soil conditioner experiments, 1952-1958 (NIELSEN et al. 1959)

NIELSEN et al. (1959) drew the following conclusions from their three field experiments:

- 1) Synthetic soil conditioners definitely improve soil aggregation for a period of 3-6 years or more, depending upon the soil. The conditioners definitely increase ease of soil handling.
- 2) Improved aggregation due to soil conditioners appears to increase corn yields at high fertility levels on Webster and Edina soils when adequate water is available.
- 3) The beneficial effects of soil conditioners are not great enough to offset their high cost of application in field corn production in Iowa. The use may be justified on the basis of ease of soil handling and especially in cases where high monetary returns are common, as in greenhouses or gardens.

Research on soil erosion by raindrop action and soil erodibility
in Iowa

As a result of the findings that synthetic soil conditioners were too expensive for large scale applications in agriculture, not much agricultural work with soil conditioners was done in the early 1960's at Iowa State University. It can be mentioned however that in the Civil Engineering Department at Iowa State University many experiments were done with synthetic soil conditioners. In 1960 a joint publication (DAVIDSON and Associates, 1960) of the Iowa Engineering Experiment Station and the Iowa Highway Research Board came out. In this publication twenty different articles discuss the findings of experiments with conditioners on soil stabilization for highway constructions.

In the last couple of years a renewed interest in the use of synthetic soil conditioners for agricultural purposes is noticeable. The main reason for this renewed interest in synthetic soil conditioners stems from a general concern about the quality of man's environment. One area of concern is the quality of surface waters, as lakes, streams and ponds. Sediment, delivered to streams and lakes, by surface runoff is sometimes considered more innocuous than sewage. It is estimated (see AMEMIYA, 1970) that half of the sediment load washed into the U.S. streams stems from agricultural fields. Sediment reduces water quality and often degrades deposition areas. Sediment pollutes when it occupies space in reservoirs, lakes, ponds; restricts streams and drainage ways; reduces crop yields in a given year; alters aquatic life in streams; reduces the recreational and consumptive use value of water through turbidity; and increases water treatment costs. Sediment also carries other water pollutants such as plant nutrients, chemicals, radioactive materials, and pathogens (JOHNSON and MOLDENHAUER, 1970).

To decrease surface runoff and erosion from agricultural fields, synthetic soil conditioners may be used. Synthetic soil conditioners that were too expensive for agricultural use and therefore unpractical in the past (MOLDENHAUER et al. 1962, 1964) are now, together with newly developed conditioners, reevaluated in Iowa. Also in non-agricultural erosion control research, as on new highway banks,

newly dug ditches and urban construction cites various soil conditioners are presently tested at Iowa State University (SHRADER, personal communication).

Many soil types in Iowa are susceptible to erosion (ADAMS et al., 1958, SCHMIDT et al., 1964) under action of water and wind. MOLDENHAUER and LONG (1964), MOLDENHAUER and KEMPER (1969), and MOLDENHAUER (1970) studied the influence of rainfall energy on soil loss and infiltration rates. It was found that erosion caused by rainfall can be described with the following steps: 1) aggregate breakdown, 2) surface sealing, 3) reduced infiltration, 4) increased runoff, 5) erosion. An attempt is now made in the laboratory to decrease surface runoff and erosion due to rainfall, with the use of soil conditioners.

Research on soil erosion control with the use of synthetic soil conditioners

BLAVIA et al. (1971) used a rainsimulator in a laboratory experiment in which they sprayed various chemicals on soil clods to test the resistance against erosion by rainfall. The rainsimulator and the experimental procedure are in MOLDENHAUER and LONG (1964), BLAVIA et al. (1971) and GABRIELS et al. (1972). A picture of the soil pan which contains the treated clods and a cross section of the splash interception apparatus are shown in MOLDENHAUER and LONG (1964). The rain energy determinations and also the soil loss and the infiltration determinations were done by BLAVIA et al. (1971) as described by MOLDENHAUER and LONG (1964). BLAVIA et al. collected plow layer samples at field moisture. The soil was broken carefully by hand and sieved through 8- and 20-mm square-hole sieves. These 8- to 20-mm clods were placed in a pan of about 1300 cm² area to a depth of 5 cm over a 10 cm depth of sand. The pans were tilted to a 9 % slope. Samples of runoff material were taken at 5 minute intervals after runoff began. The artificial rain drop diameter was about 5 mm, the rain intensity was approximately 6.7 cm/h, and the height of fall was 3 m. From these last three quantities it can be calculated that the applied energy per cm² of soil surface is about

0.0024 joules/min. In general artificial rain was applied for a period of 90 minutes. The following determinations were made: 1) starting time for initial runoff (min), 2) energy to initiate runoff (joules per cm²), calculated from values of kinetic energy of water drops (drop size: 5 mm and fall height: 3 m, 3) runoff rate (cm/h), 4) infiltration (cm) or infiltration rate (cm/h), obtained as the difference between rainfall and runoff, 5) total soil loss (g) was measured by settling the material in the runoff water, oven drying, weighing, and taking the sum of the weights for the intervals and 6) final soil loss rate, obtained by averaging the soil loss for the last two 5-minute intervals. The final soil loss rate is used to measure the persistence of the chemicals used.

Material	Abbreviation	Amount active ingredient	Reference
		g/1,300 sq cm	
Arquad 2HT-75	DDAC	6; *30, +45 ‡	Davidson and Assoc. (1960)
Krylon	Kry	8	---
Polyacrylic acid	PAA	4	Davidson a.Ass.(1960)
Polyvinyl alcohol	PVA	1,2,3,8	Williams, et al.(1967)
Potassium silicate	K-sil	15,6	Dutt (1948)
Silicone	Sil	3	Van Bavel (1950)
Sodium carboxymethyl-cellulose	CMC	1,4	Taylor and Baldrige (1954)
Starch	St	15,6	Grossi & Woolsey(1955)
Vinyl acetatemaleic acid VAMA		1* 2. 5	Martin(1953), Emerson(1956)
Superfloc		0. 4, 1, 2	---

* Sprayed on surface, + Clods coated completely,
 ‡ Mixed with compressed soil.

Fig. 3 Materials used for soil stabilization (BLAVIA et al. 1971)

With the exception of Superfloc, all materials used by BLAVIA et al. (1971) had been used by other workers in other work on soil stabilization. BLAVIA et al. (1971) were examining which of the chemicals, sprayed on the soil clods did best stabilize the soil clod matrix against raindrop action by maintaining a high infiltration rate. BLAVIA et al. worked with three different Iowa soils.

Treatment	Starting time of runoff	Energy to initial runoff	Total infiltration in 90 min	Total soil loss	Final soil loss rate
	min	joules $\text{cm}^{-2} \times 10^2$	cm	g/1,000 cm^2	g/ 5 min
Check	18.0 a ***	4.32 a	3.72 ab	120.5 e	10.5 cd
K-silicate, 15.6 g	66.0 cd	17.03 cd	8.20 cd	17.8 b	5.2 b
PVA, 1g	63.0 c	15.00 c	9.16 d	7.6 a	1.7 a
PVA, 3g	74.5 cd	19.42 d	9.93 d	3.1 e	1.5 a
PVA, 8g***	>90.0	>23.04	>10.43	0.0	0.0
Arquad 30 g**	21.0 a	5.29 a	4.24 ab	185.7 g	16.7 e
Arquad 8 g**	24.0 a	6.17 a	4.92 b	244.0 h	28.6 f
Starch, 15.6 g*	28.0 a	6.46 a	4.59 b	91.6 d	10.9 cd
Fe-sulfate, 15.6 g*	20.0 a	5.08 a	5.17 b	120.7 e	9.9 cd
Fe-NH ₄ sulfate, 7.8 g*	22.0 a	4.98 a	3.95 ab	98.9 d	5.2 b
Krylon*	16.0 a	4.09 a	3.36 ab	152.3 f	11.8 d
CMC, 2.67 g*	16.0 a	4.09 a	2.76 a	116.7 e	12.4 d
VAMA, 1 g	51.5 bc	12.14 bc	7.36 c	45.1 c	11.0 cd
Superfloc, 0.4 g**	46.0 b	10.91 b	6.88 c	54.5 c	9.0 c
Superfloc, 1.0 g*	113.0 e	26.24 e	9.41 d	1.1 a	1.0 a
Error mean square (6 degrees of freedom)	40.2	2.34	0.331	43	0.88

* These treatments were not replicated

+ Material dissolved in 200 ml of water instead of 100 ml

‡ Clods coated completely

** The run was terminated before runoff began

*** Letters assigned using Duncan's Multiple Range Test. Any two means (in the same column) that do not contain the same letter are significantly different at the 5% confidence level.

Fig. 4 Effect on Clarion loam clods (8-20 mm) treated with various soil conditioners under simulated rainfall (BLAVIA et al. 1971)

The figure shows that it took only 18 minutes (which corresponds to $18 \times 0.0024 \approx 4.32 \times 10^{-2}$ joules/cm²) before the infiltration rate was exceeded and runoff started. The figure also shows that if 1 gram of PVA was applied to the 1300 cm² area of the pan, the runoff did not occur till 66 minutes after the start of the artificial rain shower (66 minutes of rainfall correspond to an energy of $66 \times 0.0024 \approx 15.00 \times 10^{-2}$ joules). If one considers the starting time of the runoff, the total soil loss, and the final soil loss rates it becomes clear from Fig. 4 that K-silicate, PVA, VAMA and Superfloc were most effective in reducing erosion. Superfloc was much more effective than either PVA or VAMA at the 1 gram rate. Superfloc at 0.4 gram was similar in effectiveness to 1 gram of VAMA. Arquad did not significantly affect infiltration or energy required to initiate runoff, but it did increase soil loss.

For the other two soils BLAVIA et al. (1971) tested, they found similar results. BLAVIA et al. (1971) conclude that from the stand point of effectiveness, PVA, VAMA, and Superfloc show enough promise to warrant further testing. At the 1-gram rate, the requirements per ha would be 77 kg. BLAVIA et al. (1971) did not investigate whether any of these materials could be produced at low enough cost to be used on a field basis. The effects of these chemicals on plant growth was not determined and neither were the effects on the water quality.

A follow-up on the work of BLAVIA et al. was done by GABRIELS et al. (1972). GABRIELS et al. also studied erosion control with the use of soil conditioners. GABRIELS et al. not only used a surface application of chemicals on a clod bed, but they also mixed a whole layer of soil clods with the soil conditioners. GABRIELS et al. (1972) used the same Clarion soil as did BLAVIA et al. (1971), but GABRIELS et al. used mainly polyvinyl alcohols and bitumen emulsions. GABRIELS et al. (1972) not only used the clod fraction of 8-20 mm, but also the fraction 2-8 mm.

Treatments	Amount* chemical	Dilution* (water)	Starting time runoff	Energy initiate runoff**	Runoff rate	Infiltration rate	Total soil loss	Final soil loss rate
	ml	ml	min	joules/cm ²	cm/h	cm/h	g/1000cm ²	g/5 min
Check (Blavia)			18	4.32	4.01	2.48	120.5	10.5
Check			20	6.24	3.86	2.55	122.0	10.2
Curasol AE	5	200	43	12.91	1.53	4.60	50.3	10.6
Curasol AE	10	200	55	17.02	0.72	5.91	34.7	9.6
Curasol AH	5	200	40	12.01	1.69	4.43	40.7	8.5
Curasol AH	10	200	51	15.18	0.81	5.26	21.9	4.7
Humofina FB63	35	175	23	8.12	3.50	3.01	73.4	7.7
SS 1h	65	135	79	23.80	0.04	6.10	2.6	1.7
CRS 2	65	135	72	21.70	0.34	5.80	10.6	5.0
DCA 70	10	200	55	17.03	1.03	5.28	30.7	6.8
Petroset	10	200	58	17.93	0.91	5.40	24.2	7.3
Terratack	2g	200	68	21.05	0.18	6.13	6.1	2.5
Elvanol 71-30	3g	200	>90	26.75	0	>6.05	0	0
Elvanol 52-22	3g	200	>90	27.34	0	>6.19	0	0
Error mean square(6degrees of freedom)			19.9	2.92	0.53	0.31	39.17	0.88
LSD (Tukey 5%)			22	8.37	3.53	2.70	30.7	4.6

* Applicable for the surface of the metal pan: 1395 cm²

** The energy-values are multiplied by a factor 100

Fig. 5 Effect of surface application of soil conditioners on Clarion loam clods (8-20 mm) under simulated rainfall (Gabriels et al. 1972)

Surface treatment

Treatments	Amount* chemical	Dilution* (water)	Starting time runoff	Energy initiate runoff**	Runoff rate	Infiltration rate	Total soil loss	Final soil loss rate
	ml	ml	min	joules/cm ²	cm/h	cm/h	g/1000cm ²	g/5 min
Check (Blavia)			9	2.27	5.00	1.83	144.5	9.6
Check			12	3.04	4.45	1.75	148.7	9.4
Humofina FB63	135	65	30	9.22	2.72	3.57	18.4	2.8
Humofina FB63	65	135	23	6.80	3.47	2.58	73.0	7.7

Incorporation treatment (on 4000g of soil)

Humofina FB63	60	180	5	1.51	4.77	1.37	131.9	8.8
SS 1H	60	180	10	3.04	3.69	2.41	83.5	7.9
CRS 2	60	180	14	3.59	3.87	2.22	121.4	9.2

* Applicable for the surface of the metal pan: 1395 cm²

** The energy-values are multiplied by a factor 100

Fig. 6 Effect of different treatments on erodibility of Clarion leam clods (2-8 mm) Top: soil conditioners are applied only to the surface of a layer of soil clods. Bottom: soil conditioner is mixed with the whole layer of clods (Gabriels et al. 1972)

Their results agree well with those of BLAVIA et al. Fig. 6 shows a comparison of erodibility between a surface treatment of the layer of soil clods of the 2-8 mm fraction as compared to a complete mixing of the whole layer of clods with the chemicals.

One observes for example that by nearly equal amounts of Humofina FB 63 applied (65 ml versus 60 ml) the surface treatment is more efficient in decreasing runoff (3.47 cm/h versus 4.77 cm/h), and in decreasing total soil loss (73 g/1000 cm² versus 131.9 g/1000 cm²). After 90 minutes of applying artificial rain the soil loss rate for the surficially treated soil was 7.7 g/5 min and for the incorporation treatment 8.8 g/5 min. For the surficially treated soil the infiltration rate was 2.58 cm/h, for the incorporation treatment the infiltration rate was only 1.37 cm/h. As one can see this infiltration rate is even lower than that of the untreated natural soil (1.75 cm/h). This decrease in infiltration rate is not due to breakdown of the soil aggregates and subsequent sealing of the soil surface but this decrease in infiltration is due to the hydrophobic character of the chemicals used, which makes the aggregates water repellent, by increasing the liquid-solid contact angle. GABRIELS (1971) gives as saturated hydraulic conductivity for the untreated soil 6.7 cm/h, versus 219.8 cm/h for the treated soil. One could expect a high infiltration rate for a soil with a high saturated conductivity, but apparently this does not need to be the case.

In another experiment GABRIELS (1971) studied the effects of soil conditioners on the saturated hydraulic conductivity of a soil, the water outflow under free drainage conditions, and the change in the moisture profile. For these experiments GABRIELS (1971) used two different chemicals, a wetting agent (PVA, polyvinyl alcohol) and a waterproof material (a hydrophobic bituminous emulsion). GABRIELS did the following experiment. A vertical soil column was saturated from below, an hydraulic gradient was applied and the saturated hydraulic conductivity was determined; then the column was allowed to drain by gravity, and the amount of outflow with time was recorded. Finally, after outflow had stopped, the moisture distribution through the soil column was determined with the use of a gamma ray apparatus. For the same soil column 9 such cycles over a period of 45 days were run. Before putting the soil in the columns, GABRIELS treated his soil in the following way. The air dry soil was sieved through a 1 mm sieve, and then with distilled water the moisture content was brought to about 20 %. DE BOODT and DE BISSCHOP (1969) point out how to determine the optimal soil moisture content before

applying soil conditioners. After the soil conditioner is mixed with the moist soil, the soil is allowed to dry. Finally the aggregated soil is passed through a 1 cm (= 10 mm) sieve. In this way, GABRIELS had to consider four different soils: untreated soil, water treated soil, water treated soil + PVA, and water treated soil + bitumen emulsion.

Laboratory work at Iowa State University with synthetic soil conditioners has shown that some of the chemicals tested under artificial conditions may be efficient in erosion control work. A program is now underway to test some of the synthetic soil conditioners under field conditions, especially on the backslopes of newly constructed highways and roads (SHRADER, personal communication). Reports on the results of these experiments can be expected in the near future.

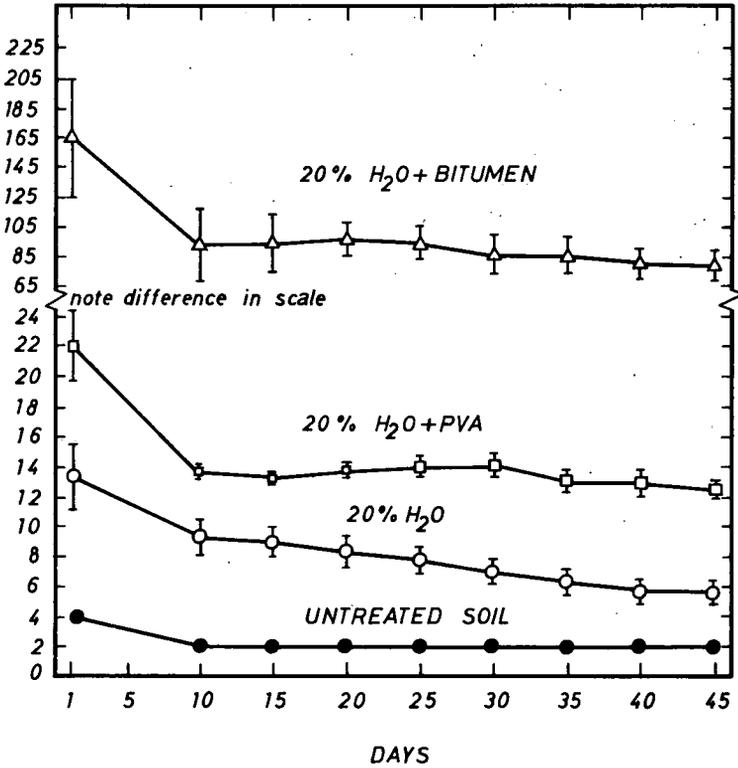


Fig. 7 Saturated hydraulic conductivity as a function of time for different soil stabilization treatments (GABRIELS 1971)

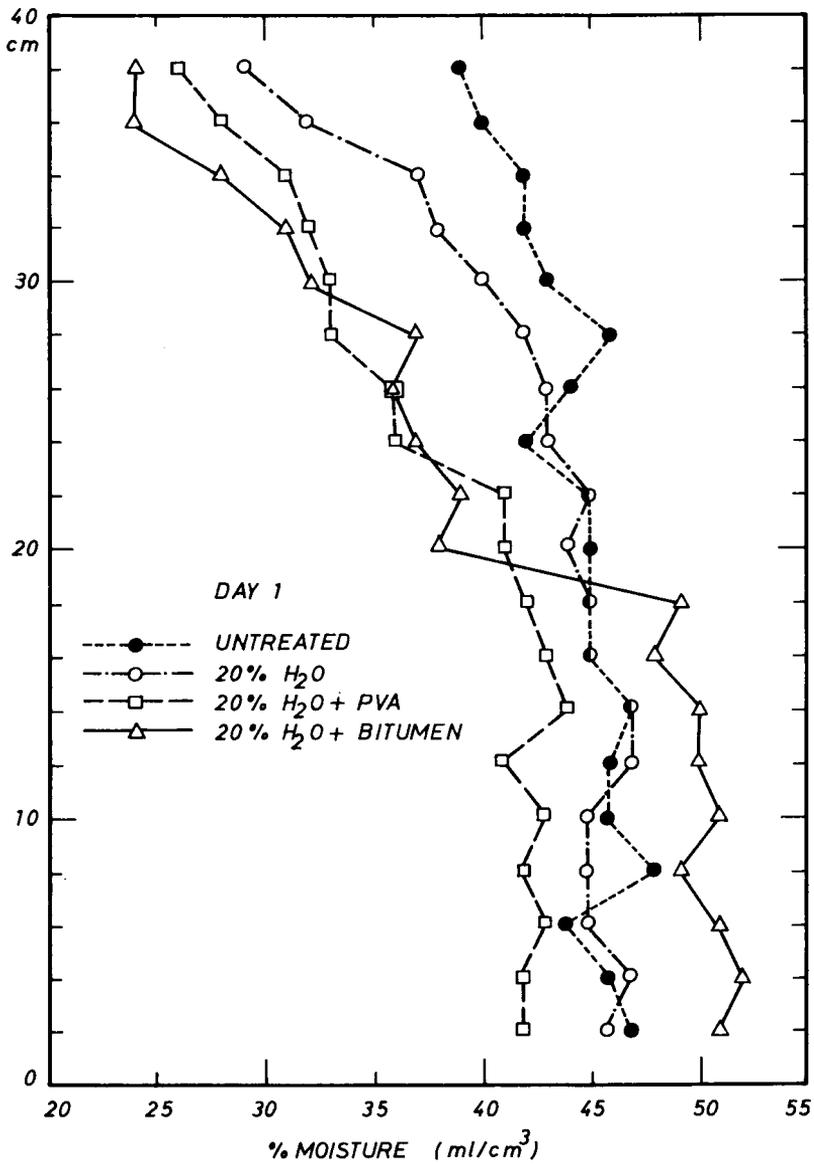


Fig. 8 Comparison of the moisture profiles of freely drained soil columns treated with different soil conditioners, after 1 cycle (= 1 day) (GABRIELS 1971)

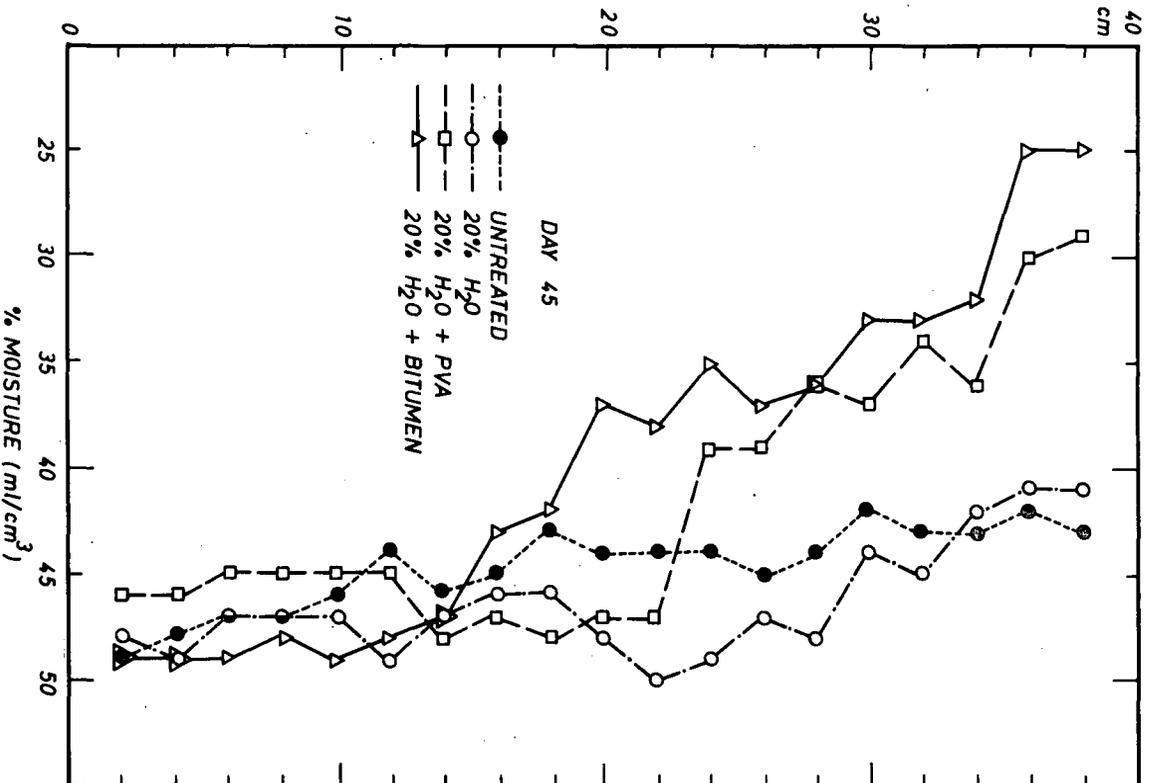


Fig. 9 Same as Fig. 8, but now after 9th cycle (= 45 days) (Scazzetta 1971)

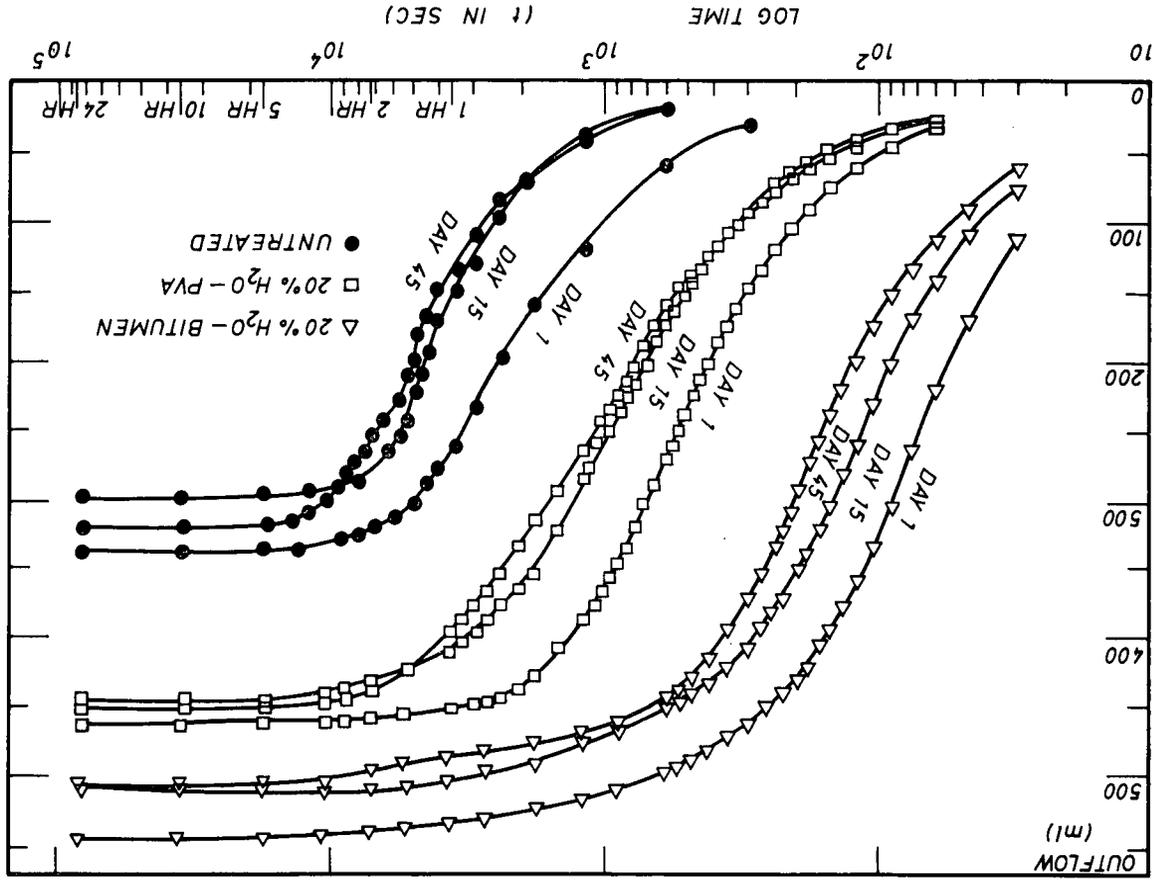


Fig. 10 Outflow during 24 hours of free gravity drainage influenced by cycles of submergence and drainage for untreated soil and treatments with 20 % water, 20 % water + PVA, and 20 % water + bitumen (GABRIELS 1971)

Literature Cited

- Adams, J.E., Kirkham, Don, and Scholtes, H.W. 1958.
Soil erodibility and other physical properties of
some Iowa soils. Iowa State College Journal of
Science 32: 485-540
- Amemiya, Minoru. 1970. Land and water management for minimizing
sediment. In Agricultural Practices and Water Quality.
Ted L. Willrich and George E. Smith, eds.
The Iowa State University Press, Ames, Iowa, U.S.A.
- Blavia, F.J., Moldenhauer, W.C., and Law, D.E. 1971.
Materials for stabilizing surface clods of cropped
soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35: 119-122
- Davidson, D.T., and Associates, 1960. Soil stabilization with
chemicals. Joint Publication Bull. no. 193 Iowa
Engineering Experiment Station; Bull. no 22 Iowa
Highway Research Board. Iowa State University, Ames,
Iowa, 50010. U.S.A.
- De Boedt, M., and De Bieschop, F. 1969. Bodemstabilisatie en
strukturisatie met behulp van geemulgeerde bitumen
en polymeren. Cultuurtechnisch Tydschrift, Jaergang
9(5): 1-10
- Gabriels, Donald M. 1971. Physical properties of soils as
affected by synthetic soil conditioners.
Unpublished M.S. thesis, Library Iowa State Univer-
sity, Ames, Iowa, U.S.A.
- Gabriels, D. M., Moldenhauer, W.C., and Kirkham, Don. 1972.
Saturated hydraulic conductivity and infiltration
rate as two independent factors controlling
erodibility in chemically treated soils.
(Manuscript submitted for publication to the
Soil Sci. Soc. Amer. Proc.)
- Johnson, H.P., and Moldenhauer, W.C. 1970. Pollution by sediment:
sources and the detachment and transport processes:
In Agricultural Practices and Water Quality.

- .. Ted L. Willrich and George E. Smith, eds.
The Iowa State University Press, Ames, Iowa, U.S.A.
- Kirkham, Don, and Runkles, J. 1952. Evaluation of new soil conditioners. Transactions of the State Horticulture Society. Volume LXXXVII: 41-46
- Moldenhauer, W.C. 1970. Influence of rainfall energy on soil loss and infiltration rates: II. Effect of clod size distribution. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 673-677
- Moldenhauer, W.C., Holmberg, G., and Shrader, W.D. 1962. Establishing vegetation on exposed subsoil in the Monona-Ida-Hamburg soil association area of Kansas, Iowa, Missouri, and Nebraska. Agriculture Information Bulletin No. 251. U.S. Government Printing Office. Washington D.C.
- Moldenhauer, W.C., and Long, D.C. 1964. Influence of rainfall energy on soil loss and infiltration rates. I. Effect over a range of texture. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28: 813-817
- Moldenhauer, W.C., and Kemper, W.D. 1969. Interdependence of water drop energy and clod size on infiltration and clod stability. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33: 297-301
- Moldenhauer, W.C., Maddy, J., Schmidt, B.L., Shrader, W.D. 1964. Establishing vegetation on exposed subsoil in Southern Iowa and Northern Missouri. Agriculture Information Bulletin no. 280 U.S. Government Printing Office: 1964 O-706-238. Washington D.C.
- Nielsen, D.R., Kirkham, Don, and Phillips, R.E. 1959. Synthetic Soil Conditioners. Iowa Farm Science 13: 8-10
- Schmidt, B.L., Shrader, W.D., and Moldenhauer, W.C. 1964. Relative erodibility of three loess-derived soils in southwestern Iowa. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28: 570-574
- Schwarzendruber, Dale, De Boodt, M.F., and Kirkham, Don. 1954. Capillary intake rate of water and soil structure. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18: 1-7

Physikalische und chemische Wirkung von Bodenverbesserungsmitteln auf Kieselsäurebasis (Agrosil)

von

H. Gebhardt

Einleitung

Die Anwendung säuregefällter kolloidaler Kieselsäure als Bodenverbesserungsmittel soll in erster Linie dazu beitragen, ungünstige physikalische Eigenschaften leichter sowie schwerer Böden zu verbessern (strukturverbessernde Wirkung, 29). Dabei liegt die Vorstellung zugrunde, dass frisch gefällte voluminöse Kieselgele einerseits grobe luftführende Poren sandiger Böden ausfüllen (25) und damit Feinporenanteil und Wasserspeichervermögen erhöhen ("Schwammefekt") und andererseits bereits vorhandene Aggregate tonreicher Böden stabilisieren (Vermörtelungseffekt, Porenvergrößerung).

Arbeiten der jüngeren Literatur (2, 3, 26) zeigen jedoch, dass insbesondere frisch gefällte polymere SiO_2 -Gele stets im Gleichgewicht mit einer bestimmten Konzentration an echt gelöster monomerer Kieselsäure stehen. Diese bei der Anwendung von Kieselsäurepräparaten in der Bodenlösung vorhandene gelöste Kieselsäure lässt erwarten, dass auch die chemischen Eigenschaften der betreffenden Böden beeinflusst werden. Eine Beeinflussung der chemischen Eigenschaften kann natürlich auch von den zugeführten polymeren Kieselgelen selbst ausgehen, sofern diese als Sorptionsträger in Betracht kommen (z. B. Erhöhung der Sorptionskapazität bei Sandböden). So ist seit langem bekannt, dass Phosphat- und Kieselsäuredynamik vieler Böden eng miteinander zusammenhängen (1, 10, 16, 17, 22, 23, 4).

Institut für Bodenkunde, Universität Göttingen,
34 GÖTTINGEN, v. Siebold-Straße 4

In der vorliegenden Arbeit soll versucht werden, sowohl physikalische als auch chemische Wirkungen von Kieselsäure in unterschiedlich texturierten Böden aufzuzeigen und zu diskutieren.

Material und Methoden

Feldversuche: Um die unmittelbare Wirkung steigender Mengen Kieselsäure (Agrosil) zu erfassen, wurden unter der Versuchsfrage der Anwendung von Bodenverbesserungsmitteln im pfluglosen Ackerbau bei minimaler Bodenbearbeitung Feldversuche auf folgenden Böden in der Umgebung Göttingens angelegt (Abb. 1-4): Saure Sandbraunerde Reinhausen (Buntsandsteinverwitterung), Löss-Parabraunerde Rosdorf, kalkhaltiger Auenlehm Marienstein und kalkhaltiger Pelosol Reinhausen (Röt-Ton). Die Parzellen der Sandbraunerde erhielten 0 (0), 730 (1), 1100 (2) und 1500 (3) kg SiO_2/ha , die der übrigen Böden 0 (0), 400 (1), 510 (2) und 630 (3) kg SiO_2/ha . Die verabreichten Mengen wurden in die oberen 10 cm der Ackerkrume eingearbeitet. Für die Messung der Porengrößenverteilung wurden aus dieser Bodenschicht in beiden Versuchsjahren zu drei Zeitpunkten Stechzylinderproben (6 Parallelen) entnommen. Die in Abb. 1-4 dargestellten Porengrößenverteilungen in den ersten beiden Versuchsjahren 1970 und 1971 sind somit Durchschnittswerte aus jeweils 18 Messungen.

Gefäßversuche: In Ergänzung zu den Feldversuchen wurden an der Sandbraunerde und der Löss-Parabraunerde sowie an einem Löss-Pseudogley (hohe P-Fixierungskapazität) Gefäßversuche zur P-Mobilisierung durch Kieselsäure durchgeführt (Tab. 1). Die Kieselsäure wurde hierbei in Form von Na-Metaphosphat ohne Phosphorsäurezusatz (Wasserglas) gegeben, um eine Phosphatwirkung des "Agrosils" selbst ($\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ -Mischsystem, 25) auszuschließen.

Laborversuche: Am Beispiel der Löss-Parabraunerde Roßdorf und einiger Löss-Pseudogleye wurden Laborversuche zur Phosphat- und Kieselsäurebindung im Boden durchgeführt. Zur Messung der Phosphat- bzw. Kieselsäureadsorption wurden jeweils 5 g lufttrockener Boden mit 50 ml der entsprechenden Lösungen (s. Abb. 5-6) 2 Stunden lang geschüttelt, abfiltriert und die P- bzw. Si-Konzentration im Filtrat (Gleichgewichts-Boden-Lösung, GBL) bestimmt. Die Einstellung der pH-Werte erfolgte individuell mit HCl bzw. NaOH ohne Verwendung von Pufferlösungen.

In Perkolationsversuchen wurden ferner P-Adsorptions- und -Desorptionseigenschaften zahlreicher Böden geprüft. Dazu wurden jeweils 5 g lufttrockener Boden in Glasfilterröhrchen eingewogen und mit 125 ml 0,02 m NaH_2PO_4 -Lösungen bei konstanter Durchflussrate von 25 ml/h (Mikrodosierpumpe) perkoliert. Anschliessend wurden die Proben nacheinander mit NaCl- und Kieselsäurelösungen gleicher Konzentration und Acidität (s. Tab. 2) perkoliert.

Die im ersten 25 ml-Perkolat vorhandene P-Menge wurde durch Subtraktion des "freien P" der in der Proben-Porenlösung zurückgehaltenen P-Perkolationslösung korrigiert. Zur Extraktion des nach dem Durchwaschen mit NaCl- und Kieselsäurelösung noch im Boden vorhandenen Phosphats wurden die P-belegten Proben nacheinander mit Ca-Lactat (Doppel-Lactatmethode) und Na-Hydrogencarbonat nach OLSEN (20) geschüttelt.

Si und P in den Filtraten und Perkolaten wurden nach SCHEFFER u. a. (24), Aluminium im Lactatextrakt nach H_2O_2 -Behandlung mit Aluminon bestimmt (21). Die verwendeten Kieselsäurelösungen wurden aus Na-Silikat hergestellt und durch anschliessende Perkolations durch H-Dowex 50 Kationenaustauscher-Säulen Na-frei gemacht.

Ergebnisse und Diskussion

Feldversuche (Porengrößenverteilung)

Die Ergebnisse der bodenphysikalischen Untersuchungen sind in den Abbildungen 1-4 dargestellt. Zur Verdeutlichung der Porengrößen-Umverteilung wurden drei Porengrößenklassen unterschieden (s. SCHEFFER, K.*): Weitporen ($> 30\mu$ entsprechend $pf < 2$), Mittelporen ($3-30\mu$ entsprechend $pf 2-3$) und Engporen ($< 3\mu$ entsprechend $pf > 3$).

Für die Sandbraunerde ergibt sich der erwünschte Effekt der Porenverfeinerung, ausgedrückt durch eine Abnahme des Weitporenanteils und eine deutliche Zunahme des Engporenanteils mit steigenden SiO_2 -Gaben (s. Abb. 1). Dieser Effekt bleibt auch im zweiten Versuchsjahr (ohne weitere SiO_2 -Gaben) erhalten. Das Gesamtporenvolumen nimmt nur geringfügig ab, so dass vor allem eine isovolume Porengrößen-Umverteilung zu verzeichnen ist (s. SCHEFFER, K.*).

Für die Löss-Parabraunerde ist die erwünschte Tendenz zur Porenvergrößerung nur im ersten Versuchsjahr erkennbar (Abb. 2): Der Weitporenanteil erhöht sich bei steigenden SiO_2 -Aufwandsmengen kontinuierlich. Die Zunahme der Weitporen geht jedoch nicht mit einer entsprechenden Abnahme der Mittel- und Engporen einher, deren Anteile deshalb nicht dargestellt wurden. Es handelt sich somit um eine vorübergehende geringfügige Erhöhung des Gesamtporenvolumens durch Weitporen möglicherweise verursacht durch eine nur im ersten Versuchsjahr wirksame Stabilisierung des mechanisch aufgelockerten Bodens.

Ähnliche Verhältnisse ergeben sich beim Tonboden (Abb. 3, Pelosol): Die Tendenz zur Porenvergrößerung ist nur im ersten Versuchsjahr erkennbar. 1971 war dagegen aufgrund der anhaltenden Trockenheit auch die O-Parzelle schon optimal strukturiert, so dass durch Agrosil keine weitere Strukturverbesserung zu erwarten ist. Mittel- und Engporenanteil (nicht dargestellt) bleiben auch hier nahezu unverändert.

*) SCHEFFER, K., 1972, Parameter und Jahresgang der Strukturwirkung meliorativer Kalkung von Löss-Parabraunerde-Ap-Horizonten (in diesem Band).

Abb.1: Sand - Braunerde

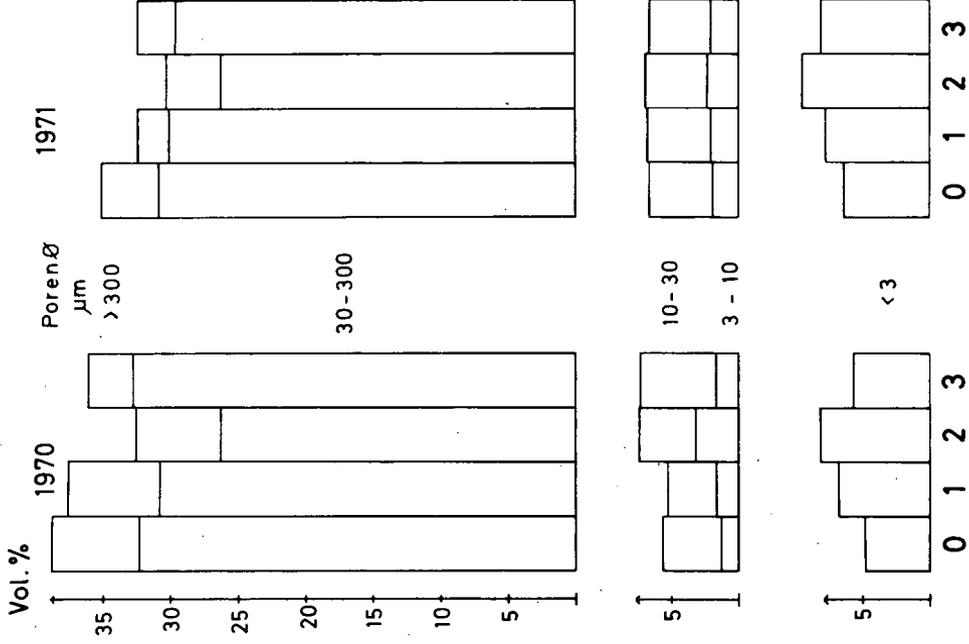


Abb.2: Parabraunerde aus Löß

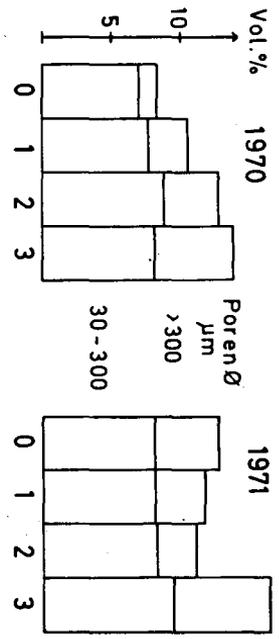


Abb.3: Pelosol

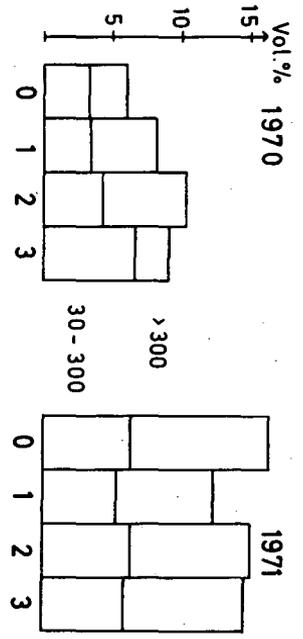
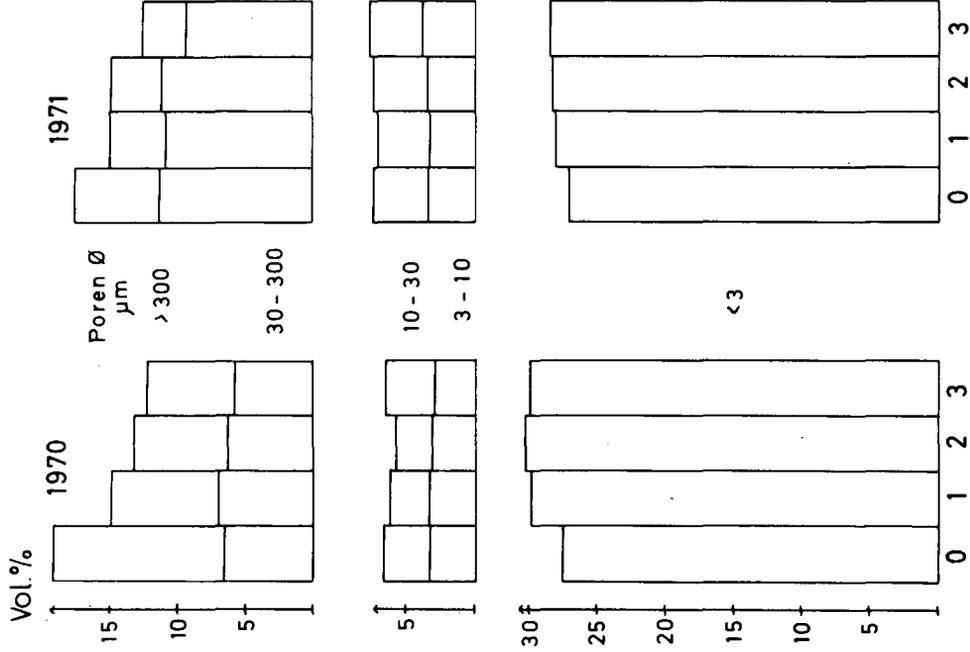


Abb.4: Auenlehm



Beim Auenlehm ergibt sich - wie bei der Sandbraunerde - eine Porenverfeinerung mit zunehmenden SiO_2 -Aufwandsmengen (Abb. 4). Offenbar werden in diesem von vornherein extrem in stabile Polyeder zerteilten carbonathaltigen Boden grobe Secundärporen mit SiO_2 -Gelen ausgefüllt (s. geringfügiger Anstieg des Engporenanteils). -

Abschliessend sei betont, dass eine endgültige Aussage über die Nachhaltigkeit der physikalischen Wirkungen der Kieselsäure noch nicht möglich ist. Die Untersuchungen sollen in den nächsten Jahren fortgesetzt werden.

Gefässversuche

Die Ergebnisse der Gefässversuche zur Phosphatmobilisierung durch Kieselsäure sind in Tab. 1 zusammengefasst. Bei der Applikation von Kieselsäure in Form von Wasserglas (Na-Metasilikat) ergibt sich bei allen Böden eine geringfügige Erhöhung des pH-Wertes (Varianten 4 und 5, Tab. 1). Da der pH-Wert bei der Sandbraunerde und beim Pseudogley auch nach der Anwendung von Kieselsäure noch unter 4,8 liegt, kann die pH-Werterhöhung allein nicht zu den zu beobachtenden Mobilisierungseffekten führen. Die Kieselsäure ist aber offenbar in der Lage, sowohl das gegebene Düngerphosphat (Varianten 5) als auch im Boden vorhandenes "fixiertes" Phosphat (Varianten 4) zu mobilisieren (15). Für die einzelnen Böden zeigt sich folgendes:

Bei der Sandbraunerde erscheinen von den gegebenen 0,94 g P_2O_5 /Gefäss nach der Ernte etwa 0,5 g im Lactatauszug. Ein grosser Teil des Düngerphosphats war demnach auch in diesem Sandboden für die Pflanzen nicht verfügbar. Lediglich bei gleichzeitiger Anwendung von P und SiO_2 (Variante 5) findet sich in der Summe aus Gesamtanzug (Tab. 1, letzte Spalte) und lactatlöslichem Phosphat das gegebene Düngerphosphat wieder.

Der Effekt der Mobilisierung von Bodenphosphat durch Kieselsäure wird am Beispiel des Pseudogleys und der Parabraunerde deutlich. Beide Böden enthalten von vornherein relativ hohe Mengen an lactatlöslichem Phosphat (Varianten 1), die aber nur z. T. pflanzenverfügbar sind (Varianten 2, 0-Gefässe). Bei der Anwendung von Kieselsäure

Tabelle 1: Gefäßversuche zur Phosphatmobilisierung durch Kieselsäure

Boden		pH (CaCl ₂)	P ₂ O ₅ (DL)		Ertrag(g/Gefäß)		P ₂ O ₅ -Entzug(mg/Gefäß)		Σ
			mg/100g	g/Gefäß	Korn	Stroh	Korn	Stroh	
Sand	1	3,6	1,2	0,09	-	-	-	-	-
	2	3,6	1,2	0,09	-	2,1	-	1	1
Braun- erde	3	3,7	6,6	0,52	10,0	11,1	61	7	68
	4	4,1	1,4	0,11	2,4	5,4	10	4	14
	5	4,7	7,0	0,55	47,1	42,1	301	17	318
Löß-	1	3,9	27	2,12	-	-	-	-	-
	2	3,9	20	1,56	31,6	28,3	126	9	135
Pseudo- gley	3	4,0	27	2,10	47,1	34,5	264	11	275
	4	4,8	19	1,49	55,6	45,4	462	55	517
	5	4,8	23	1,78	55,1	51,2	496	72	568
Löß- Para- braun- erde	1	6,3	5,8	0,45	-	-	-	-	-
	2	6,3	3,7	0,29	34,6	25,7	211	10	221
	3	6,1	9,6	0,75	46,0	34,2	382	21	403
	4	6,8	4,4	0,56	50,4	37,6	282	20	301
	5	6,9	9,8	0,77	51,9	40,6	498	84	582

1=Boden vor Beginn der Gefäßversuche (Bodenanalysen 2-5 nach der Ernte)
 2= 0- Gefäß, 3= 0,94 g P₂O₅/Gefäß (280 kg/ha), 4= 43 g SiO₂/Gefäß (130 dz/ha)
 5= 0,94 g P₂O₅+ 43 g SiO₂/Gefäß

allein (Varianten 4, ohne P-Düngung) ergeben sich dagegen beim Pseudogley schon die höchsten Erträge (Hafer) und P-Entzugszahlen. Bei der Parabraunerde liegen die Verhältnisse ähnlich, jedoch sind die Höchsterträge und Höchstentzüge aufgrund der geringeren Phosphatreserven nur bei gleichzeitiger Applikation von P und SiO_2 zu beobachten. - Nach Untersuchungen von HUNTER (15) zeigen sich bei Ca-Silikatdüngung ebenfalls signifikant erhöhte Erträge und Entzugszahlen sowie eine Mobilisierung von Bodenphosphat. Der Autor führt die erhöhte P-Aufnahme auf Anionen-Austauschvorgänge im Boden zurück, da sich keinerlei Anhaltspunkte für die Substitution von P durch Si in der Pflanze ergaben.

Laborversuche

Um näheren Aufschluss über die Bindungsmechanismen von P und Si im Boden zu erhalten, wurden P- und Si-Adsorption sowie P-Desorption am Beispiel von Parabraunerden und Pseudogleyen untersucht. In Abb. 5 ist die pH-Abhängigkeit von Phosphat- und Kieselsäure-Adsorption dargestellt.

Die Phosphatadsorption verläuft in einem relativ weiten Bereich pH-unabhängig (Plateau von pH 5,5-8,5), wie auch für Pseudogleye und saure Lockerbraunerden gezeigt werden konnte (11). Hierbei möge besonders hervorgehoben werden, dass gerade im ackerbaulich interessanten pH-Bereich (pH 5,0-6,5) die Adsorption einwertiger Phosphatanionen an den Oberflächen kolloidaler Bodenbestandteile als Bindungsmechanismus in Betracht kommt. Erst im stark sauren Bereich kommt es zur Ausfällung von Fe- und Al-Phosphaten (steiler Ast der Kurve, " H_2PO_4^- -Präzipitation). Nach Untersuchungen an allophanreichen tropischen Böden wird das Löslichkeitsprodukt von Variazit z.B. erst bei pH-Werten um 4,2 erreicht (12). Aus der Lage des flachen Teils der Kurve (Plateau) möge ferner entnommen werden, dass die Phosphat-Sorptionskapazität dieser Parabraunerde-Ap-Horizontes 1,7 mmol P, d. h. etwa 260 mg $\text{P}_2\text{O}_5/100$ g Boden beträgt. In Pseudogleyen werden etwa 4 (s. Tab. 2), in sauren Lockerbraunerden 12 (11) und in tropischen Böden bis zu 30 mmol P/100 g Boden (7, 12) adsorptiv festgelegt. In Anbetracht dieser gewaltigen

Abb. 6: Lös-Parabraunerde (Ap) (pH = 6,4-6,8)
 $\frac{\text{mmol P}_{205}\text{-ads.}}{100\text{ g B}}$ 50 ml / 5g B

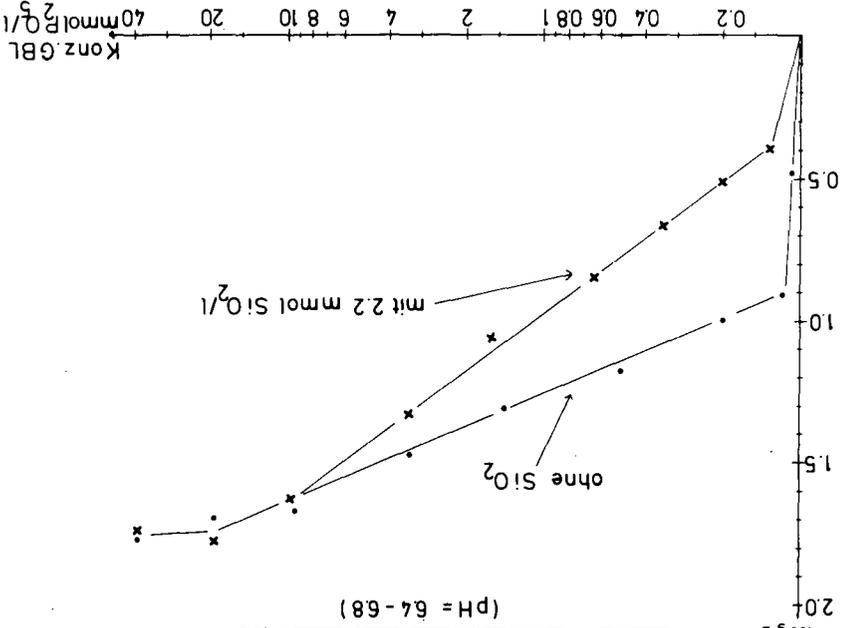


Tabelle 2:

Perkolationsversuche zur Phosphat-Adsorption und Desorption, Vergleich von Extraktionsmethoden

(Konz. der Perkolationslös. = 0,02 M, pH = 5,9 - 7,1,

Angaben in mmol / 100g Boden)

Boden	Pads.	P- desorb		Lactat		Olsen	des+ extr.		
		Cl ⁻	SiO ₂	P	Al	P	≤ P	%	
Pseudogleye Ap	4,1	0,5	0,6	0,3	0,2	0,9	2,3	56	
Parabraun - erden	Ap	1,7	0,1	0,2	0,3	0,2	0,4	1,0	59
	Bt	2,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,4	1,3	57

Die aus der Lösung aufgenommenen beachtlichen P-Mengen werden nur zu einem geringen Teil durch Cl⁻ und SiO₂ wieder ausgetauscht (Spalte P desorb.). Chlorid und Kieselsäure verhalten sich in ihrem Desorptionsvermögen - gemessen an der desorbierten P-Menge - jedoch nur scheinbar gleich, wie aus Abb. 7 hervorgeht; während der Austausch mit Chlorid schnell zu einem Sättigungswert führt, ergeben sich mit Kieselsäure gleichbleibende Desorptionsraten während der gesamten Versuchsdauer. Dieses Ergebnis steht wiederum im Einklang mit dem Konzept der spezifischen Anionen-Adsorption (12, 14). Danach können spezifisch adsorbierte Anionen (z. B.

Phosphat-Festlegungskapazitäten kommt der mobilisierenden Wirkung der Kieselsäure besondere Bedeutung zu (8, 15, 31).

Im Gegensatz zur Phosphatadsorption verläuft die Adsorption von Kieselsäure im gesamten Untersuchungsbereich pH-abhängig, d. h. mit steigendem pH werden steigende SiO_2 -Mengen vom Boden aufgenommen. Die Lage des scheinbaren Maximums bei pH 9,5 fällt mit der Lage des pK_1 -Wertes zusammen. Offenbar wird im unteren pH-Bereich überwiegend molekulare Kieselsäure adsorbiert, im alkalischen Bereich kommt es dagegen zunehmend zur Adsorption einwertiger Silikatanionen (s. a. HINGSTON u.a., 13). Im pH-Milieu unserer Ackerböden ist demnach - im Einklang mit dem Konzept der spezifischen Adsorption von Anionen (12, 14) - mit einer Konkurrenz zwischen Phosphationen und molekularer Kieselsäure um die Adsorptionsplätze an den Bodenteilchen zu rechnen. Dies möge durch die in Abb. 6 dargestellten Phosphat-Adsorptions-Isothermen verdeutlicht werden:

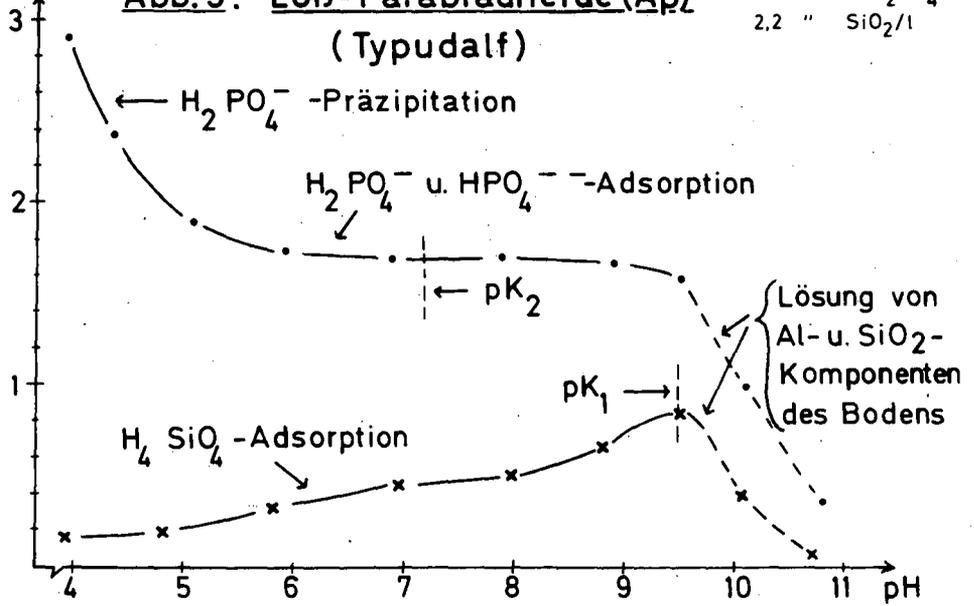
Ohne Zugabe von Kieselsäure zur Bodenlösung (obere Kurve) werden 0,9 mmol P_2O_5 , d. h. etwa 140 mg $\text{P}_2\text{O}_5/100$ g Boden gebunden, ehe nennenswerte Phosphatmengen in der Bodenlösung (GBL) erscheinen. Bei Zugabe von 2,2 mmol $\text{SiO}_2/1$ (maximal mögliche Konzentration an monomerer Kieselsäure, 2, 3, 26) wird dieser Wert auf 0,4 mmol $\text{P}_2\text{O}_5/100$ g Boden herabgesetzt, d. h., es werden nur noch etwa 60 mg P_2O_5 fixiert, ehe nennenswerte Phosphatmengen in der Bodenlösung erscheinen. - Wie für tropische Böden gezeigt werden konnte (7, 12) stellen beide Kurven Langmuir-Isothermen dar, deren Sättigungswert bei etwa 10 mmol P/l liegt (s. a. angewandte P-Konzentration in Abb. 5). Nach FOX u.a. (9) sollten die Adsorptionsisothermen Grundlage der P-Düngung sein.

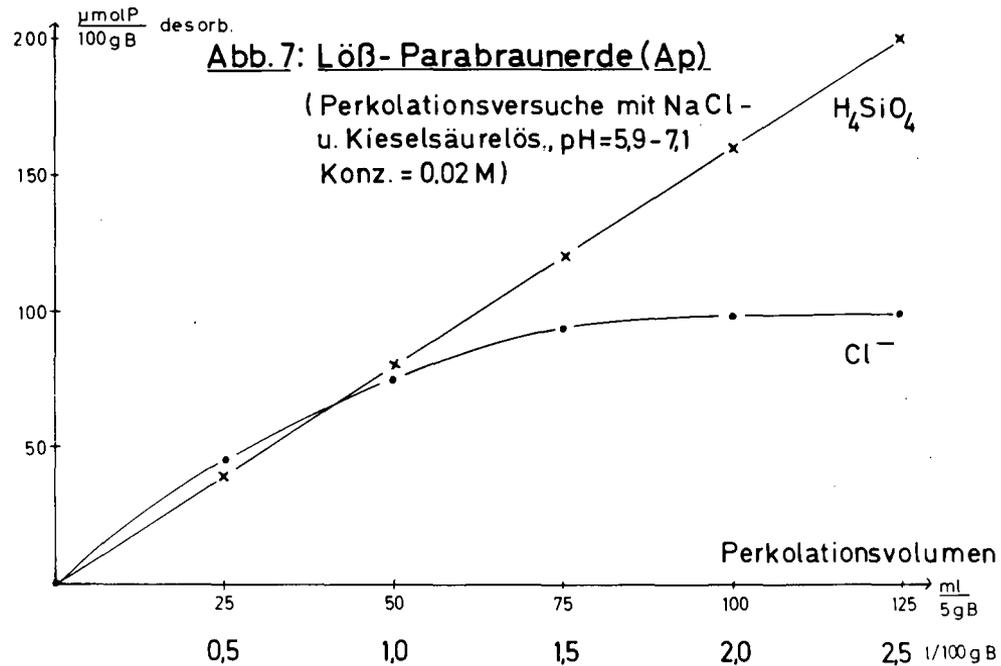
Inwieweit die adsorbierten P-Mengen austauschbar bzw. extrahierbar sind wurde mit Hilfe von Perkolations- und anschließenden Extraktionsversuchen an zahlreichen Böden geprüft. In Tabelle 2 sind drei Wertebeispiele für Pseudogleye und Parabraunerden aufgeführt. Es zeigt sich zunächst, dass die unter den genannten Bedingungen erzielte Adsorptionskapazität (Spalte P ads.) der meisten Böden mit dem Sättigungswert der Adsorptionsisothermen übereinstimmt (vergl. Parabraunerde-Ap in Tab. 2 und Abb. 6).

$\frac{\text{mmol}}{100\text{gB}}$ ads.

Abb. 5: Löß-Parabraunerde (Ap)
(Typudalf)

50 ml / 5g B
10 mmol NaH_2PO_4 /l
2,2 " SiO_2 /l





Phosphat) nur durch andere spezifisch adsorbierte Ionen (z. B. Silikat), nicht aber durch unspezifisch gebundene Anionen (z. B. Chlorid) ausgetauscht werden.

Bei ausreichenden Phosphatreserven im Boden könnte mit Hilfe der Kieselsäure demnach eine Art langsam aber stetig fließende P-Quelle geschaffen werden.

Nach der Perkolation mit Chlorid- und Kieselsäurelösungen wurden die P-belegten Böden zunächst mit Ca-Lactat (pH 3, 7, DL-Methode) und anschliessend mit Na-Hydrogencarbonat (pH 8, 3 nach OLSEN, 20) geschüttelt. Mit Hilfe der Lactatmethode lassen sich durchweg geringere P-Mengen wiedergewinnen als nach OLSEN (Tab. 2). Ferner erscheinen im Lactatextrakt etwa äquimolare Mengen an Phosphor (P) und Aluminium (Al). Diese Ergebnisse weisen einerseits daraufhin, dass auch ein grosser Teil des sorbierten Phosphats an Aluminium gebunden ist (5, 6, 27, 28). Andererseits wird bei der Lactat-schüttelung an Aluminium gebundenes Phosphat erfasst, das nicht pflanzenverfügbar ist (s. Tab. 1). Die von WERNER (30) herausgestellte volle Pflanzenverfügbarkeit des lactatlöslichen Phosphats in sauren Böden ist offenbar nur unter extremen Versuchsbedingungen (erschöpfende Beanspruchung des angereicherten P-Vorrates, pH Erhöhung?) zu erzielen.

Der Hydrogencarbonat-Schüttelung nach OLSEN liegen zwei verschiedene Wirkungsmechanismen zugrunde, die beide zur Freisetzung des an Aluminium gebundenen Phosphats führen können:

1. Hydrolytische Spaltung der Al-P-Bindung aufgrund des hohen pH-Wertes
2. Spezifischer Anionenaustausch HCO_3^- gegen H_2PO_4^- (19) .

Nach NAGARAJAH u.a. (19) wäre eine früher von MITSCHERLICH (18) zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren P angewandte Schüttelung mit CO_2 -gesättigtem Wasser (niedriger pH-Wert) ein Mass für den Austausch spezifisch gebundenen Phosphats gegen HCO_3^- .

Insgesamt wurden mit den angegebenen Methoden etwa 60 % des sorbierten Phosphats wiedergewonnen (Tab. 2, letzte Spalte).

Zusammenfassung

Einige physikalische und chemische Wirkungen von Kieselsäure (Agrosil) wurden am Beispiel von unterschiedlich texturierten Böden (Sand-, Lehm-, Tonböden) aufgezeigt.

1. Feldversuche

In Feldversuchen wurde zunächst die unmittelbare Wirkung säuregefällter polymerer Kieselgele auf die Porengrößenverteilung (pF-Kurven) geprüft. Dabei ergab sich für den Sandboden der erwünschte Effekt der Porenverfeinerung (Erhöhung des Wasserspeichervermögens, "Schwammefekt"), während beim Lehm- und Tonboden lediglich im ersten Versuchsjahr eine Tendenz zur Porenvergrößerung (Aggregatstabilisierung) beobachtet werden konnte.

2. Gefäßversuche

In Ergänzung zu den Feldversuchen wurden Gefäßversuche zur Frage der Phosphatmobilisierung durch Kieselsäure durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass Kieselsäure in der Lage ist, sowohl Düngerphosphat mobil zu halten als auch im Boden gebundenes Phosphat zu mobilisieren. Diese Fähigkeit wurde - in Übereinstimmung mit neueren Arbeiten aus der Literatur - gelöster monomerer Kieselsäure zugeschrieben, die mit den Phosphat-Anionen um die Sorptionsplätze an den Bodenteilchen konkurriert. Bei hohen Phosphatvorräten wurden allein durch Kieselsäuredüngung (ohne jede P-Zufuhr) Höchstserträge und maximale P-Entzugszahlen erreicht.

3. Laborversuche

Um näheren Aufschluss über die Bindungsmechanismen von Phosphat und Kieselsäure im Boden zu erhalten, wurden Laboruntersuchungen zur Phosphat- und Kieselsäure-Adsorption sowie zur P-Desorption durchgeführt. Aus der pH-Abhängigkeit von P- und Si-Adsorption ergab sich, dass gerade im ackerbaulich interessanten pH-Bereich die Phosphat-Adsorption gegenüber der Ausfällung schwerlöslicher Salze (Präzipitation) überwiegt und dass mit einer Konkurrenz zwischen Phosphationen und molekularer Kieselsäure um die Anionen-

Adsorptionsplätze an den Bodenkolloiden zu rechnen ist. Bei Zugabe gelöster monomerer Kieselsäure zur Bodenlösung wurde - wie anhand von Adsorptions-Isothermen gezeigt werden konnte - die Bindungsintensität für Phosphationen herabgesetzt. Anhand von Perkolationsversuchen konnte ferner gezeigt werden, dass die Sorptionskapazität der untersuchten Böden mit dem Sättigungswert der Adsorptions-Isothermen (Langmuir-Isothermen) übereinstimmt und dass das sorbierte Phosphat durch Perkolatation der P-belegten Proben mit Kieselsäurelösungen in gleichbleibenden Raten desorbiert wird.

Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit dem Konzept der spezifischen Adsorption von Anionen. Der Mobilisierung von Phosphat durch Kieselsäure kommt bei der Düngung tropischer Böden mit extrem hohen P-Fixierungsvermögen besondere Bedeutung zu.

Mit Hilfe der Doppel-Lactatmethode liessen sich geringere Mengen des sorbierten Phosphats wiedergewinnen als nach OLSEN. Es konnte gezeigt werden, dass auch grosse Teile des sorbierten Phosphats an Aluminium gebunden sind und dass bei der Lactatschüttelung an Aluminium gebundenes Phosphat erfasst wird, das nicht pflanzenverfügbar ist.

LITERATURVERZEICHNIS

- (1) Achromeiko, A.J., 1934, Einfluss der Kieselsäure auf die Ausnutzung der Phosphorsäure verschiedenen Ursprungs durch die Pflanzen, Z.Pflanzenern.,Düngg.,Bodenkd. A34, 340-359
- (2) Alexander, G.B., 1954, The polymerisation of monosilicic acid, J. Amer. Chem. Soc. 76, 2094-2096
- (3) Alexander, G.B., W.M. Heston, and R.K. Iler, 1954, The solubility of amorphous silica in water, J. Phys. Chem. 58, 453-455
- (4) Ayres, A.S., 1966, Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low silicon soils, Soil Sci. 101, 216-227

- (5) Bromfield, S.M., 1967, An examination of the use of ammonium fluoride as a selective extractant for aluminum-bound phosphate in partially phosphated systems, Austr. J. Soil Res. 5, 225-234
- (6) Coleman, N.T., J.T. Thorup, and W. A. Jackson, 1960, Phosphatesorption reactions that involve exchangeable aluminum, Soil Sci. 90, 1-7
- (7) Fassbender, H.W., 1969, Phosphorus fixation in tropical soils, AGRI-Digest (Belgium) 18, 20-28
- (8) Fassbender, H.W., and R. Molina, 1969, Effects of silicates and liming on soil phosphates in volcanic ash soils of Costa Rica, Panel on Volcanic Ash Soils in Latin America, Inter-American Institute of Agricultural Sciences, Turrialba, Costa Rica
- (9) Fox, R. L., and E. J. Kamprath, 1969, Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirement of soils, Agron. Abstracts, p. 81, Annual Meetings Amer. Soc. Agron., Detroit, Michigan
- (10) Ganssmann, W., 1962, Untersuchungen über den Einfluss der Kieselsäure auf die Aufnahme von Phosphorsäure und anderen Nährstoffen, Die Phosphorsäure 22, 223-241
- (11) Gebhardt, H., 1972, Cation exchange and anion adsorption properties of some acid soils of the Central German mountain region, Symposium on Acid Sulphate Soils, Wageningen, Netherlands, Aug. 1972, 13-20.
- (12) Gebhardt, H., and N.T. Coleman, 1972, Anion adsorption by allophanic tropical soils, J. Chloride adsorption, II. Sulphate adsorption, III. Phosphate adsorption, submitted to Soil Sci. Soc. Amer. Proc.
- (13) Hingston, F.J., and M. Raupach, 1967, The reaction between monosilicic acid and aluminum hydroxide. I. Kinetics of adsorption of silicic acid by aluminum hydroxide, Austr. J. Soil Res. 5, 295-309
- (14) Hingston, F.J., R.J. Atkinson, A.M. Posner, and J.P. Quirk, 1968, Specific adsorption of anions on Goethite, Transact. Internat. Congr. Soil Sci. I, 669-678, Adelaide, Australia

- (15) Hunter, A.S., 1965, Effects of silicate on uptake of phosphorus from soils by four crops, *Soil Sci.* 100, 391-396
- (16) Jones, L.H.P., and K.A. Handreck, 1967, Silica in soils, plants and animals. Interactions with phosphorus, *Advanc. Agron.* 19, 131-132
- (17) Kafkafi, U., 1968, Hydrogen consumption and silica release during initial stages of phosphate adsorption on kaolinite at constant pH, *Israel J. Chem.* 6, 367-375
- (18) Mitscherlich, E.A., 1930, Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens, 3. Aufl., P. Parey, Berlin
- (19) Nagarajah, S., A.M. Posner, and J.P. Quirk, 1968, Desorption of phosphate from kaolinite by citrate and bicarbonate, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32, 507-510
- (20) Olsen, S.R., C.V. Cole, S.R. Watanabe, and L.A. Dean, 1954, Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, U.S.D.A.-Circular 939
- (21) Po Ho Hsu, 1963, Effect of initial pH, phosphate and silicate on the determination of aluminium with aluminon, *Soil Sci.* 96, 230-238
- (22) Raupach, M., and C.S. Piper, 1959, Interactions of silicate and phosphate in a lateritic soil, *Austr. J. Agric. Res.* 10, 818-831
- (23) Reifenberg, A., and S.J. Buckwold, 1954, The release of silica from soils by the orthophosphate anion, *J. Soil Sci.* 5, 105-115
- (24) Scheffer, F., B. Ulrich und J. Benzler, 1960, Die Bestimmung von Phosphorsäure und Kieselsäure als Molybdänblau, *Landw. Forsch.* 13, 191-201
- (25) Seifert, E. und A. Bornholdt, 1970, Formenbildung hydrophiler Kolloidsysteme bei der technischen Ergänzung von Sandböden, *Z. für Bewässerungswirtsch.*, Heft 2/70, 115-139
- (26) Stöber, W., 1967, Formation of silicic acid in aqueous suspensions of different silica modifications, in R.F. Gould (Ed.), *Advances in Chemistry Series* 67, "Equilibrium Concepts in Natural Water Systems", 161-182

- (27) Tandon, H.L.S., 1969, Fluoride extractable aluminum in soils, I. Its relation to fluoride extractable phosphorus, *Soil Sci.* 108, 397-400
- (28) Tandon, H.L.S., 1970, Fluoride extractable aluminum in soils, II. As an index of phosphat retention by soils, *Soil Sci.* 109, 13-18
- (29) Weihe, A., 1931, Beiträge zur Kieselsäurewirkung, *Z. Pflanzenern., Düngg., Bodenkd.* A22, 281
- (30) Werner, W., 1970, Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit des durch langjährige Phosphatdüngung angereicherten Bodenphosphats, 1. Mitt.: Die Verfügbarkeit der Umwandlungsprodukte in sauren Böden, *Z. Pflanzenern., Bodenkd.* 126, 135-150
- (31) Young, O.R., and D.L. Plucknett, 1966, Quenching the high phosphorus fixation of Hawaiian Latosols, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 30, 653-655

Synthetische Bodenverbesserungsmittel auf tiefgepflügten

Heidepodsolen

von

R. Bartels

Problemstellung

Im Nordwestdeutschen Raum werden Heidepodsole mit mehr oder weniger mächtiger Rohhumusaufgabe zunehmend tiefgepflügt, um aus diesen Flächen sichere Ackerstandorte zu schaffen. Die Bodenbildung setzt auf diesen diluvialen Sanden, bei denen die Grob-/Mittelsandfraktionen vorherrschen, nur zögernd ein; es bilden sich keine Aggregate zwischen Sand und der organischen Substanz. Auch nach mehreren Jahren besteht die Krume nur aus Einzelkorngefüge. Die Böden verschlämmen schon bei geringen Niederschlägen. Bei ungenügendem Bewuchs unterliegen sie besonders in trockenen Frühjahrsmonaten erhöhter Gefahr der Winderosion. Sind nun synthetische Bodenverfestiger, die sich im Landeskulturbau bei kurzzeitiger Wirkung als Erosionsschutz bewährt haben, auch geeignet, in Krumen von tiefgepflügten Heidepodsolen trotz jährlich wiederkehrender Bearbeitung eine Bodenbildung vor allem durch ein anhaltend stabiles Gefüge zu beschleunigen?

Versuchsanlage

Auf einer 1938 auf 70 cm gepflügten Fläche mit 4,8 % org. Substanz in der Krume wurde 1969 bis 1971 ein Feldversuch mit Ackernutzung durchgeführt. In vierfacher Wiederholung auf Teilstücken von 40 m² Größe wurden folgende Varianten geprüft:

- (1) ohne Agrosil
- (2) 570 kg/ha Agrosil
- (3) 1140 kg/ha Agrosil

Das streufähige Bodenverbesserungsmittel wurde im 1. Versuchsjahr vor der Aussaat 15 cm in die Krume eingefräst.

Erträge

Der augenfälligste Indikator für die Verbesserung eines Wachstumsfaktors oder eines Faktorenkomplexes sind die Erträge, wobei durch Agrosil eine Beeinflussung über bodenphysikalische und/oder bodenchemische Veränderungen erfolgen kann.

Im ersten Jahr mit der Versuchsfrucht Mais ergab sich nur durch die höchste Anwendungsmenge ein signifikanter Mehrertrag von 11 %. Trotz einer ortsüblichen Bodenbearbeitung - hier erfolgte nach der Ernte eine Schälfrucht, ein Eggenstrich, einmaliges Grubbern und die Winterfurche - war im 2. Versuchsjahr bei Hafer ein signifikanter ($P = 5 \%$) Ertragsanstieg bei Variante 2 um 20 % und bei Variante 3 um 24 % zu verzeichnen. Der Winterroggen im 3. Versuchsjahr läßt im Kornertrag keine Abhängigkeit von dem geprüften Bodenverbesserungsmittel mehr erkennen. Auf den Agrosilflächen läßt sich im Trockenjahr 1971 die Begünstigung der vegetativen Phase wegen höherer Stroherträge ableiten. Vermutlich hat aber auch hier die nWK nicht zur optimalen Kornausbildung ausgereicht.

Tab. 1 : Relativerträge

Variante	1969 (Mais)	1970 (Hafer)	1971 (W.Roggen)
1	100=78,2 dz/ha	100=16,8 dz/ha	100=25,9 dz/ha
2	103	120*	95
3	111*	124*	100

Bodenphysikalische Untersuchungen

Eine Prüfung der Aggregatsstabilität war nicht durchzuführen. Auch auf den Teilstücken mit Agrosil konnte keine Aggregation festgestellt werden, der Boden zerfließt weiterhin schon bei der geringsten Zugabe von Wasser.

Veränderungen in der Porengrößenzusammensetzung wurden aus Volumenproben (5-9 cm) direkt nach der Ernte ermittelt. Im ersten Jahr ist eine Zunahme des Makroporenraumes zu beobachten, und zwar sowohl im Bereich der schnell dränenden Poren als auch der langsam dränenden Poren. Die Poren $< 30 \mu$ bleiben zunächst unbeeinflusst, so daß die nutzbare Wasserkapazität (nWK) keine Änderung erfährt.

Tab. 2 : Veränderung des Porenvolumens im 2. Versuchsjahr (1970)

Variante	GPV	Vol.% H ₂ O pF 2	Vol.%H ₂ O pF 4,2	Vol.%H ₂ O nWK
1	44,3	18,7	6,9	11,8
2	46,2	20,4	7,9	12,5
3	47,4	23,7	9,5	14,2

Nach der 2. Versuchsernte hat eine Veränderung in der Porenraumverteilung stattgefunden. Entsprechend der Zunahme des GPV ist auch der Anteil an Poren $< 0,2 \mu$ angestiegen. Stärker als der Mikroporenanteil ist das Volumen an Mesoporen und damit auch die nutzbare Wasserkapazität gestiegen. Im trockenen Sommer 1970 laufen Ertragszuwachs und Zunahme der nWK parallel; die Verfügbarkeit des Wassers ist also hier für die Ertragsgestaltung vermutlich entscheidend gewesen.

Aus den Untersuchungen scheint klar zu werden, daß der verwendete Bodenverfestiger anfangs ein Quellen des Bodens in der Krume bewirkt mit zunächst starker Zunahme der groben Poren. Sehr bald findet ein Verfall dieser Poren statt, der zu ihrer weiteren Aufteilung und damit zu einer Zunahme im Mesoporenbereich als Übergang zum Ausgangsstadium führt.

Chemische Bodenuntersuchungen

Mischproben aus 25 Einstichen pro Parzelle lassen über die Gesamt-P-Bestimmung (Veraschung 550° und HCl-Auszug) eine P-Wanderung in tiefere Bodenschichten erkennen, sofern man P-Verlagerung durch Podsolierung ausschließt.

Tab. 3 : Gesamt-P₂O₅ im Boden (% TS)

Variante	Tiefe (cm)	P ₂ O ₅
1	0-20	0,068
	30-50	0,039
	50-70	0,027
3	0-20	0,046
	30-50	0,045
	50-70	0,039

Erstaunlich ist das Absinken des P₂O₅-Gehaltes in der Krumschicht 3 Jahre nach Ausstreuen von Agrosil. Wenn auch unter Berücksichtigung des P-Entzuges durch den Mehrertrag eine Phosphorsäurebilanz nicht gegeben ist, so zeichnet sich doch eine P₂O₅-Anreicherung in tieferen Schichten ab, d. h. die Phosphorsäure im Agrosil bzw. die durch Agrosil mobilisierte Bodenphosphorsäure scheint relativ leicht beweglich zu sein.

Zusammenfassung

In einem Feldversuch war auf stark humosem Grobsand eine intensivere Aggregierung nach Agrosilanwendung nicht festzustellen. Es kommt zu einer vorübergehenden Erweiterung des Makroporenraumes, der im 2. Versuchsjahr wieder zusammenbricht zugunsten der Mesoporen, die dadurch entstandene höhere nWK beeinflusst die Ertragsgestaltung positiv. Im 3. Jahr ist die Wirkung auf den Kornertrag aufgehoben.

Für eine anhaltende Erhöhung der Gefügestabilität auf landwirtschaftlich genutzten Sandböden mit vorherrschendem Einzelkorngefüge erscheinen diese Bodenverfestiger nach unseren Ermittlungen nicht geeignet. Die vorliegenden Untersuchungen bestätigen aber ihren Wert für den Einsatz zum Erosionsschutz, wo es gilt, kurzzeitig für eine Ansaat optimale Wachstumsbedingungen zu schaffen.

Einsatz des synthetischen Aggregans "Sedipur" zur Oberflächen-
Strukturierung und meliorativen Krumen-Konditionierung von
Schluff-, Lehm- und Ton-Böden

von

Brunk Meyer¹⁾

Eine physikalisch-chemische Stabilisierung mechanisch erzeugter Aggregate aus ton- und schluffreichem Boden-Material gegenüber dem segregierenden Einfluß mechanischer Einwirkungen ist mit Hilfe synthetischer Struktur-Stabilisatoren möglich. Beruht deren Wirkung ausschließlich auf einem durch Lackfilm-Ummantelung, Vermörtelung oder Fasernetz-Umhüllung bedingten mechanischen Zusammenhalt der Aggregate, so wird sie bald durch die natürliche Gefüge-Dynamik des Bodens oder durch Bearbeitungs-Maßnahmen wieder aufgehoben.

Eine dauerhafte Ton/Schluff-Aggregat-Stabilisierung in Krümel- oder Schwamm-Gefügen ist lediglich von sog. "Flocculantien" oder "Aggregantien" zu erwarten. Diese erhöhen im Sinne einer kolloid-chemischen Flockung durch Änderung der Ionen-Art und -Konzentration in der Micellar-Lösung die elektrostatische Attraktion zwischen den Ton-Teilchen sowie Ton- und Schluff-Teilchen. Dabei ist die Austauschbarkeit und Mobilität des flockenden Ions in der Boden-Lösung eine Grundforderung. Sie ist in der Regel bei den seit 2 Jahrzehnten (vgl. KULLMANN, 1971) angewendeten polyanionischen Linearpolymeren nicht gegeben. Die Fadengestalt ihrer Molekel sowie deren Fähigkeit zur Haupt-, Nebervalenz- und Van-der-Waals-Bindung und Mehrfach-Adsorption bewirkten zwar eine elastische Verkettung und Vernetzung der Boden-Teilchen. Doch ist die Fixierung eines bestimmten Aggregierungs-Zustandes eine irreversible, die durch fortgesetzten mechanischen Impact (Bearbeitung, Frost etc.) successiv wieder zerstört wird.

Es gilt vielmehr, Flocculantien zu finden, die - ähnlich wie das Ca-Ion - reversibel auf dem Wege der Ionen-Diffusion und des Ionen-Austausches in der Lage sind, sich ständig und neu homogen in der Boden-Decke zu verteilen und immer wieder die durch starke mechanische Einwirkungen (Frost, Boden-Bearbeitung, Regenwurm-Tätigkeit) neu geschaffenen und neu zu schaffenden Aggregat-Strukturen zu stabilisieren - ohne dabei Nebeneffekte wie pH-Erhöhungen oder

¹⁾ Institut für Bodenkunde, 34 GÖTTINGEN, v. Siebold-Str. 4

Einschränkungen der Nährstoff-Verfügbarkeit zu verursachen. Dies ist z.B. bei der Struktur-Stabilisierung durch Kalkung der Fall, wobei hinzukommt, daß Kalk ausgewaschen wird und als Flocculans stets ersetzt werden muß.

Die Suche und systematische Prüfung verschiedener synthetischer Flocculantien führte zum "Sedipur" der Fa. BASF, einem meso-polymeren Elektrolyt auf Polyacrylamid-Basis, der zum Flocken und Konditionieren kommunaler und industrieller Schlämme eingesetzt und in den 4 Formen "KA" (flüssig, kationisch), "TF" (fest, neutral), "TF₂" (fest, schwach anionisch) und "TF₅" (fest, stark anionisch) angeboten wird.

Vorversuche ergaben:

- 1.) Alle Sedipur-Formen, besonders aber die "anionischen", bewirken schon bei geringen Konzentrationen (10 mg/100 g B.) eine starke Flockung wässriger Suspensionen von Ton- und Schluff-Böden - unabhängig von Basensättigungs-Zustand und pH, Tonmineral-Zusammensetzung und Eisenoxid-Gehalt, Salz- und Humus-Gehalt.
- 2.) Im Perkolationswasser-Strom und durch Diffusion verteilt sich von oben zugegebenes Sedipur in Bodensäulen homogen in größere Tiefen, von oben nach unten Zonen adsorptiver Sättigung erzeugend. Überschüssiges, d.h. nicht adsorptiv festgelegtes Sedipur bleibt leicht beweglich. Bei der Austrocknung von der Oberfläche her entstehen Effloreszenzen von mit dem aufsteigenden Kapillar-Wasser mitgeführtem Sedipur. Messungen zur Sorptions-Kapazität sind im Gange.
- 3.) Aggregat-Wasserstabilitäts-Test nach ANDRIANOW (modifiziert n. KACZINSKY): Feuchte und lufttrockene natürliche Frost-Aggregate von Röt-Pelosolen und Löss-Parabraunerde-B_t-Horizonten wurden mit Sedipur-Lösungen infiltriert, getrocknet und wieder befeuchtet, wobei teilweiser Zerfall eintritt. Die Erhaltungsquote wurde bestimmt. TF₂ brachte 100 % Erhaltung gegenüber 20 - 40 % bei unbehandelten Aggregaten.

- 4.) Natürlich gelagerte Löß-Parabraunerde-A₁/A_p-Horizonte wurden im Felde von oben mit Sedipur infiltriert (300 kg/ha). 1 cm-Schichten wurden abgehoben, auf 1mm-Sieben placiert und 5 min einer Regen-Intensität von 6,5 mm Niederschlagshöhe/sec ausgesetzt. Bei TF₂ blieben 78 % des Boden-Materials auf dem Sieb zurück, bei unstabiliertem Boden nichts.
- 5.) Quarz-Ton- und -Schluff-Suspensionen sind mit Sedipur flockbar, wenn auch nicht sehr intensiv.
- 6.) Sedipur-Flockungs-Niederschläge, verrührte Pasten, infiltrierte Sediment-Körper und Aggregate besitzen die extrem hohen Thixotropie-Koeffizienten von Tactoid-Gelen bei mittlerer Elastizitäts-Schwelle. Aggregate verhalten sich wie Allophan-Aggregate in Andosolen: körniger Griff und bei sehr starkem Zerreiben plötzliches "greasing".
- 7.) Wiederholtes Gefrieren sedipurverrührter Boden-Pasten wie auch natürliches Gefrieren sedipurbehandelter Böden in Vegetations-Gefäßen bestätigten, daß das mobil bleibende Flocculans die mehrfach zerteilten und wieder neu geschaffenen Aggregate genau so stabilisiert als wenn diese erst nachträglich mit Sedipur behandelt worden wären.
- 8.) Die Tactoid-Struktur verleiht den stabilisierten Boden-Aggregaten die Fähigkeit, im Wechsel von Trocknung und Befeuchtung zu quellen und zu schrumpfen, ohne infolge Luft-Sprengung oder Zerscherung zu zerfallen und damit in gewissen Grenzen Durchmischung zu betreiben.
- 9.) Abbau-Versuche in Atmungs-Tests (HOMeyer 1971) ergaben - trotz einer gewissen Förderung mikroskopischer Pilze - vernachlässigbar geringe Abbau-Quoten der Sedipur-Formen.
- 10.) Dreijährige Freiland- und Vegetations-Gefäß-Versuche bestätigten die im Labor gefundene Erhaltung der Flockungs-Wirksamkeit selbst nach langen Reaktions-Zeiten.

- 11.) Die hohe Wasser-Löslichkeit des Flocculans ermöglicht die trockene Feld-Ausbringung ohne Einarbeitungs-Zwang allein aufgrund der Infiltration durch nachfolgende Niederschläge. Beregnung oder Verspritzung der relativ viskosen Lösungen wären lediglich der Verteilungs- und Wirkungs-Beschleunigung dienlich.

Anwendungs-Möglichkeiten:

Im normalen "pflügenden" Ackerbau ist - wie bei allen anderen Boden-Verbesserungsmitteln - vermutlich auch beim Sedipur die Aufwand-Menge zu hoch, die erforderlich wäre, die 3-4000 t Boden-Gewicht der ständig durcharbeiteten Ackerkrume zu stabilisieren, obwohl in Anbetracht der Wirkungsweise die anzuwendenden Mengen relativ gering sind.

Einsatzmöglichkeiten bieten sich im Pflugbau-System besonders auf stauwassigen und Grundwasser-Böden, die eine Drainage erfordern. Oft kann diese umgangen werden, wenn nur die Ackerkrume maximal strukturstabilisiert und damit die Durchlüftung reguliert und die Befahrbarkeit garantiert werden. Beispiele dafür liefern Teile des Hildesheimer Schwarzerde-Gebietes, wo auf gut gekrümelten Ackerböden Frühjahrsbestellung und Ablauf der frühen Vegetations-Phasen bei Grundwasserständen von 30 cm und weniger erfolgen. In einem Dauer-Vegetationsgefäß-Versuch konnten wir 1970 und 71 bei einem permanent auf 12,5 cm Tiefe u. D. gehaltenen Grundwasserstand volle Sommerweizen- und Haferernten erzielen, wenn die obere Bodenschicht in einem optimalen Aggregierungs-Zustand gehalten wurde. Dies gelang schon durch oberflächliches Ausbringen und natürliche Infiltration des Sedipurs in Aufwand-Mengen von umgerechnet 280, 550 und 830 kg/ha in Zusammenarbeit mit der lockernden Wurzel-Tätigkeit. Die höchste Aufwand-Menge brachte gegenüber der niedrigsten noch eine Steigerung des Korn-Ertrages von 20 %. Die Struktur-Wirkung der einmal verabreichten Gabe zeigt sich auch in diesem, dem 3. Versuchsjahr, unvermindert.

Auf Pelosolen, die den Winterfrost als Voraussetzung der Frühjahrs-Bearbeitung und -Bestellung erfordern, läßt sich durch Schaffung einer zerstörungs-resistenten Krumen-Struktur mit Hilfe von Sedipur die Nachernte-Bestellung von Winterung ermöglichen, was auf diesen - im Frühjahr nach intensiver Frost-Krümelung zur Austrocknung neigenden - Böden eine Risiko-Versicherung darstellt. Gleiches gilt für die Kalkstein-Braunlehme, die aufgrund ihrer Struktur-Probleme und ihres dementsprechend schmalen Spektrums an Anbau-Früchten in immer stärkerem Maße als Grenzböden veröden.

Gute Anwendungs-Möglichkeiten für Sedipur bieten sich beim Verfahren des pfluglosen Ackerbaus oder der Minimal-Bodenbearbeitung (Flachbearbeitung) auf Schlufflehm- und Ton-Böden. Da hierbei lediglich die oberen Zentimeter des Bodens in einen aggregatstabilen Zustand zu überführen sind, können die Aufwand-Mengen der genannten Flocculantien erheblich reduziert werden. Sedipur bietet dabei den Vorteil, daß es nicht eingearbeitet zu werden braucht und überschüssige Gaben sich selbsttätig successiv in tieferen Abschnitten des Oberbodens verteilen. Solche Versuche werden bei uns auf Pelosolen und Kalkstein-Braunlehmern mit der oben bereits genannten Zielsetzung durchgeführt.

Auf Löß-Parabraunerden ermöglicht die flache Minimal-Bearbeitung den selbsttätigen natürlichen Aufbau einer vom Regenwurm stark durcharbeiteten selbstdränenden, kompressions-resistenten Boden-Struktur, da negative Bearbeitungs-Effekte ausgeschaltet werden und die Oberflächen-Verschlämmung zurückgedrängt wird. Die Anwendung aller 4 Sedipur-Formen in Aufwand-Mengen von 30 - 90 kg/ha (bei der heutigen Preislage ca. 270 - 800 DM/ha) führte in den Dauer-Feldversuchen mit Weizen-Monokultur ohne weitere Additive zu einer völligen, selbst im jetzigen 3. Versuchsjahr unvermindert wirksamen Verhinderung jeglicher Ton-Schluff-Segregation und Schluff-Verschlämmung an der Boden-Oberfläche - obwohl der Boden im Ausgangs-Zustand eine sehr schlechte Basen-Versorgung mit extremer Verschlämmungs-Neigung aufwies.

Einsatz-Möglichkeiten für Sedipur im Rübenbau bestehen in der Band-Stäubung der Saat-Reihen nach der Bestellung. Dadurch kann bei einem Kosten-Aufwand von ca. 50 - 100 DM/ha besonders auf verschwemmungs-anfälligen Löß-Böden der gleichmäßige Auflauf des auf Endabstand gedrillten Rüben-Saatgutes gewährleistet werden. Versuche zeigten allerdings, daß dazu ein Band-"Stäube"-Gerät erforderlich ist, da die starke Viskosität des in höheren Konzentrationen zu lösenden Sedipurs die Versprühung ausschließt.

Weitere Anwendungs-Möglichkeiten befinden sich zur Zeit in Erprobung:

- 1.) Die Anwendung in der Pflanzen-Versuchstechnik, wo z. B. in Gefäß- und Lysimeter-Versuchen der Zusatz von Flocculantien ein dauerhaftes Lockergefüge schafft, das die sonst notwendige Beimischung von Quarzsand erübrigt;
- 2.) Die Aggregat-Stabilisierung von Boden-Material zur Verfüllung von Weitabstands-Drängräben zum Zwecke der Kies-Ersparnis;
- 3.) Die dauerhafte Gefüge-Verbesserung des Bodens unter Rasen-Narbe, die ständiger Verdichtung durch Betreten oder durch Mäh-Werkzeuge ausgesetzt ist;
- 4.) Die Gefüge-Stabilisierung in versalzungs-gefährdeten Irrigations-Böden.

LITERATUR

1. Kullmann, A., 1971: Möglichkeiten zur Anwendung von synthetischen Bodenverbesserungsmitteln für meliorative Aufgaben in der Landwirtschaft. Wiss.-techn. Informationen für das Meliorationswesen, H. 14, 1-43, VEB Ingenieurbüro f. Meliorationen, Inform.Stelle, Bad Freienwalde
2. Homeyer, B., 1971: Anwendung synthetischer Linearkolloide zur Strukturverbesserung von Böden. Diplomarbeit, Landw. Fakultät Göttingen, 53 S.

Der Einfluß von CURASOL auf Gefügeeigenschaften von Böden

von

T. Harrach, G. Jachimsky und H.-U. Preuß

Die vorliegenden Untersuchungen befassen sich mit dem Einfluß der Erosionsschutzmittel CURASOL AH, AK und AE (R) der Farbwerke Hoechst AG auf die Aggregatstabilität, die kapillare Wasserleitfähigkeit, die Infiltration und die Erosion. Es handelt sich um hochpolymere Kunststoff-Dispersionen (Copolymerisate), die nach Aufbringung auf den möglichst trockenen Boden als CURASOL-Wassergemisch im Verlaufe der Trocknung und Nachhärtung ein dreidimensionales Netzwerk bilden, das in Abhängigkeit von der pro Flächeneinheit aufgebrauchten Menge, dem Verdünnungsverhältnis, der Infiltration und dem Initialwassergehalt des Bodens bis zu etwa 10 mm in den Boden reicht und mit diesem verankert ist.

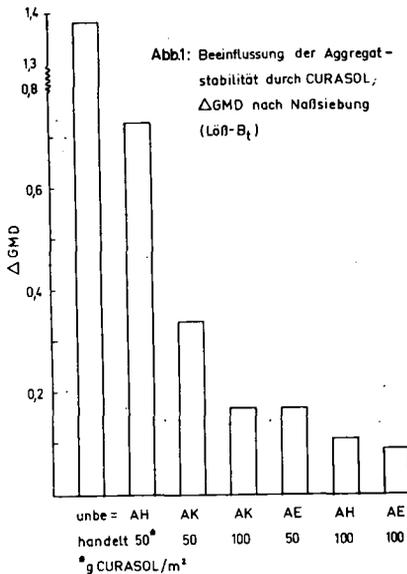
Zur Stabilitätsmessung mittels Naßsiebung (HARTGE 1971) wurden Aggregate aus dem B_t-Horizont einer erodierten Parabraunerde aus LÖB (26,2 % Ton; 1,03 % org. Subst.) nach Besprühen der Aggregatmischungen mit 50 bzw. 100 g CURASOL/m², 24-stündiger Trocknung, kapillarer Wassersättigung und Sättigung durch Überstauen sowie zweistündigem Abtropfen herangezogen (Tab. 1).

Die stabilisierende Wirkung des CURASOLS äußert sich in der Zunahme der größten Aggregatfraktion auf Kosten der kleineren, z. T. bedingt durch Verklebung kleinerer Aggregate zu größeren. Bei den Typen AK und AE treten keine wesentlichen Unterschiede zwischen beiden Dosen auf.

(R) = eingetragenes Warenzeichen

Tabelle 1: Messung der Aggregatstabilität mittels Naßsiebung

Aggr.- Frakt. mm	% -Anteile der Aggregatfraktionen							
	vor Naßsiebung			nach Naßsiebung				
	unbeh.	AH	AE	AK	AE	AK	AE	AE
		50	100	50	100	50	100	
2-3	17	17	16	13	14	16	12	13
3-5	33	19	20	16	21	22	18	19
5-8	50	38	47	63	53	55	58	59

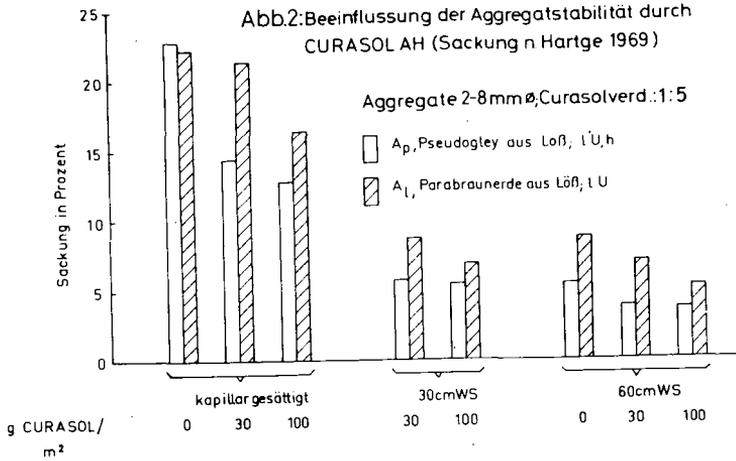


Den Δ GMD-Werten zufolge sind schon die unbehandelten Aggregate sehr stabil; die Stabilität nimmt nach der CURASOL-Behandlung erheblich zu (Abb. 1).

Die Bestimmung der Sackung nach HARTGE (1969) (Abb. 2) ergibt, bei vergleichbarer Sackung der unbehandelten Aggregate im kapillar mit Wasser gesättigten Zustand, bei dem A_p-Material eine Sackungsminderung von bis zu 42 %. Eine Verringerung des Wassergehaltes, entsprechend 30 bzw. 60 mm WS, vermindert die Sackung der unbehandelten

Aggregate sehr stark, die durch CURASOL noch verstärkt wird.

Zur Messung der Evaporation als Indiz der kapillaren Leitfähigkeit wurden 100 ccm-Stechzylinder mit lufttrockenem Feinboden (B_v-Horizont einer sauren Braunerde) gefüllt (Unterseite mit Filterpapier verschlossen), die Oberfläche mit CURASOL besprüht, nach 24stündiger Trocknung innerhalb von zwei Tagen kapillar gesättigt, Unterseite fest verschlossen und die Stechzylinder mit 8 mm Wasser beregnet.



In keinem Fall trat eine sichtbare Oberflächenverschlämzung ein. In einer Klimakammer wurde die Abnahme der Wassergehalte gravimetrisch ermittelt (Abb. 3).

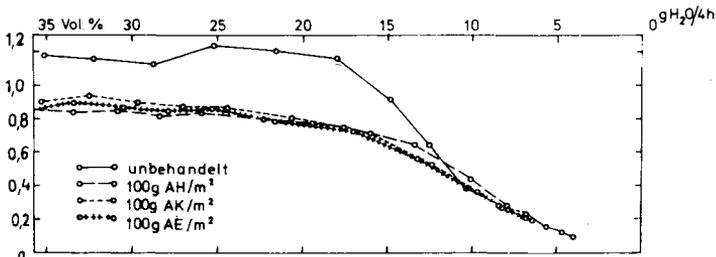
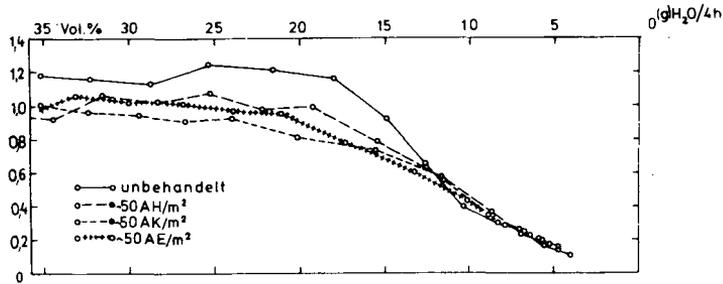


Abb. 3: Verdunstungsraten in Abhängigkeit vom Wassergehalt (Vol. %) (CURASOL:Wasser=1:5)

Bis hinunter zu einem Wassergehalt von 13 Vol.-% sind die Verdunstungsraten der mit CURASOL behandelten Proben geringer als die der unbehandelten. Mit Steigerung der CURASOL-Dosis von 50 auf 100 g/m² nehmen, bei gleichem Wassergehalt, die Verdunstungsraten weiter ab.

Eine weitere Untersuchungsreihe gemäß obiger Anordnung mit TYLOSE 666 (dient zur Andickung von CURASOL-Wassergemischen vor allem beim Hydrosähverfahren in Hanglagen und an Böschungen) zeitigt bei Verwendung von 15 - 60 g/m² in etwa den gleichen Effekt wie 50 g CURASOL/m², und die Verdunstungsraten der TYLOSE-CURASOL (100 g/m²)-Serie bewegen sich in der Größenordnung der 100 g/m²-Serie.

Die Bildung wasserstabiler Aggregate durch CURASOL-Behandlung (100 g/m²; Verdünnung 1:5) vermindert die Verschlämzung und erhöht die Infiltration (Abb. 4; Infiltrationsmessung nach der Doppelring-Methode, KOPP, 1965, auf einer Pararendzina aus Löß). Die beste

Wirkung zeitigt die Type AK, während die Typen AE und AH vergleichbar sind.

Die Messung des Oberflächenwasserabflusses und des Bodenabtrages auf Erosionsparzellen (Tab. 2) bestätigt die oben angeführten Ergebnisse. Der Starkregen am 27.9.1971 hatte auf der O-Parzelle einen hohen Wasserabfluß (knapp 50 % des Niederschlages) und einen Bodenabtrag von knapp 30 dz/ha zur Folge, während auf den beiden CURASOL-Parzellen der Wasserabfluß rd. 20 % des Niederschlages betrug und der Bodenabtrag der AK-Parzelle sich auf 13 %, der der AH-Parzelle auf nur 3 % des Abtrages der O-Parzelle belief.

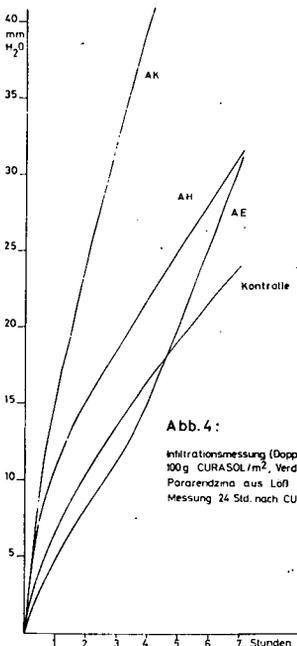


Abb. 4:
Infiltrationsmessung (Doppelring-Methode)
100 g CURASOL/m², Verdünnung 1:5
Pararendzina aus Löß
Messung 24 Std. nach CURASOL-Aufbringung

Tab.2 Messung des Oberflächenabflusses und des Bodenabtrages

Erosionsparzellen: 2x8m ; Hangneigung: 10% ;

Bodentyp: Pararendzina (A_p: h', k , LU)

Parzelle I : 50g CURASOL AH/m²; Verdünnung 1:5

Parzelle II : unbehandelt

Parzelle III: 50g CURASOL AK/m²; Verdünnung 1:5

Datum	Regen-		Parzelle I		Parzelle II		Parzelle III	
	menge mm	intens. mm/min	Abfluß in % d.Nieder- schlages	Boden- abtrag kg/ha	Abfluß in % d.Nieder- schlages	Boden- abtrag kg/ha	Abfluß in % d.Nieder- schlages	Boden- abtrag kg/ha
23,8	10,1	0,06	0,4	0,3	3,7	6,9	0,8	0,7
1,9	3,5	0,26	0,0	0,0	1,8	2,9	0,9	0,7
27,9	9,8	0,53	17,3	123,7	45,2	2954,3	20,4	382,3

Zusammenfassung:

Die Behandlung von Bodenaggregaten bzw. von natürlich gelagertem Boden mit CURASOL in für den temporären Erosionsschutz empfohlenen Anwendungsmengen führt, sachgemäße Anwendung vorausgesetzt, zu einer Erhöhung der Aggregatstabilität, infolge Verminderung der Verschlammung zu einer Erhöhung der Infiltration und folglich zur Verminderung der Bodenerosion sowie zu einer Abnahme der Evaporation.

Literatur:

- HARTGE, K.H.: Z. Pflernähr.Bodenk. 122 (1969) 250-259
 - . - : Die physikalische Untersuchung von Böden.
 F. Enke-Verlag, Stuttgart 1971
- KOPP, E. : Z. Kulturtechnik Flurber. 6 (1965)65-90.

Über die Möglichkeiten zur Verminderung der Erosion

durch Altpapier

von

B. Walter, E. Petermann und D. Hase

Immer mehr Waren werden in Versandschachteln aus Vollpappe oder Wellpappe verpackt und versandt, auch Getränkeflaschen. In Weinbaugebieten entsteht den Weinkellereien in der Erfassung von gebrauchtem Verpackungsmaterial aus Pappe ein besonderes Problem. Die Weinflaschen gelangen von der Glashütte zum Weinbauer oder zu Großkellereien. Die dabei anfallende Verpackung aus Vollpappe oder Wellpappe ist meist nicht dazu vorgesehen und geeignet, weiter verwendet zu werden. Weiterhin fallen große Mengen an Verpackungsmaterial durch den Rücktransport der leeren Flaschen vom Verbraucher zu den Weinkellereien an. Wegen der großen Entfernungen der Weinbaugebiete zu den Papierfabriken und auch wegen der Schwierigkeiten der wirtschaftlichen Erfassung, kommt der Rücktransport dieses Altmaterials als wieder zu verwendender Rohstoff leider nicht in Betracht. Die Mülldeponien im Weinbaugebiet wurden durch die Altpappe daher erheblich belastet.

Durch die immer weiter sich ausbreitende viehlose Bewirtschaftung der Weinberge bot sich diesem Problem gegenüber u.a. der Einsatz von Altpapier zum Erosionsschutz an.

B. Walter, Landes-Lehr- und Versuchsanstalt für Weinbau, Gartenbau und Landwirtschaft, TRIER

E. Petermann, Herzberger Papierfabrik, 3420 HERZBERG

D. Hase, 3420 HERZBERG, Troppauerstraße 5

Vorversuche

Im Jahre 1965 begannen Windaus und Petermann (1) mit umfangreichen Untersuchungen über den Abbau von Vollpappen, die verschiedenartigen Böden zugesetzt wurden. Da Vollpappe wie Stroh zum überwiegenden Teil aus Zellulose besteht, war zu erwarten, daß sich die Vollpappe ähnlich wie das Stroh verhält. Die Untersuchungen zeigten, daß sich die Vollpappe jedoch leichter abbauen läßt als Stroh, da die Vollpappe hauptsächlich aus voraufgeschlossener Zellulose besteht.

Die Vorversuche brachten folgende Ergebnisse:

1. Wird dem Boden Vollpappe ohne ausreichende Stickstoffdüngung zugesetzt, dann treten Wachstumsdepressionen auf.
2. Werden mit den Pappenabfällen gleichzeitig ausreichende Mengen an N, P und Ca in Form von Mineraldünger in die Böden gebracht, treten keine Wachstumsdepressionen ein (1). Da Pappe einen anderen Aufschlußgrad als Stroh aufweist, können die celluloseabbauenden Mikroorganismen die Pappe schneller verwerten als Stroh, es wird daher auch eine schnellere N-Fixierung stattfinden. Eine deutliche Verbesserung des Bodenzustandes war zu beobachten, die durch Bodenbeatmungsversuche und durch die Bestimmung der Enzymaktivität nachgewiesen werden konnte. Weiterhin bewirkte die Pappenzugabe zum Boden eine Verbesserung des physikalischen Zustandes des Bodens: er trocknet weniger leicht aus, es ergibt sich eine krümelige Struktur und damit ein besseres Pflanzenwachstum (1).
3. Ein Einfluß von Aluminiumverbindungen, die in der Pappe vorhanden sein können, tritt nicht ein, wenn nicht mehr Pappe zugesetzt wird als bei der Strohdüngung im Durchschnitt üblich ist.

Die Versuche zeigten deutlich, daß es möglich sein muß, Vollpappe in die Weinbergböden einzuarbeiten.

Feldversuche

Ab 1968 werden an der LLVA Trier Erosionsschutzversuche durchgeführt.

Die Weinberglage Trier Augenscheiner liegt unmittelbar zwischen dem Steilabbruch des mittleren Buntsandsteins und der Mosel in Hanglage mit 30-45 % Neigung. Tabelle 1 zeigt die Bodentextur und die Nährstoffverhältnisse der Versuchsfläche. Der Buntsandsteinverwitterungsboden hat aufgrund seines geringen Ton- und Schluffanteils, besonders im Oberhang, eine niedrige Wasserkapazität. Das Niederschlagswasser kann daher nur unzureichend gespeichert werden. Nach Starkregen hoher Intensität ergießen sich dann erodierete Bodenmassen auf die Straßendecke und führten schon zu mehreren Verkehrsunfällen. Das Straßenbauamt Trier machte daher dem Besitzer der Weinberge zur Auflage, geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um zukünftig den Bodenabtrag zu verhindern. Unter diesen akuten Umständen wurden die folgenden Versuche angestellt.

1. Kontrollparzelle mit Bodenlockerung
2. Kontrollparzelle ohne Bodenlockerung
3. Strohdüngung - 40 dz/ha und 1 kg N/dz Stroh
4. Pappschnitzel - 40-60 dz/ha und 1 kg N/dz Pappschnitzel

Zu 2., 3. und 4.: Auflaufendes Unkraut wurde mit Nachlaufmitteln behandelt.

Zu 3. und 4.: Stroh und Pappschnitzel wurden mit N-Ausgleichsdüngung im Herbst/Winter ausgebracht und einmal flach eingearbeitet.

Die Feldversuche brachten folgende Ergebnisse:

1. Bei allen nachweisbaren Niederschlägen zeigte die mit Stroh gedüngte Parzelle überhaupt keinen Bodenabtrag. Auch die Pappschnitzel verhinderten jegliche Erosion. Leider war wegen Brandgefahr (Eisenbahnlinie) die bekannt erosionshemmende Wirkung einer Strohddecke nicht zu verwirklichen und im Versuch zum Vergleich heranzuziehen (2). Deshalb konnte nur die Strohgabe (40 dz/ha) flach in den

Tabelle 1

Erosionsschutzversuch Trierer Augenscheiner

Bodentyp: Basenarme Braunerde, Rigosol

Geol. Ausgangsgestein: mittlerer Buntsandstein

Tiefe cm	Korngrößen in % Feinboden < 2 mm				Skelett % 2-60 mm	Feinboden % < 2 mm	pH (0,1 n KC1)	Nährstoffe mg / 100 g						Ges. N %	Bodenart
	Grob-sand	Fein-sand	Schluff	Ton				P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Bor ppm	Humus %			
<u>Oberhang</u>															
0 - 20	39,4	43,3	12,1	5,2	22,8	77,2	5,8	40,1	38,8	12,0	0,6	2,1	0,4	LS	
50 - 60	37,8	47,4	9,0	5,8	33,5	66,5	5,3	35,2	32,2	10,5	0,4	0,8	0,1	LS	
<u>Unterhang</u>															
0 - 20	25,2	42,5	18,7	13,6	10,9	89,1	6,4	40,3	50,2	10,2	0,7	5,2	1,6	LS	
50 - 60	28,3	48,1	13,1	10,5	18,3	81,7	5,8	42,5	41,0	10,3	0,5	1,8	0,1	LS	

Tabelle 2

Erosionsschutzversuch Trierer Augenscheiner

Parzelle	Stock - zahl	kg / Stock	kg / Parz.	kg / ar	Mostgew. °Oe	Säure ‰	Asche g / l	Alkalität mval	P ₂ O ₅ g / l	K ₂ O g / l	N g / l
<u>1969</u>											
3	232	1,15	268,5	73,7	75	12,6	3,744	19,6	0,560	2,07	
4	232	0,88	204,5	56,4	78	12,6	10,842	23,4	0,420	2,36	
6	232	0,61	141,0	39,1	86	14,5	5,310	16,8	0,672	1,80	
<u>1970</u>											
3	236	1,50	356,0	96,15	76	12,28	10,20	26,8	0,550	1,72	0,784
4	236	1,91	451,5	122,43	70	12,64	14,79	26,8	0,570	1,90	0,812
6	236	1,33	316,0	85,25	76	12,17	3,82	33,6	0,870	1,97	0,742
<u>1971</u>											
4	236	1,82		116,67	75	10,75	2,62	18,4	0,400	1,55	0,66
6	236	2,04		130,77	71	12,15	2,62	18,9	0,410	1,44	0,64

- 3 = Stroh und Kalkstickstoff
4 = Pappschnitzel 60 dz / ha
6 = Kontrolle mit Bodenlockerung

Oberboden eingegrubbert und unter den Stöcken mit der Hand eingearbeitet werden. Auf diese Weise entstand eine poröse, lockere Krumenschicht bis ca. 20 cm Tiefe. Die gleiche lockere Krumenschicht ergab sich bei der Einarbeitung der Vollpapp-schnitzel. (Größe ca. 5 x 8 cm)

2. Die Kontrollparzelle ohne Bodenlockerung, jedoch mit natürlicher Verunkrautung, führte zu mäßigem Bodenabtrag durch Erosion. An der Laubwand der Rebzeilen lief der Regen ab und bewirkte links und rechts der Rebstöcke die Ausbildung von Erosionsrinnen, die eine Tiefe bis zu 10 - 15 cm erreichen konnten. Die Erosionsrinnen verliefen nicht immer durchgehend bis zum Hangfuß, sondern innerhalb der Hanglinie bildeten sich schuttkegelartige Zwischenablagerungen des erodierten Bodenmaterials.
3. Die Kontrollparzelle mit Bodenlockerung, also mit offen-mechanischer Bearbeitung, zeigte den stärksten Bodenabtrag. Die in Hangrichtung verlaufenden Lockerungsfurchen waren die Ursache für einen intensiven Bodenabtrag. Grabenerosionsrinnen und Auskolkungen spülten die Rebwurzeln bis zu 25 cm Tiefe frei und führten 1971 zusätzlich zu Trockenschäden an den Rebstöcken.
4. Obwohl es bei den Versuchen vornehmlich um den Wirkungsgrad des Erosionsschutzes ging, wurden sicherheitshalber die Erträge der einzelnen Versuchspartzellen mit erfaßt und ihre Erntequalitäten ermittelt. Vgl. Tabelle 2.

Die Parzellen mit Stroh- bzw. Pappschnitzelbehandlung hatten in den Versuchsjahren 1968/69 einen Mehrertrag, der wahrscheinlich durch das intensivere Bodenleben beim Lignin- und Zelluloseabbau erzielt wurde. Im Laufe der dreijährigen Versuche wurden jedenfalls Zuckergehalt, Aschegehalt, Gesamt-N, P_2O_5 und K_2O -Anteile der Moste nicht gesichert positiv beeinflusst. Auch der Gesundheitszustand der Rebstöcke in den einzelnen Teilstücken war optisch gleich.

Anmerkung:

Die Versuche mit Pappschnitzeln werden weitergeführt, und sind bisher nur auf einem speziellen Bodenstandort durchgeführt worden. Eine exakte Erfassung des Bodenabtrages durch Erosionsmeßstellen war noch nicht möglich. Bei der Fortführung der Versuche soll dieser Nachteil ausgeschaltet werden. Bei der Zerkleinerung der Pappenabfälle bestehen noch gewisse Schwierigkeiten, die aber durch Versuche an der transportierbaren Zerkleinerungsanlage behoben werden sollen.

Literatur:

1. Windaus, G. und Petermann, E.: Untersuchungen über den Einfluß von Vollpappe auf das Pflanzenwachstum.
In: Das Papier 1967, Heft 5, S. 225-239
2. Institut für Weinbau Geisenheim: Möglichkeiten zur Verminderung der Erosion im Weinbau.
In: Der Deutsche Weinbau 1972, Heft 6
3. Jung, J. und Riehle, G.: Mehrjährige Gefäßversuche.
In: Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau 123, 1966, S. 345-355