

Z 81/34

MITTEILUNGEN

der

**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT**

Band 34

1982

I S S N - 0343-107X

Schriftleitung: P. Hugenroth, Göttingen

MITTEILUNGEN
DER
DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT

Referate

BODENSTICKSTOFF

Gemeinsame Sitzung der Kommissionen III und IV
in GIESSEN am 29. und 30.3.1982

Bericht

ALPINE BÖDEN AUS CARBONATGESTEINEN

- Klassifikation und Nomenklatur -

Arbeitssitzung Kommission V

in MÜNCHEN am 15., 16. und 17.9.1982

Referate

Exkursionsbericht

Arbeitsgruppenberichte

ANTHROPOGENE EINFLÜSSE AUF DAS BODENGEFÜGE

Gemeinsame Sitzung der Kommissionen I und IV

in GÖTTINGEN am 6., 7. und 8.10.1982

Exkursionsbericht

PALÄOBÖDEN IM LÖSS, TERRASSEN, OBERFLÄCHEN-
GESTALTUNG ZWISCHEN HARZ UND LEINE

Sitzung des AK Paläoböden

in GÖTTINGEN am 16. und 17.10.1982

B O D E N - S T I C K S T O F F

gemeinsame Sitzung
der
Kommissionen III und IV

der
Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft

in
G I E S S E N

am
29. u. 30. März 1982

I N H A L T

	<u>Seite</u>	
ALDAG, R.:	Bindungsform und Zuordnung des Aminosäure-Stickstoffs in Böden	7
COLDEWEY-zum ESCHENHOFF, H. u. J. WEHRMANN:	Einfluß von Pflanzenbewuchs und Mikroorganismen-Tätigkeit auf den Gehalt an nicht austauschbarem NH_4 in Lößböden	13
KEERTHISINGHE,G., S.K. De DATTA u. K. MENGEL:	Fixierung und Freisetzung von tonmineralogisch fixiertem Ammonium in Sumpfreisböden	17
WEGENER, K.E., R. ALDAG u. B. MEYER:	N_2 -Fixierung und Gas-Stoffwechsel in Glukose-angereicherten Ackerböden und deren Beeinflussung durch Pestizide	21
SCHRÖDER, D. u. H. BECKMANN:	Gasförmige Stickstoffverluste bei verschiedenen Bodentypen in Abhängigkeit von Bodenfeuchte, Temperatur, Stickstoffdüngung und Organistentätigkeit	27
REICHARDT, C.:	Stickstoff-Nettomineralisation im Boden eines Kalkbuchenwaldes	33
v. MÜLLER, A.u. I. FEYERABEND:	N_{min} im Bodenprofil und N-Aufnahme durch die Zuckerrübe	39
SEIFERT, V., v. HOWE, H. u. W. PRÖGER:	Zum Verlauf der $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^-$ -Konzentrationen in Ackerböden unter <i>Vicia sativa</i> im Stoppelfrucht-Anbau	45
BEESE, F.:	Felduntersuchungen zur N-Transformation im Boden unter Brache und Hafer	49
MOCHOGE, B. u. F. BEESE:	Der Umsatz von N-Dünger in sauren und neutralen Löß-Oberböden	53
WALTHER, W.:	Stickstoffbilanz von drei Lößgebieten	57
FRIEDRICH, F.:	Stickstoffdynamik und Standortstrophie in Berliner Forsten	63
CAPELLE, A., K. BAEUMER, H. FLEIGE u. C. HEUER:	Pflanzenverfügbare Stickstoff aus Düngergabe und Bodenvorrat in bearbeiteter und unbearbeiteter Parabraunerde aus Löß und sein Entzug durch Hafer	67
BECKER, K.-W. u. B. MEYER:	Steuerung von N-Umsatz und N-Austrag in Sandböden durch die Dünger-N-Form und Dicyandiamid als Nitrifikationshemmer	69
AMBERGER, A.:	Gefäßversuche zur N-Wirkung verschiedener Güllen unter Zusatz von Dicyandiamid	75

		<u>Seite</u>
VILSMEIER, K.:	Stickstoff-Fraktionen verschiedener Gülle - Umsetzung im Boden und Pflanzenverfügbarkeit	79
GUTSER, R.:	Feldversuche zur N-Wirkung von Rindergülle unter Zusatz von Dicyandiamid	83
SÜSSMANN, W. u. GÖTTLICHER, U.:	Nitrat-Konzentrationen in Oberflächengewässern bei Hochwasser als Funktion der Sickerwasserbewegung	87
ATANASIU, N., M. SILVA u. J. SAMY:	Untersuchungen über die Wirkung verschiedener N-Düngerformen bei Bewässerungsreis	91
NORDMEYER, H., NUSKE, A. u. RÍCHTER. J.:	Stickstoffmineralisation in Lössböden	97

BINDUNGSFORM UND ZUORDNUNG DES AMINOSÄURE-STICKSTOFFS IN BÖDEN

von
Aldag, R.^{†)}

Es liegen heute zahlreiche Untersuchungen an Böden aller klimatischer Zonen der Erde vor, die zeigen, daß zwischen 40 und 50 % des gesamten Boden-N als Aminosäure-N vorliegt (GOH und EDMEADES, 1979; CHEN et al., 1977; SOWDEN et al., 1976; SINGH et al., 1981; ALDAG, 1979). Die geeignetste Methode zur Bestimmung des Aminosäure-N im Boden ist die salzsaure Hydrolyse mit 6N HCl. Im Zusammenhang mit der Bestimmung von organischen Stoffgruppen in Böden und Streuauflagen taucht nun die Frage auf, ob die mit der oben genannten Methode freigesetzten Aminosäuren im Boden tatsächlich in Proteinen, in Peptiden oder ungewöhnlichen Struktureinheiten wie Peptoliden, Antibiotika etc. vorgelegen haben.

Alle Autoren, die über die Fraktionierung und Bestimmung des Aminosäure-Stickstoffs in Böden berichten, setzen mehr oder weniger voraus, daß die Aminosäuren zu Proteinen und Peptiden verknüpft vorliegen. Wenn dieser Sachverhalt richtig ist, dann kann - wie wir das kürzlich zeigen konnten (ALDAG, 1981) - über die Bestimmung des Aminosäure-Stickstoffs auch der Protein-Stickstoff in Böden relativ einfach und schnell bestimmt werden.

1. Bis heute sind in Böden etwa 50 - 60 Enzyme oder Enzymkomplexe durch Aktivitätsmessungen ermittelt worden (KUPREVICH und SHERBAKOVA, 1971). Wahrscheinlich ist die Anzahl der Enzymssysteme im Boden noch viel größer. Da die Enzyme selbst makromolekulare Proteinbausteine darstellen, ist die proteinogene Herkunft der darin verknüpften Aminosäuren gegeben. Dies gilt ebenfalls für Skleroproteine, Proteide aller Art, Metallproteine, Phosphorproteine, Lipoproteine, Nucleoproteine, Chromoproteine und Glykoproteine. In diesem Zusammenhang muß auch die gesamte lebende Biomasse der Mikroflora und -fauna in Böden genannt werden.

2. Wir haben in einer früheren Arbeit (ALDAG et al., 1973) bei der Bestimmung und Zuordnung des Amidstickstoffs in Böden zeigen können, daß sich reine Proteine sehr unterschiedlicher Herkunft und "Bodenproteine" hinsichtlich ihrer durchschnittlichen Aminosäure-Zusammensetzung sehr ähneln.

^{†)} Institut für Bodenwissenschaften, von-Siebold-Str. 4,
3400 Göttingen

3. Der unter Punkt 2 angeführte Nachweis muß nicht unbedingt für den Proteincharakter der "Boden-Aminosäuren" sprechen, zumal theoretisch denkbar wäre, daß die im Bodenhydrolysat nachgewiesenen Aminosäuren sich ausschließlich oder zumindest vorzugsweise aus niedermolekularen Peptiden oder freien Aminosäuren rekrutieren könnten. Aus der Literatur ist jedoch bekannt, daß der Anteil an freien Aminosäuren in den Böden sehr gering ist. Auch der Anteil nichtproteinogener Aminosäuren macht im Boden bestenfalls 5 - 8% des N_t aus (ALDAG, 1979).

4. Es liegen heute Ergebnisse von Untersuchungen vor, die sich mit dem Abbauverhalten bzw. der Inkorporation von Proteinen, Peptiden und Aminosäuren im Boden befassen. VERMA et al. (1975) konnten beispielsweise zeigen, daß alle genannten Substrate bei Zugabe zum Boden innerhalb von 4 - 12 Wochen bis zu 95 % abgebaut wurden. Wenn man jedoch diese Verbindungen vor der Zugabe mit Huminsäure-Polymeren verknüpfte, dann konnte der Abbau um 80 - 90 % reduziert werden.

5. LADD und BUTTLER (1975) berichten über zahlreiche Arbeiten, die sich mit Humus-Enzymsystemen und mit organischen Polymer-Enzym-Komplexen befassen. Phenole können im Boden mit Hilfe von Phenol-lasen oder anderen Oxidationsmitteln zu Chinonen oxidiert werden. Durch nucleophile Addition von Aminosäuren, Peptiden und Proteinen an Chinon-Systeme entstehen Huminstoff-Systeme im Boden (FLAIG et al., 1975). Da im Boden Phenole, Chinone, Tannine und Lignine vorkommen, ist es sehr wahrscheinlich, daß die Proteine im Boden über kovalente Bindungen an die organische Substanz gekoppelt sind. BATISTIC et al. (1980) haben unlängst Invertase, Cellulase, Phosphatase, Protease und β -Glucosidase aus einem Graslandboden isoliert und nachgewiesen, daß diese Enzyme im Boden als Kohlenhydrat-Enzym-Komplex und teils als Humo-Kohlenhydrat-Komplex vorliegen. Ähnliche Befunde liegen von SUFLITA und BOLLAG (1981) vor, die über die Polymerisation phenolischer Verbindungen durch einen Boden-Enzym-Komplex berichten. Für das Vorhandensein von Humus-Enzymkomplexen spricht auch die Tatsache, daß Huminsäuren im Gegensatz zu Fulvosäuren einen höheren N-Gehalt besitzen und daß nach der salzsauren Hydrolyse von Huminsäuren das Aminosäure-Spektrum dem natürlicher Proteine sehr ähnelt (ALDAG und ROCHUS, 1981). Daß Enzyme mit synthetischen organischen Polymeren kovalent verknüpfte werden können und trotzdem ihre volle analytische Aktivität entfalten, ist seit längerem bekannt und wird heute auch im groß-

technischen Maßstab angewendet (LADD und BUTTLER, 1975). Daraus kann man schließen, daß geschützte Humus-Enzymkomplexe im Boden existieren und Enzymaktivitäten entfalten. Das gilt insbesondere für die extrazellulären Enzyme, wie z.B. der Urease.

In Tabelle 1 ist die relative Verteilung des Stickstoffs auf die N-Fractionen des Bodens in Abhängigkeit von der Zeitdauer der Hydrolyse mit 6 N HCl angegeben. Es handelt sich um Bodenmaterial aus dem A_p-Horizont einer Löß-Parabraunerde aus Rosdorf bei Göttingen.

Bei mehr als 20 Minuten Hydrolysezeit verändert sich der Anteil des nichthydrolysierbaren Stickstoffs ($\sum N_{nh}$) von etwa 20 % des N_t nicht mehr wesentlich bis zu einer Hydrolysen-Dauer von 24 Stunden. Auch der Anteil des Aminozucker-N (AZ) erreicht nach 1-2 Stunden Hydrolysezeit mit ca. 5 % des N_t seinen Maximalwert, um dann auf 3 % des N_t nach 24 Stunden Hydrolyse abzusinken. Der Stickstoff in den N-Fractionen AS (Aminosäure-N) und $\sum AMHY$ (Ammonium-N im Hydrolysat) nimmt mit zunehmender Hydrolysezeit zu, während der N-Anteil in der RNHY-Fraktion (Rest-N im Hydrolysat) entsprechend abnimmt.

Eine deutliche Differenzierung zwischen den N-Fractionen $\sum AMHY$ und AS tritt etwa nach 4 Stunden Hydrolyse-Dauer auf, wo der Anteil des AS bis zur 24-Stunden-Hydrolyse mit 25 - 30 % des N_t relativ konstant bleibt, während der Anteil des Ammoniumstickstoffs von 13 % auf 23 % ansteigt.

Aus der Zunahme bzw. Abnahme des Stickstoffs in den einzelnen N-Fractionen in Abhängigkeit von der Hydrolyse-Zeit könnte man schließen, daß die Freisetzung von Aminosäuren aus Proteinen bzw. Peptiden mit weitgehend natürlicher Struktur etwa nach 4 - 5 Stunden abgeschlossen ist. Das weitere Ansteigen des Stickstoff-Anteils in den beiden N-Fractionen $\sum AMHY$ und AS über die Hydrolyse-Zeit von 6 Stunden hinaus dürfte eher darauf zurückzuführen sein, daß hier die hydrolyseresistenteren Protein- bzw. Peptid-Humuskomplexe zerlegt werden. Zu denken wäre vor allem an solche Komplexe, in denen Proteine und Aminosäuren über ϵ -NH₂-Gruppen an Huminsäuren kovalent gebunden vorliegen.

Aufgrund der aus der Literatur bekannt gewordenen Ergebnisse und aufgrund der eigenen Untersuchungen kann man davon ausgehen, daß die Aminosäuren, die nach einer Hydrolysedauer von bis zu 6 Stunden mit 6 N HCl unter Rückflußkühler im Hydrolysat gefunden werden, weitgehend proteinogener und peptidogener Natur sind und somit zur Berechnung der Stoffgruppe der Proteine in Böden direkt heran-

Tab. 1: Boden: Parabraunerde, Rosdorf, Alle Angaben in % des N_t

N-Frak- tionen	Hydrolysezeit in Minuten (min) bzw. Stunden (h)											
	min					h						
	10	20	30	40	50	1	2	3	4	5	6	24
Σ AMHY	10.2	7.8	8.2	9.6	10.1	10.1	12.6	12.2	13.1	20.9	23.2	23.0
AS	5.6	9.3	12.5	13.4	14.9	20.6	23.5	24.0	27.6	24.4	25.0	31.0
AZ	2.7	2.5	2.8	3.6	2.9	4.7	4.5	4.1	3.9	4.4	4.1	3.0
RNHY	55.9	61.9	54.8	49.8	49.1	42.7	41.5	42.5	38.1	32.5	27.9	24.3
Σ NHY	74.4	81.5	78.3	76.4	77.0	78.3	82.1	82.8	82.7	82.2	80.2	81.3
Σ Nnhy	25.6	18.5	21.7	23.6	23.0	21.7	17.9	17.2	17.3	17.8	19.8	18.7
N_t	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

$N_t = 0,110 \%$

Σ NHY = Gesamt-N im Hydrolysat

gezogen werden können, daß aber bei längerer Hydrolysedauer zusätzliche Aminosäuren aus nichtproteinogener Bindung, z.B. aus Huminsäure-Kopplungsprodukten freigesetzt werden.

Literatur:

- ALDAG, R. und KICKUTH, R., 1973: Stickstoffverbindungen in Böden und ihre Beziehung zur Humusdynamik, 2. Mitteilg. Zur Bestimmung und Zuordnung des Amidstickstoffs, Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde 136, 141 - 150
- ALDAG, R., 1979: Zum Vorkommen und zur Identifikation von D-Aminosäuren in Böden, Göttinger Bodenkundl. Ber. 58, 1 - 67
- ALDAG, R. u. W. ROCHUS, 1981: Menge und Verteilung des Stickstoffs in Fulvo-, Humin- und Kieselsäure-Huminsäuren eines Müll-Klärschlammkompostes, Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde 144, 587 - 596
- ALDAG, R., 1981: Die Fraktionierung des Auflage- und A-Horizont-Humus in organische Stoffgruppen mit einem erweiterten Trennverfahren, Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Ges. (im Druck)
- BATISTIC, L., J.M. SAKRAR, J. MAYAUDON, 1980: Extraction, purification and properties of soil hydrolases, Soil Biol. Biochem. 12, 59 - 63
- CHEN, Y., F.J. SOWDEN and M. SCHNITZER, 1977: Nitrogen in Mediterranean Soils, Agrochimica XXI, 7 - 13
- FLAIG, W. et al., 1975: Chemical composition and physical properties of humic substances, in: Soil Components, Gieseking, J.E. Ed. p. 86, Springer New York
- GOH, K.M. and D.C. EDMEADES, 1979: Distribution and partial characterization of acid hydrolyzable organic nitrogen in six New Zealand Soils, Soil Biol. Biochem. 11, 127 - 132
- KUPREVICH, V.F. and T.A. SHERBAKOVA, 1971: Comparative enzymatic activity in diverse types of soils, In: Soil Biochemistry (A.D. Mc Laren and J.J. Skujins, Eds.), Vol. 2 pp. 167 - 201, M. Dekker, Inc. New York
- LADD, J.N. and J.H.A. BUTTLER, 1975: Humus-Enzyme Systems and synthetic, organic polymer-enzyme analogs, In: Soil Biochem. (E.A. Paul and A.D. Mc Laren, Eds.) Vol. 4, pp 143 - 194, M. Dekker Inc., New York
- SINGH, B.R., A.P. URIYO and B.P.M. TILSEKWA, 1981: Forms of nitrogen in cultivated soil profiles in Tanzania, Soil Biol. Biochem. 13, 441 - 446
- SOWDEN, F.J., S. GRIFFITH and M. SCHNITZER, 1976: The distribution of nitrogen in some highly organic tropical volcanic soils, Soil Biol. Biochem. 8, 55 - 60
- SUFLITA, J.M. and J.M. BOLLAG, 1981: Polymerization of phenolic compounds by a soil enzyme, Soil Sci. Soc. Am. J. 45, 297 - 302
- VERMA, L., J.P. MARTIN and K. HAIDER, 1975: Decomposition of carbon-14 labeled proteins, peptides and amino acids, free and complexed with humic polymers, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39, 279-284



Einfluß von Pflanzenbewuchs und Mikroorganismen-
tätigkeit auf den Gehalt an nicht austausch-
barem NH_4 in Lößböden

von

Coldewey-zum Eschenhoff, H. und Wehrmann, J.⁺

Die Entwicklung von Methoden zur genaueren Beurteilung und Regulierung der N-Ernährung von Kulturpflanzen ist ein Hauptanliegen unseres Instituts (N_{min} -Methode, NO_3 -Schnelltest). Da in den letzten Jahren Mengel und Scherer (z.B. Soil Sci., 1981, 131:226-232) über starke Veränderungen im Gehalt an n.austb. NH_4 berichtet haben (Abnahmen von 200-400 kg NH_4 -N/ha; 0-90 cm) stellt sich die Frage, ob die Bestimmung des n. austb. gebundenen NH_4 eine zusätzliche Information für die N-Düngungsempfehlung ergibt. Abnahmen im Gehalt an n. austb. NH_4 sind zu erwarten, wenn die NH_4 -Konzentration in der Bodenlösung besonders niedrig ist. Eine niedrige NH_4 -Konz. in der Bodenlösung kann verursacht sein durch den NH_4 -Entzug der Pflanze, den NH_4 -Verbrauch durch Mikroorganismen oder durch Nitrifikation.

Um den Einfluß der Pflanze zu erfassen, wurde in einigen Böden des Lößgebietes von Südhannover der Gehalt an n. austb. NH_4 im Boden zu verschiedenen Terminen im Bestand und auf überdachten Bracheparzellen bestimmt.

In Abb. 1 sind die Ergebnisse von drei repräsentativen Standorten dargestellt. Die Böden enthalten ca. 1200 kg n. austb. NH_4 -N/ha in der Schicht 0-90 cm.

Während des Untersuchungszeitraums veränderte sich der Gehalt an n. austb. NH_4 auf den bewachsenen Flächen nicht wesentlich. Ein Einfluß des Pflanzenbestandes ist nicht nachzuweisen, da bei den Bracheparzellen nahezu identische Kurvenverläufe ermittelt wurden. In einem aeroben Brutversuch wurde der Einfluß von Mikroorganismen auf den Gehalt an n. austb. NH_4 untersucht. Abb. 2 enthält die Ergebnisse dieses Brutversuchs. Sowohl eine Erhöhung der NH_4 -Konz.

⁺) Institut für Pflanzenernährung der Universität Hannover, Herrenhäuser Straße 2

in der Bodenlösung bei Anwendung eines Nitrifikationshemmers (Dicyandiamid), als auch eine Absenkung der NH_4 -Konz. durch eine Saccharosegabe haben innerhalb von 37 Tagen zu keiner Veränderung des Gehaltes an n. austb. NH_4 geführt. Bemerkenswert ist der starke Anstieg dieser Fraktion nach dem ersten Bebrütungstag. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß der getrocknete Boden zu Beginn des Brutversuchs befeuchtet wurde. Dabei wird leicht zersetzbare org. Substanz (u.a. Biomasse) sehr schnell mineralisiert, was aus dem starken Anstieg von NO_3 -N in der Kontrolle hervorgeht. Der vorausgegangene NH_4 -Schub könnte zu einem kurzfristigen Anstieg des Gehaltes an n. austb. NH_4 -N geführt haben. Dieser Anstieg ist nicht sehr beständig, denn in allen drei Versuchsvarianten (Kontrolle, Didin, Saccharose) ist der Ausgangswert nach ca. 16 Tagen wieder erreicht. Möglicherweise kommt es zu keiner weiteren Abnahme an n. austb. NH_4 in dem hier verwendeten Oberbodenmaterial, weil das n. austb. NH_4 durch fixiertes Kalium blockiert ist. Es ist denkbar, daß es in Unterbodenmaterial, das kaliumärmer ist, zu einer Freisetzung von n. austb. NH_4 kommen kann.

Abb. 1
Nicht austb. $\text{NH}_4\text{-N}$ (kg/ha) in verschiedenen Schichten
von drei Lößböden mit Getreide zu unterschiedlichen
Terminen

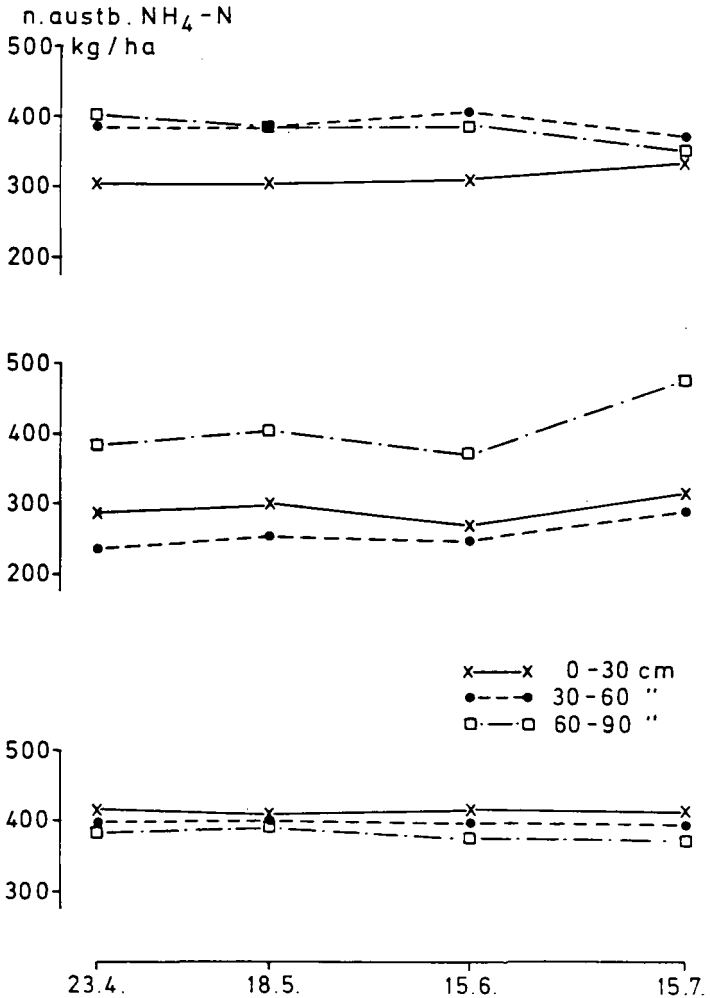
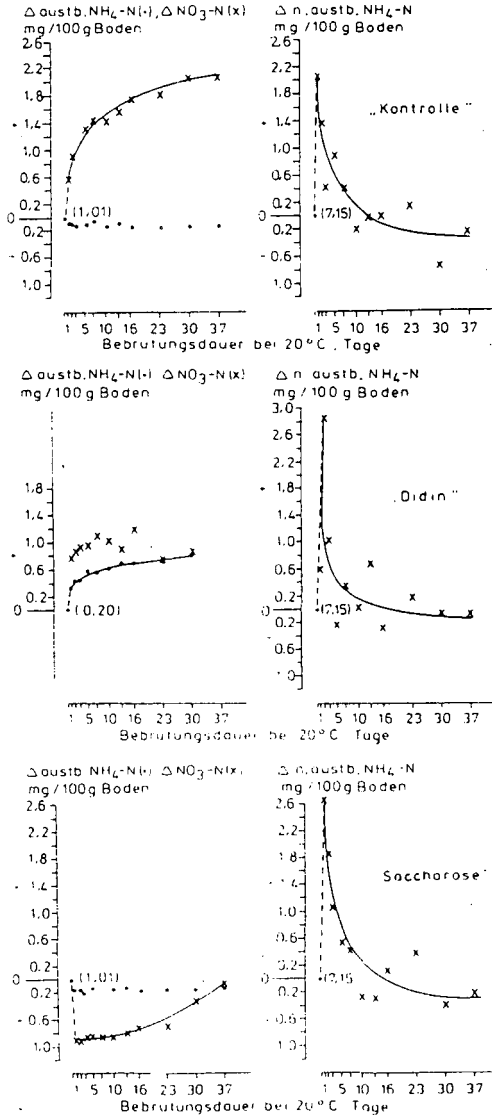


Abb. 2

Veränderung des Gehaltes an $\text{NO}_3\text{-N}$, austb. $\text{NH}_4\text{-N}$ und nicht austb. $\text{NH}_4\text{-N}$ in einem Lößboden (Brutversuch) bei Zusatz von Dicyandiamid bzw. Saccharose



Fixierung und Freisetzung von
tonmineralogisch fixiertem
Ammonium in Sumpfreisböden.

von

Keerthisinghe, G., S.K. De Datta und K. Mengel*

In den letzten Jahren wurde die Stickstoffdynamik in Sumpfreisböden intensiv untersucht, um den Stickstoffausnutzungsgrad, der bei Sumpfreis sehr niedrig liegt, zu erhöhen. Über die Freisetzung von nicht austauschbarem Ammonium in diesen Böden wurde jedoch kaum gearbeitet. Es wurde deshalb am Internationalen Institut für Reiserforschung (IRRI) auf den Philippinen Fixierung und Freisetzung von nicht austauschbarem Ammonium im Feldversuch untersucht. Es wurden drei repräsentative Reisanbaugebiete, nämlich Maligaya, Cabuyao und Iloilo für die Untersuchung ausgewählt. Die Böden der Standorte Maligaya, Cabuyao und Iloilo enthielten 46, 53 und 58 % Ton. Das Haupttonmineral bei allen Böden war Montmorillonit, wobei Maligaya auch über 20 % Vermikulit aufwies. Der Gehalt an nicht austauschbarem Ammonium war in Maligaya 56, Cabuyao 59 und Iloilo 194 ppm NH_4^+ -N. Bodenproben wurden aus N-Düngungsversuchen entnommen und zwar zu folgendem Zeitpunkt:

Trockenzeit: 60 Tage vor der Verpflanzung
 Beim Verpflanzen
 20, 40, 60 Tage nach der Verpflanzung
 Bei der Reife

Regenzeit: Beim Verpflanzen
 30, 60 Tage nach der Verpflanzung
 Bei der Reife

* Institut für Pflanzenernährung, Südanlage 6, 6300 Gießen

Während der beiden Vegetationsperioden zeigten sich in allen Böden signifikante Veränderungen im Gehalt an nicht austauschbarem Ammonium. Nach der Applikation von NH_4^+ -N war die Menge an nicht austauschbarem Ammonium auf allen drei Standorten erhöht (Tab. 1). Das bedeutet, daß ein Teil des gedüngten NH_4^+ -Stickstoffs zunächst in Tonmineralen fixiert wurde.

Tabelle 1 Gehalt an nicht austauschbarem Ammonium
60 Tage vor der Verpflanzung und beim
Verpflanzen nach der Düngemittelapplikation

N-Gabe kg N/ha		Maligaya	Cabuyao	Iloilo
0	1 60 Tage v.d. Verpfl.	40	59	207
	2 Beim Verpfl.	55**	56	207
90	1	35	54	178
	2	46*	62	208**
150	1	38	48	184
	2	55***	57	214***

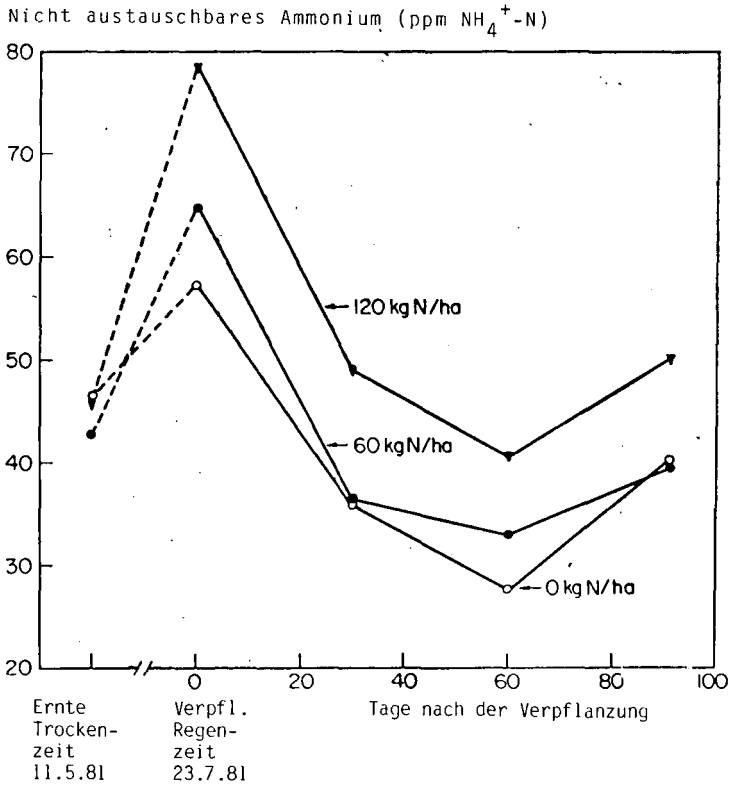
(* P<5 %, ** 1<%, *** 0,1<%)

Auf dem Standort Maligaya zeigte auch die ungedüngte Variante eine Zunahme. Diese ist vermutlich durch eine Fixierung von Ammonium bedingt, das aus der organischen Fraktion freigesetzt wurde. Während der ersten 30 Tage der Vegetationsperiode zeigten alle Böden eine signifikante Abnahme des nicht austauschbaren Ammoniums.

Dieser Befund war am Standort Maligaya am deutlichsten ausgeprägt (Abb. 1). Die Veränderungen an nicht austauschbarem Ammonium betragen im Verlaufe der Vegetation bezogen auf 1 ha Oberfläche und eine Bodentiefe von 20 cm bei Maligaya etwa 60, Cabuyao 30 und Iloilo 40 kg NH_4^+ -N. Diese Abnahme bedeutet eine Freisetzung von Ammonium aus der nicht austauschbaren Fraktion bzw. eine Überführung in eine pflanzenverfügbare Form. In der letzten Phase der Vegetationsperiode zeigte sich dagegen ein Anstieg des nicht austauschbaren Ammoniums.

Diese Ergebnisse zeigen, daß die nicht austauschbare Ammoniumfraktion für die Ernährung der Reispflanze eine Rolle spielt, und daß diese Fraktion eine dynamische Komponente des N-Kreislaufes im Boden darstellt.

Abb. 1 Gehalt an nicht austauschbarem Ammonium in Maligaya während der Regenzeit 1981.



N₂-FIXIERUNG UND GAS-STOFFWECHSEL IN GLUKOSE-ANGEREICHERTEN
ACKERBÖDEN UND DEREN BEINFLUSSUNG DURCH PESTIZIDE.

von
Wegener, K.E., R.Aldag und B.Meyer

Der Einsatz von Pestiziden ist in der Landwirtschaft im Hinblick auf die Sicherung der Produktivität der genutzten Flächen sowie der Qualität der Ernteprodukte weitgehend unbestritten. In der öffentlichen Diskussion gewinnen jedoch über die augenblickliche Produktion hinausgehende ökologische Gesichtspunkte zunehmend an Raum. Dem Einsatz von Agrochemikalien wird dabei häufig die kurzfristige Minderung oder langfristige Zerstörung der "Bodenfruchtbarkeit" zum Vorwurf gemacht. Mikrobielle Umsetzungen als Parameter der Bodenfruchtbarkeit sind in diesem Zusammenhang von besonderem Interesse, da sie als Ausdruck des Vorhandenseins und der Aktivität von Bodenmikroorganismen im Habitat Boden am ehesten durch Nebenwirkungen der Pestizide beeinflusst werden können.

Die heterotrophe N₂-Fixierung stellt einen unter den Oberbegriff "Bodenfruchtbarkeit" fallenden Prozeß dar. Dessen ökologische Bedeutung hängt quantitativ von der Verfügbarkeit leicht abbaubarer organischer Substanz als mikrobieller Energiequelle sowie einem Mangel an mineralischem Stickstoff ab, da der Nitrogenase-Enzymkomplex der heterotrophen N₂-Fixierer durch Ammonium reprimiert wird.

In bisherigen Arbeiten wurde die Beeinflussung der N₂-Fixierung durch Pestizide mit dem Acetylenreduktionstest vorwiegend in kurzfristigen Momentaufnahmen gemessen (ATLAS et al., 1978). Bei der von uns angewendeten Methode wird die Beeinflussung der Stoffwechselaktivität und der Acetylenreduktion von Bodenmikroben, die sich in mit Glucose angereicherten Bodenproben unter einer Atmosphäre aus 930 mb Luft und 20 mb Acetylen entwickeln, in einem kontinuierlichen Bebrütungsverfahren (WEGENER und ALDAG, 1982) untersucht.

M E T H O D E

Bei den Untersuchungen wurde luftgetrocknetes A_p-Bodenmaterial von 5 für den mittel- und norddeutschen Raum repräsentativen Böden verwendet, die in den für die N₂-Fixierung und die Herbizidwirkung

Institut für Bodenwissenschaften, von Sieboldstr.4, 34 Göttingen

wichtigen Kenndaten wie pH, Tongehalt und Humusgehalt weit streuen. Die verwendeten Pestizide sind die Bodenherbizide Chlortoluron (CT), Terbutryn (TE), Methabenzthiazuron (MB) und Chloridazon (CI), das Blattherbizid Dinosebacetat (DI) und das Fungizid Carbendazim (CA).

1.5 kg lufttrockener Boden wird in eine Mitscherlichschale gefüllt (Füllhöhe 2.5 cm) und mit einer Glucose-Pestizid-Lösung bis auf 80 % (Podsol 115 %) der FK befeuchtet. Der Glucosezusatz beträgt 0.6 Gew.%. Die Pestiziddosierung erfolgt in der niedrigsten Aufwandmenge flächenbezogen entsprechend der höchsten praxisüblichen Dosierung: CT, TE, MB: 4 kg/ha = 11.6 ppm bei 2.5 cm Bodenschicht; CI, DI: 6 kg/ha = 17.4 ppm; CA: 1 kg/ha = 2.9 ppm. Zusätzlich werden erhöhte Aufwandmengen von 50 und 100 ppm verwendet, bei CA 10 und 20 ppm. Die Schalen werden in 20 l - Exsikkatoren unter einer Bebrütungsatmosphäre aus 930 mb Luft und 20 mb Acetylen bei 25°C bebrütet. Zum Auffangen des von den Bodenmikroben gebildeten CO₂ dient eine 2n KOH-Vorlage. Der infolge des O₂-Verbrauchs abfallende Exsikkatorinnendruck wird vor jeder Gasprobenahme durch O₂-Zugabe wieder ausgeglichen. Die Versuche werden beendet, wenn kein Anstieg im thylengehalt mehr nachzuweisen ist. CO₂-Entwicklung und O₂-Verbrauch haben zu diesem Zeitpunkt niedrige Raten erreicht. Für die Böden ergaben sich daraus die in Tab.2 aufgeführten Bebrütungszeiten.

E R G E B N I S S E

Die CO₂-Bildung der Rendsina, des Pelosols und des Podsols liegt um 90 µMol/g Boden (Tab.2). Dies entspricht 40 % der zugesetzten Glucose. Die Schwarzerde und besonders die Parabraunerde liegen in der CO₂-Produktion etwas höher. Der O₂-Verbrauch übersteigt bei allen Böden die CO₂-Bildung. Jedoch liegt der Respirationsquotient (RQ) bei der Schwarzerde und der Rendsina trotz des gewählten Wassergehalts von 80 % der FK nur knapp unter 1. Beim Podsol zeigen O₂-Verbrauch und RQ gegenüber den anderen Böden etwas größere Schwankungen.

Bei der Acetylenreduktionsaktivität sind die Unterschiede zwischen den Böden größer. Der Podsol entwickelt, trotz des erhöhten Wassergehalts, die niedrigste Reduktionsaktivität und benötigt bis zur Beendigung der Reduktion bzw. bis zum Verbrauch der zugesetzten Glucose gegenüber den anderen Böden die dreifache Brutdauer (Tab.2). Der Pelosol und die Schwarzerde erreichen die höchsten Werte. Die geringere Reduktionsleistung bei der Parabraunerde könnte durch den höheren Gehalt an mineralischem Stickstoff bedingt sein, der zu

besseren Wachstumsbedingungen für die Bodenmikroorganismen, verbunden mit einem beschleunigtem Glucoseverbrauch, und zu einer Hemmung der Nitrogenasebildung führt (SHANMUGAM et al., 1978). Vielleicht ist dies auch die Ursache der Differenz zwischen dem Pelosol und der Schwarzerde. Die Rendsina ist trotz hohem pH, Ton- und Humusgehalten wenig aktiv.

Die Einflüsse der Pestizide auf die untersuchten Parameter sind zur besseren Vergleichbarkeit der Daten dargestellt als Mittelwerte der Varianten in Prozent des jeweiligen Kontrollmittelwertes (Abb.1). Bei der Rendsina bewirken die Bodenherbizide Chlortoluron, Terbutryn und Chloridazon eine Steigerung der Acetylenreduktionsaktivität. Dinosebacetat verursacht nach einem positiven Effekt bei praxisüblicher Aufwandmenge mit steigender Gabe eine Abnahme der Aktivität. Carbendazim wirkt ebenso zunächst fördernd, bei der höchsten Aufwandmenge vermindern. Bei der Parabraunerde zeigen nur Chloridazon und Dinosebacetat einen Effekt. Chloridazon verändert die Reduktionsleistung positiv, Dinosebacetat negativ. Schwarzerde und Pelosol sind nicht dargestellt. Die Abweichungen entsprechen denen der 4 mittleren Varianten der Parabraunerde. Bei der Schwarzerde führen nur die Carbendazimbehandlungsstufen 2 und 3 zu einer 20 %igen Steigerung der Reduktionsleistung. Die stärksten Auswirkungen treten beim Podsol auf. Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß die reduzierten Mengen sehr gering sind und die Streuung relativ groß ist. Bei diesem Boden zeigen die Bodenherbizide in praxisüblicher Dosierung positive Effekte. Mit steigender Aufwandmenge kehrt sich dieser Trend beim Chloridazon, beim Chlortoluron und beim Methabenzthiazuron wieder um. Starke Einflüsse zeigen Dinosebacetat mit einer Senkung der Reduktionsleistung auf knapp 10 % des Kontrollwertes und Carbendazim mit einer Steigerung der Reduktionsleistung bei der höchsten Aufwandmenge bis auf das 3-fache des Kontrollwertes.

Die Bodenatmung wird durch das Fungizid und die Bodenherbizide nur unwesentlich beeinflusst. Die Abweichungen liegen im Bereich von 95 - 110 % der jeweiligen Kontrollwerte. Dinosebacetat bewirkt beim Pelosol, der Schwarzerde und der Rendsina eine 10 - 20 %ige Erhöhung der CO₂-Freisetzung, beim Podsol wird sie um 10 % verringert, die Parabraunerde zeigt keine Reaktion.

D I S K U S S I O N

Carbendazim verändert die Stoffwechselaktivität der Böden kaum, während bei zumindest 3 Böden, besonders beim Podsol, die Acetylenreduktion erhöht wird. Dieses läßt sich der von WAINWRIGHT (1977) beschriebenen Erscheinung, dem "typischen Muster der Reaktion von Bodenmikroben auf eine Fungizidbehandlung", zuordnen: Unterdrückung der Pilzflora verbunden mit einem Anstieg der Anzahl der heterotrophen Bakterien. Den Bakterien steht ein größerer Anteil des zugesetzten Substrats Glucose zur Verfügung; die Reduktionsraten steigen. Das Ausmaß der Steigerung steht im umgekehrten Verhältnis zur Bedeutung der Gruppe der heterotrophen Bakterien im unbehandelten Boden.

Die bei Zugabe von Dinosebacetat festgestellten Reaktionen der Böden sind weniger einheitlich. KIRKWOOD (1976) führt an, daß Phenole allgemein als Entkoppler der oxidativen Phosphorylierung bekannt sind, und daß sie dabei in subletaler Konzentration zunächst die Atmung stimulieren. Dies erklärt sowohl die markanten Beeinträchtigungen bei der energieaufwendigen Acetylenreduktion (Podsol, Parabraunerde) als auch die gesteigerte Respirationsaktivität in den Böden Pelosol, Schwarzerde und Rendsina. Die Ursache für die unterschiedlich starke Beeinflussung der mikrobiellen Reaktion in den mit Dinosebacetat behandelten Böden wird in solchen Bodeneigenschaften wie z.B. der Sorptionskapazität gesehen, die auch die Phytotoxizität von Herbiziden beeinflussen.

Insgesamt sind die festgestellten Auswirkungen der untersuchten Pestizide auf die Aktivität von heterotrophen Bodenmikroben und die N_2 -Fixierung als gering zu bewerten. Sie treten, falls sie überhaupt nachweisbar sind, nur bei überhöhter Dosierung auf. Wenn wie beim Podsol unter Einwirkung von Dinosebacetat eine Verringerung der Acetylenreduktion schon bei praxisüblicher Aufwandmenge eintritt, betrifft dies einen Fall, in dem dieser Effekt wegen der kaum vorhandenen N_2 -Fixierungskapazität des unbehandelten Bodens nur von geringer Bedeutung ist.

Literatur

- ATLAS, R.M., FRAMER, D. and BARTHA, R. (1978): Assessment of pesticide effects on non-target soil microorganisms. Soil Biol. Biochem. 10, 231-239
- KIRKWOOD, R.C. (1976): Action on respiration and intermediary metabolism. -In: AUDUS, L.J. (ed): Herbicides, pp 444-492. Acad. Press (London, New York)

SHANMUGAM, K.T., O'GARA, F., ANDERSON, K. and VALENTINE, R.C.(1978):
 Biological nitrogen fixation. Ann.Rev.Plant Physiol.29,263-276
 WAINWRIGHT, M.(1978): A review of the effects of pesticides on
 microbial activity in soils. J.Soil Sci.29,287-298
 WEGENER, K.E. und ALDAG, R.(1982): Zur Messung des N₂-Assimilations-
 vermögens von Böden durch freilebende Mikroorganismen mit Hilfe
 der Azetylen-Reduktions-Methode - Versuchsbedingungen und Ver-
 lauf der Reduktion. Mitt.Dtsch.Bodenkundl.Ges.32

Tab.1: Bodenkennwerte

Boden	pH (CaCl ₂)	Org. %	Nt %	C/N	N min mg 100g
Schwarzerde	7,00	2,58	0,22	11,7	1,61
Rendsina	6,65	2,32	0,25	9,3	1,74
Löß-Parabraunerde	6,60	1,84	0,19	9,7	2,95
Röt-Pelosol	7,00	1,43	0,14	10,2	1,18
Humus-Podsol	5,45	1,64	0,105	15,7	0,62

Tab.2: CO₂-Bildung, O₂-Aufnahme und C₂H₂-Reduktion der mit Glucosezusatz unter einer
 Atmosphäre aus 930mb Luft und 20mb C₂H₂ kontinuierlich bebrüteten Böden.
 (Mittelwerte aus 12 Wiederholungen ± sd)

Boden	Bebrütungs- dauer (h)	CO ₂ -Bildung (μmol g ⁻¹ Boden)	O ₂ -Verbrauch (μmol g ⁻¹ Boden)	Respirations- quotient	C ₂ H ₄ (μmol g ⁻¹ Boden)
Schwarzerde	77	97,8 ± 4,7	99,8 ± 3,3	0,99 ± 0,036	2361 ± 219
Rendsina	78	85,4 ± 6,2	87,2 ± 4,1	0,98 ± 0,053	334 ± 85
Löß-Parabraunerde	77	105,1 ± 5,7	122,1 ± 5,6	0,86 ± 0,059	1440 ± 258
Röt-Pelosol	93	92,9 ± 5,8	105,4 ± 4,2	0,89 ± 0,045	3747 ± 141
Humus-Podsol	261	93,9 ± 4,9	103,8 ± 8,1	0,90 ± 0,096	65 ± 31

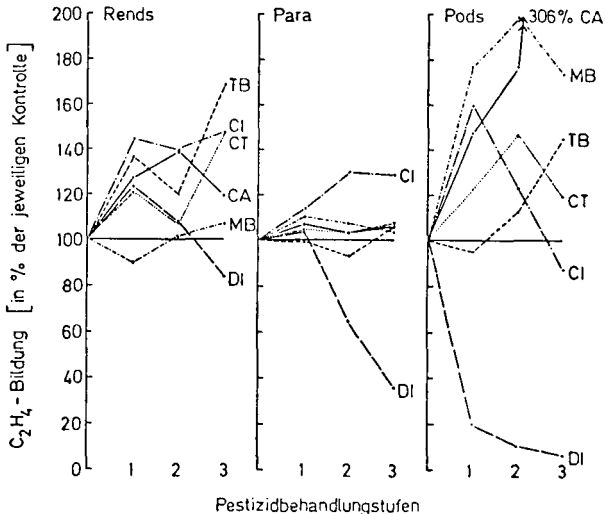


Abb. 1: Beeinflussung der Azetylenreduktion in mit Glucose ange-
 reicherten Böden durch steigende Pestizidkonzentrationen.

CI = Chlorotoluron, TB = Terbutryn, MB = Metabenzthiazuron, CA = Carbendazim,
 DI = Dinosebacetat



Gasförmige Stickstoffverluste bei verschiedenen Bodentypen in Abhängigkeit von Bodenfeuchte, Temperatur, Stickstoffdüngung und Organismenaktivität

von
Schröder, D. ⁻ und H. Beckmann ⁻⁻

Einleitung

Stickstoffverluste sind gegenwärtig deswegen ein größeres Problem als früher, weil die gestiegenen Energiekosten zu einer Verteuerung der Stickstoffdünger geführt haben, weil die absoluten Verlustmengen durch vermehrten Stickstoffeinsatz gestiegen sind und weil der dem Boden an Wasser und Luft verlorengewangene Anteil in beiden Medien unerwünscht ist.

Die Bedingungen für Ammoniakverluste sind von MATOCHA (1976), BASDEO/GANGWAR (1976), VENTURE & YOSHIDA (1977), FENN & ESCARZAGA (1977), MATZEL, HEBER, ACKERMANN & TESKE (1978) untersucht worden. Dabei zeigte sich, daß die Verluste mit einem Anstieg von pH-Wert, Temperatur und Bodenfeuchte zunehmen. Denitrifikationsverluste steigen ebenfalls mit der Bodenfeuchte und Bodentemperatur aber auch mit der organischen Substanz an (SMID & BEAUCHAMP 1976, BAILEY 1976 und FREDE, GEBHARDT & MEYER 1975). Bewuchs erhöht die Verluste ebenfalls (FREDE, GEBHARDT & MEYER 1975). In der Tiefe sind die Verluste größer als in Oberflächennähe (JONES 1974, STEFANSON 1976, WICKRAMASINGHE & TALIBUDEEN 1981).

In den vorliegenden Gefäßuntersuchungen sollte festgestellt werden, in welchem Maße Temperatur, Feuchtigkeit und Formalinbehandlung die gasförmigen Stickstoffverluste bei ungedüngten und gedüngten Böden beeinflussen. Da die Erfassung der Gesamtverluste an bodenbürtigem und zugegebenem Stickstoff, nicht aber die getrennte Erfassung von Ammoniak- und Denitrifikationsverlusten vorgesehen war, wurden die Gesamtstickstoffgehalte nach den Behandlungen unter Berücksichtigung der Ausgangswerte festgestellt.

⁻ Universität Trier, FB III Geographie/Geowissenschaften, Abt. Bodenkunde, Postfach 3825, 5500 Trier

⁻⁻ Institut für Bodenkunde der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Material und Methoden

Das Bodenmaterial entstammte den A₁-Horizonten eines Graulehm-Pseudogley aus Trachytuff, einer Parabraunerde aus Hochflutlehm der Niederterrasse des Rheins und einer Pararendzina aus Löß sowie dem C-Horizont derselben Pararendzina. Die bodenchemischen Kenndaten sind in Tab.1 zusammengestellt.

Von dem zuvor luftgetrockneten, feinkrümeligen Bodenmaterial wurden 300 g in Plastikgefäße von 10 x 10 x 6 cm gefüllt und auf 50 bzw. 80% maximale Wasserkapazität eingestellt. Dieser Wert wurde durch zweimaliges Befeuchten/Woche aufrechterhalten. Die gedüngte Variante erhielt 0,5 g 25%igen Kalkammonsalpeter/Gefäß, entsprechend 130 kg N/ha bzw. 0,04 g N/100 g Boden als einmalige, oberflächlich ausgebrachte Gabe. Die Temperaturen betragen 6, 15 und 20°C. Die Untersuchungsdauer erstreckte sich über drei Wochen.

Die Bestimmung des Gesamt-N erfolgte an allmählich luftgetrockneten Proben nach der Mikrokjeldahl-Methode unter Reduzierung des Nitrates mit Salicylschwefelsäure. Der Versuch wurde mit dreifacher Wiederholung angelegt und vierfaktoriell varianzanalytisch verrechnet. Die Angaben der Gesamtstickstoffgehalte erfolgen in % und entsprechen g N/100 g trockenem Boden.

Ergebnisse

Die nach Versuchsabschluß ermittelten Werte finden sich in Tab. 2, die Anfangsgehalte in Tab. 1. Es ist zu erkennen, daß zwischen den Anfangs- und Endwerten der ungedüngten 6⁰-Variante nur geringe Differenzen bestehen. In den gedüngten Varianten ist der zugegebene Stickstoff (0,04%) nahezu völlig bewahrt worden. Unter diesen Bedingungen sind also kaum gasförmige Stickstoffverluste eingetreten.

Auf den gedüngten Varianten fallen die Gehalte von der 6⁰-Variante über die 15⁰-Variante zur 20⁰-Variante signifikant, auf den ungedüngten Varianten geringfügig ab. Die größten Verluste treten beim Graulehm Pseudogley auf.

Die stärkere Bodendurchfeuchtung hat gegenüber der geringeren vor allem bei der 20⁰-Variante der gedüngten Böden zu verminderten Gehalten geführt. Ledig-

lich beim Rohlöß sind durch die Zunahme der Wasserkapazität keine Verluste eingetreten.

Die Verluste an zugegebenem Stickstoff bewegen sich, von einigen Ausnahmen abgesehen, bei der 20° -Variante zwischen 20 und 40%. Diese hohen Verlustmengen lassen sich dadurch erklären, daß hohe Durchfeuchtung und Temperatur -anders als im Freiland- ständig eingewirkt haben. Von den im Boden vorhandenen Mengen sind nur beim Rohlöß und Pseudogley der 20° -Variante signifikante Anteile verlorengegangen.

Durch Abtötung der Mikroorganismen mit Formalin konnten die Verluste vermindert werden. Daraus ist zu schließen, daß ein Teil der Verluste bei den Oberböden auf Nitrifikation von NH_4 (SEILER & CONRAD 1961) und Denitrifikation zurückzuführen ist. Beim carbonathaltigen Rohlöß dürfte hingegen die Ammoniakverflüchtigung überwiegen.

Diskussion

Stickstoffdünger werden oft schon zu Beginn oder vor Beginn der Vegetation ausgebracht. Die Aufnahme ist in diesem Stadium noch gering, die Wirkung bisweilen unbefriedigend. Die Ursache hierfür kann in gasförmigen Verlusten liegen, da die Bodentemperaturen in der obersten Schicht tagsüber die Lufttemperaturen übersteigen und bei Sonneneinstrahlung durchaus $15-20^{\circ}\text{C}$ erreichen.

Die angewandte Methode hat sich grundsätzlich als brauchbar im Sinne der Fragestellung erwiesen. Sowohl der Stickstoffgehalt des Düngers als auch der dem Boden zugeführte Stickstoff (Differenz gedüngt/ungedüngt) konnten mit hinreichender Genauigkeit erfaßt werden. Die faktorielle Versuchsanlage mit einer großen Zahl von Einzelproben bot die Möglichkeit der statistischen Absicherung der Ergebnisse. Die Verluste nahmen mit steigender Durchfeuchtung und Temperatur zu. Sie waren auf humusreichen Böden größer als auf humusarmen und beim zugegebenen Dünger größer als beim Bodenstickstoff. Da die Untersuchungen sich auf die oberflächennahe Schicht von etwa 4 cm erstreckten, gelten die Befunde nur für die hier herrschenden Bedingungen. Auf den tieferen Krumenbereich und Unterboden können sie nicht hochgerechnet werden.

Literatur

- BAILEY, L.D. (1976): Effects of temperature and root on denitrification in a soil. - Canad. J. Soil Sci., Ottawa 50.
- BASUED/GANGWAR, B.R. (1976): Studies on losses of ammonia by volatilization from nitrogenous fertilizers applied to soils. - J. Indian Soc. Soil Sci. New Delhi, 24, 2, 168-170.
- FENN, L.B. & ESCARZAGA, R. (1977): Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds to calcareous soils: VI. Effects of initial soil water content and quantity of applied water. - Soil Sci. Soc. America J. Madison, Wis. 41, 2, 358-363.
- FREDE, H.-G., GEHARDT, H. & MEYER, B. (1975): Größe, Ursachen und Bedingungen von Boden- und Dünger-N-Verlusten durch Denitrifikation aus dem A_p-Horizont einer Acker-Parabraunerde aus L6B. - Mittlg. I: Labor-Modell-Versuch mit natürlichen Boden-Monolithen, 69-165.
- JONES, L.W. (1974): Effect of soil depth on denitrification. - Soil Sci., Baltimore, Md. 118, 4, 280-281.
- MATOCHA, J.E. (1976): Ammonia volatilization and nitrogen utilization from sulfur-coated areas and conventional nitrogen fertilizers. - Soil Sci. Soc. America J. Madison, Wis. 40, 4, 597-601.
- MATZEL, W., HEDER, R., ACKERMANN, W. & TESKE, W. (1978): Ammoniakverluste bei Hamstoffdüngung. 3. Mittlg.: Beeinflussung der Ammoniakverflüchtigung durch Ureasehemmer. - Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk., Berlin 22, 8, 185-191.
- SEILER, W. & CONRAD, R. (1981): Mikrobielle Bildung von N₂O (Distickstoffoxid) aus Mineraldüngern - ein Umweltproblem? - Forum Mikrobiologie, 4, 322-328.
- SMID, A.E. & BEAUCHAMP, E.G. (1976): Ridgetown, Ontario, Coll. of Agric. Techn. and Guelph, Ontario, Univ. Dep. of Land resource Sc.: Effects of temperature and organic matter on denitrification in soil. - Canad. J. Soil Sci., Ottawa 56, 4, 385-391.
- STEFANSON, R.C. (1976): Denitrification from nitrogen fertilizer placed at various depths in soil-plant system. - Soil Sci. Baltimore, Md. 121, 6, 353-363.
- VENTURE, W.B. & YOSHIDA, T. (1977): Ammonia volatilization from a flooded tropical soil. - Plant and Soil, The Hague 46, 3, 521-531.
- WICKRAMASINGHE, K.N. & TALIBUDEEN, O. (1981): Denitrification in a very acid tropical soil. - Journal of Soil Science 32, 119-131.

Tab. 1 Bodenchemische Kenndaten der untersuchten Bodentypen

Bodentyp	Horizont	Bodenart	pH in 0,1 n KCl	CaCO ₃ (%) ³	Org. Subst. (%)	Gesamt N (%)	T-Wert mval/100 g
Pseudogley	A _p	t L	5,9	-	3,5	0,212	26,5
Parabraunerde	A _p	u L	6,7	-	2,1	0,116	17,8
Pararendzina	A _n	l U	6,9	-	1,7	0,097	15,2
Pararendzina	C	l U	7,3	13,7	0,2	0,034	9,0

Tab. 2 Gesamtstickstoffgehalte (%) der Varianten nach dreiwöchiger Behandlung

	Pararendzina A _p -Horizont		Pararendzina C-Horizont		Pseudogley A _p -Horizont		Parabraunerde A _p -Horizont		X
	80% WK	50% WK	80% WK	50% WK	80% WK	50% WK	80% WK	50% WK	
+ N									
6°C	0,133	0,136	0,063	0,070	0,242	0,244	0,153	0,159	0,150
15°C	0,132	0,138	0,071	0,071	0,233	0,246	0,144	0,152	0,149
20°C	0,123	0,130	0,061	0,061	0,223	0,236	0,144	0,153	0,141
- N									
6°C	0,034	0,095	0,032	0,031	0,214	0,209	0,112	0,116	0,113
15°C	0,098	0,100	0,034	0,033	0,205	0,205	0,106	0,112	0,112
20°C	0,093	0,036	0,025	0,027	0,202	0,232	0,108	0,116	0,109
X	0,112	0,116	0,049	0,049	0,220	0,224	0,126	0,123	GD 5% 0,007



Stickstoff-Nettomineralisation im Boden
eines Kalkbuchenwaldes.

von
Reichardt, C.[†]

Einleitung

In Landökosystemen ist der Stickstoff ein bedeutender Nährstoff grüner Pflanzen (ELLENBERG 1977). Im Rahmen des in Göttingen geplanten Sonderforschungsbereichs "Terrestrische Ökosysteme" wurde von März 1981 bis Februar 1982 die Stickstoff-Nettomineralisation im Boden eines naturnahen Kalkbuchenwaldes untersucht. Ziel dieser Arbeit war die Bestimmung des Stickstoffumsatzes im Boden zur Abschätzung der Stickstoffernährung der höheren Pflanzén. Es galt Auskunft über die Menge des momentan pflanzenverfügbaren Stickstoffs, den Jahreslauf und die Höhe der Stickstoff-Nettomineralisation und das Verhältnis von NH_4^+ - und NO_3^- -Ionen zu erhalten. Ferner wurden die wichtigsten Kenngrößen der Mineralisationsbedingungen (Bodenfeuchte und Temperatur) ermittelt.

Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet liegt 8 km von Göttingen entfernt auf einem Muschelkalkplateau. Die Waldgesellschaft ist ein Melico-Fagetum Subass.-Gruppe von Lathyrus vernus. Eine genaue Beschreibung der Vegetation des Gebietes findet sich bei DIERSCHE und SONG (1982 in Druck). Der Boden ist ein biologisch sehr tätiger Kalksteinverwitterungsboden mit der Humusform Mull. Die typische Mullrendzina und Übergänge zu verbraunten Formen mit geringem Basengehalt und höherem Tonanteil sind mosaikförmig verteilt. Das Untersuchungs-jahr 1981 zeichnete sich durch hohe Niederschläge aus (1043 mm, langjähriges Mittel: 613 mm).

Arbeitsmethode

Entsprechend der vorherrschenden Vegetation der Krautschicht wurden eine Mercurialis perennis-Fazies und eine Allium ursinum-Fazies getrennt bearbeitet. Die Probenahme erfolgte während der Vegetationsperiode alle 3-4 Wochen, im Winter in größeren Abständen. Auf jeder der beiden Flächen wurden 18 Proben genommen und jeweils drei zu einer Mischprobe vereinigt. Drei Bodentiefen (0-5, 5-10 und 10-20 cm)

[†] Systematisch-Geobotanisches Institut, Untere Karspüle 2, 34 Göttingen

Das Maximum an aktuell pflanzenverfügbarem Stickstoff wurde im August auf der Allium-Fläche mit 33 kg/ha gemessen. Zu keinem Zeitpunkt stand den Pflanzen weniger als 13 kg/ha Nmin zur Verfügung. Im Jahresdurchschnitt waren auf beiden Untersuchungsflächen die Nmin-Gehalte etwa gleich hoch, jedoch wies der Boden der Allium-Fazies höhere Nitrat-Gehalte auf (s. Tab. 1).

Tab. 2 Nmin-Nettoproduktion (in kg/ha) und der Anteil an $\text{NO}_3\text{-N}$ an der Gesamtproduktion (in %).

Horizont	Mercurialis-Fazies		Allium-Fazies	
	Nmin-Nettoproduktion	$\text{NO}_3\text{-N}$ % des Nmin	Nmin-Nettoproduktion	$\text{NO}_3\text{-N}$ % des Nmin
0_F	5,5	97	5,7	87
0-5cm	64,8	99	72,3	99
5-10cm	48,8	92	51,5	96
10-20cm	72,8	97	66,7	101
Gesamt	191,9		196,2	

Während der Vegetationsperiode von März bis Oktober 1981 wurden auf jeder der beiden Untersuchungsflächen etwa 160 kg Nmin/ha - überwiegend als Nitrat-Stickstoff - nachgeliefert. In den Wintermonaten von November bis 1981 bis Februar 1982 wurden weitere 30 kg Nmin/ha mineralisiert. Die größte Menge an Mineralstickstoff wurde im obersten Mineralboden-Horizont (0-5 cm) produziert. Mit zunehmender Bodentiefe nahm die Mineralisationsrate ab. Im Auflagehorizont war die Mineralisationsintensität zwar am höchsten, mengenmäßig spielte jedoch die Nmin-Nachlieferung nur eine geringe Rolle. Mercurialis- und Allium-Fazies unterschieden sich hinsichtlich der untersuchten Parameter (Bodenwassergehalt, aktueller Nmin-Gehalt und N-Nettomineralisation) nicht voneinander (t-Test).

Diskussion

Auf beiden Untersuchungsflächen war während der Vegetationsperiode die Stickstoff-Nettomineralisation mit 160 kg Nmin/ha sehr hoch. dies ist sicherlich auf die stets optimale Wasserversorgung des Bodens zurückzuführen. So wurde auch kein Zusammenhang zwischen Bodenwassergehalt und der Höhe der Nmin-Nachlieferung gefunden, obwohl ein solcher in trockenen Jahren nach Untersuchungen von GRIMME (1977) deutlich besteht und gerade in Böden mit einer hohen Nitratproduktion besonders deutlich sein soll (ZÜTTL 1960, RUNGE 1965). Die gute Korrelation des Bodenwassergehaltes mit der mineralisierten Stickstoffmenge in der organischen Auflage der Alliumfläche weisen

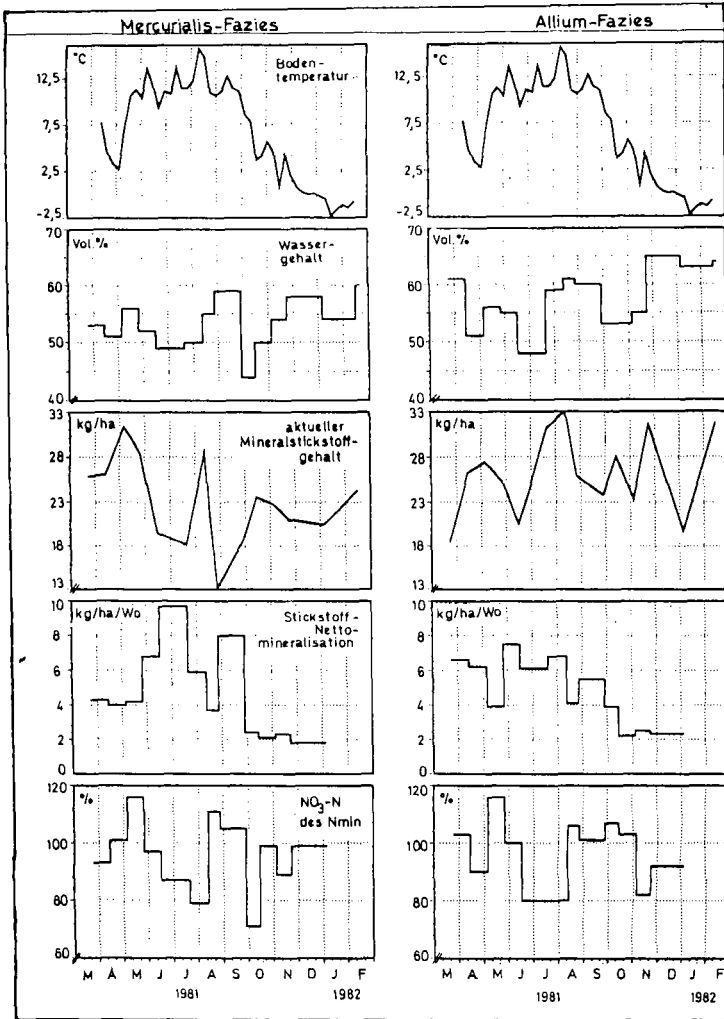


Abb.1 Jahresgang des aktuellen Mineralstickstoffgehaltes und der Stickstoff-Nettomineralisation (Summe aller Horizonte) sowie der Bodentemperatur (Wochenmittel in 4,5 cm Tiefe), dem Bodenwassergehalt und dem prozentualen Anteil an Nitrat an der Gesamt-Nachlieferung im Boden eines Kalkbuchenwaldes (links: Mercurialis perennis-Fazies, rechts Allium ursinum-Fazies).

und O_F -Horizont wurden unterschieden. Ein Teil des Bodens wurde sofort auf den aktuellen N_{min} -Gehalt analysiert. Die Nettomineralisation wurde nach 6 wöchiger Lagerung der Proben in Polyäthylentüten am Entnahmestort ermittelt (nähere Angaben zur Methode finden sich bei GERLACH 1973 und RUNGE 1970). Die chemische Analyse erfolgte durch fraktionierte Wasserdampf-Destillation nach KJELDAHL. Bodenwassergehalte und $pH_{(H_2O)}$ -Wert wurden ebenfalls kontinuierlich bestimmt. Für eine Berechnung der Stickstoffvorräte und der N-Nettomineralisation in kg/ha wurde der Mittelwert aus ca. 150 Einzelbestimmungen der Bodendichte zugrunde gelegt.

Ergebnisse

Bei der Darstellung der Ergebnisse in Abb. 1 wurde auf eine Differenzierung in einzelne Bodenhorizonte verzichtet, da sowohl beim Jahreslauf des Wassergehaltes und des aktuell vorhandenen Mineralstickstoffs als auch bei der Nettomineralisation ein weitgehend paralleler Verlauf in den einzelnen Bodentiefen festzustellen war. Die Bodenwassergehalte lagen in dem niederschlagsreichen Jahr stets über dem Wert der Feldkapazität. Dieser liegt nach GRIMME (1977) zwischen 37 und 45 Vol.-% für vergleichbare Böden. Nach Untersuchungen von VAN SCHREVEEN (1958) liegt der für die Mineralisation optimale Wassergehalt etwa bei Feldkapazität. Eine lineare Korrelation zwischen wöchentlicher Stickstoff-Nachlieferung und dem Wassergehalt des Mineralbodens ergab keinen Zusammenhang, während die Höhe der N-Mineralisation im Auflagehorizont der Allium-Fazies mit dem Wassergehalt signifikant korrelierte ($p < 0,05$). Im Mineralboden wurde die Mineralisationsleistung wesentlich durch die Bodentemperatur bestimmt ($p < 0,01$). Deutlich war ein starker Abfall der Mineralisation bei Bodentemperaturen unter $5^{\circ}C$ zu beobachten (s. Abb. 1).

Tab. 1: Durchschnittliche aktuelle N_{min} -Gehalte, Mittelwert von 14 Probenahme-Terminen. (Angaben in kg/ha , %-Angaben in Klammern)

Horizont	Mercurialis-Fazies			Allium-Fazies		
	NH_4-N	NO_3-N	N_{min}	NH_4-N	NO_3-N	N_{min}
O_F	0,39(67)	0,12(33)	0,58(100)	0,36(67)	0,18(33)	0,54(100)
0-5cm	2,08(39)	3,23(61)	5,31(100)	1,89(33)	3,28(67)	5,71(100)
5-10cm	2,43(41)	3,52(59)	5,95(100)	2,38(36)	4,30(64)	6,68(100)
10-20cm	6,48(48)	7,03(52)	13,51(100)	4,29(33)	8,87(67)	13,16(100)
Gesamt	11,4	14,0	25,4	8,9	17,2	26,1

jedoch darauf hin, daß auch in sehr feuchten Jahren kurzfristige Austrocknungserscheinungen Auswirkungen auf die Aktivität der Mikroorganismen der Laubstreu haben können.

Die stets hohen aktuellen Nmin-Gehalte und die ebenfalls hohe Stickstoff-Nachlieferung weisen das Untersuchungsgebiet als gut mit Stickstoff versorgt aus. Ein Unterschied der Mercurialis- und Allium-Fazies im Hinblick auf die Stickstoff-Versorgung war aufgrund der großen Heterogenität des Bodens und der Vegetation der Krautschicht nicht zu erwarten.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Herrn Dr. R. Aldag (Inst. für Bodenkunde), und Herrn Dr. K.-J. Meiwes (Inst. für Bodenk. und Waldernährung) für die Überlassung der Daten der Bodendichte, sowie Herrn Dr. J. Schauer-
mann (II. Zoolog. Inst. der Univ. Göttingen) für die Messwerte der Bodentemperatur herzlich danken.

Literatur

- DIERSCHKE, H. und SONG, Y. (1982), Vegetationsgliederung und kleinräumige Horizontalstruktur eines Kalkbuchenwaldes.
In: Dierschke, H. (Red.) Struktur und Dynamik von Wäldern.
Ber. Internat. Sympos. IVV Rinteln 1981 (im Druck)
- ELLENBERG, H. (1977), Stickstoff als Standortsfaktor, insbesondere für mitteleuropäische Pflanzengesellschaften. *Oecol. Plant.* 12, 1: 1-22
- GERLACH, A. (1973), Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Stickstoff-Nettomineralisation. *Scripta Geobotanica* 5
- GRIMME, K. (1977), Wasser- und Nährstoffversorgung von Hangbuchenwäldern auf Kalk in der weiteren Umgebung Göttingens
Scripta Geobotanica 12
- RUNGE, M. (1965), Untersuchungen über die Mineralstickstoff-Nachlieferung an nordwestdeutschen Waldstandorten. *Flora B.* 155: 353-386
- RUNGE, M. (1970), Untersuchungen zur Bestimmung der Mineralstickstoff-Nachlieferung am Standort. *Flora B.* 159: 233-257
- SCHREVIEN, D. A. VAN (1958), Profnemingen in verband met de stikstof-mineralisatie in grond. *Van Zee tot Land* 26: 26-52
- ZÖTTL, H. (1960), Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Mineralstickstoff-Nachlieferung in Waldböden. *Forstw. Cbl.* 71 Jg. (5/4), 72

N_{\min} im Bodenprofil und N-Aufnahme durch die Zuckerrübe

von
von Müller, A. und I. Feyerabend *)

Seit 1974 ist am Institut für Zuckerrübenforschung in Göttingen der Nitrat-N-Gehalt im Bodenprofil der Versuchsfelder während der Vegetationsperiode und teils auch im Winterhalbjahr untersucht worden. 1976 wurden die Untersuchungen durch eine von der Zuckerindustrie getragene Enquete mit Hilfe der LUFA Hameln und des Bodenuntersuchungsinstituts Koldingen auf weite Teile Niedersachsens ausgedehnt. Im Laufe von 5 Jahren wurden hier rund 1000 Felder kurz vor der Frühjahrsbestellung oder auch nach Aufgang der Rüben auf ihren Gehalt an Ammonium- und Nitrat-N untersucht. Ohne Rücksicht auf die Mächtigkeit der einzelnen Profilhorizonte wurden dabei die entnommenen Bohrerkerne in 20- oder 30-cm-Schichten unterteilt, bei einer Meßtiefe von anfangs 120, später meist nur 90 cm (bei anstehendem Gestein auch weniger tief).

Ebenfalls im Rheinland und in Süddeutschland fanden ähnliche Untersuchungen statt, wenn auch nicht an so zahlreichen Standorten. Die niedersächsische Enquete wurde begleitet durch 120 Feldversuche mit gesteigerter N-Gabe, um die optimale Summe von N_{\min} und mineralischer N-Düngung einzukreisen. Die Feldversuche enthielten vielfach auch Bracheparzellen, damit während der Vegetationszeit die N_{\min} -Anhäufung ohne pflanzlichen N-Entzug verfolgt werden konnte. Lysimeter-Messungen lagen nicht vor, so daß manche Einzelheiten des N-Umsatzes und der N-Bewegung im Boden nur geschätzt werden konnten. Bei summarischer Betrachtung ergaben sich folgende Befunde: Die Standorte, gegliedert nach Bodenarten, wiesen im mehrjährigen Mittel charakteristische Unterschiede in Menge und Verteilung des N_{\min} in den 3 untersuchten Bodenschichten bis 90 cm Tiefe auf. Je höher der Anteil des Bodens an Ton oder organischer Substanz, desto mehr N_{\min} fand sich vor allem in der Schicht 30 - 60 cm (Abb. 1). Im Einzelfall lag die N_{\min} -Menge bis 90 cm bei den mineralischen Böden zwischen 16 und 420 kg/ha. Ammonium-N wurde nur nach Güllegaben in wesentlichen Mengen gefunden, dann aber auch bis zu 400 kg/ha.

*) Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Ldstr. 77, Göttingen

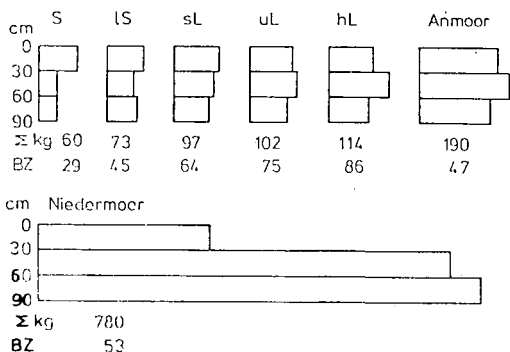


Abb. 1

N_{min} März bei verschiedenen Bodenarten

Niedersachsen 1976-80, $n = >1000$

Angaben in kg/ha bei maßstabgerechter Verteilung auf 3 Schichten bis 90 cm Tiefe.

(Bei mineralischen Böden steigt die N_{min} -Menge mit der Bodenzahl - BZ - an).

Da die N_{min} -Menge im Frühjahr aber stark vom vorherigen Witterungsverlauf mitbestimmt wird, ist für sie im Einzelfall keine "standorttypische" Höhe und Verteilung zu erwarten (Abb. 2).

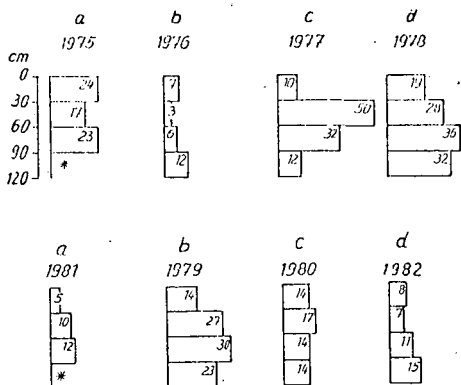


Abb. 2

Verteilung von N_{min} März (kg/ha) in 4 Schlägen der Feldmark Göttingen-Holtensen (a - d) von 1975 bis 1982

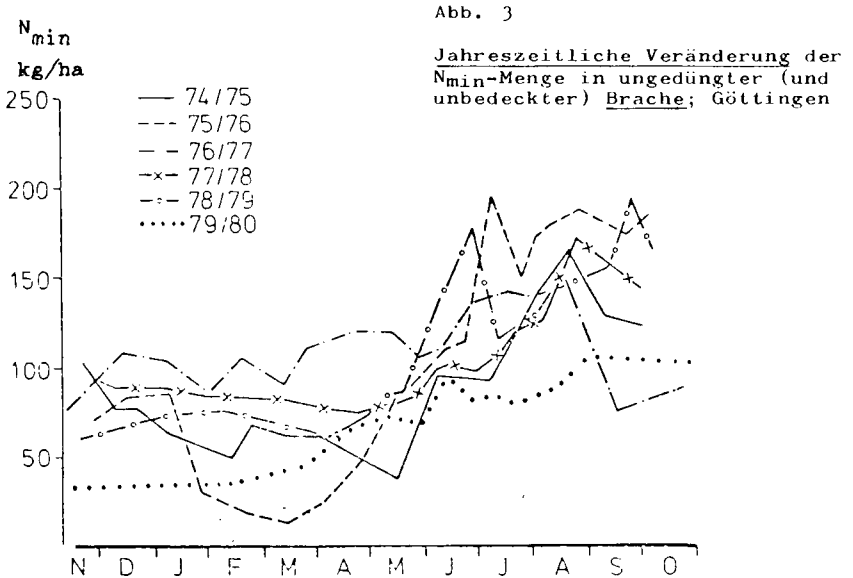
* Schlag a in 90 - 120 cm Tiefe nicht gemessen

So variieren Meßergebnisse von 4 im Profilaufbau einander ähnlichen Parabraunerde-Standorten, deren N_{min} -Gehalt allenfalls bei niedrigen Werten (1976, 1981, 1982) einander entsprach. Hier wird auch deutlich, daß die jährlichen Schwankungen im N_{min} -Gehalt sich unterhalb 90 cm Tiefe fortsetzen.

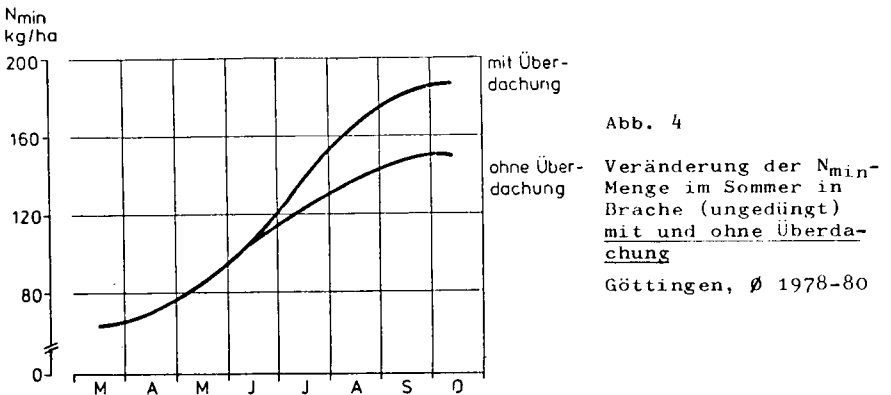
Im Durchschnitt von 1976-80 betrug im März die N_{min} -Menge (0-90 cm) in Göttingen-Holtensen (ohne organische Düngung) 61 kg/ha, dagegen im gleichen Zeitraum auf 528 anderen Lößstandorten in Niedersachsen,

zu 83 % mit organischer Düngung versorgt, 102 kg/ha. Zu dieser N_{\min} -Menge im zeitigen Frühjahr kamen im Laufe der Vegetationsperiode noch ca. 100 kg N_{\min} aus der Mobilisierung organischen Stickstoffs hinzu - im trockenwarmen Sommer 1976 in Göttingen sogar 183 kg, gemessen in ungedüngter Brache.

Die jährliche Höhe dieser "Nachlieferung" unterliegt aber ebenso großen Schwankungen wie die Ausgangs- N_{\min} -Menge (Abb. 3).



In feuchten Sommern stellte sich heraus, daß unter überdachter Brache 30 - 40 kg mehr N_{\min} angehäuft werden (Abb. 4).



Unter Bewuchs mit Zuckerrüben läßt sich ein N_{min} -Anstieg wie in der Brache nicht messen, da die Rübe ab Juni mehr N aufnimmt, als nachgeliefert wird (Abb. 5).

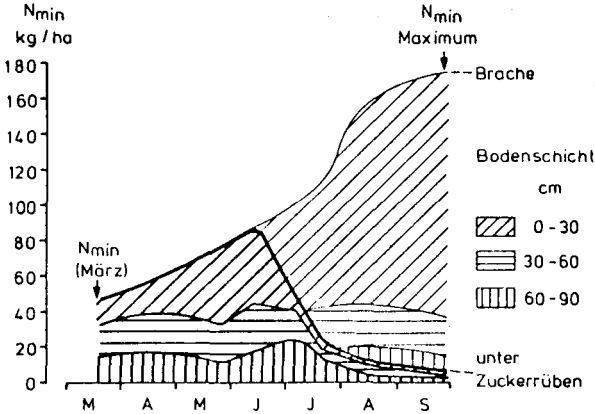


Abb. 5

N-Mobilisierung in Brache und N-Abnahme unter Zuckerrüben (ungedüngt); Göttingen 1980

Ohne Düngung wurde der Boden bis Ende September auf ca. 10 kg/ha N_{min} entleert. Weitere 10 kg waren in 90-120 cm Tiefe übrig geblieben. In der Brache dagegen ließen sich in 90-120 cm noch 30 kg N_{min}

nachweisen. Aus dieser Tiefe, die bei Probenahme mit Pürckhauer-Bohrstock gar nicht erfaßt wird, kann sich die Rübe also auch noch etwas N aneignen.

Das bisher Gesagte über den Vergleich zwischen Brache und Bewuchs mit Zuckerrüben gilt für ungedüngte Flächen. Nach N-Düngung nimmt die N_{min} -Menge anfangs entsprechend zu, wird dann aber von Rüben bis September insgesamt weitgehend aufgenommen (Abb. 6).

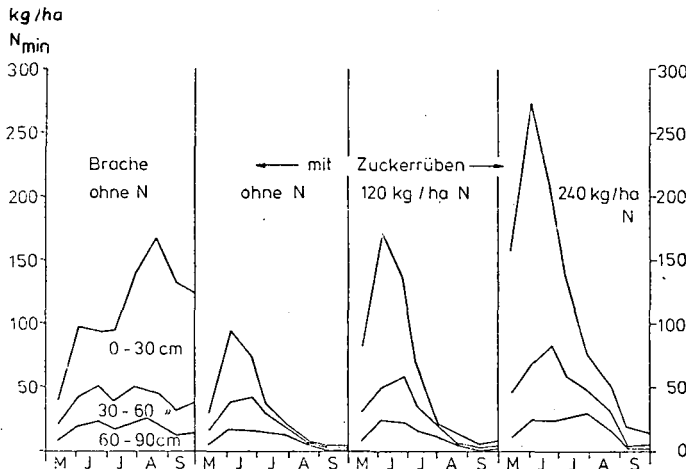


Abb. 6

Veränderungen im N_{min} -Gehalt nach gesteigerter N-Gabe

Göttingen 1975

Beim quantitativen Vergleich von N_{\min} -Abnahme im Bodenprofil und N-Aufnahme der Rübe entsprechen sich diese beiden Werte so lange recht gut, wie der N_{\min} -Vorrat des Bodens noch hinreichend groß ist und die Entnahme vorwiegend aus den oberen Schichten erfolgt. Danach vermag sich die Rübe aber mehr N anzueignen, als aus weiterer N_{\min} -Zunahme in Brache oder weiterer Abnahme der Restmenge im Bodenprofil abzuschätzen wäre; bei Brache wird die N_{\min} -Anhäufung über einen bestimmten Konzentrationsgrad hinaus vielleicht durch biologische Festlegung verhindert. Diese "Mehraufnahme" durch die Rübe ist etwa umgekehrt proportional zur Höhe der N-Gabe.

Als Erklärung für die Mehraufnahme bei einer Bilanzierung bis 90 cm Tiefe dient zum Teil der Befund, daß auch aus größerer Tiefe noch N aufgenommen (oder mit aufsteigendem Kapillarwasser in stärker durchwurzelte Horizonte angehoben) wird. Darüberhinaus besteht aber auch Grund zur Annahme, daß die Rübe mit ihrem großen N-An eignungsvermögen N_{\min} gleichsam in statu nascendi bei der Freisetzung aus organischer Substanz aufnehmen kann, ehe er im Boden quantitativ nachweisbar wird.

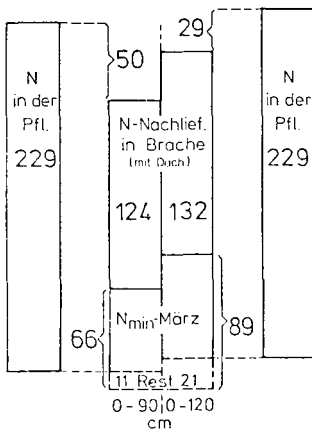


Abb. 7

Bilanzierung der N-Aufnahme der Zuckerrübe (Göttingen 1978-80) gegenüber N_{\min} aus 90 oder aus 120 cm Bodentiefe.

Erklärung: Bei 90 cm (links der senkrechten Mittellinie) waren im März 66 kg N_{\min} vorhanden, von denen bis zur Ernte 11 kg nicht entnommen wurden. In benachbarter Brache kamen im Sommerhalbjahr 124 kg hinzu. Der in der Pflanze gefundene N lag jedoch um 50 kg höher als das nachweisbare Angebot. Auch bei Einbeziehung der Schicht 90-120 cm (rechte Seite) waren 29 kg des aufgenommenen N auf diese Weise im Boden nicht meßbar gewesen.

Literatur

Winner, C.; Feyerabend, I.; v.Müller, A., 1976:

Untersuchungen über den Gehalt an Nitratstickstoff in einem Bodenprofil und dessen Entzug durch die Zuckerrüben.
Zucker 29, 477-484

v.Müller, A.; Feyerabend, I.; Winner, C., 1979:

Versuche auf Boden mit abgestuftem N-Vorrat zur Ermittlung des optimalen Stickstoffangebotes für die Zuckerrübe.
Zuckerind. 104, 485-495

v.Müller, A.; Winner, C., 1980:

Neue Ansätze einer standortspezifischen Stickstoffdüngung der Zuckerrübe. I. Bedarf der Pflanze und N-Angebot.
Zuckerind. 105, 64-68

v.Müller, A.; Merkel, D., 1981:

Neue Ansätze einer standortspezifischen Stickstoffdüngung der Zuckerrübe. II. Mineralstickstoffgehalt des Bodens (N_{min}).
Zuckerind. 106, 1084-1092

Feyerabend, I.; Winner, C., 1981:

Stickstoffmobilisierung in einem Lössboden ohne Bewuchs und unter Zuckerrüben. Zuckerind. 106, 692-699

Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 54, 45-48 (1982)

Zum Verlauf der $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^-$ -Konzentrationen in Ackerböden unter *Vicia sativa* im Stoppelfrucht-Anbau.

von

Seifert, V., von Howe, B. und Pröger, W. ^{†)}

Zwischenfruchtbau gilt als Synonym für ökologische Orientierung im Ackerbau. Die Beziehung zur Ökonomie ist weniger deutlich, unbeschadet nachweisbarer Naturalerfolge bei der nachfolgenden Hauptfrucht (POMMER u. BACHTHALER, 1978; DEBRUCK, 1978). Eine Annäherung an das Problem kann in der Feststellung von BRAMM (1979) gesehen werden, daß Leguminosen - Zwischenfruchtbau zu höheren Nitratverlusten führt. Dies berührt beide Perspektiven der Bodennutzung. Mehr Klarheit darüber verspricht die Beobachtung des Verlaufs der N_{min} -Freisetzung unter Leguminosen im Boden, über die in der Literatur kaum berichtet wird.

Versuchsanlage, Standortbedingungen, Methoden.

Der nachfolgend geschilderte Versuch dazu wurde angelegt unter landwirtschaftlichen Feldbedingungen in der Nähe von Eschwege, Werra-Meißner-Kreis. Verglichen wurden drei Aussaatzeiten 31.7., 14.8., 29.8.1981 mit einer Brach - Variante, 4 -fach. Standortbedingungen : 235 m ü.NN, Feldneigung 5-10° SSO, 8°C Ø Jahrestemp., 630 mm Ø Jahresniederschläge.

Kultobraunerde über Unterem Buntsandstein su_2 Ø 40 cm tief; Textur x'1S, 52,8%S, 36,6%U, 10,6%T; C_T -0,9% , N_T -0,08%; pH (CaCl₂) 5,8; P₂O₅ (CAL) 11,4 mg, K₂O (CAL) 13,2 mg; Mg (CaCl₂-Extr.) 4,8 mg.

Vorfrucht - Wintergerste (ca 45 dt/ha), Stroh gehäckselt eingepflügt; Düngung 45 kg N/ha als KAS zum Strohausgleich.

Zur Aussaat kamen 110 kg/ha französischer Import der Sorte "Sylphie" Bodenprobenahmen erfolgten zu den Aussaaten, sodann ab 12.11. in ca 4 - wöchentlichem Abstand. Die Proben wurden untersucht auf NO_3^- (photometrisch bei 210 nm), NH_4^+ (potentiometrisch, ORION-El.), ferner auf P₂O₅, Phosphatase-Aktivität und Kationen.

^{†)} Gesamthochschule Kassel, FB 20 - Landwirtschaft -, Nordbahnhofstr. 1a; D - 343 Witzenhausen

Es liegen vor die Meßangaben des Landwirtschaftsamtes Eschwege über den Verlauf von Temperaturen und Niederschlägen im Beobachtungszeitraum, ferner Messungen der Bodentemperatur. (Abb.1)
Am 5.12. wurde der Pflanzenaufwuchs nach Entwicklungsabschluß durch erste Frosteinwirkung auf je 2 m² pro Parzelle bodennah abgeschnitten, getrocknet und gewogen. Je 4 Proben des Materials wurden der Kjeldahl-Analyse auf N_t unterworfen.

Ergebnisse und Diskussion. (s.Tab.1)

Bis zum 12.11. zeigt die Verlaufskontrolle Abnahme - also Verlust - an N_{min} in allen Varianten. Davon ist NO₃ weit mehr betroffen, als NH₄, infolgedessen sinkt der NO₃/NH₄ - Quotient auf wenig über 1. Da die Vicia - Parzellen diese Bewegung gesichert stärker zeigen als die Brache, scheint sich dabei der Pflanzenentzug neben den Verlusten zu manifestieren. Zur gleichen Zeit werden aber in allen drei Vicia-Varianten die Reife-Formen der Bakterioiden in den Zellen der Knöllchen gefunden. Am 5.12. werden im Aufwuchs von Var.1 96 kg N/ha, Var.2 116 kg N/ha und Var.3 50 kg N/ha festgestellt.

Ab 11.12. weisen die N-Kontrollen unterschiedliche Entwicklung der Vicia - Varianten gegen Brache aus : während letztere kontinuierliche Abnahme bis zum 16.2. zeigt, sind die Vicia - Varianten durch m.o.w. kräftigen Anstieg der N_{min} - Werte gekennzeichnet.

Am 11.12. steigen die NH₄-Werte auf das doppelte des Vormonats, während NO₃ auf Spuren schrumpft. Die NO₃/NH₄-Quotienten sinken alle unter 1. Die Varianten 1 u. 2 zeigen diese Entwicklung gesichert geringer als die Var.4 (Brache); das könnte durch den thermischen Schutz der Bodenoberfläche erklärt werden (längere Nitrifikation), denn von der 2.Hälfte des November an sanken die Nachttemperaturen z.T. erheblich unter 0°C, und nach der 2.Pentade die Tagesdurchschnittswerte bis -10°C. Um die Jahreswende folgte eine Periode der Erwärmung, und erneut tiefe Luft- und Bodentemperaturen im Januar.

Die am 9.1. entnommenen Bodenproben unterscheiden sich erheblich. Auf den Brach - Parzellen konnte wegen der Frosttiefe (20 cm) keine Probe entnommen werden, während die Vicia- Parzellen 1 u.2

kaum mehr als 5 cm tief gefroren waren, Var.1 ca 15 cm tief. Die Differenzen machen die o.g. Vermutung betreffend die thermischen Verhältnisse unter dem Schutz der Wicken im Hinblick auf die Wärmeperiode zur Jahreswende wahrscheinlich. Ferner wird die Wirkung der Laubnekrose durch Frost bemerkbar: beginnende Lyse der Nodulen macht N_{\min} frei. Bei 83 mm Niederschlag im Dezember werden dadurch vermutlich hohe Auswaschungen maskiert !

Am 16.2. sind die NO_3 -Werte stark reduziert, die NH_4 -Werte nur bei den Vicia - Varianten stark erhöht. Die Brachparzellen unterscheiden sich signifikant; nur hier liegen die NO_3/NH_4 -Quotienten über 1. Die Nitratminderung ist schwer erklärbar. Tief gefrorener Boden macht Auswaschung unwahrscheinlich, es sei denn, als Konzentration und Ausdrängung der Restlösung durch wachsendes Eis !

In der ersten Märzpentade steigen die Temperaturen auf $7^{\circ}C$. Bei der Probenahme am 5.3. sind nur die beiden Frühsaat - Varianten frei von Bodenfrost ! Ihre deutliche Diversifizierung durch hohe Nitrat- neben hohen bis steigenden (Var.2) NH_4 -Analysen finden zwei Erklärungsmöglichkeiten :

- als unterschiedliche Anpassung der biogenen Prozesse auf rel. niedrigem Temperaturniveau. Dies erklärt auch die Schwingung der NO_3/NH_4 - Quotienten !
- als Folge der Laubauflösung von Var.1 und 2 mit ihren 100 kg N. Bis zum 20.3. werden 50 kg N/ha als Differenz gegen Brache feststellbar, und es ist zu vermuten, daß dieser Wert noch steigt. Der kalte Winter hat Verluste gemindert.

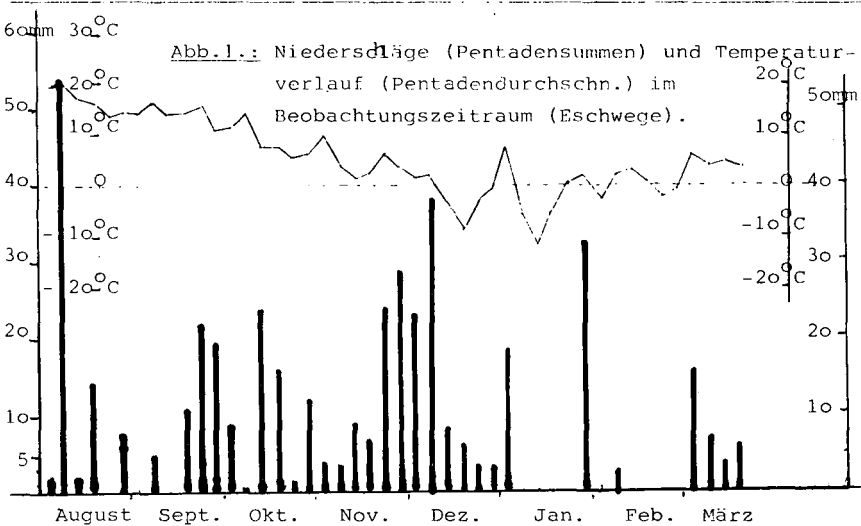
Inwieweit der assimilierte N netto als Vorfruchtwert auf diesem leichten und flachgründigen Boden kalkulierbar wird, soll in weitergeführten Untersuchungen geklärt werden, die auch eine Verlustabschätzung einschließen.

Literatur.

- BRAMM,A.: Colloquium "Umweltrelevante Agrarforschung" 24./25.4. 1979, BFAL Braunschweig - Völkenrode.
- DEBRUCK,J.: Landw.Forschung 27, 167-177 (1974).
- DEBRUCK,J.: Mittlgn. DLG 93, 774 778 (1978)
- POMMER,G., G.BACHTHALER,: Z.f.Acker- u.Pflbau 147, 241-254 (1978).

	31.7.81	14.8.	29.8.	12.11.	11.12.	9.1.	16.2.	5.3.	20.3.82
Var. kg/ha \bar{x}									
1) NO ₃ -N	33,23			12,28	15,49	30,47	12,06	44,13	63,50
NH ₄ -N	9,58			12,15	22,11	11,79	28,58	19,73	13,57
Sa.-N	42,81			24,43	37,60	42,26	40,64	63,86	78,07
Quot.: 3,47				1,01	0,70	2,58	0,42	2,24	4,68
2) NO ₃ -N		29,63		9,91	10,65	23,21	6,27	32,49	57,89
NH ₄ -N		8,03		9,56	20,29	11,28	31,16	34,28	19,70
Sa.-N		37,66		19,47	30,92	34,49	37,43	66,77	77,59
Quot.:		3,69		1,04	0,52	2,06	0,20	0,95	2,94
3) NO ₃ -N			24,29	8,80	6,29	11,63	10,93	22,23	29,43
NH ₄ -N			16,85	7,37	19,03	9,09	21,30	15,58	14,22
Sa.-N			41,14	16,17	25,32	20,72	32,23	37,80	43,65
Quotient NO ₃ /NH ₄ :			1,44	1,19	0,33	1,28	0,51	1,43	2,07
4) NO ₃ -N	34,00	29,61	35,00	18,80	5,74	10,6 ⁺	9,93	18,90	19,39
NH ₄ -N	11,18	6,97	10,79	8,17	19,64	10,4 ⁺	6,66	10,92	9,02
Sa.-N	45,18	36,58	45,79	26,97	25,38	21,0 ⁺	16,59	29,82	28,41
Quot.:	3,04	4,25	3,24	2,30	0,29	1,0 ⁺	1,49	1,73	2,15

Tab.1.: Verlauf der Bodengehalte an NO₃, NH₄ u. N_{min}-Ges. unter Vicia sat. als Stoppelfrucht; Vergleich der Saatzeitvarianten 1)-3) gegen Brache, Var.4). (+ - geschätzt).



Felduntersuchungen zur N-Transformation
im Boden unter Brache und Hafer

von
Beese, F. +

In einem umfassenden Feldversuch wurde der Verbleib von 15-N markiertem $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ im Boden unter Hafer und Brache untersucht. Das Experiment diente zur Verifizierung von Simulationsmodellen zum Stickstoff-Umsatz und -Transport unter natürlichen Bedingungen. Über die Details dieser Untersuchungen wird an anderer Stelle ausführlich berichtet werden. Im Rahmen dieser Kurzfassung sollen lediglich zwei Bilanz-Ansätze vorgestellt werden, an denen die Problematik von N-Bilanzen im Feld aufgezeigt werden soll.

Bilanz A basiert auf der Messung der Vorratsänderung des Mineralischen Stickstoff und der N-Aufnahme durch die Pflanzen. Unter den besonderen Bedingungen des Untersuchungszeitraums kann ein Austrag nach unten mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Der Input ergibt sich aus der Düngung und dem Eintrag mit den Niederschlägen. Tabelle 1 zeigt die Bilanz für Hafer und Brache.

Tab. 1: Bilanz des mineralischen Stickstoff für die Zeit vom 14.4. bis 17.10.77

INPUT:	80.0 kg N/ha als $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Düngung
	<u>10.0 kg N/ha mit den Niederschlägen</u>
	90.0 kg N/ha
VORRÄTE zu Beginn:	
	72.5 kg N/ha als NO_3^- -N
109.5	37.0 kg N/ha als NH_4^+ -Na
	1512.0 kg N/ha als NH_4^+ -N _f

+ Institut für Bodenkunde und Waldernährung, Büsgenweg 2,
D-34 Göttingen

VORRÄTE am Ende:

BRACHE:

241.0 201.0 kg N/ha als NO_3^- -N
 40.0 kg N/ha als NH_4^+ -N_a
 1492.0 kg N/ha als NH_4^+ -N_f

HAFER:

38.0 --- kg N/ha als NO_3^- -N
 38.0 kg N/ha als NH_4^+ -N_a
 1538.0 kg N/ha als NH_4^+ -N_f

ENTZUG: 152,5 kg N/ha

Hieraus ergibt sich für die Brache folgendes Bild: Zu den im Frühjahr vorhandenen Vorräten an NO_3^- -N und NH_4^+ -N_a addiert sich der Input von 90 kg/ha. Weiter sind aus der Fraktion NH_4^+ -N_f 20 kg/ha in die mobile Fraktion übergegangen. Zum Ausgleich der Bilanz müssen 21.5 kg/ha mineralisiert sein. Anders die Situation beim Hafer. Durch den Entzug von 152.5 kg N/ha wurde die mobile Fraktion bei gleichzeitiger Vergrößerung der Fraktion NH_4^+ -N_f um 26 kg auf 38 kg N/ha reduziert. Zum Ausgleich der Bilanz muß eine Mineralisation in Höhe von 17 kg N/ha stattgefunden haben, was mit der Situation unter Brache vergleichbar wäre.

Daß diese "realistisch" aussehende Bilanz zu vollkommen falschen Schlüssen führen kann, geht aus der Betrachtung der Dünger-N-Bilanz (Bilanz B) hervor, wie sie in der Tabelle 2 gezeigt wird.

Tab. 2: Bilanz des applizierten 15-N-Düngers

INPUT: 80 kg N/ha als 15-N (NH_4)₂SO₄
 VORRÄTE zu Beginn: gleich Null gesetzt

VORRÄTE am Ende:

BRACHE:

30.3 kg N/ha als NO_3^- -N
 1.7 kg N/ha als NH_4^+ -N_a
 5.6 kg N/ha als NH_4^+ -N_f 54.5
 16.9 kg N/ha als N-org.

HAFER:

--- kg N/ha als NO_3^- -N
 1.4 kg N/ha als NH_4^+ -N_a 27.9
 4.9 kg N/ha als NH_4^+ -N_f
 21.6 kg N/ha als N-org.

ENTZUG: BRACHE = --.- kg N/ha
HAFER = 29.5 kg N/ha

VERLUST: BRACHE = 25.5 kg N/ha
HAFER = 22.6 kg N/ha

Ein Vergleich dieser beiden Bilanzen zeigt, daß ohne die Verwendung von markiertem N eine Abschätzung der N-Transformation im Boden nicht möglich ist. Besonders zwei Größen werden bei einem einfachen Bilanzansatz (A) unterschätzt. Es sind dies die Mineralisierung und die möglichen gasförmigen Verluste. Zur Aufhellung der N-Transformation und ihrer Quantifizierung im Feld ist der Einsatz von markierten N-Düngern auch weiterhin unumgänglich.



Der Umsatz von N-Dünger in sauren und
neutralen Löß-Oberböden

von

Mochoge, B.⁺ und F. Beese⁺

In einer Reihe von Modelluntersuchungen im Labor wurde das Verhalten von N-Düngern bei der Bodenpassage untersucht. Die Experimente wurden an ungestört entnommenen Säulen aus dem Oberboden (0-30 cm) einer Parabraunerde (Ackerboden, Ap-Hor., pH 7.5) und einer sauren Braunerde (Waldboden, O + A_h + B_v - Hor., pH 3.8) durchgeführt. Es wurde jeweils mit 5 Parallelen gearbeitet. Die Fließgeschwindigkeit der Bodenlösung (Darcey-Geschwindigkeit) betrug in allen Fällen 0.5 cm/d. Die Bodentemperaturen betragen in einem Falle 4°C, im anderen 23°C. Auf die Oberflächen der Säulen wurden 15-N markiertes Ca(NO₃)₂ und (NH₄)₂SO₄ als N-Dünger mit der Wassermenge eines Tages verabreicht. Die applizierte N-Menge war in allen Fällen äquivalent zu 80 kg N/ha. Die Perkulations-Lösung entsprach in der übrigen Zeit der Gleichgewichtsbodenlösung der sauren Braunerde. Die aus den Säulen austretende Lösung wurde jeweils zwei Tage gesammelt und anschließend auf ihre NH₄⁺- und NO₃⁻-Konzentration untersucht. Zugleich wurde der 15-N-Anteil beider Fraktionen emissionspektrometrisch ermittelt. Die Dauer aller Versuche nach der N-Zugabe betrug 60 Tage. Abschließend wurden die Säulen in jeweils 8 Segmente unterteilt und in jedem Abschnitt die Gehalte an Gesamt-N, Fixiertem NH₄⁺-N, Austausch-NH₄⁺-N und NO₃⁻-N bestimmt. Der Anteil an org.N wurde durch Differenzbildung ermittelt. Daneben wurde jeweils wieder der 15-N-Anteil gemessen. Die so erhaltenen Ergebnisse erlauben eine Bilanzierung des applizierten N-Düngers.

In den Tabellen 1 und 2 sind die Bilanzen aller Versuche zusammengefaßt. Die Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse für die Ca(NO₃)₂-Zugabe. Es wird deutlich, daß der größte Anteil sich im Sickerwasser wiederfand. Mit Ausnahme des Waldbodens (48 %) bei 23°C

⁺ Institut für Bodenkunde und Waldernährung, Büsgenweg 2,
D-34 Göttingen

betrug die ausgewaschene Menge 86 % der Zugabe. Der Anteil, welcher im Boden verblieb, war gering und betrug zwischen 4 und 6 %. Er befand sich überwiegend in organischer Form. Eine Abweichung ergab sich wiederum beim Waldboden, wo der Anteil 15 % ausmachte. Die gasförmigen Verluste, die sich aufgrund der Differenz-Bildung ergaben, lagen bei ca. 10 %. Nur im Falle des Waldbodens bei 23°C waren sie mit 37 % unerwartet hoch.

Die Tabelle 2 zeigt die Bilanzen nach der $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Zugabe. Hier ergibt sich ein abweichendes Bild. Die Mengen, die als NO_3^- -N im Sickerwasser auftraten, betrug für den Waldboden nur 6-8%, während es beim Ackerboden 51 - 68 % waren. Daneben wurden Spuren von 15-N-NH_4^+ gefunden. Die N-Mengen, die im Boden verblieben, waren, dem verminderten Austrag entsprechend, beim Waldboden erheblich höher (61 %) als beim Ackerboden. Deutlich waren die Anteile an fixiertem NH_4^+ und austauschbarem NH_4^+ erhöht, aber auch der Anteil in org. Form hatte sich im Vergleich zum Ackerboden nahezu verdreifacht. Ein interessantes Ergebnis ergab sich für die gasförmigen Verluste, die beim Waldboden mit 30 % höher als beim Ackerboden waren und nahezu keine Temperaturunabhängigkeit aufwiesen.

Eine umfassende Diskussion der Ergebnisse findet sich in den nachfolgend angeführten Arbeiten:

B. Mochoge, 1981.

The Behaviour of Nitrogen Fertilizers in Neutral and Acid Loess Soils. Dr. Arbeit, Landw. Fakultät der Universität Göttingen. Göttinger Bodenkundl. Berichte, Band 69.

B. Mochoge and F. Beese, 1982.

The behaviour of nitrogen fertilizers in two loess derived soils: I. Nitrogen transport and transformation. Zur Veröffentlichung eingereicht.

B. Mochoge and F. Beese, 1982.

The behaviour of nitrogen fertilizers in two loess derived soils: II. N-distribution and balances. Zur Veröffentlichung eingereicht.

Tabelle 1: 15-N-Bilanzen nach $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -Düngung (Mittelwerte u. Standardabweichungen)

A: Parabraunerde (Acker)

Temperatur		Sickerwasser		-----Boden-----					15-N wieder- gefunden	15-N Ver- luste
		$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	N_t	$\text{NH}_4\text{-N}_f$	$\text{NH}_4\text{-N}_a$	$\text{NO}_3\text{-N}$	N_{org}		
4°C	kgN/ha	69.1 <u>+5.5</u>	0	3 <u>+0.17</u>	0	0	0	3 <u>+0.17</u>	72.1 <u>+7.0</u>	8 <u>+6.9</u>
	%	86.4	0	3.7	0	0	0	3.7	90	10
23°C	kgN/ha	68.4 <u>+4,8</u>	0	3 <u>+0.06</u>	0	0	0	3 <u>+0.06</u>	71 <u>+6.1</u>	9 <u>+6.1</u>
	%	85.5	0	4	0	0	0	4	89.5	10.5

B: Saure Braunerde (Wald)

Temperatur		Sickerwasser		-----Boden-----					15-N wieder- gefunden	15-N Ver- luste
		$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	N_t	$\text{NH}_4\text{-N}_f$	$\text{NH}_4\text{-N}_a$	$\text{NO}_3\text{-N}$	N_{org}		
4°C	kgN/ha	69 <u>+5.1</u>	0	4.5 <u>+0.4</u>	0	0	0	4.5 <u>+0.4</u>	73.5 <u>+1.9</u>	6.5 <u>+1.9</u>
	%	86	0	6	0	0	0	6	92	8
23°C	kgN/ha	3.8 <u>+11.6</u>	Traces	12 <u>+3.1</u>	0	0	0	12 <u>+ 3.1</u>	50 <u>+4.5</u>	30 <u>+4.5</u>
	%	48	Traces	15				15	63	37

Tabelle 2: 15-N-Bilanzen nach $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Düngung (Mittelwerte u. Standardabweichungen)

A: Parabraunerde (Acker)

Temperatur		Sickerwasser		-----Boden-----					15-N wieder- gefunden	15-N Ver- luste
		$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	N_t	$\text{NH}_4\text{-N}_f$	$\text{NH}_4\text{-N}_a$	$\text{NO}_3\text{-N}$	N_{Org}		
4°C	kgN/ha	41 <u>+6.8</u>	Traces	24 <u>+5.5</u>	1.6 <u>+1.0</u>	2 <u>+1.4</u>	13.3 <u>+3.6</u>	7.1 <u>+2.7</u>	65 <u>+4.2</u>	15 <u>+4.2</u>
	‰	51	0	30	2	2.3	16.6	8.9	81	19
23°C	kgN/ha	55 <u>+11.6</u>	Traces	9 <u>+1.7</u>	0.5 <u>+0.4</u>	0	0	8.5 <u>+1.7</u>	64 <u>+10.7</u>	16 <u>+10.7</u>
	‰	68	0	11.2	0.7	0	0	10.5	79.2	20.8

B: Saure Braunerde (Wald)

Temperatur		Sickerwasser		-----Boden-----					15-N wieder- gefunden	15-N Ver- luste
		$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	N_t	$\text{NH}_4\text{-N}_f$	$\text{NH}_4\text{-N}_a$	$\text{NO}_3\text{-N}$	N_{Org}		
4°C	kgN/ha	6.5 <u>+2.8</u>	0.1	49 <u>+4.8</u>	13 <u>+3.8</u>	14.5 <u>+0.5</u>	Traces	21.5 <u>+4.1</u>	55.6 <u>+2.4</u>	24.4 <u>+2.4</u>
	‰	8	0.1	61.2	16.5	18	0	26.8	69.5	30.5
23°C	kgN/ha	5 <u>+3.8</u>	1	49 <u>+2.9</u>	12 <u>+2.6</u>	9 <u>+0.4</u>	Traces	28 <u>+1.1</u>	55 <u>+2.7</u>	25 <u>+2.7</u>
	‰	6	1.5	61.5	15	11	0	35	69	31.0

Stickstoffbilanz von drei Lößgebieten

von

Walther, W.¹⁾

1. Einführung

Für die Bewirtschaftung von Wasservorkommen, vor allem mit Hinblick auf die Trinkwasserversorgung, hat Nitrat als limitierender Nutzungsfaktor neben anderen Stoffen erhebliche Bedeutung. Nitratprobleme werden zunehmend bei der Wasserversorgung im ländlichen Raum festgestellt. Untersuchungen an 130 Brunnen bzw. Quellen (54% der Anlagen liegen in Ackerbaugebieten), die zur Versorgung der Dörfer und Kleinstädte der nördlichen Vorharzregion genutzt werden, ergaben bei 17,7% der Anlagen Probleme. Insgesamt 42,3% aller Wasservorkommen weisen steigende Nitratgehalte auf, WALTHER (1982). Die Zahlen verdeutlichen die Notwendigkeit, bei der Erforschung des Systems Boden-Pflanze stärker als bisher die Komponente Auswaschung zu berücksichtigen und an der Optimierung des Komplexes "Nährstoffversorgung - Nährstoffverwertung durch die Kulturpflanze" zu arbeiten. Im Zusammenhang mit der Nitratfrage benötigt die Wasserwirtschaft Kenntnis über Prozesse, Daten und Schätzansätze zur Bewertung von Belastungsproblemen. An drei reinen Ackerbaugebieten im Harzvorland sind 1974 vom Institut für Stadtbauwesen, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft, der T.U. Braunschweig Messungen begonnen worden, um solche Unterlagen zu erhalten. Von den Arbeitsergebnissen sollen hier vorgestellt werden: Stickstoffbilanzen, kalkuliert über den Zeitraum von vier Jahren, den Berechnungsweg dazu und Ansätze zum Schätzen von Stickstoffverlusten²⁾³⁾. Die ausführliche Abhandlung soll in einer Zeitschrift veröffentlicht werden.

1) Institut für Stadtbauwesen, Abt. Siedlungswasserwirtschaft, Pockelsstr. 4, T.U. Braunschweig

2) Die bodenkundliche Kartierung der Gebiete wurde dankenswerterweise vom Nieders. Landesamt f. Bodenforschung ausgeführt

3) Die Arbeiten wurden aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert

2. Bilanzen

Die Eigenschaften (Anbau, Boden, hydrologische Kenngrößen) der Untersuchungsgebiete Salzdahlum (S), Achim (A), Neuenkirchen (N), die verwendete Meßtechnik und eine ausführliche Darstellung der Bilanzen und des Kalkulationsweges sind bei WALTHER (1979) und KAYSER/WALTHER (1981) niedergeschrieben. Von den Wasserhaushaltskomponenten wurde der Niederschlag N , der oberirdische Abfluß A , die Lufttemperatur und -feuchte, als Basisdaten der Haude-Verdunstung, kontinuierlich gemessen. Von den Stickstoffkomponenten ist der Eintrag über Dünger und Niederschlag und der N-Austrag S über das oberirdische Grabensystem durch Messungen bekannt. Unbekannt ist der unterirdische Wasserabstrom A_{ua} und die unterirdisch abfließende Stickstoffmenge S_{ua} bzw. der Gesamtverlust $S+S_{ua}$. Der unterirdische N-Verlust bzw. der Gesamtverlust werden hier über Wasserhaushaltsbetrachtungen kalkuliert.

$$(1) N_i - ET_{real_i} - A_i - A_{ua_i} \pm \Delta WG_i = 0$$

Das Glied ET_{real_i} in der Gleichung (1) (Wasserhaushalt der Gebiete) läßt sich auf der Basis der Arbeiten von RENGGER et al. (1974), (1975) ermitteln. Der Rechenablauf, in Pentadenschritten, ist bei WALTHER (1979) erläutert. Damit $\pm \Delta WG_i$ näherungsweise zu Null wird und Gleichung (1) nach A_{ua} aufgelöst werden kann, wurde jeweils vom 1. März eines Jahres bis zum 28. Februar des folgenden bilanziert. Es wird angenommen, daß die Nitratkonzentration, die am Ausgang der Gebiete gemessen werden kann, im Mittel der Konzentration der Bodenlösung entspricht, die in der Ebene der Drän-sammler und -sauger zu messen sein wird, und die über diese Ebene hinaus in die Tiefe verdrängt wird. Der unterirdische Stickstoffaustrag S_{ua} ergibt sich aus

$$(2) S_{ua} \text{ (kg/ha)} = A_{ua} \text{ (l/m}^2\text{)} \cdot 10^{-2} \cdot NO_3\text{-N (mg/l)}$$

Der Gesamtverlust S (kg/ha) ist dann die Summe aus oberirdischem plus unterirdischem Austrag. Als maßgebende Nitratkonzentration wurde der jeweilige Mittelwert des Zeitabschnittes angesetzt, in dem nach Berechnungen und Feldmessungen eine abwärtsgerichtete Wasserbewegung angenommen werden konnte, z.B. November bis Februar oder Januar/Februar.

Zeilen Nr.		(S)	(A)	(N)	Dim.
1	N im Niederschlag	11			kg/ha
2	N-Dünger	113÷123	72÷130	87÷118	kg/ha
3	¹⁾ S _{ges} =S+S _{ua}	18÷40	8÷27	5÷35	kg/ha
4	S	3÷31	1÷7	4÷28	kg/ha
5	S in % von S _{ges} .	18÷77	15÷24	80÷94	%
6	Anteil gedränter Flächen	97	24	74	%
7	% Anteil der Meßzeit ohne Abfluß A	45	37	0	%
	mittlere nFk	129	112	162	mm

¹⁾ kalkuliert

Tabelle 1: Stickstoffbilanz, Spannweiten, Zeitraum 1.3.74-28.2.78, Gebietskennwerte

Tabelle 1 zeigt die Spannweiten der Summen der Stickstoffkomponenten in den einzelnen Bilanzjahren. Zwischen dem Stickstoffeintrag und -austrag besteht kein direkter zeitlicher Zusammenhang. Die kalkulierten Gesamtverluste, Zeile 3, liegen bei allen drei Gebieten in gleicher Größenordnung. Das Gebiet Achim hat den geringsten Anteil gedränter Flächen, Zeile 6. Deshalb fällt auch hier die Stickstoffabgabe über das oberirdische Grabensystem relativ niedrig aus, Zeile 4 und 5. Die Gräben im Gebiet Salzdahlum liegen im Mittel ein halbes Jahr trocken, Zeile 7. In niederschlagsarmen Jahren entspricht die relative oberirdische Stoffabgabe in Salzdahlum mit 18% etwa der des Gebietes Achim, Zeile 5. In feuchten Jahren werden aber durch den hohen Dränanteil große Anteile der Stickstoffverluste über das oberirdische Grabensystem an die Gewässer abgeben; im Extremfall 77%. Dieser Wert kommt nahe an den des Gebietes Neuenkirchen heran. Die mittlere Konzentration in der Ebene der Dräns für die drei Gebiete ergibt sich aus dem Mittelwert des Quotienten - insgesamt ausgewaschene Stickstoffmenge/Sickerwassermenge pro Jahr -. Sie beträgt 58 mg NO₃/l. Für Ackerstandorte auf Sandböden wurde von STREBEL et al. (1978) eine nutzungsspezifische mittlere Konzentration von 118 mg NO₃/l für die Bodenlösung errechnet, die aus dem Wurzelraum in die Tiefe abgegeben wird. Die mittlere Konzentration für die drei Lößgebiete

im Harzvorland liegt um etwa 50% niedriger als die bei den Ackerstandorten mit der Bodenart Sand. Dies dürfte einmal auf die größeren gasförmigen Verluste infolge von Denitrifikation bei Lößböden zurückzuführen sein, zum anderen ist dies hier eine Mittelwertbetrachtung über die gesamte Gebietsfläche, bei der die unterschiedlich hohen Beiträge von Teilflächen ausgeglichen am Ausgang der Gebiete erscheinen.

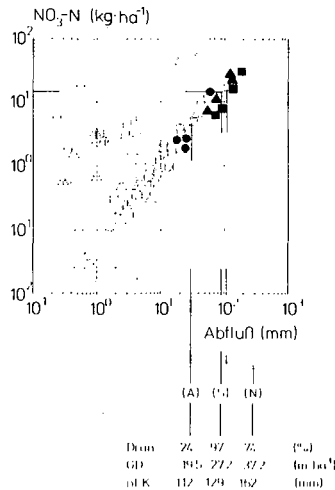
3. Stickstoffverlust, oberirdisch

Die Beziehung zwischen Stickstoffverlust und Sickerwassermenge ist weitgehend linear, wie eine Reihe von Literaturergebnissen zeigen. Das gilt ebenso für den oberirdischen Stickstoffaustrag und den Abfluß in den Grabensystemen, Abbildung 1 und Gleichung 3.

(3) $S \hat{=} NO_3-N \text{ (kg} \cdot \text{ha}^{-1}\text{)}$
 $S = -0,170 + 0,150 \cdot A \text{ (mm)}$
 $r = 0,92; s_{y \cdot x} = \pm 0,75 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
 $n = 110, \text{ Zeitraum } 1974-1977$

	Monats-	Jahres-
	Fracht	Fracht
NEUENKIRCHEN :	□	■
ACHIM :	○	●
SALZDAHLUM :	△	▲

Abb. 1: Beziehung zwischen Abfluß und oberirdischem Stickstoffaustrag



Mit dieser Gleichung lassen sich in den meisten Fällen Monats- und Jahresfrachten hinreichend genau schätzen, wie der Korrelationskoeffizient und der mittlere Schätzfehler zeigen. Nun können vor allem in der Hauptvegetations- und Düngeperiode, in der Folge von Starkregen, erhebliche Auswaschungsschübe auftreten, die schnell über die Dräns an die Gewässer abgegeben werden und entsprechend stark die Höhe der Monatsfrachten beeinflussen, WALTHER (1982). Im Mai 1978 lief eine Folge von solchen Starkregen-Ereignissen ab. Die Auswirkung auf die Monatsfrachten zeigen in Abbildung 1 die quergestrichenen Symbole. Diese Frachten werden dann von Gleichung (3) nicht mehr ausreichend abgedeckt. Die Linien, die in der Abbildung von den Kennwerten nach oben laufen, markieren die mittleren Abflüsse und Stickstofffrachten des jeweiligen Gebietes. Es wird hier, wie schon an Tabelle 1, deutlich, daß der oberirdische Stickstoffverlust der drei Gebiete, bei sonst ähnlichen Bodenarten und Anbauverhältnissen, in starkem Maß vom Anteil gedränter Flächen und von der Grabendichte, also insgesamt vom Grad der Ausrüstung mit Entwässerungseinrichtungen abhängig ist.

Es ist zusammenzufassen: Die Höhe der Stickstoffverluste von größeren Gebieten bei ähnlichen Fruchtartenverhältnissen und damit verknüpft, mit ähnlichem Niveau der Nährstoffversorgung, ist im wesentlichen eine Funktion der hydrologischen Eigenschaften der Böden und der Landschaftsausschnitte sowie in starkem Maß eine Funktion der Variation der Glieder der Wasserbilanz.

Literatur

RENGER, M., STREBEL, O., GIESEL, W.

Beurteilung bodenkundlicher, kulturtechnischer und hydrologischer Fragen mit Hilfe von klimatischer Wasserbilanz und bodenphysikalischen Kennwerten. 4. Bericht: Grundwasserneubildung. Z.f. Kulturtechn. u. Flurbereinigung 15, 353-366 (1974)

RENGER, M., STREBEL, O., GIESEL, W.

Beurteilung bodenkundlicher, kulturtechnischer und hydrologischer Fragen mit Hilfe von klimatischer Wasserbilanz und bodenphysikalischen Kennwerten. 5. Bericht: Staunässebildung. Z.f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung 16, 160-171 (1975)

STREBEL, O., RENGER, M.

Vertikale Verlagerung von Nitrat-Stickstoff durch Sickerwasser aus dem wasserungesättigten Boden ins Grundwasser bei Sandböden verschiedener Bodennutzung. DFG-Forschungsbericht, 1978

WALTHER, W.

Beitrag zur Gewässerbelastung durch rein ackerbaulich genutzte Gebiete mit Lössböden. Veröffentlichung d. Inst.f.Stadtbauwesen, 28, (1979)

WALTHER, W.

Prozeß des Stoffabtrages und der Stoffauswaschung während und nach Starkregen in ackerbaulich genutzten Gebieten, 2. Bericht: Stoffauswaschung. Z.f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung, 21, 145-153, (1980)

KAYSER, R., WALTHER, W.

Untersuchung der Dynamik des lang- und kurzfristigen Stoffaustrages bei kleinen Einzugsgebieten mit ackerbaulicher Nutzung. DFG-Forschungsvorhaben Ka 348/6, Schlußbericht (1981)

WALTHER, W.

Changes of Drinking Water Quality in Southeast Lower Saxony. Intern. Symposium IAH, Prague, Czechoslovakia 1982, Impact of Agricultural Activities on Groundwater

Stickstoffdynamik und Standortstrophie in Berliner Forsten.

von
Friedrich, F. *)

Als Beitrag zur Klärung des komplexen Wirkungsgefüges der Humusmetabolik und Wärmedynamik auf die Nährstoff-, Wasser- und Trophieverhältnisse von Ökotope wurden an zwei Düne-Moor-Catenen in den Berliner Forsten Untersuchungen durchgeführt.

Zu diesem Zweck wurden die ökologischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften der Böden ermittelt. Neben Trophieuntersuchungen erfolgte die intervallmäßige Bestimmung der verfügbaren Stickstoffkomponenten.

Beide Ökotope liegen in Naturschutzgebieten mit einer naheliegenderen, deutlich zonierten Vegetation. Die Bodensequenz reicht talwärts von podsoligen Braunerden über Gleye und Anmoore bis in Moore hinein. Stark voneinander abweichende Humusformen mit standortcharakteristischen Eigenschaften sind auf engem Raum entstanden. Die Standortwahl war als Variation des O_2 -Angebots gedacht, von "warm und trocken" bis "kühl und feucht".

Eine Bodenschaft liegt in der Düppeler Forst, im Bereich sandiger Würmmoränen; in einer Toteisdepression hat sich ein oligotrophes Übergangsmoor gebildet (pH = 3 bis 3,5). Die andere Bodenschaft in der Spandauer Forst liegt an einem verlandeten Rinnensee mit stellenweise Seekreideakkumulation im Unterboden (pH bei 4 bis 6).

Die Untersuchung wurde intervallmäßig vorgenommen und betraf unter anderem die verfügbaren N-Komponenten, jeweils f.d. Auflage und den oberen Mineralhorizont. Die Extraktion erfolgte mit Alaun-Lösung aus feldfrischen Proben.

Die Ergebnisse werden in mg/kg in zwei Abbildungen dargestellt. Die Jahresgänge der N-Dynamik ergaben für NE_4-N langsam steigende Werte nach dem Ende der Vegetationsperiode, ein Abfallen im Frühjahr, das zeitlich mit dem verstärkten Entzug durch die Pflanzen übereinstimmt. Die Gehalte im ob-

*) Landesanstalt f. Ökologie, Recklinghausen

eren Mineralhorizont sind um etwa eine Zehnerpotenz kleiner als in der Auflage. Ein 10-facher N-Gehalt ergibt sich für den 100:1-Verhältnis (Luft:Abt.) : Auflage und Mineralhorizonte unterscheiden sich um etwa 10:1 im Gehalt. Der zeitliche Verlauf ist ähnlich dem des $\text{NH}_4\text{-N}$, nur sind die Amplituden bei $\text{NO}_3\text{-N}$ stärker ausgeprägt.

Keine der Catenen weist gute Nährstoffverhältnisse auf, trotzdem hat "Spandauer Forst" etwa 10-fach höhere $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte bei pH=4 bis 6 gegenüber "Düppeler Forst" mit pH nur 3,0. Der Unterschied von etwa einer pH-Stufe führt also in der "Spandauer Forst" zu einem 10-fach höheren "N-Spiegel" und damit zu wesentlich besseren Umsatzbedingungen, wie das breite Artenspektrum an Pflanzen und Bodenorganismen zeigte.

Die hangabwärts steigenden Gehaltswerte mit einem nicht zu erwartenden Maximum auf den Moorstandorten ist mit der Entwässerung der Mooroberfläche zu erklären (Grundwasser 5 - 20 cm unter Flur). Es liegen bei ausreichender Feuchte und hohem pH-Wert sehr gute nitrifikationsbedingungen vor in der Spandauer Forst. Dagegen sind die sehr geringen Gehalte von $\text{NO}_3\text{-N}$ in der Düppeler Forst meines Erachtens auf die niedrigen pH-Werte zurückzuführen, auf die besonders die Nitrifikanten recht empfindlich reagieren.

Die Umsatzbedingungen sind auf beiden Standorten als wesentlich vom C/N - Verhältnis, vom pH-Wert und von den Klimaparametern Temperatur und Feuchte abhängig gefunden worden. Die geringen $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte in den Unterböden lassen auf einen sehr kurz geschlossenen Kreislauf der Nährstoffe schließen: Alles was am Umsatz beteiligt ist an Nährstoffen, ist in der Auflage und dem oberen Mineralhorizont konzentriert mit Hauptgewicht in der Auflage. Die höheren pH-Werte in der "Spandauer Forst" führen lediglich zu einer höheren Umsatzgeschwindigkeit.

Die dreidimensional dargestellten Werte von $\text{NO}_3\text{-N}$ der Jahresverläufe lassen in ihrem Zusammenhang den Einfluß von Wasser und Temperatur deutlich erkennen.

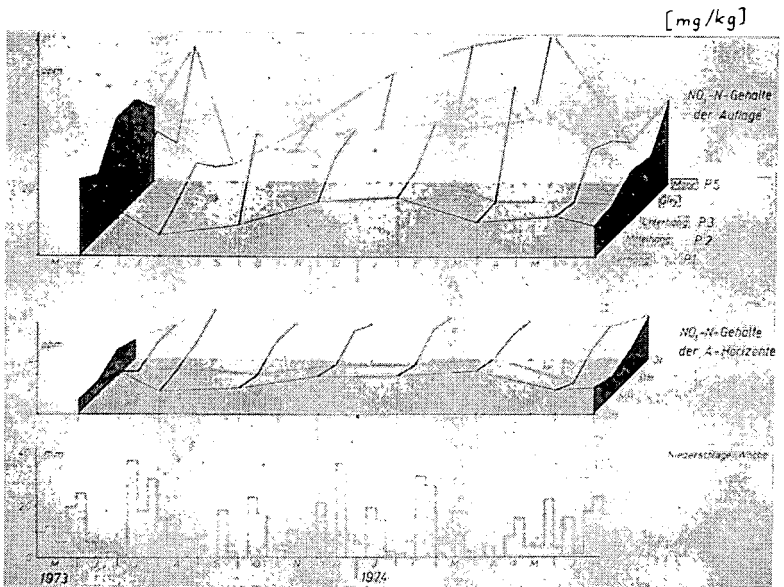


Abb. 1 Gehalte an verfügbarem Nitrat-Stickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$) auf einer Düne-Moor-Catena dreidimensional dargestellt im Jahreslauf auf nährstoffarmen pleistozänen Sanden des Großen Fenn, Düppeler Forst.

Die obere Darstellung zeigt die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte für die organische Auflage. Die farbigen Flächen dienen als Hilfsmittel, um den Verlauf innerhalb der Catena zu einem Probenahmetermin zu kennzeichnen. Die vorderste Linie über der Abszisse zwischen den Farbflächen läßt den zeitlichen Verlauf für das Oberhangprofil P1 erkennen, dahinter folgt P2 usw.

Die mittlere Darstellung zeigt in analoger Weise den Verlauf im oberen Mineral-Horizont.

Die untere Darstellung gibt als Säulendiagramm die Niederschlagsseinnahme pro Woche über den Versuchszeitraum an, der auf einer Freifläche gemessen wurde.

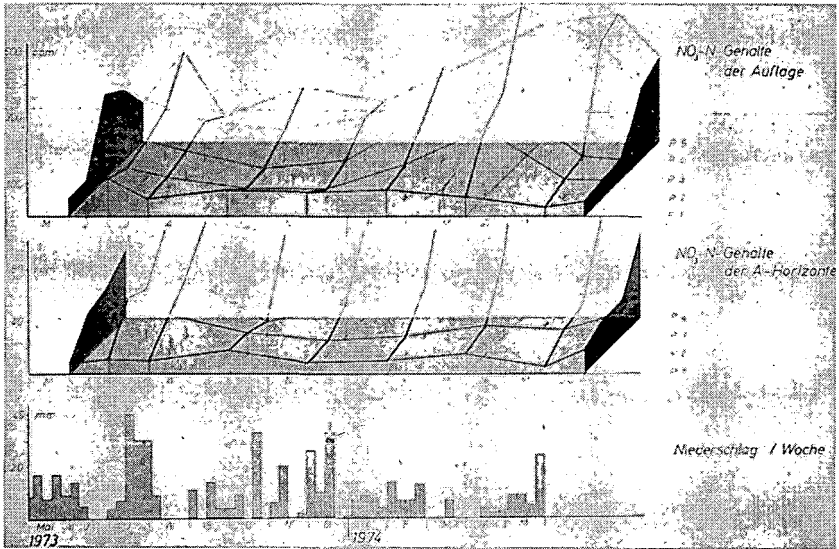


Abb. 2 Gehalte an verfügbarem Nitrat-Stickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$), auf einer Düne-Moor-Catena, dreidimensional dargestellt, im Jahreslauf auf nährstoffarmen pleistozänen Sanden des Teufelsbruch, Spandauer Forst. Die obere Darstellung zeigt die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte für organische Auflage. Die farbigen Flächen dienen als Hilfsmittel, um den Verlauf innerhalb der Catena zu einem Probenahmeterrin zu kennzeichnen. Die vorderste Linie über der Abszisse zwischen den Farbflächen läßt den zeitlichen Verlauf für das Oberhangprofil P1 erkennen, dahinter folgt P2 usw. Die mittlere Darstellung zeigt in analoger Weise den Verlauf im oberen Mineral-Horizont. Die untere Darstellung gibt als Säulendiagramm die Niederschlags-einnahme pro Woche über den Versuchszeitraum an, der auf einer Freifläche gemessen wurde.

Pflanzenverfügbare Stickstoff aus Düngergabe und Bodenvorrat
in bearbeiteter und unbearbeiteter Parabraunerde aus Löß und
sein Entzug durch Hafer
von

Capelle, A.¹⁾, K. Baeumer²⁾, H. Fleige¹⁾ und C. Heuer³⁾

In zwei Feldversuchen auf bearbeiteter und unbearbeiteter Parabraunerde aus Löß nahe Göttingens wurde Hafer mit ¹⁵N-markiertem Ammoniumsulfat gedüngt (74 bzw. 80 kg/ha). Während der Vegetationsperioden wurde die Menge an pflanzenverfügbarem Ammonium- und Nitratstickstoff aus der Düngergabe und dem Bodenvorrat zu mehreren Zeitpunkten erfaßt und sein Entzug durch die oberirdische Pflanzensubstanz festgestellt.

Der Vorrat an düngerbürtigem Ammoniumstickstoff war in beiden Bodenbearbeitungsvarianten an den meisten Probenahmeterminen fast gleich. Der unbearbeitete Boden enthielt bis Ende Mai merklich mehr düngerbürtigen Nitratstickstoff als der bearbeitete. Nur sehr geringe Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff aus der Düngergabe wurden tiefer als 30 cm in den Boden verlagert. Im unbearbeiteten Boden konnte meist geringfügig mehr pflanzenverfügbare Ammoniumstickstoff aus dem Bodenvorrat nachgewiesen werden. Die bearbeitete Variante enthielt besonders zu Beginn der Vegetationsperioden erheblich mehr bodenbürtigen Nitratstickstoff.

Obwohl der Hafer zu Beginn der Vegetationsperioden auf der unbearbeiteten Bodenvariante geringfügig mehr Trockenmasse produzierte, konnte zu späteren Zeitpunkten ein größerer Zuwachs auf der bearbeiteten Fläche festgestellt werden. Der bearbeitete Boden brachte Kornerträge von 65,3 bzw. 50,0 dt/ha und Stroherträge von 80,3 bzw. 77,9 dt/ha, der unbearbeitete dagegen 58,1 bzw. 40,2 dt/ha Korn und 78,9 bzw. 54,6 dt/ha Stroh. Mit dem Erntegut wurde dem bearbeiteten Boden 29,7 bzw. 25,8 kg/ha düngerbürtiger und 91,6 bzw. 113,7 kg/ha bodenbürtiger Stickstoff entzogen. Das Erntegut der unbearbeiteten Va-

1) Stilleweg 2, 3 Hannover 51; 2) v. Siebold-Str. 8, 34 Göttingen; 3) Am Drachenstein 27, 694 Weinheim

riante enthielt 31,9 bzw. 27,3 kg/ha düngerbürtigen und 92,2 bzw. 63,4 kg/ha bodenbürtigen Stickstoff.

Als Ursache für die Ertragsdifferenzen können unterschiedliche Temperatur- und Wasserverhältnisse in den Bodenbearbeitungsvarianten angesehen werden. Temperatur- und Wasserhaushalt der Böden beeinflussen nicht nur direkt das Pflanzenwachstum, sondern hemmen oder fördern auch die mikrobiell bedingten Transformationsprozesse des Stickstoffs im Boden und damit den Vorrat an pflanzenverfügbarem Ammonium- und Nitratstickstoff.

Steuerung von N-Umsatz und N-Austrag in Sandböden durch die
Dünger-N-Form und Dicyandiamid als Nitrifikationshemmer

von

Becker, K.-W. u. B. Meyer^{*)}

In Lysimeterversuchen auf humosem Sandboden hat THIES (6) gezeigt, daß Düngerstickstoff auf Böden mit geringer Wasserspeicherfähigkeit in Abhängigkeit von Niederschlagsmenge und -verteilung der Gefahr der Verlagerung in tiefere Bodenschichten und damit auch der Auswaschung ausgesetzt ist. Nitrat als Dünger-N-Form zeigte bei diesen Versuchen, die mit ¹⁵N durchgeführt worden waren, eine wesentlich stärkere N-Verlagerung als Ammonium.

Die Umwandlung von Dünger-N und auch von Boden-N in lösliches Nitrat läßt sich durch die Anwendung von Nitrifikationshemmern wirkungsvoll begrenzen. Nitrifikationshemmer sollen den ersten Schritt der Nitrifikation, das Wachstum von Nitrosomonas-Arten hemmen. Der bekannteste Nitrifikationshemmer ist das "N-Serve". In den vergangenen Jahren wurden zunehmend Arbeiten veröffentlicht, die die nitrifikationshemmende Wirkung von Dicyandiamid (DCD) in Modell- und Gefäßversuchen geprüft haben (2, 4, 5, 7). Das DCD bietet gegenüber N-Serve den Vorteil, daß der Abbaueweg geklärt ist und ein Einbau des Wirkstoffs in das Pflanzenmaterial nicht zu erwarten ist (5).

In der mitteleuropäischen Praxis finden Nitrifikationshemmer bisher nur begrenzt Anwendung. Neuerdings wird DCD als Zusatz zur Gülle angeboten, um die Nitrifikation des NH₄ in der Gülle zu verzögern und dadurch die Gefahr von N-Verlusten durch Denitrifikation und durch Nitratauswaschung zu reduzieren (1). Einen weiteren sinnvollen Einsatz von Nitrifikationshemmern sehen wir bei der N-Düngung von Sonderkulturen und zu Hackfrüchten auf leichten Böden zur Verminderung der N-Auswaschung.

In Sonderkulturen ist die Gefahr der Überdüngung und die der N-Verluste groß. Einerseits ist der Stickstoff bei der Kostenkalkulation ein wenig bedeutender Faktor, andererseits zwingen Gesichtspunkte wie Frühreife und Vermarktungsmöglichkeit zu einer N-Düngung, die dem pflanzlichen Bedarf mengen- und zeitmäßig deutlich voraus-eilt. Bei Rüben, Kartoffeln und Mais erfolgt die übliche N-Düngung zu einem Zeitpunkt, in dem der Wasserverbrauch und der N-Bedarf der Pflanzen noch gering sind und somit auf leichten Böden die Gefahr der Auswaschung sehr groß ist. Sie ist zusammen mit der "ins Leere gehenden" Mineralisation des Boden-N eine der Hauptursachen für die Nitratbelastung des Grundwassers. Auf leichten Böden kommt ferner das Risiko der N-Auswaschung hinzu, das mit der Beregnung verbunden ist. Nitrifikationshemmer könnten hier der Kontrolle dienen.

Im folgenden wird über 2 Feldversuche und einen Modellversuch mit DCD-Düngung berichtet.

^{*)} Institut für Bodenwissenschaften, von-Siebold-Str. 4

Feldversuch mit Zuckerrüben auf humosem Sandboden:
Aussaat der Rüben: 12.4.77, Ernte: 2.11.77

N ₀	keine N-Düngung	} 120 kg N/ha am 17.3. }	} 60 kg N/ha als KAS am 4.6.
KAS	Kalkammonsalpeter		
PKA	Perkalkstickstoff		
ASS	Ammoniumsulfat		
DCD	Ammoniumsulfat + 10% des N als DCD		

Die Abbildung 1 zeigt den Verlauf des Ammoniums sowie der Summe von Ammonium und Nitrat im Boden. Die Ammoniumgehalte der ungedüngten Parzelle sind durchweg gering. Der Nitratgehalt nimmt in 0-90 cm Tiefe von Mitte April bis Mitte Juni von 64 auf 94 kg N/ha zu. Ende Juni sind nur noch Spuren im Boden nachzuweisen. Die Abnahme des Nitrats fällt in die Zeit der N-Aufnahme der Rüben und läßt sich damit erklären.

Der Ammoniumgehalt der KAS-Variante sinkt noch im April auf das niedrige Niveau der N₀-Parzelle. Von Mitte April bis Ende Juni liegt der mineralische Stickstoff im Boden überwiegend als Nitrat vor und zwar in Mengen zwischen 100 und 160 kg N/ha, der größte Anteil davon in der Ackerkrume. Zum 16. Juni hin kommt es zu einem Anstieg des Nitrats im Unterboden - eine Folge der Niederschläge (63 mm) zwischen dem 1. und 16. Juni. Eine Nitratverlagerung in Tiefen unterhalb von 90 cm dürfte jedoch gering geblieben sein. Die pflanzliche N-Aufnahme macht sich ab Mitte Juni mit rapide sinkendem Nitratgehalt bemerkbar.

Die Kalkstickstoffparzelle enthält in der zweiten Aprilhälfte 40 kg N als Ammonium im Oberboden. Diese Menge sinkt bis Ende Juni langsam auf nahezu Null ab. Der Nitratvorrat beträgt Ende April in 0-90 cm ca. 50 kg N/ha. Dieser Wert steigt ab Anfang Mai bis Mitte Juni kontinuierlich auf 190 kg an und fällt mit einsetzendem Pflanzenentzug rasch ab.

Das gedüngte Ammonium der ASS-Parzelle ist bis Mitte Mai vollständig in den N-Kreislauf des Bodens eingeflossen. Der Nitratgehalt steigt Ende April an. Im Mai und Juni liegen 90-130 kg N als Nitrat im Boden vor.

Von den 120 kg NH₄-N der DCD-Parzelle liegen am 18.4., also 4 Wochen nach der Düngung, noch 95 kg als NH₄ vor. Dieser Betrag wird kontinuierlich bis Ende Juni abgebaut. Gleichzeitig steigt das Nitrat im Boden an, von 61 kg im April über 50 und 75 im Mai und 111 kg Anfang Juni auf 143 kg nach der zweiten N-Düngung.

Insgesamt kann man sagen, daß der Einsatz des DCD eine deutliche senkende Wirkung auf den Nitratvorrat des Bodens im April und Mai

hatte. Das Dünger-Ammonium wurde verzögert nitrifiziert. Der Nitratgehalt im Boden glich in dieser Zeit dem der N_0 -Parzelle. Die Hemmung der Nitrifikation ließ sich über einen Zeitraum von bis zu 3 Monaten nach der Düngerausbringung nachweisen.

Auch die Düngung mit Kalkstickstoff war geeignet, den Nitratvorrat im Boden in den Monaten April und Mai auf das Niveau der ungedüngten Parzelle zu begrenzen. Der NH_4 -Gehalt lag dabei aber durchweg niedriger als auf der DCD-Parzelle.

Feldversuch mit Winterroggen auf humosem Sandboden: 1979

Varianten	A	B
1. Kalkammonsalpeter	} 120 kg N/ha am 10. 4.	} 60 kg N/ha am 10.4. + 60 kg N/ha am 15.5.
2. Harnstoff		
3. Harnstoff + DCD (10% des N)		

Die Abbildung 2 zeigt den Mengen-Verlauf von Ammonium und der Summe von Ammonium + Nitrat im Boden. Allen Düngervarianten gemeinsam ist der geringe Gehalt an Ammonium im Unterboden (30-90 cm) zu allen Zeitpunkten.

Gedüngtes oder aus der Harnstoffdüngung freigesetztes Ammonium ist längstens 4-6 Wochen nach der Düngung im Boden nachzuweisen. Ein Teil geht vermutlich in die Pflanzenmasse, ein zweiter wird nitrifiziert und erscheint zwischenzeitlich als Nitrat im Boden. Die Teilung der Düngergabe hat bei beiden N-Formen eine Reduktion des Nitratvorrates in der Ackerkrume in den Monaten April bis Juni zur Folge.

Bei Zusatz von DCD zum Harnstoff wird die Nitrifikation nahezu vollständig unterbunden. Der Harnstoff wird rasch zu Ammonium umgebaut. Die N-Ernährung der Pflanzen erfolgt überwiegend durch Ammonium. Die Teilung der N-Gabe bietet auch bei DCD-Zusatz zum Harnstoff die Möglichkeit eines gleichmäßigeren N-Angebotes an die Pflanzen, die angebotene N-Form wird jedoch nicht beeinflusst.

Ertragsdaten:

Zwischen den mit N gedüngten Varianten gibt es keine signifikanten Unterschiede im Ertrag von Rübe, Blatt und bereinigtem Zucker. Der Einsatz des DCD zeigt keine Nachteile, aber auch keine Vorteile hinsichtlich Ertrag und technologischer Qualität der Rüben. Signifikante Unterschiede bestehen lediglich in der N-Einlagerung in die Pflanzen-Teile: Kalkstickstoff führte zu einem geringeren N-Entzug durch die Rüben, Ammoniumsulfat zu einem höheren N-Entzug durch das Blatt.

Im Versuch mit Winterroggen bewirkten die N-Düngerformen und auch

die N-Dünge-Termine bei einem Ertrag von 38 dt Korn/ha keine signifikanten Unterschiede beim Korn und auch beim Strohertrag.

Die Feldversuche bestätigen also die nitrifikationshemmende Wirkung des DCD. Gedüngtes oder aus gedüngtem Harnstoff freigesetztes Ammonium konnte über einen Zeitraum von 2-3 Monaten im Boden konserviert werden. Die Nitratmenge im Boden blieb in dieser Zeit gering.

N-Verluste durch Denitrifikation oder eine Nitrat-Auswaschung waren mit der gewählten Versuchsanstellung nicht mengenmäßig zu erfassen. Die Tiefenverteilung des Nitrats im Bodenprofil gibt jedoch den Hinweis auf eine Verlagerung in der betrachteten Tiefe. Danach hat es im Rübenversuch in der ersten Junihälfte eine Einwaschung von Nitrat bis in 90 cm Boden-Tiefe gegeben. Eine wesentliche Verlagerung über diese Tiefe hinaus dürfte aber kaum stattgefunden haben. Im Versuch mit Winterroggen war dagegen zu keinem Zeitpunkt eine Nitrat-Tiefenverlagerung erkennbar.

Die Zweckmäßigkeit einer Verwendung von DCD in der Praxis zur Verminderung des Nitrat-N-Austrags aus der Krume leichter Böden hat in der Kostenkalkulation Überlegungen wie die Bewertung von Nitrat-armem Grundwasser, das Einsparen von N und die Bedeutung einer überwiegenden Ammoniumernährung für die Qualität des Erntegutes zu berücksichtigen.

Gefäßversuch zur N-sparenden Wirkung von DCD auf die Ureaseaktivität:

Wir haben 4 Böden nach Zumischen von 10 mg Harnstoff-N und 1,1 mg DCD zu 500 g Boden bei 15 und bei 25°C bebrütet. Der Wassergehalt entsprach dabei einer Saugspannung von pF 2,3. In regelmäßigen Zeitabständen wurden DCD (vgl. 8), Harnstoff, Nitrat und Ammonium im Boden bestimmt.

Ergebnisse:

1. Der Abbau des DCD erfolgte kontinuierlich über einen Zeitraum von 1-2 Monaten. Dabei ergaben sich Einflüsse der Bebrütungstemperatur und der Bodenart deutlich, ähnlich wie bei AMBERGER et al. (3)
2. Die Nitrifikationshemmung war in jedem Fall unvollständig, die Ursache lag in der sehr niedrig gewählten DCD-Konzentration.

LITERATUR

1. AMBERGER, A., 1982: Gülle - ein schlecht genutzter Dünger - Mitt. DLG 97, 78 - 80 (1982).
2. AMBERGER, A. u. R. GUTSER, 1977: Umsatz und Wirkung von Harnstoff-Dicyandiamid sowie Ammonsulfat-Dicyandiamid-Produkten zu Weidelgras und Reis, Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde 141, 553-566 (1978)
3. AMBERGER, A. u. K. VILSMEYER, 1979: Dicyandiamidabbau in Quarzsand und Böden, Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde 142, 778 - 785 (1979)
4. RATHSACK, K., 1977: Die nitrifizierende Wirkung des Dicyandiamid, Landwirtschaftl. Forschg. 31, 4, 347 - 358 (1978)

5. SOMMER, K. u. K. ROSSIG, 1977: Einfluß der Art der Nitrifikationshemmung auf den Ertrag bei verschiedenartiger N-Düngung und Vorschlag für eine Klassifizierung, Landwirtschaftl. Forsch. 31, 4, 291 - 299 (1978)
6. TILLES, W., 1978: Stickstoff- und Wasserhaushalt von Sand-Ackerböden in Norddeutschland, Diss. Landwirtschaftl. Fakult. Göttingen
7. VILSMEIER, K. u. A. AMBERGER, 1978: Modell- und Gefäßversuche zur nitrifikationshemmenden Wirkung des Dicyandiamids, Landwirtschaftl. Forsch. 31, 5, 243 - 248 (1978)
8. VILSMEIER, K., 1979: Kolorimetrische Bestimmung von Dicyandiamid in Böden, Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde 142, 792-798

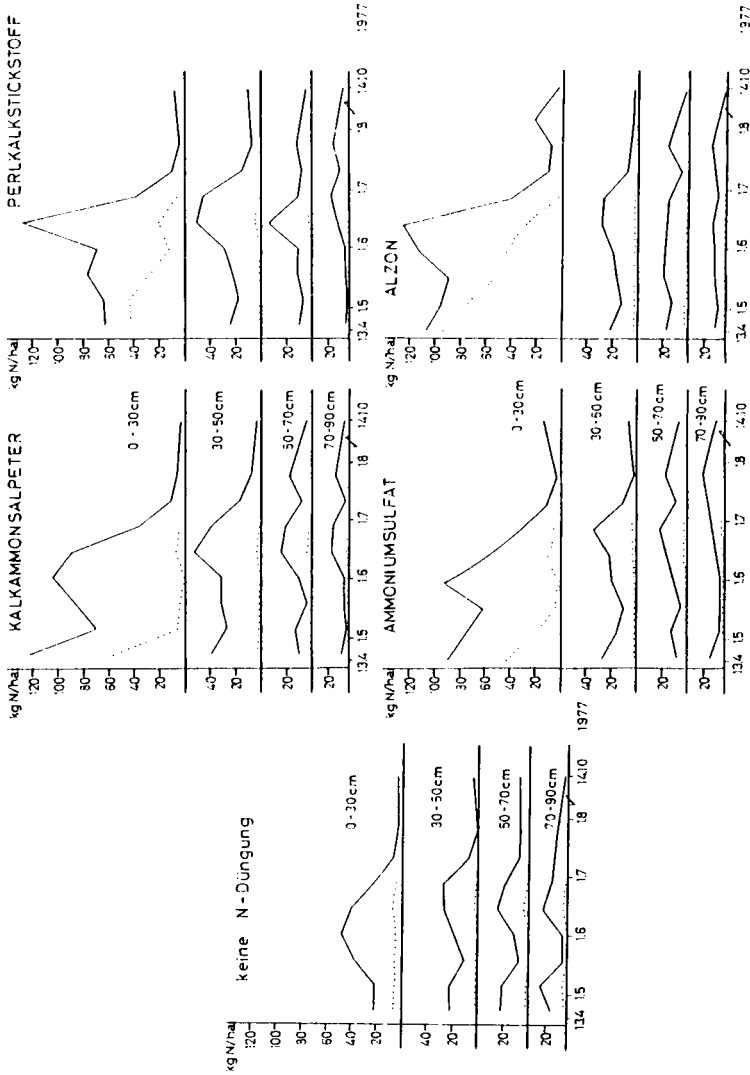


Abb 1: ZEITGANG der MENGE an austauschbarem Ammonium (---) sowie der Summe Ammonium + Nitrat (—) im Boden während der RUBE-VEGETATION

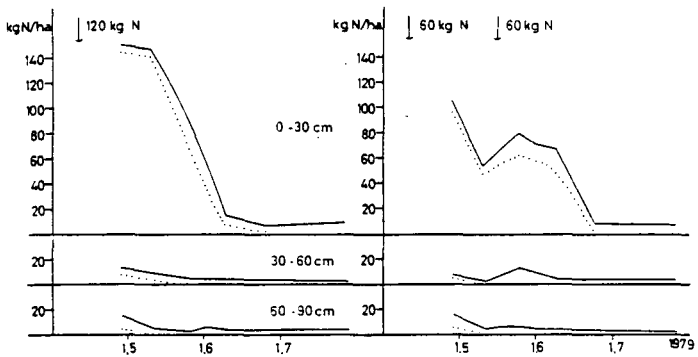
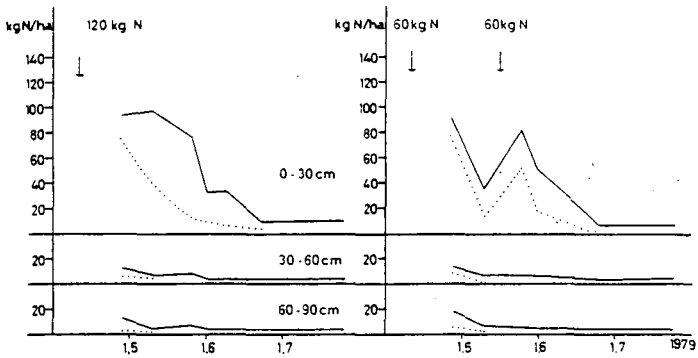
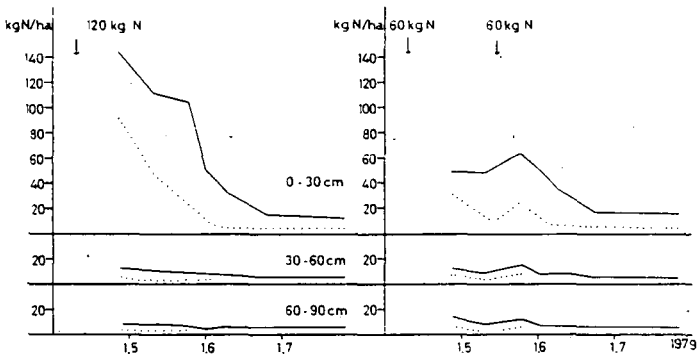


Abb. ZEITGANG der MENGE an austauschbarem Ammonium (---) sowie der Summe Ammonium + Nitrat (—) im Boden während der Vegetationszeit des ROGGENS nach DÜNGUNG mit ALZON

Gefäßversuche zur N-Wirkung verschiedener Güllen unter Zusatz von Dicyandiamid

von
Amberger, A.

Im Zeichen steigender Düngemittelpreise gewinnen die Gülle-nährstoffe zunehmend an Bedeutung. Die Frage, in welchem Maße der Gülle-N in die Nährstoffbilanz eingesetzt werden kann, hängt ab von der potentiellen und zeitlichen Wirkung der N-Fractionen sowie den N-Verlusten entsprechend den Standortgegebenheiten und der Sorgfalt der Gülleausbringung (Ammoniakverflüchtigung, Nitrat Auswaschung, Denitrifikation). Je nach Tierart sind 50 - 70 % des Güllestickstoffs Ammoniumstickstoff und somit potentiell voll pflanzenverfügbar.

Frage I: Wie wirkt der organische Rest-N im Pflanzenversuch?

In einem Gefäßversuch mit Weidelgras wurde dieser durch 3 Ernten (bis zur Erschöpfung) insgesamt zu 6 - 9 % in Rindergülle (RG) und zu 27 - 29 % in Schweine- (SG) bzw. Hühnergülle (HG) ausgenutzt. Der organische Rest-N kann demnach in der Düngerbilanz praktisch vernachlässigt werden; er entspricht etwa dem organischen Boden-N und unterliegt somit einer jährlichen Mineralisationsrate von 1 - 3 %.

Aufgrund der Tatsache, daß Gülle in der Praxis aus technischen und arbeitswirtschaftlichen Gründen überwiegend nur im Herbst bis zum Einsetzen der Vegetation im nächsten Jahr ausgebracht werden kann, ergibt sich

Frage II: Wie kann der rasch nitrifizierbare Ammoniumstickstoff der Gülle vor Auswaschung bzw. Denitrifikation geschützt und somit bis zum Aufwuchs der folgenden Frucht "konserviert" werden?

Dafür gibt es folgende Möglichkeiten: Strohdüngung, Gründüngung, Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen:

- a) Dicyandiamid (DCD) hemmte die Nitrifikation von Rindergülle im Brutversuch mit Boden (je nach Temperatur) für die Dauer von 2 - 4 Monaten (Abb.).
- b) In einem Gefäßversuch (Tab. 1) führte die Anwendung verschiedener Güllen \pm DCD "4 Wochen vor der Saat" insgesamt zu wesentlich höherer N-Auswaschung und demzufolge geringerem

N-Entzug durch Weidelgras als die unmittelbare Anwendung zur Saat (zu diesem Zeitpunkt liegt der größte Teil des anorganischen Gülle-N noch als NH_4 vor). Die DCD-Applikation bewirkte in der Reihe "4 Wochen vor der Saat" einen beachtlichen Rückgang der Auswaschungsverluste aller Güllearten; entsprechend höher waren die N-Entzüge durch Weidelgras.

- c) In einem weiteren Gefäßversuch mit Rindergülle + DCD (Tab. 2) wurden durch Stroh und DCD-Applikation insgesamt deutlich geringere Nitratverluste ermittelt. Je später die Gülle + DCD-Gabe erfolgte, umso besser war die "N-konservierende" Wirkung. "Oktober-Gülle" brachte die geringste Auswaschung: mit sinkenden Herbsttemperaturen verläuft sowohl die Nitrifikation des Güllestickstoffs als auch der Abbau des DCD langsamer.

Der N-Entzug durch das folgende Weidelgras war in den DCD-Varianten immer größer. Auffallend waren die insgesamt geringeren N-Entzüge in der "Stroh-Reihe" trotz geringerer N-Verluste durch Perkolation. Der im Verlaufe der Strohrötte mikrobiell blockierte Güllestickstoff war demnach zum Unterschied von dem durch DCD "konservierten" Stickstoff für den Aufwuchs der Folgefrucht noch nicht verfügbar.

DCD wirkt umso besser, je höher die zu erwartenden Nitratverluste sind (Oktober bis März). Voraussetzung ist aber, daß die Gülle möglichst rasch nach dem Ausbringen leicht in den Boden eingearbeitet wird, um den Ammoniumstickstoff voll zu erhalten.

Hemmung der Nitrifikation von Rindergülle durch DCD im
Brutversuch mit Boden

Ansatz: 400 g Boden (sl., pH 6.5) + 20 g Gülle + 0.10, 20 ppm
DCD, 14°C, 50 % d.v.WK

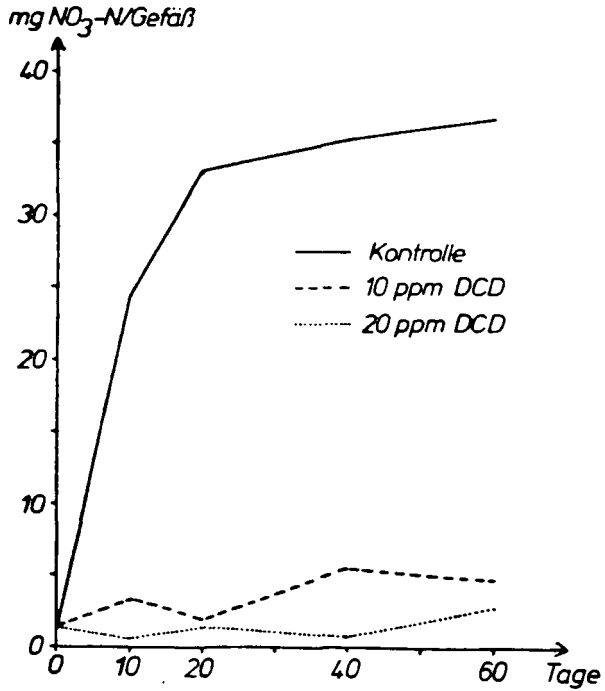


Tabelle 1: Gefäßversuch zur N-Wirkung verschiedener Gülle

N-Auswaschung und N-Entzug

Je Gefäß: 1.5 g Ges.-N, 100 mg DCD

Perkolatation: kurz vor der Saat

(70 mm Sickerwasseranfall)

Gülleart 1.5 g Ges.-N/Gefäß (± mg NH ₄ -N)	Gülleapplikation			
	4 Wochen vor der Saat		zur Saat	
	- DCD	+ DCD	- DCD	+ DCD
<i>N-Auswaschung (mg N/Gefäß)</i>				
Rind (444)	184	14	71	34
Rind belüftet (417)	103	24	74	63
Schwein (1020)	206	35	5	14
Huhn (982)	250	64	2	1
<i>GD_{5%}</i>	15		9	
<i>N-Entzug (mg N/Gefäß) - Weidelgras</i>				
Rind	257	400	369	435
Rind belüftet	190	248	351	361
Schwein	386	664	512	608
Huhn	500	834	515	675
<i>GD_{5%}</i>	36		36	

Tabelle 2: N-Wirkung von Rindergülle in Kombination mit Stroh

(22.5 g) und DCD (135 mg/Gefäß)

(Gefäßversuch unter Freilandbedingungen)

Gülle- ausbringung (1.25 g Ges.-N/Gef.)	a) N-Auswaschung während der vegetations- freien Zeit - mg N/Gef. (22.8.76-27.4.79)				b) N-Entzug durch Weidelgras (mg N/Gef.)			
	ohne Stroh		mit Stroh		ohne Stroh		mit Stroh	
	- DCD	+ DCD	- DCD	+ DCD	- DCD	+ DCD	- DCD	+ DCD
Kontrolle	160	186	15	40	49	59	36	44
August	564	478	164	189	68	85	67	81
September	434	269	280	172	64	163	58	121
Oktober	264	83	109	14	82	203	74	172
März	347	242	242	175	50	81	53	69

Stickstoff-Fractionen verschiedener Güllen - Umsetzung im Boden
und Pflanzenverfügbarkeit

von
Vilsmeier, K.*

Der Gesamtstickstoff von verschiedenen Güllen wurde durch Fraktionierungsmethoden aufgegliedert und die Nitrifikation des Gülle-N im Bebrütungsversuch sowie die Pflanzenverfügbarkeit im Neubauerversuch geprüft.

Es wurden verwendet: Rindergülle (RG) - ein Teil davon (ca. 50 m³) wurde mit einem Sogbelüfter ca. 24 Tage lang intensiv belüftet - Schweinegülle (SG) und Hühnergülle (HG).

1. Fraktionierung (Tab. 1)

Der Gesamt-N-Gehalt von Rindergülle liegt bei 0.44 %, durch intensive Belüftung ergibt sich eine Absenkung auf 0.36 %. Schweine- und Hühnergülle weisen nahezu doppelt so hohe Gehalte auf. Der anorganische N ist weitgehend Ammonium-N; er beträgt in belüfteter Rindergülle ca. 43 % vom Gesamt-N, durch die Belüftung wird er etwa auf die Hälfte abgesenkt. SG und HG enthalten ca. 2/3 des Gesamt-N als NH₄-N. In allen Güllen können geringe Mengen freies NH₃ (5 - 10 % des gesamten NH₄) nachgewiesen werden.

Das C/N-Verhältnis liegt in frischer RG etwa bei 8 (nach intensiver Belüftung und damit verbundenen N-Verlusten Anstieg auf 10), in SG und HG aufgrund der hohen N-Gehalte bei 4. Durch Gefriertrocknung und anschließend intensives Belüften konnten über 90 % des in den Güllen enthaltenen NH₄ entfernt und somit der verbleibende organische Reststickstoff fraktioniert werden ohne Störung durch Ammonium. Im Gehalt an organischem N der verschiedenen Güllen ergeben sich nur geringe Unterschiede (0.25 - 0.28 %) (durch Belüftung geringfügig höher). 81 - 88 % des organischen N sind mit 6 n HCl hydrolysierbar, die Hälfte davon kann als Aminosäuren-N ausgewiesen werden.

* Lehrstuhl für Pflanzenernährung der TU München - Weihenstephan,
8050 Freising

2. Nitrifikation

Der in der Rindergülle enthaltene $\text{NH}_4\text{-N}$ wird bei 20°C und ca. 60 % d.v.WK innerhalb von 1 - 3 Wochen nahezu völlig zu NO_3 umgewandelt.

Der organische N (in den durch Gefriertrocknung nahezu $\text{NH}_4\text{-}$ freien Güllen) wird in Bebrütungsversuchen nur in geringem Umfang nitrifiziert (Tab. 2). Die unbelüfteten Güllen bewirken innerhalb der ersten 4 Wochen sogar eine geringe Blockierung von Boden-N; die belüftete RG zeigt eine schwache Nitrifikation. Aber selbst nach 40-wöchiger Inkubation unter optimalen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen werden aus den unbelüfteten Güllen nur 17 - 27 %, aus der belüfteten RG 39 % des organischen N nitrifiziert. Offenbar handelt es sich um mikrobiell schwer abbaubare organische N-Verbindungen.

Eine Hemmung des Abbaues durch möglicherweise in der Gülle enthaltene Antibiotika etc. kann aufgrund von Versuchen mit Zusätzen von leicht spaltbarem Harnstoff bzw. Eiweißhydrolysat zur Gülle ausgeschlossen werden.

3. Wirkung des organischen Gülle-N im Pflanzenversuch (Abb.)

In einem Neubauerversuch mit Grünhafer bringen die unbelüfteten Güllen im 1. Aufwuchs kaum N-Mehrentzüge gegenüber der Kontrolle ohne N; belüftete Rindergülle zeigt zwar eine deutliche, wenn auch geringe N-Wirkung, doch erfolgen durch die Belüftung erhebliche NH_3 -Verluste. Nach Aberntung und folgender 6-wöchiger aerober Bebrütung erreichen auch die unbehandelten Güllen in einem erneuten Neubauerversuch geringe höhere N-Entzüge. Die gesamte Ausnutzung des organischen Gülle-N liegt aber nur zwischen 3 und 9 %.

Tabelle 1: N-Fractionen der Gülle

(umgerechnet auf eine Gülle mit 10 % TS)

Gülleart	Gesamt-N %	NH ₄ -N %	C/N	organ. N %	hydrolysierb. N (organ. N = 100)
Rindergülle					
unbelüftet	0.44	0.19	8	0.25	82
belüftet	0.36	0.09	10	0.28	81
Schweinegülle	0.86	0.57	4	0.27	85
Hühnergülle	0.71	0.48	4	0.25	88

Tabelle 2: Nitratbildung aus organischem Gülle-N

(in % des organischen Gülle-N)

20 mg Gülle-N/100 g Boden, 25°C

Untersuchung nach Wochen	Rindergülle		Schweinegülle	Hühnergülle
	unbelüftet	belüftet		
4	-12	13	-14	-12
10	18	29	5	12
40	27	39	17	22

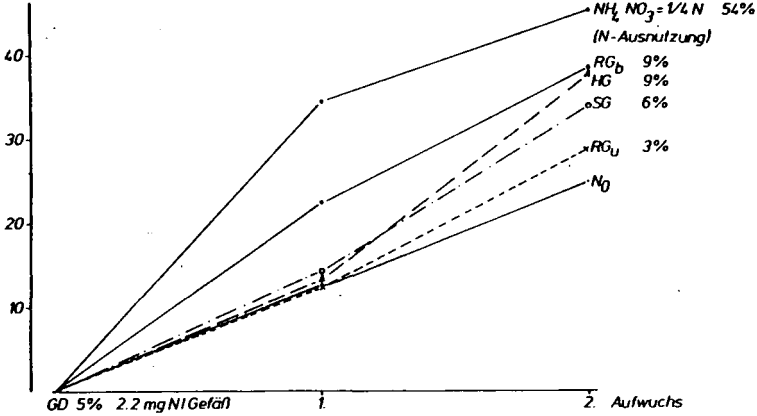
Wirkung des organischen N verschiedener Güllen
N-Entzug und N-Ausnutzung (%) durch Grunhafer (2 Aufwuche)

Neubauversuch: Loffbraunerde, pH_{CaCl_2} 6.5, 600g Boden-Quarzmischung (1:1) + 150mg organ. Gülle-N

1. Aufwuchs: 5 Wochen; aerobe Bebrütung, 6 Wochen, 22°C

2. Aufwuchs: 5 Wochen

Entzug (additiv)
mg N/Gefäß



Feldversuche zur N-Wirkung von Rindergülle unter Zusatz von Dicyandiamid

von
Gutscher, R.

In mehreren Feldversuchen auf tiefgründigen Braunerden aus Lösslehm sowie im Lysimeter (1 m tiefe Bodenfüllung vor ca. 15 Jahren - horizontweises Einbringen einer Löss-Braunerde) wurde in Weißenstephan (\varnothing 810 mm jährlicher Niederschlag, \varnothing 7.7 °C Jahrestemperatur) geprüft, ob durch Zusatz des Nitrifikationshemmstoffes DCD zur Rindergülle deren N-Wirkung zu Silomais verbessert und somit N-Verluste, insbesondere durch Aus- bzw. Einwaschung (NO_3), vermindert werden können.

In einem ersten Feldversuch wurde diese Versuchsfrage mit zu verschiedenen Zeiten applizierter Rindergülle geprüft (Tab. 1). Es wurden insgesamt hohe Güllemengen (Ges.N/ha) ausgebracht, um auf eine zusätzliche Mineraldüngung zur Folgefrucht Mais verzichten zu können. DCD erzielte insbesondere im Jahr 1979 (abgesehen von der Kombination mit September-Gülle) einen Mehrertrag von 8 - 20 % mit gesichert höheren N-Entzügen (Tab. 1a). Im Jahr 1980 (höhere Güllegaben = Ges.N-Mengen) bewirkte DCD durchwegs gesichert höhere N-Entzüge. Die nitrifikationshemmende Wirkung von DCD läßt sich durch Ermittlung des NO_3 - und NH_4 -Stickstoffs im 90 cm tiefen Bodenprofil (N_{min}) während der vegetationsfreien Zeit gut aufzeigen. In den nunmehr 4-jährigen Ergebnissen führte DCD z. B. in Kombination mit "Oktober/November-Gülle" zu meist deutlich höheren N_{min} -Mengen zu Vegetationsbeginn Februar bzw. Mai (Tab. 1b). Auffallend sind die insbesondere im Februar durch DCD merklich erhöhten NH_4 -Mengen (tiefgestellte Zahlen). In den Varianten mit längerer NH_4 -Phase (+ DCD) wurden durch KCl-Extraktion in der Regel höhere NH_4 -Mengen erfaßt als durch CaCl_2 , so daß die tatsächliche N-Situation im Boden besser wiedergegeben wurde.

Im Lysimeterversuch bewirkte DCD in Kombination mit "August- und Novembergülle" einen deutlichen Anstieg des N-Entzuges von Silomais (Tab. 2). Im Falle der "Novembergülle" kann diese gute DCD-Wirkung durch eine verminderte N-Auswaschung in der vegetationsfreien Zeit erklärt werden. Der höhere N-Entzug nach "Augustgülle" dürfte auf geringere Denitrifikationsverluste im Pflanzenernährung TU München - Weißenstephan

Spätherbst nach DCD-Behandlung zurückzuführen sein.

Auch im Feldversuch mit eingebauter Saugkerzenanlage nach dem System Czeratzki verbesserte DCD in beiden Versuchsjahren die N-Wirkung (Ertrag, N-Entzug) von Rindergülle zu Grün- bzw. Silomais (Tab. 3a): Die insgesamt schlechtere Wirkung von "Aprilgülle" gegenüber "Novemborgülle" (1981) beruht auf einer ungünstigen Beeinflussung der Bodenstruktur durch die Anwendung hoher Güllemengen (388 kg Ges.N/ha) im Frühjahr.

DCD erzielte während der vegetationsfreien und damit auswaschungsgefährdeten Zeit insbesondere 1980/81 einen deutlichen Rückgang der Nitratgehalte in aus 100 und 150 cm Tiefe abgesaugten Bodenwasser ("Novemborgülle") (Tab. 3b). Während der Vegetationszeit unterschieden sich die ermittelten NO_3 -Gehalte der beiden oberen Schichten nur wenig; das aus größerer Tiefe (150 cm) entnommene Bodenwasser (1981) wies nach Gülleapplikation ohne DCD jedoch erheblich höhere NO_3 -Gehalte auf als die Vergleichsglieder mit DCD (N-Konservierung, verminderte N-Einwaschung).

In sämtlich vorgestellten Versuchen erreichte DCD (ca. 30 kg/ha) demnach eine meist deutliche Verbesserung der N-Wirkung vor Rindergülle zu Mais. Die in den Modell- und Gefäßversuchen festgestellte nitrifikationshemmende und damit verlustmindernde Wirkung von DCD konnte auch unter Freilandbedingungen bestätigt werden.

Tabelle 1: Feldversuch zur N-Wirkung von Rindergülle

a) Ertrag und N-Entzug von Silomais

Zeitpunkt der Güllegabe	kg Ges.N/ha		Ertrag (dt TS/ha)				Entzug (kg N/ha)			
	1978/79	1979/80	1 9 7 9		1 9 8 0		1 9 7 9		1 9 8 0	
			o.DCD	+ DCD	o. DCD	+ DCD	o. DCD	+ DCD	o.DCD	+ DCD
ohne Gülle	-	-	85	78	51	50	82	76	61	57
August	322	407	102	122	61	63	104	121	71	75
September	237	333	111	111	69	79	122	123	81	94
November/Okt.	366	509	123	134	68	71	132	144	81	90
März (a)	241	488	111	129	99	101	112	128	113	126
März (b)	544	877	143	154	90	92	151	181	107	117
GD _{5%}			10		9		11		6	

b) N_{min} im Boden (90 cm Tiefe) nach "Okt./Nov.-Gülle" ± DCD (kg N/ha)

N₀ = ohne Gülle

Jahr	Gülle Ges. N/ha	N ₀	F e b r u a r		N ₀	M a i		E x t r a k t i o n NH ₄ -N
			-	+		-	+	
1979	366	30 ₉ *	88 ₃₆ *	113 ₆₉ *	62 ₂ *	97 ₃ *	139 ₉ *	1 n KCl
1980	509	46 ₈	184 ₂₆	337 ₃₀₁	59 ₁₂	151 ₁₃	165 ₇₅	1 n KCl
1981	385	37 ₁₀	131 ₁₁	216 ₁₄₀	134 ₁₂	254 ₁₆	341 ₃₁	0.025 n CaCl ₂
1982	296	46 ₁₉	66 ₂₀	124 ₈₆				0.025 n CaCl ₂

* NH₄-N

Tab.2: N-Wirkung von Gülle im Lysimeter zu Silomais

Gülle 272 kg Ges.N/ha	DCD 30 kg/ha	Oktober 78 - Mai 79 (355 mm Niederschlag) Sickerwasser (mm) Auswaschung (kg N/ha)		Entzug (kg N/ha)
August	-	316	80	61
	+	309	80	73
November	-	313	74	75
	+	309	54	97

Tab.3: Rindergülle + DCD zu Mais

Weihenstephan: Braunerde (LÖB) mit Saugkerzen-System nach Czeratzki

a) Erträge (dt TS/ha) und Entzüge (kg N/ha)

Gülle (kg N/ha)	DCD (30 kg/ha)	1980: Grünmais		1981: Silomais	
		Ertrag		Ertrag	Entzug
Okt./Nov. (380 N)	-	28	36	150	165
	+	36	36	157	198
April (388 N)	-	-	-	129	133
	+	-	-	139	145

b) mittlere Nitratgehalte des Bodenwassers (mg N/l)
vegetationsfreie Zeit

Absaugtiefe	Gülle	1979/80 (n=24)			
		Oktober		Oktober	
	DCD	-	+	-	+
50 cm		16	11	20	25
100 cm		13	9	18	19
150 cm		24	17	23	22
1980/81 (n= 6 - 12)					
		November		April	
		-	+	-	+
50 cm		30	30	40	37
100 cm		71	36	28	21
150 cm		57	42	33	29

Nitrat-Konzentrationen in Oberflächengewässern bei Hochwasser als Funktion der Sickerwasserbewegung

von

Süßmann, W. und Göttlicher, U. [†]

Im Rahmen eines Projektes zum Einfluß der Bodennutzung auf Wasserqualität und Abflußregime wurden an Gräben und Bächen nördlich des Edersees Meßstationen eingerichtet. Seit Herbst 1977 werden am Saubach (Einzugsgebiet von 75 ha, 60% Acker, 25% Grünland, 15% Wald) wöchentlich Wasserproben entnommen. Bei Hochwasser entnimmt seit Frühjahr 1981 ein automatischer Probenehmer Wasserproben.

Der Nitrat-Konzentrationsgang im Saubach zeigt Ähnlichkeiten mit der Abflußganglinie. In einem Streudiagramm dargestellt, läßt sich der statistische Zusammenhang zwischen Abfluß und Nitrat-Konzentration durch eine sog. Maximumkurve beschreiben, die mit zunehmendem Abfluß ansteigt, ein Maximum erreicht und bei weiter steigendem Abfluß wieder abfällt (Abb.1).

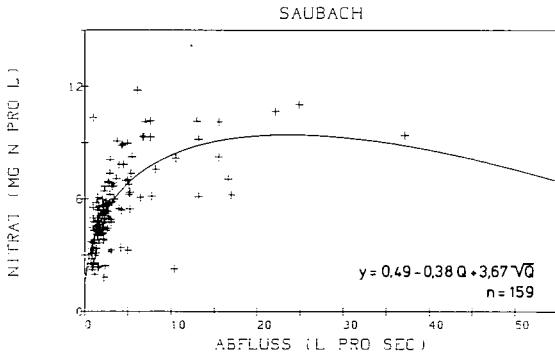


Abb. 1: Beziehung Abfluß - Nitrat-Konzentration

Die genannten Nitrat-Konzentrationsänderungen lassen sich u.E. erklären, wenn man die Ursachen der Abflußänderungen betrachtet. Während Trockenwettersituationen besteht der Abfluß nur aus Grundwasser. Nach entsprechend ergiebigen Niederschlägen entsteht in geneigtem Gelände eine laterale Sickerwasserbewegung, die als oberflächennaher Abfluß oder Interflow bezeichnet wird. Übersteigt die Niederschlagsintensität die Infiltrationsrate, kommt es außerdem zu Oberflächenabfluß.

Der Nitrat-Konzentrationsverlauf während Trockenwetterabflußperioden ist im allgemeinen relativ konstant bei niedrigem Niveau. Ein Abflußanstieg, der auf oberflächennahen Abfluß zurückzuführen ist, induziert in der Regel auch einen Nitrat-Konzentrationsanstieg. In Abb.2 ist der Nitrat-Konzentrationsverlauf während eines fröhsommerlichen Abflußereignisses im Saubach dargestellt. Eine, aus insgesamt 23 mm Regen resultierende Welle oberflächennahen Abflusses setzt auf den Grundwasserabfluß auf. Gleichzeitig zum Abflußanstieg nimmt die Nitrat-Konzentration zu. Der Anstieg der Nitrat-Konzentration von 4 mgN/l zu Wellenbeginn auf etwa 8 mgN/l als Wellenscheitel ist demnach auf den oberflächennahen Abfluß zurückzuführen. D.h. daß das in den oberen Bodenschichten mehr oder weniger lateral abfließende Sickerwasser während der dargestellten Abflußwelle stärker nitratbefrachtet war als der Grundwasserabfluß.

Am darauffolgenden Tag kam es nochmals zu Niederschlägen, die mit 19 mm innerhalb von 10 Stunden einen erneuten Abflußanstieg mit einem im Vergleich zur ersten Welle mehr als doppelt so hohen Wellenscheitel induzierten. Abgesehen von einer leichten Konzentrationszunahme in der ersten Anstiegsphase der zweiten Welle, bleibt die Nitrat-Konzentration auf dem Ausgangsniveau von ca. 4 mgN/l.

Die Tatsache, daß das Phänomen einer Nitratkonzentrationswelle während der zweiten Abflußwelle des dargestellten Hochwasserereignisses nicht auftrat, läßt u.E. nach zwei Deutungen zu:

1. Die Sickerwasserbewegung bei starkem oberflächennahen Abfluß erfolgt überwiegend in den schnell dränenden Grobporen

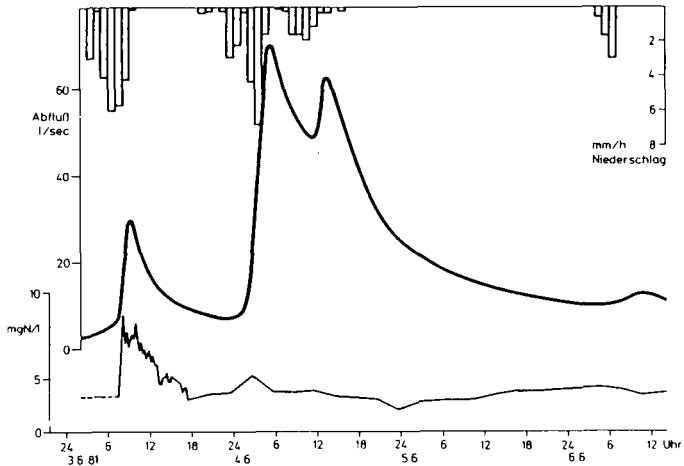


Abb. 2: Niederschlag, Abflußganglinie und Verlauf der Nitratkonzentrationen während des Hochwassers im Saubach vom 3.-6.6.81

und sekundären Wasserleitungsbahnen, wie Wurzelgängen, Schwundrissen u.ä. Da die Wasserbewegung in den engeren, nitratreicheres Wasser führenden Poren aber langsamer verläuft oder gar nicht stattfindet, kann die Nitratbefruchtung des Abflusses in den Grobporen durch Zufluß und Diffusion aus engeren Poren umso größer sein, je langsamer die Wasserbewegung in den Grobporen ist. Kurz gesagt: Bei schneller Fließbewegung in den Grobporen erfolgt ein geringer Konzentrationsausgleich zwischen Grobporenwasser und Wasser der engeren Poren.

2. Nach dem Auswaschungsstoß der ersten Abflußwelle war ein großer Teil des verfügbaren Nitrats bereits verlagert, so daß keine nennenswerte Nitratanreicherung des schnell dränenden Grobporenwassers mehr möglich war. Diese Deutung wird durch Beobachtungen bei Hochwässern im Spätsommer gestützt, die niedrigere Nitrat-Konzentrationen aufwiesen als das dargestellte frühsummerliche Ereignis. Voraussetzung für Nitrat-Konzentrationserhöhungen bzw. Nitrat-Konzentrationswellen bei Abflußereignissen sind also ausreichende Nitratgehalte im Boden, die bei landw. genutzten Flächen am ehesten im Frühjahr und Frühsommer nach entsprechender Mineraldüngung gegeben sind.

Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 51, 91-96 (1982)

Untersuchungen über die Wirkung verschiedener N-Düngerformen
bei Bewässerungsreis

von

Atanasiu, N.*), M. Silva*) und J. Samy**)

1. Einleitung

Bekanntlich ist die N-Düngerausnutzung bei Bewässerungsreis im Vergleich mit anderen Kulturen niedrig. Dieser niedrigen Ausnutzung stehen entsprechend hohe Verluste entgegen, welche bei NH_4 -Dünger hauptsächlich durch Volatilisation, bei NO_3 -Dünger durch Denitrifikation und Auswaschung und bei Harnstoff durch eine spätere Ausnutzung durch die Reispflanze bedingt sind. Als Maßnahmen zur Minimierung dieser Verluste gelten: sofortige Binarbeitung von NH_4 -Dünger nach der Ausbringung in den Boden, um Volatilisation und Denitrifikation zu vermeiden, und zeitliche Teilung von höheren Düngergeben. Man nimmt an, daß diese Maßnahmen wirksamer bei NH_4 -Dünger als bei den anderen N-Düngerformen sind, und man betrachtet aus diesem Grunde für Bewässerungsreis die NH_4 -Dünger als effizienter als die anderen Formen. Diese Meinung findet einen extrem krassen Ausdruck besonders in "FAO Fertilizer Bulletin": "Maximizing the efficiency of fertilizer use" (von, 1980), wo für Bewässerungsreis folgende Empfehlungen gegeben worden: NO_3 oder NO_2 -haltige Dünger "should never be used for flooded rice". Diese Auffassung beeinträchtigt die Anwendung verschiedener N-Düngerformen, darunter auch Mehrnährstoffdünger für Reis. Da aber auch entgegengerichtete Versuchsergebnisse vorliegen, muß diese Frage noch entsprechend untersucht werden. Als Beitrag dazu werden Ergebnisse von Versuchen vorgelegt, welche die Autoren durchgeführt haben.

*) Tropeninstitut der J. Liebig-Universität Gießen

**) Malaysian Agricultural Research and Development Institute (MARDI), Malaysia.

2. Ergebnisse

Es handelt sich um:

- a) Gefäßversuche in Gießen (in Klimäräumen) und um
 - b) Feldversuche in Spanien (Reisversuchsstation Succa), Griechenland (Getreideforschungsinstitut Thessaloniki) und Malaysia (Reisforschungsstation Bumbong Lima),
- welche mit verschiedenen N-Verbindungen als Dünger zu Bewässerungsreis durchgeführt wurden. In den folgenden Tabellen werden die Ertragsergebnisse sowie die Ausnutzung von Dünger-N wiedergegeben.

3. Diskussion

Den Zahlen kann man folgendes entnehmen:

1. Im Gefäßversuch

- bringen beide N-Formen: NH_4 und NO_3 vergleichbare Erträge und Dünger-N-Ausnutzungen.
- Die Kombinationen $\text{NH}_4 + \text{NO}_3$ (in getrennten Gaben) bringen die höchsten Erträge.
- Harnstoff kann ebenfalls vergleichbar hohe Erträge und N-Ausnutzungsraten bringen, kann aber auch schlechter abschneiden. Die Ergebnisse scheinen von den Harnstoff-Umsetzungen am Beginn der Vegetation abhängig zu sein.

2. Im Feldversuch:

- auf allen Standorten erweist sich Harnstoff sowohl bei niedrigeren wie bei höheren Gaben dem NH_4 -Dünger vergleichbar.
- NO_3 - bzw. NH_4NO_3 -Dünger liefern besonders bei Gaben unter 100 kg N/ha vergleichbare Erträge mit NH_4 -Dünger und Harnstoff bei eindeutig niedrigeren Ausnutzungsraten.

4. Literatur

1. FAO-Fertilizer Bulletin 3: "Maximizing the efficiency of fertilizer use" Rom, 1980
2. De Datta, S. K. "Principles and Practices of Rice Production" John Wiley and Sons. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, 1981
3. Atanasiu, N. und Sany, J.: "Reis: Anleitung zur Düngung." Centre d'Etude de l'Azote. Zürich (im Druck)

Reiskornerträge und N15-Düngerausnutzung ^{x)}

Gefäßversuche 1976/1977

Variante ^{xx)}	1976		1977	
	Ertrag g/Gefäß	N15-Dünger- Ausnutzung %	Ertrag g/Gefäß	N15-Dünger- Ausnutzung %
ohne N	-	-	10,0	-
NH ₄ + NH ₄	68,4	70,4	55,1	82,6
NO ₃ + NO ₃	64,8	58,3	60,5	91,9
NH ₄ + NO ₃	85,6	68,1	72,5	78,5
NO ₃ + NH ₄	80,5	71,1	54,6	66,3
NH ₄ NO ₃ +NH ₄ NO ₃	70,4	71,7	46,2	58,4
Harnstoff+Harnstf.	82,8	71,5	32,8	37,4
GD _{5%}	8,2		17,3	

x) Die N15-Düngerausnutzung betrifft Korn und Stroh.

xx) Variante = N-Form in der ersten bzw. zweiten Gabe; je Gabe 1g N15/Gefäß

Reiskornerträge und Dünger N-Ausnutzung ^{xy)}

Feldversuche Spanien 1978/1979

Variante		1978		1979	
N-Form	KgN/ha/Gabe	Ertrag dt/ha	N-Ausn. %	Ertrag dt/ha	N-Ausn. %
-	-	63,8	-	56,3	-
NH ₄	50	65,2	0	54,7	0
Harnstoff	50	64,3	0	54,5	2,0
NO ₃	50	70,0	14,2	58,3	19,4
NH ₄	50 + 50	74,0	7,5	69,3	31,7
Harnstoff	50 + 50	76,0	27,5	61,5	17,8
NO ₃	50 + 50	68,5	0	70,0	38,4
NH ₄	50 + 50 + 50	77,2	25,8	69,0	28,1
Harnstoff	50 + 50 + 50	77,3	16,7	55,8	12,3
NO ₃	50 + 50 + 50	71,8	14,4	69,0	29,9
GD _{5%}		6,0		5,1	

x) Ausnutzung (Ausn.): - betrifft Korn + Stroh
- berechnet konventionell

Reiskornerträge

Feldversuche Griechenland 1978/1979

Variante		1978	1979
N-Form	kg N je ha u. Gabe	Ertrag dt/ha	Ertrag dt/ha
-	-	57,3	60,7
NH ₄	45	81,1	67,7
Harnstoff	45	82,3	69,2
NH ₄ + NH ₄	45 + 45	90,4	88,1
Harnstoff + Harnstoff	45 + 45	78,9	68,5
NH ₄ + NH ₄ NO ₃	45 + 45	88,0	78,2
NH ₄ + NH ₄ + NH ₄	45 + 45 + 30	79,8	70,7
Harnstoff + Harnst.+Harns.	45 + 45 + 30	88,4	84,2
NH ₄ + NH ₄ NO ₃ + NH ₄ NO ₃	45 + 45 + 30	71,5	76,0
GD _{5%}		20,6	20,4

Reiskornertäge und Dünger-N-Ausnutzung *)

Feldversuche Malaysia 1979/1980

Variante		1979 (Trockenzeit)		1970/80 (Regenzeit)	
N-Form	kg N je ha u. Gabe	Ertrag dt/ha	% Ausn.	Ertrag dt/ha	% Ausn.
-	-	45,0	-	37,6	-
Harnstoff	25 + 25	56,1	58,2	48,7	66,4
NH ₄ NO ₃	25 + 25	53,1	50,6	42,9	18,5
NO ₃	25 + 25	53,9	27,0	41,5	25,2
Harnstoff	50 + 50	59,0	43,0	54,3	42,0
NH ₄ NO ₃	50 + 50	57,2	32,4	54,5	39,3
NO ₃	50 + 50	55,2	25,2	47,9	19,6
Harnstoff	75 + 75	58,6	45,9	60,2	51,3
NH ₄ NO ₃	75 + 75	60,7	32,6	68,6	34,9
NO ₃	75 + 75	54,9	21,3	47,7	19,2
GD _{5%}		3,6		4,1	

*) Ausnutzung (=Ausn.): -durch Korn und Stroh
- berechnet konventionell

Reiskornerträge

Feldversuche Malaysia, Regenzeit 1977/78

Variante		Kornerträge dt/ha	
N-Form	kg N je ha u. Gabe	Hutan-Boden	Chengai-Boden
-	-	24,4	31,8
Harnstoff	30 + 30	39,6	41,7
NH ₄	30 + 30	39,2	39,2
NH ₄ NO ₃	30 + 30	34,0	40,1
Harnstoff	60 + 60	47,8	45,9
NH ₄	60 + 60	47,1	46,1
NH ₄ NO ₃	60 + 60	42,5	46,3

Stickstoffmineralisation in Lössböden

von

Nordmeyer, H., Nuske, A., Richter, J.⁺

Einleitung

Der Prozess der Stickstoffmineralisation im Boden ist unter unseren klimatischen Bedingungen der wichtigste Teilprozess des Stickstoffhaushaltes. Für die Umwandlung organischer N-Verbindungen in pflanzenverfügbare anorganische N-Verbindungen sind die Bodenmikroorganismen verantwortlich. Damit ist die Mineralisationsrate von Population und Aktivität der Mikroorganismen abhängig. Eine optimale N-Düngung ist nur möglich, wenn die N-Mineralisation der Pflanzenresiduen mit berücksichtigt wird. Wir wollen den N-Haushalt des Bodens mit Hilfe eines deterministischen Modelles, d.h. für jeden Schlag spezifisch, beschreiben. Für die N-Mineralisation werden Reaktionsgleichungen 1. Ordnung verwendet. Die allgemeine Lösung entsprechender Reaktionsgleichungen lautet:

$$N_{\min}(t) = \sum_i \min N_i (1 - e^{-k_i t})$$

Der Reaktionsansatz sowie die Parameter sind durch Labor-Inkubationsversuche ermittelt worden.

Während in der Vergangenheit Brutversuche in erster Linie zur Bestimmung des potentiell mineralisierbaren Stickstoffes im Boden dienten, werden neuerdings verstärkt Anstrengungen unternommen, die in Brutversuchen ermittelten Parameter auf die Mineralisation im Feld zu übertragen.

⁺Institut für Bodenkunde, Universität Hannover

Material und Methoden

Die Brutversuche wurden mit 12 Böden aus dem Lößgebiet Südniedersachsen durchgeführt. Die Bodenproben wurden in der letzten Februarwoche 1982 aus der Tiefe 0-30 cm genommen. Die Brutversuche wurden in Anlehnung an Stanford und Smith mit einigen Modifikationen durchgeführt:

1. Die Bebrütungsdauer wurde auf 16 Wochen verkürzt (Nuske und Richter, 1981).
2. Die Böden wurden feldfeucht eingewogen und bei $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, 6 davon bei $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$, mit je 3 Wiederholungen bebrütet.
3. Die Einwaage betrug 20 g feldfeuchter Boden + 20 g gewaschener Quarzsand. Die Quarzsandmenge wurde auf 20 g erhöht, um die Verschlammung in den Auswaschungsröhrchen zu vermindern.

Bei 5 Böden wurde vergleichend eine Trockenbebrütung durchgeführt (nur bei 35°C).

Die Parameterbestimmung (Mineralisationspotentiale und Abbaukoeffizienten) erfolgte mit dem bereits in früheren Arbeiten beschriebenen Optimierungsverfahren (Nuske und Richter, 1981).

Ergebnisse

Das Optimierungsverfahren ermöglicht die Aufspaltung des mineralisierbaren Stickstoffes des Bodens in mehrere Fraktionen, deren Mineralisierungsgeschwindigkeiten durch ihre Reaktionskoeffizienten gekennzeichnet sind. Diese Aufspaltung der Mineralisation zeigt sehr deutlich, daß bei der Bebrütung mit getrockneten Böden offensichtlich drei, bei feldfrischen Proben offensichtlich nur zwei Fraktionen der organischen Substanz an der N-Mineralisation beteiligt sind (Tab.1, Tab.2):

1. Resistant plant material (mit einer großen Menge an mineralisierbarem N, die langsam abbaut) (Index rpm, nach Jenkinson, 1977).
2. Decomposable plant material (mit einem geringen mineralisierbarem N-Betrag, der relativ schnell abbaut) (Index dpm).
3. Abgestorbene Biomasse (nur bei Trockenbebrütung) (Index bom).

Die Abb.1 zeigt einen Vergleich der N-Mineralisationsverläufe mit getrockneten und frischen, feldfeuchten Bodenproben. Die Differenz des Stickstoffbetrages könnte als mineralisierter Stickstoff aus den

durch Trocknung teilweise abgestorbenen und autolysierten Mikroorganismen angesprochen werden (Mary et Remy, 1979). Die Tabellen 1 und 2 zeigen die Parameter der Feucht- und Trockenbebrütung, die wir durch Aufspaltung der Mineralisationskurven der 35°C Proben erhielten.

Die für $K(\text{rpm})$ bei 35°C ermittelten Werte liegen in beiden Fällen in der gleichen Größenordnung. Der Mittelwert der Feuchtbebrütung beträgt 0.0056 Tag^{-1} , der der Trockenbebrütung beträgt 0.0047 Tag^{-1} . Die $K(\text{dpm})$ -Werte liegen, verglichen mit den Ergebnissen früherer Trockenbebrütungen, deutlich niedriger.

Der Mittelwert liegt bei der Feuchtbebrütung bei 0.08 Tag^{-1} . Versucht man nach verschiedenen Vorfrüchten zu differenzieren, so ergeben sich bei Zuckerrüben und Getreide als Vorfrucht im Mittel für $K(\text{rpm})$ und $K(\text{dpm})$ bei 35°C gleiche Abbaukoeffizienten.

Die $N(\text{rpm})$ -Fraktion ist im Mittel bei Zuckerrüben kleiner, die $N(\text{dpm})$ -Fraktion größer als bei Getreide als Vorfrucht. Die größere $N(\text{dpm})$ -Fraktion bei Zuckerrüben ist mit der höheren Menge an Ernterückständen erklärbar.

Die Unterschiede in der $N(\text{rpm})$ -Fraktion könnten darauf zurückzuführen sein, daß mit dem Stroh größere Mengen an schwer zersetzbaren organischen Rückständen in die $N(\text{rpm})$ -Fraktion eingehen als bei Zuckerrüben.

Die schnelleren Abbauraten bei der Trockenbebrütung sind darauf zurückzuführen, daß nach Trocknung die Pflanzenresiduen für die Mikroorganismen leichter zersetzbar sind (Tab.2).

Bei der Bebrütung zuvor getrockneter Bodenproben ist eine dritte N -Fraktion nachweisbar (Tab.2). Es handelt sich dabei sehr wahrscheinlich um einen Teil der mikrobiellen Biomasse, der offenbar bei der Trocknung des Bodenmaterials abgestorben ist und nun mit hohen Mineralisationsraten von 0.35 Tag^{-1} (Halbwertszeit ≈ 2 Tage) abgebaut wird. Die $N(\text{hom})$ -Fraktion liegt in der Größenordnung von 40-80 kg/ha/30 cm.

Die $N(\text{rpm})$ -Fraktion mineralisiert bei Trockenbebrütung mit der gleichen Geschwindigkeit wie bei Feuchtbebrütung (Tab.1 und 2). Die $N(\text{dpm})$ -Fraktion mineralisiert bei mittleren Werten von 0.105 Tag^{-1} nur etwas schneller als bei Feuchtbebrütung.

Gegenüber früheren Ergebnissen (0.16 Tag^{-1} , Richter, Nuske, Habenicht, Bauer, 1982) erscheint diese Mineralisationsrate sehr niedrig (Tab.2). Die Parameter für $K(\text{rpm})$ und $K(\text{dpm})$ liegen bei der 20°C Bebrütung (Tab.3) etwa um den Faktor 5 niedriger als bei der 35°C Variante. Zu erwarten ist, daß sich der K -Wert bei 10°C Temperaturänderung um den Faktor 2-3 verändert.

Als Mittelwert aus den 5 Einzelwerten ergibt sich für $K(\text{rpm})$ $0.0011 \pm 0.0004 \text{ Tag}^{-1}$ und für $K(\text{dpm})$ $0.016 \pm 0.003 \text{ Tag}^{-1}$ (Tab.3).

Zusammenfassung

In Bebrütungsversuchen wurde die Stickstoff-Mineralisation von Lössböden Südniedersachsens untersucht.

Bei der Feuchtbebrütung läßt sich die potentiell mineralisierbare N-Menge mit einem Optimierungsverfahren in zwei Teilfraktionen aufspalten:

Resistant plant material und
Decomposable plant material.

Bei der Trockenbebrütung läßt sich eine dritte Fraktion nachweisen, die als mikrobielle Biomasse angesprochen werden kann.

Die Abbauraten der resistenten Fraktion ändern sich bei Feuchtbebrütung nicht gegenüber Trockenbebrütung. Der Reaktionskoeffizient $K(\text{rpm})$ liegt bei 0.0056 Tag^{-1} bei 35°C .

Die Mineralisationsgeschwindigkeit der schnell abbaubaren Fraktion nimmt bei Feuchtbebrütung gegenüber der Trockenbebrütung ab.

Der Reaktionskoeffizient $K(\text{dpm})$ liegt bei 0.08 Tag^{-1} bei 35°C , während er bei früheren Versuchen mit getrockneten Böden bei 0.16 Tag^{-1} lag.

Abb.1 Beispiel für Mineralisationsverlauf von Feucht- und
Trockenbebrütung

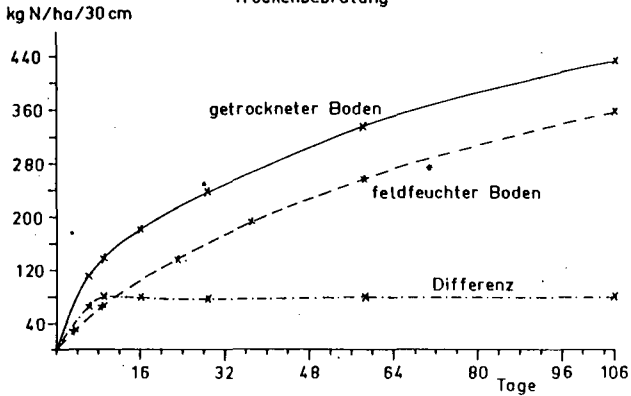


Tabelle 1 Parameter der 12 Lössböden bei der 35°C-Bebrütung

Böden	Vorfrucht	Vorfrucht	kg/ha/30cm N (rpm)	Tag ⁻¹ K (rpm)	kg/ha/30 cm N (dpm)	Tag ⁻¹ K (dpm)
1	WG	WW	680	0.0065	94	0.066
2	ZR	WW	803	0.0049	103	0.103
3	ZR	Bohnen	671	0.0054	118	0.059
4	WW	ZR	992	0.0057	103	0.104
5	WG	WW	764	0.0051	65	0.056
6	WW	WW	693	0.0066	61	0.063
7	ZR	Kartoffel	643	0.0078	95	0.032
8	ZR	Erbsen	693	0.0056	78	0.064
9	WW	WW	920	0.0058	71	0.108
10	Erbsen	WW	993	0.0053	76	0.111
11	ZR	SW	980	0.0043	59	0.132
12	WW	ZR	993	0.0038	61	0.062
Ø			819	0.0056	82	0.080
S			145	0.0011	19	0.030
Ø	ZR		758	0.0056	90	0.078
Ø	GE		840	0.0056	76	0.077

Tabelle 2

Parameter der 35°C-Trockenbebrütung

Boden	Vorfrucht	kg/ha/30 cm N (rpm)	Tag ⁻¹ K (rpm)	kg/ha/30 cm N (dpm)	Tag ⁻¹ K (dpm)	kg/ha/30 cm N (bom)	Tag ⁻¹ K (bom)
7	ZR	700	0.0063	80	0.086	81	0.56
8	ZR	700	0.0055	57	0.110	73	0.35
9	WW	625	0.0030	80	0.093	51	0.13
10	Erbsen	766	0.0040	87	0.100	44	0.16
12	WW	625	0.0047	105	0.133	63	0.53
∅		683	0.0047	82	0.105	62	0.35
S		60	0.0013	17	0.018	15	0.20

Tabelle 3

Parameter der 20°C-Bebrütung (feucht)

Boden	Vorfrucht	kg/ha/30 cm N (rpm)	Tag ⁻¹ K (rpm)	kg/ha/30 cm N (dpm)	Tag ⁻¹ K (dpm)
1	WG	771	0.0010	80	0.016
4	WW	680	0.0018	102	0.018
5	WG	694	0.0012	79	0.016
6	WW	706	0.0013	82	0.022
9	WW	893	0.0005	94	0.012
10	Erbsen	782	0.0008	77	0.016
∅		754	0.0011	85	0.016
S		80	0.0004	10	0.003

Literatur

1. Anderson, J.P.E. and Domsch, K.H. (1978)
A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils.
Soil Biol. Biochem. 10, 215-221.
2. Habenicht, W. (1981)
Kurzzzeit Brutversuche mit Lössböden zur Beurteilung der Stickstoff-Mineralisierung im Frühjahr. Diplomarbeit, Universität Hannover.
3. Jenkinson, D.S. (1977a)
Studies on the decomposition of plant material in soil IV. The effect of rate of addition.
J.Soil Sci. 28, 417-423.
4. Jenkinson, D.S. (1977b)
Studies on the decomposition of plant material in soil V. The effects of plant cover and soil type on the loss of carbon from ¹⁴C labelled ryegrass decomposing under field conditions.
J.Soil Sci. 28, 424-434.
5. Jenkinson, D.S. and Rayner, J.H. (1977)
The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments.
Soil Sci. 123, 298-305.
6. Mary, B. et Remy, J.C. (1979)
Essai d'appréciation de la capacité de minéralisation de l'azote des sols de grande culture I.- Signification des cinétiques de minéralisation de la matière organique humifiée.
Ann.Agron. 1979, 513-527.
7. Nuske, A. and Richter, J. (1981)
N-mineralization in Loess-Parabrownearths: Incubation experiments.
Plant and Soil 59, 237-347.

8. Richter, J., Nuske, A., Boehmer, U. and Wehrmann, J. (1980)
Simulation of nitrogen mineralization and transport in Loess-Parabrownearthes: Plot experiments.
Plant and Soil 54, 329-337.
9. Richter, J., Nuske, A. and Fiege, E. (1982)
N-mineralization in Loess-Parabrownearthes during the winter: Field experiments. Plant and soil, to be submitted for publication.
10. Richter, J., Nuske, A., Habenicht, W. and Bauer, J. (1982)
Optimized N-Mineralization parameters of loess soils from incubation experiments. Plant and soil, to be submitted for publication.
11. Stanford, G. and Smith, S.J. (1972)
Nitrogen mineralisation potentials of soils.
Proc. S.S.S. America 36, 465-472.
12. Stanford, G., Frere, M.M. and Schwaninger, D.H. (1973)
Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization.
Soil Sci. 115, 321-323.

Bericht
über die Arbeitssitzung mit Exkursion der
Kommission V
vom 15. - 17.9.1982 in MÜNCHEN

ALPINE BÖDEN AUS CARBONATGESTEINEN
-Klassifikation und Nomenklatur-

von
Grottenthaler, W.

- Die Kommissionsitzung wurde vom Lehrstuhl für Bodenkunde und Boden-
geographie der Universität Bayreuth, vom Lehrstuhl für Bodenkunde
der Universität München und vom Bayerischen Geologischen Landesamt
gemeinsam durchgeführt. Unter den ca. 40 Teilnehmern konnten Ver-
treter der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz und der öster-
reichischen Bodenkundlichen Gesellschaft begrüßt werden.

Im ersten Teil der Sitzung informierten Übersichtsreferate über
den Stand der Erforschung und Klassifizierung alpiner Carbonatge-
steinsböden unter besonderer Berücksichtigung ihrer Humusformen.
K. PEYER (Bodenkartierungsdienst der Eidg. Forschungsanstalt für
landwirtschaftlichen Pflanzenbau Zürich-Reckenholz) stellte eine
Reihe von Bodenprofilen aus den Alpen und aus dem Jura vor und
klassifizierte sie nach dem System des Bodenkartierungsdienstes.
Dieses System dient der Schweizerischen Bodenkundlichen Gesell-
schaft als Diskussionsbasis für die Erarbeitung von Empfehlungen
für eine einheitliche Klassierung und Benennung der schweizerischen
Böden.

Als oberstes Einteilungskriterium (Klassen) dient das Bodenwasser-
regime. Unter dem geochemischen Gliederungsgesichtspunkt fallen die
besprochenen Böden in die "Verbände" der Böden auf Carbonatge-
stein ($>80\% \text{ CaCO}_3$) und der Böden auf Mischgestein ($<80\% \text{ CaCO}_3$).
Die weitere Untergliederung in Ordnungen erfolgt jeweils in Ge-
steinsböden (Lithorelikte), Rohböden (Gestein + Humus) und Ver-
witterungsböden (Gestein + Humus + Ton). Zur Unterscheidung von
Typen und Untertypen werden der Grad der Entkalkung und die Art
und Verteilung der organischen Substanz herangezogen. Folgende
Humusformen werden unterschieden: rohhumos, modrighumos, mull-
reich, mullhaltig, saprohumos.

W. KILLIAN (Forstl. Bundesanstalt Wien - Schönbrunn) erläuterte die Richtlinien der österreichischen Klassifizierung. Sie folgt generell dem genetischen europäischen System. Die Gliederung erfolgt nach morphologischen, im Gelände erkennbaren Kriterien. Für Gebirgsböden sind folgende Typengruppen der Bodensystematik Österreichs relevant: Rohböden (Horizontfolge Ai-C), Rendsinen und Ranker (A-C-Böden auf Festgestein und grobklastischem Gestein), A-C-Böden auf Lockersedimenten sowie A-B-C-Böden auf Carbonatgestein mit den Typengruppen Braunerden und Reliktböden (Braunlehm, Rotlehm, Roterde, auch Relikt pseudogley). Die weitere Untergliederung der Rendsinen erfolgt - analog zu KUBIENA - in erster Linie nach den Humusformen (z.B. Alpine Polsterrendsina, Moderrendsina, Langelrendsina, Mullartige Rendsina).

Die Ausführungen von K. KREUTZER (Lehrstuhl für Bodenkunde der Universität München) befaßten sich zunächst mit der Definition von Humushorizonten und Humusformen und schlossen mit einem Klassifikationsvorschlag für die durch Humus wesentlich bestimmten Böden. Danach soll in der Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland die Abteilung der organischen Böden um die Klasse der "Auflagehumusse" erweitert werden. Weitere Einzelheiten dieses Vorschlages werden in einem späteren Band der Mitt. d. DBG veröffentlicht.

Zum Abschluß der Vortragsveranstaltung berichtete R. BOCHTER (Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie der Universität Bayreuth) über "Ergebnisse laufender Untersuchungen über Gebirgshumusformen des Berchtesgadener Landes". Er zeigte Möglichkeiten für eine feinere Unterteilung der einzelnen Humuslagen und untersuchte einen von der normalen Ausbildung der Oh-Lage abweichenden Basisbereich, der nur bei Fehlen typischer Ah-Horizonte ausgebildet ist. BOCHTER's Überlegungen zur Bodennomenklatur münden in einen Vorschlag auf der Basis der freien Kombinierbarkeit von Humustyp und Mineralbodentyp.

Eine Exkursion führte am folgenden Tag in das Gebiet des Spitzingsees in den bayerischen Voralpen. Nach kurzen Einführungen in die Geologie (W. GROTTENTHALER), die Waldvegetation (H. DALHÄUSER) und die standortkundlichen Verhältnisse (K. FREYER) des Exkursionsgebietes zeigte R. BOCHTER Bodenprofile, die von Auflagehumus über Carbonatgesteinen bestimmt werden. Die Profile lagen in Höhen zwischen 1620m und 1650m unter Latschen- bzw. Fichtenbestockung und in 940m Höhe in einem Buchenbestand. Zur Diskussion standen u.a. Fragen der Ansprache alpiner Humusformen und der Bodennomenklatur.

Das Gespräch über diese Fragen wurde am 17.9.82 in einer Diskussionsveranstaltung fortgesetzt. Als Ergebnis können folgende Punkte festgehalten werden: Die gebräuchlichen Definitionen für organische Substanz und die Ansprache der einzelnen Humushorizonte und der Humusformen werden in den deutschsprachigen Alpenländern z.T. heute schon einheitlich gehandhabt, z.T. sind jedoch weitere Diskussionen notwendig um auf gemeinsamer Basis Abgrenzungskriterien festzulegen. Bei allen Teilnehmern herrschte Einigkeit darüber, daß das nun begonnene Gespräch über eine Klassifizierung der von Auflagehumus bestimmten Böden fortgeführt werden muß. Deshalb verband der Diskussionsleiter und Initiator der Tagung, O.WITTMANN, seinen Dank an die Teilnehmer mit der Anregung zur weiteren Behandlung der anstehenden Probleme im Rahmen internationaler Begegnungen der an diesen Fragen interessierten Bodenkundler.

ANTHROPOGENE EINFLÜSSE
AUF DAS BODENGEFÜGE

Gemeinsame Sitzung
der
Kommissionen I und VI

der
Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft

in
G Ö T T I N G E N
vom
6. bis 8. Oktober 1982



I N H A L T

	<u>Seite</u>
<u>ERÖFFNUNGSREFERAT</u>	
EHLERS, W.:	Die Bedeutung des Bodengefüges für das Pflanzenwachstum bei moderner Landwirtschaft 115
<u>GASTREFERAT AUS DER KOMMISSION III</u>	
BAUCHHENSS, J.:	Bedeutung der Bodentiere für Struktur und Gefügebildung 129
<u>MECHANIK</u>	
HORN, R.:	Der Einfluß der Aggregierung auf die Druckfortpflanzung im Boden 137
BOHNE, H. u. K.H. HARTGE:	Auswirkungen der Gefügegeometrie auf den Wuchs von Getreidekeimlingen 141
<u>MORPHOLOGIE UND KENNZEICHNUNG</u>	
DIEZ, TH.:	Spatendiagnostische Untersuchungen an der Krume von Lössböden 145
MEYER, B.:	Zur Theorie der Gefüge-Verdichtung, -lockerung und -stabilisierung in Ackerböden aufgrund mikrostruktureller Erscheinungen 149
ALTEMÜLLER, H.-J. u. C. SOMMER:	Korngrößenverteilung und Bodenverdichtung in gefügekundlicher Sicht 153
STEPHAN, S.:	Mikroskopische Zeichen störungsbedingter Kolloidverlagerung 157
ANDRES, E., H.G. FREDE u. B. MEYER	Luft- und potentiell luftführende Sekundärporen von Oberböden und ihre Veränderlichkeit 161
WANG, JIAN, B. HUWE u. R.R. v.d. PLOEG:	Das Bodengefüge im Ap-Horizont einer Parabraunerde im Laufe einer Vegetationsperiode 165

	<u>Seite</u>
<u>OBERFLÄCHENABFLUSS UND STOFFTRANSPORT</u>	
MÜLLER, S. u. K. MOLLENHAUER:	Oberflächenabfluß, Bodenabtrag und Abschwemmung gelöster Stoffe unter dem Einfluß unterschiedlicher Boden- nutzungsbedingungen 169
<u>GEFÜGESTÖRUNGEN</u>	
RICHTER, J.:	Gefügeänderungen in intensiv genutzten Lössböden - ihre Erfassung, Tendenzen, Bedeutung 173
BENECKE, P.:	Auswirkung des Befahrens mit schweren Fahrzeugen auf bodenphysikalische Kennwerte 181
SOMMER, C. u. H.-J. ALTEMÜLLER:	Direkt- und Nachwirkungen starker Verdichtungen auf das Bodengefüge und den Pflanzenertrag 187
FREDE, H.-G.:	Struktur-Inhomogenität von Acker- krumen als Wirkungen landtechnischen Gerätes 193
<u>WIRKUNG DER BODENBEARBEITUNG</u>	
BURGHARDT, W.:	Entwicklung der Rohdichte, C- und N-Gehalte von Bodenaggregaten einer Knick-Brackmarsch nach Grünlandum- bruch 199
BORCHERT, H.:	Bodengefügeveränderung nach Um- stellung von konventioneller Boden- bearbeitung auf Minimal-Bodenbear- beitung 205
SCHWERDTFEGER, G.:	Die Einbeziehung von Taxa in die Horizontsymbole für anthropogene Böden 209
<u>CHEMISCHE WIRKUNGEN</u>	
KUNTZE, H.:	Einfluß einer Meliorationskalkung auf die Plastizität eines schweren Marschbodens 213
WILKE, B.-M., R. HANTSCHHEL u. E. SCHUSTER:	Wirkung von Streusalz auf Gefüge- eigenschaften eines Pelosols und einer Pseudogley-Braunerde aus Keupersedimenten 217

	<u>Seite</u>
<u>MELIORATION UND REKULTIVIERUNG</u>	
MARTINOVIĆ, Lj., E. MÜCKENHAUSEN u. D. SCHRÖDER:	Gefügemelioration bei drei Bodentypen durch mechanische und pneumatische Tieflockerung 221
BURGHARDT, W. u. E.M. HUGENBUSCH:	Veränderung der Moorbodeneigenschaften durch Bunkerdetiefkultur 229
BECHER, H.H.:	Einfluß von Rekultivierungsmaßnahmen auf Gefügeeigenschaften 235
 <u>EXKURSIONSBERICHT</u>	
239	
BENECKE, P.:	Auswirkungen eines mäßigen Tiefumbruches auf bodenphysikalische Kennwerte
FREDE, H.-G., u. B. MEYER:	Gefügedynamik lehmig-toniger Böden aus Muschelkalk in Ackerbauversuchen auf Sozialbrache-Flächen
EHLERS, W.:	Bodengefüge im A ₀ -Horizont einer konventionell bearbeiteten und einer langjährig nicht bearbeiteten Löß-Parabraunerde
 <u>ARBEITSGRUPPENBERICHTE</u>	
MOLLENHAUER, K.:	"Bodennutzung in Wasserschutz- und Wasserschongebieten", 9. Sitzung 243
DIEZ, TH.:	"Bodenerosion", konstituierende Sitzung 245



Die Bedeutung des Bodengefüges für das Pflanzenwachstum
bei moderner Landbewirtschaftung

von
Ehlers, W. *)

1. Die Belastung der Böden mit schwerem Gerät

In den zurückliegenden zwei Jahrzehnten hat sich der Schlepperbesatz je ha landwirtschaftlich genutzter Fläche fast verdoppelt; die Motorleistung ist ungefähr auf das Vierfache angewachsen (Tabelle 1).

Tab. 1: Schlepperbesatz und Motorleistung je 100 ha LN bzw. LF (Quelle: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 1971 und 1981)

Jahr	Betriebseigene Schlepper je 100 ha LF	Motorleistung je 100 ha LF
1960*	6,1	80 kW
1979	10,1	341 kW

* 1960 je 100 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche (LN)

Trotz eines günstiger gewordenen Leistungsgewichts stieg das Schleppergewicht dennoch auf mehr als das Doppelte (Tabelle 2). Bei Ackerwagen (Tabelle 2) und den übrigen Schlepperanbaugeräten ist eine ähnliche Tendenz festzustellen (Bolling und Söhne, 1982).

Tab. 2: Leistung und Gewicht von Neubauschleppern und Gewicht von Ackerwagen (Quelle: Bolling und Söhne, 1982)

Jahr	Schlepperleistung	Schlepper- gewicht	Leistungs- gewicht	Gesamtgewicht der Ackerwagen	
				leicht	schwer
1956	15 kW	1,4 t	95 kg/kW	3 t	6 t
1980/81	48 kW	3,3 t	69 kg/kW	4-6 t	12-16 t

*) Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Göttingen, von-Siebold-Str. 8, 3400 Göttingen

Obwohl durch Verbreiterung und Vergrößerung der Reifen die Auflagefläche erhöht und damit der Zunahme des Kontaktflächendrucks entgegengewirkt werden konnte, muß in der Entwicklung zu schwerem Gerät eine zunehmende Gefährdung unserer Böden durch Kompaktierung gesehen werden, die sich nicht nur auf den Krumbereich beschränkt, sondern auch den Unterboden erfassen kann. Denn das mögliche Ausmaß einer Verdichtung ist nicht nur allein abhängig von dem Kontaktflächendruck. Vielmehr wird es durch die Größe der Auflast mitbestimmt (Hartge und Sommer, 1981).

Nach Abb. 1 reichen die Hauptspannungen (Druckzwiebeln) umso tiefer, je stärker infolge zunehmender Last der Kontaktflächen-
druck steigt (Vergleich: a-c). Doch auch bei g l e i c h e m
Druck, aber größerer Last, nimmt die Tiefenausdehnung zu
(Vergleich: a-b).

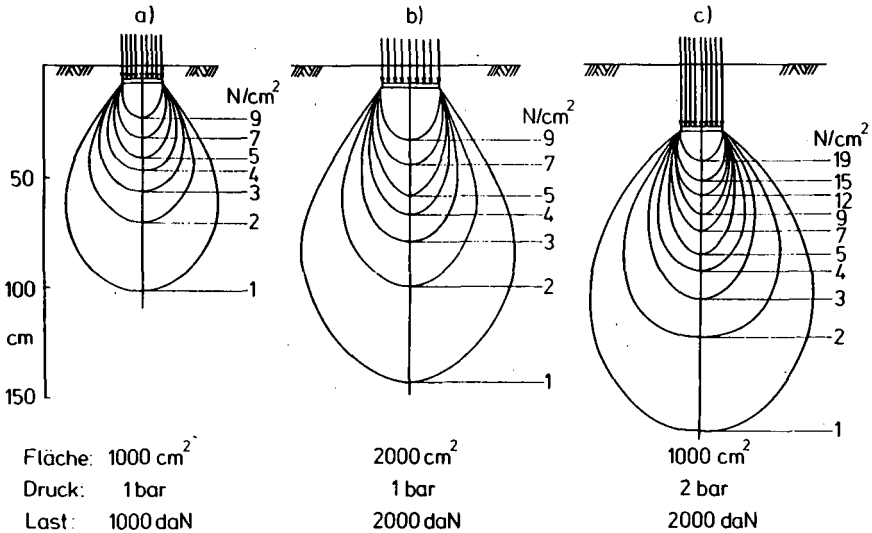


Abb. 1: Druckzwiebeln unter drei Kontaktflächen in einem sehr nachgiebigen Boden in Abhängigkeit vom Kontaktflächen-
druck und der Last (1 daN \approx 1 kp; 1 N/cm² = 0,1 bar)
(Bolling und Söhne, 1982)

Nach schwedischen Untersuchungen (Eriksson et al. 1974) waren in einem feuchten, aggregierten Tonboden dann deutliche Verdichtungen nachzuweisen, wenn die auf den Boden einwirkenden Drucke 2 bar und mehr erreichten. Wie Abb. 2 zeigt, können Druckzwiebeln dieser Größenordnung unter schweren Ackerwagen bis in die 30 cm Pfluggrenze reichen. Je tiefer aber die Verdichtungszone unterhalb der Ackerkrume anstehen, umso schwieriger sind sie mechanisch und ohne die Gefahr weiterer Verdichtung wieder aufzureißen. Andererseits steht der Erfolg einer Wiederauflöckerung von Unterbodenverdichtungen durch natürliche Kräfte (Quellen, Schrumpfen, Frost) häufig über Jahrzehnte aus (Blake et al. 1976).

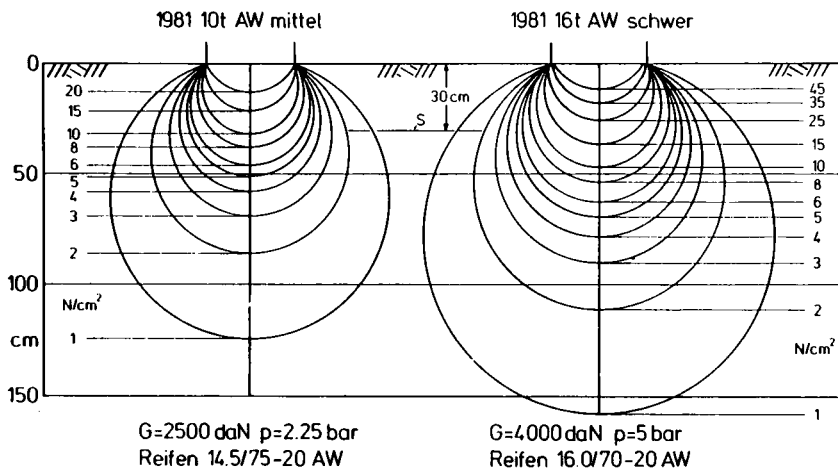


Abb. 2: Druckzwiebeln unter den Reifen von einem 10 t und einem 16 t schweren Ackerwagen in einem festeren Boden (G: Radlast; S: Pflugsohle) (Bolling und Söhne 1982)

Insgesamt kann gesagt werden, daß die Gefahr von Verdichtungen bis in den Unterboden mit zunehmender Last, wiederholtem Fahrverkehr und zunehmender Bodenfeuchte steigt. Für eine weitergehende Diskussion über die Ursachen von Verdichtungen und die Maßnahmen zu ihrer Vermeidung sei auf Soane et al. (1980/81; 1982) verwiesen.

2. Die Bedeutung bodenphysikalischer Kennwerte für das Pflanzenwachstum

Durch eine Bodenverdichtung ändert sich das Bodengefüge und damit die für das Pflanzenwachstum wichtigen bodenphysikalischen Kennwerte. Welche Bedeutung haben sie für das Pflanzenwachstum?

2.1. Porenvolumen, Porengrößenverteilung

Bei einer Kompression des Bodens nimmt in der Regel das Porenvolumen und zugleich der prozentuale Anteil der groben Poren ab (Abb. 3). Im Bereich der Mittel- und Feinporen sind die Änderungen dagegen im allgemeinen gering. Da die Grobporen wichtig sind für die schnelle Wasserleitung bei Infiltrationsvorgängen und für die Durchlüftung und damit auch für die Erwärmung, sind bei vorliegenden Verdichtungen nachteilige Einflüsse auf das Pflanzenwachstum zu erwarten. In Trockengebieten kann die im

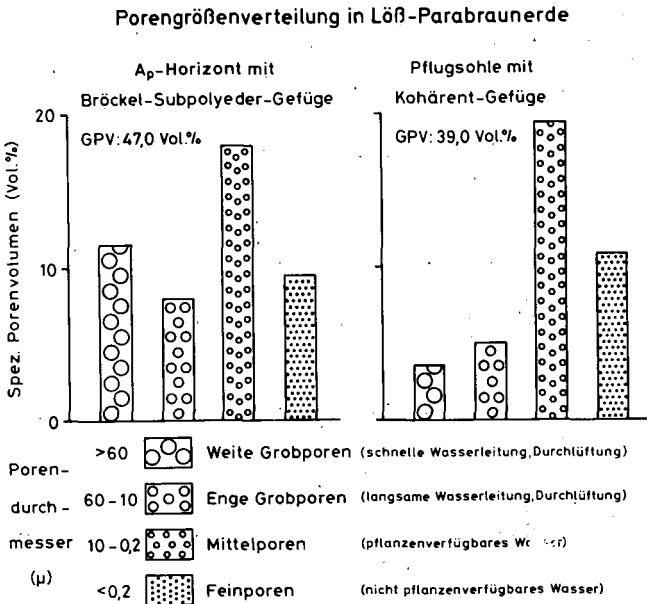


Abb. 3: Die Porengrößenverteilung im Ap-Horizont einer Löß-Parabraunerde und in einer Pflugsohle. Das spezifische Porenvolumen bezieht sich auf das Porenvolumen der angegebenen Porenklassen (Ehlers, unveröffentlicht)

Boden gespeicherte Wassermenge abnehmen und Starkregen können durch Oberflächenabfluß Erosion auslösen. Von Czeratzki (1972) sind die für das Pflanzenwachstum optimalen Porenvolumina in Ackerböden wie folgt angegeben worden: Sand 40, Lehm 45 und Ton 47 Vol. %. Die entsprechenden Luftkapazitäten (Luftgehalt bei 100 cm Wasserspannung) liegen bei 15, 10 und 12 Vol. %.

2.2. Gesättigte Leitfähigkeit

Durch Verdichtung werden in aggregierten Böden vor allem die groben Poren zwischen den Aggregaten zerstört und die gesättigte Leitfähigkeit nimmt über Potenzen ab (Abb. 4). Dabei ist die Effektivität der groben Poren für die schnelle Wasserleitung in dem schwach aggregierten Boden geringer als in dem gut aggregierten Boden.

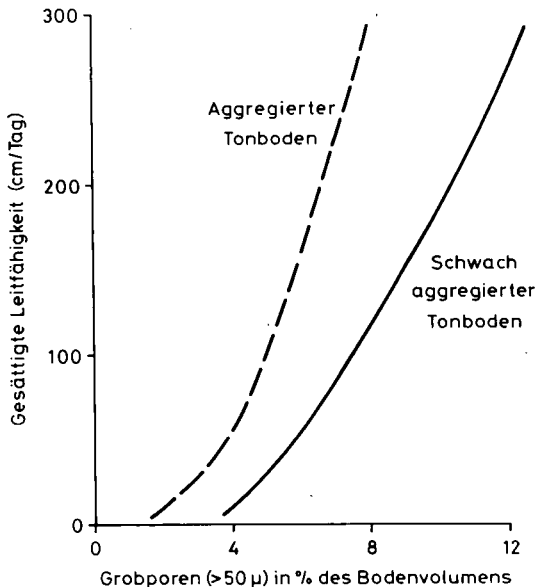


Abb. 4: Der Einfluß grober Poren (> 50 µ) auf die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit von zwei Tonböden (Bendixen et al., 1948; zitiert nach Warkentin, 1971)

Hartge (1961) fand, daß die gesättigte Leitfähigkeit verschiedener Böden in hohem Maße mit ihrem Anteil an Grobporen $> 50 \mu$ korrelierte. Im einzelnen konnte aber die Leitfähigkeit bei einem bestimmten spezifischen Volumen dieser 50μ -Poren höher oder niedriger als der Durchschnitt der Werte liegen. Er führte diese Abweichungen auf eine unterschiedliche Kontinuität der Poren zurück. In dem aggregierten Tonboden (Abb. 3) ist die Kontinuität der Poren $> 50 \mu$ offenbar größer als in dem schwach aggregierten Vergleichsboden.

2.3. Ungesättigte Leitfähigkeit

Auch im Bereich niedriger Saugspannungen (10 cm) korrelierte die (ungesättigte) Leitfähigkeit in Lössparabraunerde mit dem spezifischen Porenvolumen der noch mit Wasser gefüllten Grobporen mit einem Äquivalent-Porendurchmesser zwischen 60 und 300μ (Ehlers, 1977). Bei geringem spezifischen Porenvolumen (1 Vol. %) lag die ungesättigte Leitfähigkeit in der Pflugsohle (20-30 cm) um eine Zehnerpotenz niedriger als in den gepflügten Schichten darüber (Abb. 5), deren spezifisches Porenvolumen 4 bis 5 Vol. % betrug. Aus der relativ hohen Leitfähigkeit bei geringerem spezifischen Porenvolumen in langjährig nicht bearbeiteten Böden (Ap-Horizont)

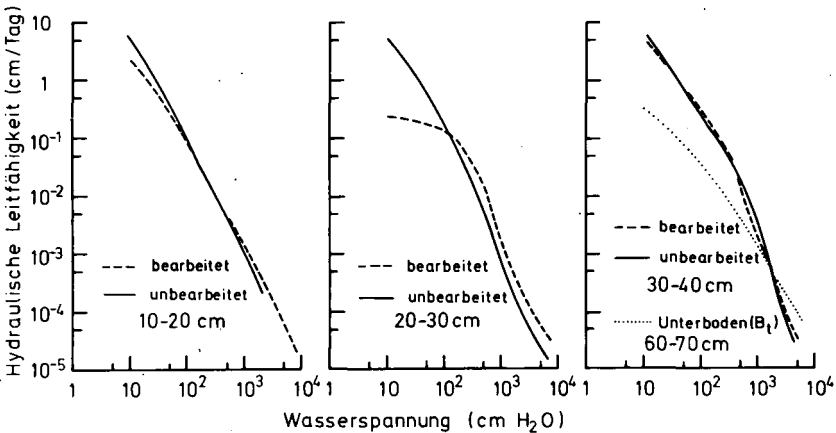


Abb. 5: Die Beziehung zwischen ungesättigter hydraulischer Leitfähigkeit und der Wasserspannung im Ap-Horizont (10-20 cm; 20-30 cm), A₁-Horizont (30-40 cm) und B_t-Horizont (60-70 cm) einer konventionell und einer langjährig nicht bearbeiteten Löss-Parabraunerde in Rosdorf (nach Ehlers, 1977)

und in den vom Pflug nicht getroffenen A_1 -Horizonten (30-40 cm; vgl. Abb. 5) konnte auf eine Erhöhung der Kontinuität in diesem Grobporenbereich bei ungestörter Lagerung geschlossen werden. Eine jährliche Bodenbearbeitung hingegen mindert die Kontinuität der Grobporen stets aufs neue.

2.4. Sauerstoffdiffusion

Der Koeffizient für die Diffusion im Boden (D_S ; scheinbarer Diffusionskoeffizient) - er wird häufig zum Koeffizienten in Luft (D_O) in Beziehung gesetzt - hängt von der Größe des luftführenden Porenraums E_L ab (Richter und Großgebauer, 1978; Frede et al., 1979). Werden im bearbeiteten Boden durch Verdichtung z.B. die Grobporen ($>30 \mu$) in ihrem Anteil von maximal 17,6 auf minimal 3,5 Vol. % reduziert, sinkt der gemessene relative Koeffizient D_S/D_O für Sauerstoff bei 100 cm Wasserspannung von $1,6 \cdot 10^{-2}$ auf $9,2 \cdot 10^{-5}$ (Abb. 6, linke Graphik). In dieser konventionell bearbeiteten Lößparabraunerde werden mit Abnahme von E_L insgesamt geringere D_S/D_O -Werte erreicht als in dem langjährig unbearbeiteten Vergleichsboden und im A_1 -Horizont beider Bearbeitungsvarianten (Abb. 6, mittlere und rechte Graphik). Mit einem Ansatz in Anlehnung an Frede (1981) kann nachgewiesen werden, daß der Unterschied im Kurvenverlauf auf die größere

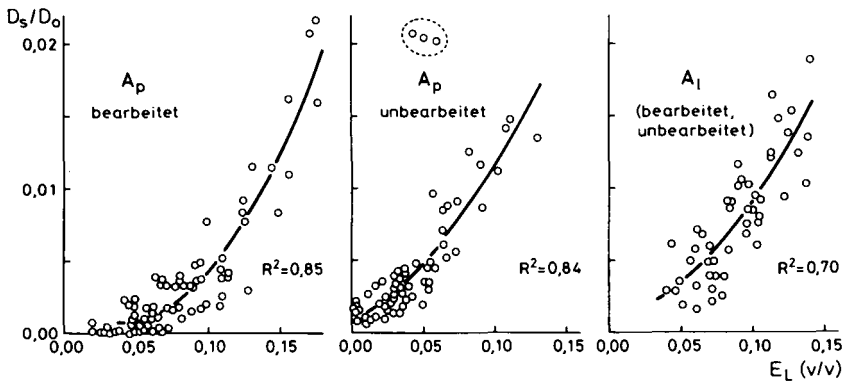


Abb. 6: D_S/D_O als Funktion von E_L in einer bearbeiteten und einer unbearbeiteten Löß-Parabraunerde in Rosdorf. Die Messungen wurden nach kapillarer Sättigung bei 10, 30 und 100 cm Wasserspannung durchgeführt. Die drei eingekreisten Werte stammen von einer Probe mit einem kontinuierlichen Regenwurmangang >8 mm im Durchmesser (Boone und Kroesbergen, 1982)

Kontinuität (geringere Tortuosität) der Poren $> 300 \mu$ im unbearbeiteten Boden zurückzuführen ist. Kleinere Grobporen ($100-300 \mu$ und $30-100 \mu$) dagegen zeigen für die Gasdiffusion keine deutlichen Unterschiede in der Kontinuität.

Nach einer Literaturlauswertung von Grable und Siemer (1968) liegen die für das Pflanzenwachstum kritischen D_s/D_0 -Werte im Bereich 0,005 bis 0,02. Unterhalb dieser Schwellenwerte reagieren die Pflanzen mit Wachstumsstörungen. Nehmen wir den unteren Wert als Bezugsbasis, dann dürfte im bearbeiteten Boden der luftführende Porenanteil nicht unter 11 Vol. % sinken, im unbearbeiteten Boden dürfte der Anteil dagegen bis auf 6 Vol. % abfallen.

2.5. Bodenwiderstand

Bei ihrem Längenwachstum müssen die Pflanzenwurzeln Verdrängungsarbeit leisten und den Bodenwiderstand überwinden. Dieser Bodenwiderstand - mit einem Penetrometer gemessen - steigt mit zunehmender Lagerungsdichte und abnehmendem Wassergehalt (Ehlers et al. 1982). Bodenverdichtungen können deshalb unmittelbar über den Bodenwiderstand das Wurzelwachstum behindern, mittelbar auch über einen mangelnden O_2 -Partialdruck. Ist das Tiefenwachstum der Wurzeln eingeschränkt, steht den Pflanzen das im Unterboden gespeicherte Wasser nicht voll zur Verfügung (Prihar et al., 1975) und auch die Nährstoffaufnahme bleibt auf den Bodenraum über der Verdichtungszone mehr oder weniger begrenzt. Je höher die Verdichtung im Bodenprofil anstand, desto stärker reagierte Baumwolle mit einem Ertragsabfall (Lowry et al. 1970).

In einem Feldversuch mit Hafer wurde eine schwache, doch signifikante Beziehung zwischen der "relativen Wachstumsrate der Wurzellänge" (cm Wurzellängenzuwachs pro cm Wurzellänge pro Tag; Tag^{-1}) und dem mit einem Penetrometer gemessenen Bodenwiderstand gefunden (Abb. 7). Im Ap-Horizont (0-25 cm) des bearbeiteten Bodens endete das Wurzelwachstum bei 3,6 MPa (36 bar), bei den vom Pflug und anderen Bearbeitungsgeräten nicht getroffenen Bodenschichten endete es aber erst bei 4,6 bis 5,1 MPa. Die große Kontinuität von nicht zerstörten Bioporen (Wurzelbahnen, Regenwurmgingen) ermöglichte den Wurzeln das Wachstum bei höheren Bodenwiderständen, da sie zum Teil die alten Poren erneut durchdringen konnten (Ehlers et al. 1982).

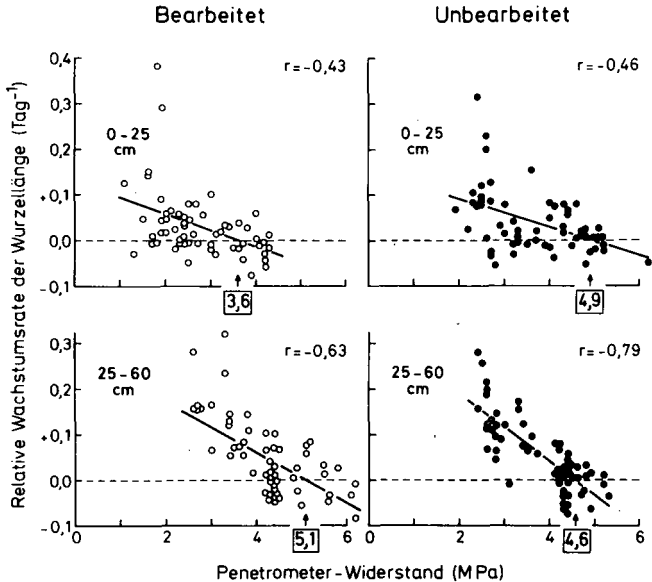


Abb. 7: Relative Wachstumsrate der Wurzellänge (Hafer) als Funktion des mit einem Penetrometer gemessenen Bodenwiderstandes im Ap-Horizont (0-25 cm) und im Unterboden (25-60 cm) einer bearbeiteten und einer nicht bearbeiteten Löß-Parabraunerde in Rosdorf (Ehlers et al. 1982)

2.6. Ertrag

Welches ist die optimale Lagerungsdichte des Bodens für das Pflanzenwachstum bei konventionellem Ackerbau? Sicherlich sollte der Boden nicht so dicht lagern, daß die Infiltration, die Durchlüftung und das Wurzelwachstum nachteilig eingeschränkt werden. Unterbodenverdichtungen mit Lagerungsdichten über ca. $1,55 \text{ g/cm}^3$ (Gesamtporenvolumen $< 41 \text{ Vol. } \%$) sollten nach unseren Erfahrungen auf Lehmböden vermieden werden (Ehlers et al. 1982). In der bearbeiteten Krume sind sowohl Überlockerungen wie auch Verdichtungen von Nachteil für das Pflanzenwachstum (Sommer et al., 1981). So erwärmt sich zwar ein lockerer Boden schnell, Infiltration und Durchlüftung sind optimal, doch in Trockenjahren mag die Wasserleitung zum Samen und der Kontakt Samen-Boden für die Keimung und auch die Wasserversorgung der Pflanze in der Jugendentwicklung nicht ausreichen. Die optimale Lagerungsdichte wird sich nach dem Standortklima und der nicht vorher-

sagbaren Jahreswitterung zu richten haben. In trockenen Jahren liegt die optimale Lagerungsdichte höher, in feuchten Jahren niedriger (Eriksson et al., 1974). Leichtere Böden zeigen sich toleranter gegenüber einer vom Optimum abweichenden Lagerungsdichte als Tonböden (Eriksson et al., 1974). Negi et al. (1981) erzielten auf einem sandigen Lehm den Maximalertrag von Silomais bei einer durchschnittlichen Lagerungsdichte des Ap-Horizontes von $1,37 \text{ g/cm}^3$, während sie bei einem Tonboden bei $1,145 \text{ g/cm}^3$ lag (Abb. 8). Abweichungen von der optimalen Lagerungsdichte ließen den Ertrag stärker beim Tonboden als beim sandigen Lehm sinken.

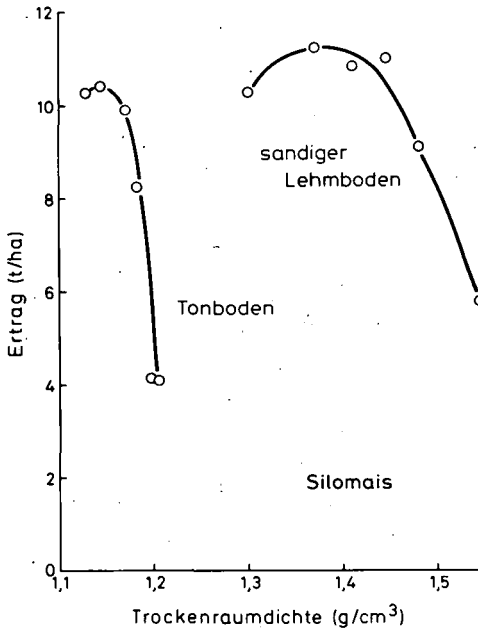


Abb. 8: Silomaisertrag in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte zweier unterschiedlich texturierter Böden (Negi et al. 1981)

3. Schlußbemerkung

Es konnte gezeigt werden, daß die Bedeutung des Bodengefüges für bodenphysikalische Gesetzmäßigkeiten bereits recht gut erforscht wurde. Erste quantitative Ansätze zur Beschreibung der physikalischen Funktionen in der Wurzelumwelt sind erkennbar. Für Transportprozesse in Ackerböden wie schnelle Wasserleitung und Gasdiffusion ist der Grobporenbereich sehr wichtig. Für die Funktion der Grobporen ist sowohl ihr Anteil am Bodenvolumen als auch ihre Kontinuität zu berücksichtigen.

Wegen der großen Komplexität und Interdependenz aller im Boden ablaufenden Prozesse werden die Beziehungen zwischen der physikalischen Funktion des Bodens und dem Pflanzenwachstum und dem Ertrag allerdings bei weitem noch nicht voll verstanden. Hier werden in Zukunft noch wichtige Forschungsergebnisse zu erbringen sein, um die Auswirkungen moderner Methoden der Landwirtschaft auf das Pflanzenwachstum in Gänze kausal erfassen zu können.

Literatur

- Bendixen, T.W., Hershberger, M.F. und Slater, C.S., 1948: A basis for classifying soil permeabilities. J. Agr. Res. 77: 157-168.
- Blake, G.R., Nelson, W.W. und Allmaras, R.R., 1976: Persistence of subsoil compaction in a Mollisol. Soil Sci. Soc. Am. J. 40: 943-948.
- Bolling, I. und Söhne, W., 1982: Der Bodendruck schwerer Acker-schlepper und Fahrzeuge. Landtechnik 37: 54-57.
- Boone, F.R. und Kroesbergen, J., 1982: Daten zur Sauerstoff-diffusion für drei Böden mit bearbeitungsfreiem Ackerbau (unveröffentlicht).
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 1971 und 1981: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Paul Parey, Hamburg und Berlin (1971). Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup (1981).
- Czeratzki, W., 1972: Die Ansprüche der Pflanzen an den physikalischen Bodenzustand. Landbauforschung Völkenrode 22: 29-36.
- Ehlers, W., 1977: Measurement and calculation of hydraulic conductivity in horizons of tilled and untilled loess-derived soil, Germany. Geoderma 19: 293-306.

- Ehlers, W., Köpke, U., Hesse, F. und Böhm, W., 1982: Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Tillage Res.* 2: Im Druck.
- Eriksson, J., Hakansson, I. und Danfors, B., 1974: The effect of soil compaction on soil structure and crop yields. Swedish Institute of Agricultural Engineering. *Bulletin* 354.
- Frede, H.-G., 1981: Die spezifische Porenkontinuität als Parameter der Bodenstruktur. *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.* 32 (Tagung Berlin): im Druck.
- Frede, H.-G., Böttcher, J., Meyer, B. und Severin, K., 1979: Gastransport und Gasproduktion in LÖSBöden. *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.* 29: 179-190.
- Grable, A.R. und Siemer, E.G., 1968: Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 180-186.
- Hartge, K.H., 1961: Die Erfassung der Kontinuität der groben Poren aus ihrem Anteil im Boden mit dem Permeabilitätskoeffizienten. *Z. Pflanzenernaehr. Düng., Bodenkde.* 94: 147-154.
- Hartge, K.H. und Sommer, C., 1981: Möglichkeiten zur Vermin- derung der Verdichtungsempfindlichkeit von Ackerböden. *Land- wirtsch. Forsch., SH* 37: 598-602.
- Lowry, F.E., Taylor, H.M. und Huck, M.G., 1970: Growth rate and yield of cotton as influenced by depth and bulk density of soil pans. - *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 306-309.
- Negi, S.C., McKyes, E., Raghavan, G.S.V. und Taylor, F., 1981: Relationships of field traffic and tillage to corn yields and soil properties. *J. Terramechanics* 18: 81-90.
- Prihar, S.S., Singh, P. und Gajri, P.R., 1975: Effect of simu- lated plow-sole on water uptake and yield of dryland-wheat. *Agron. J.* 67: 369-373.
- Richter, J. und Großgebauer, A., 1978: Untersuchungen zum Boden- lufthaushalt in einem Bearbeitungsversuch. 2. Gasdiffusions- koeffizienten als Strukturmaße für Boden. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkdl.* 141: 181-202.
- Soane, B.D., Blackwell, P.S., Dickson, J.W. und Painter, D.J., 1980/81: Compaction by agricultural vehicles: a review. II. Compaction under tyres and other running gear. *Soil Tillage Res.* 1: 373-400.
- Soane, B.D., Dickson, J.W. und Campbell, D.J., 1982: Compaction by agricultural vehicles: a review. III. Incidence and control of compaction in crop production. *Soil Tillage Res.* 2: 3-36.

Sommer, C., Rumm, E. und Alverdtler, Rud., 21: Die Wirkung der
Nachwirkungen starker Versäuerung auf die Fruchtbarkeit
den Pflanzenerträge. Kall-Sitzung, Bismarck, 1911, p. 110.

Wenkentin, B.F., 177: Effects of saturation and excess water
transmission of water in soils. "The Agricultural Chemistry and
Agricltural Engineers Transactions of the American Society of
Soils, St. Joseph, Missouri, 1911, p. 100.

Bedeutung der Bodentiere für Struktur und Gefüge-
bildung

von

Bauchhenß, J.*

Eine Bodenfläche von einem Quadratmeter einer Magerwiese im Nymphenburger Park in München, auf der wir die Faunenzusammensetzung, Artenverteilung, Biomasse und Produktionsleistung von Regenwürmern und Arthropoden mehrere Jahre untersucht haben, beherbergt ca. 23 000 Collembolen mit einer Biomasse von 11,4 g, 18 000 Milben mit einer Biomasse von 9,8 g, 800 Käfer und Käferlarven mit 8,4 g Biomasse, 550 Tausendfüßler mit 20,4 g Biomasse, 320 Ameisen mit 2,4 g Biomasse, 300 Asseln mit 4,2 g Biomasse, 240 Fliegenlarven mit 26,4 g Biomasse, 230 Spinnen mit 2,4 g Biomasse und 108 Regenwürmer mit 118 g Biomasse (vgl. BAUCHHENSS 1982).

Insgesamt wurden 43 550 Individuen mit einer Biomasse von 203,4 g/m² ausgezählt.

Nach Angaben von TISCHLER (1955) und DUNGER (1964) leben auf einem Quadratmeter Wiesenboden überdies durchschnittlich 4-7 Milliarden Enchytraeiden, Nematoden, Rotatorien, Gastrotreichen und Protozoen, Formen, die wir auf dieser Wiese nicht untersucht haben.

Der Tierbesatz der Wiese ist weit arten- und individuenreicher als ihr Bestand an Blütenpflanzen und Gräsern. Wenn man allein die ausgezählten Artengruppen berücksichtigt, leben durchschnittlich 4,3 Tiere auf einem Quadratzentimeter.

Eine derart dichte Tierbesiedlung im Boden hinterläßt deutliche Spuren. Die Tiere verändern und gestalten aktiv ihr Habitat. Die Art, wie sie das tun, wird von ihrer Lebensweise bestimmt.

*) Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau,
8000 München 19, Menzingerstr. 54.

Es lassen sich im wesentlichen 4 Lebensformengruppen unterscheiden.

Als erstes ist der aquatische Formenkreis zu nennen. Hierher gehören Protozoen, Gastrotrichen, Rotatorien, Turbellarien und Nematoden, Tiere, die den Wasserfilm und das Kapillarswasser im Boden bewohnen. Es sind Formen, deren eigentlicher Verbreitungsschwerpunkt im limnischen Bereich liegt. Dank spezieller Einrichtungen konnten sie die "Nische Boden" besiedeln, sind aber hier immer noch auf freies Wasser angewiesen.

Schon allein, weil sie in wechselfeuchten Mineralböden während der Trocken- und Hitzeperioden lange Zeit im Ruhezustand verharren, haben diese Formen nur geringen Anteil an der zoologischen Gesamtaktivität im Boden. In der Bodenstruktur hinterlassen sie keine nachhaltigen Spuren.

Umso deutlicher sind die Spuren, die die hemiedaphischen Formen hinterlassen.

Hier sind die Tiere der Streu-Mullschichten zusammengefaßt. Die Gruppe ist so vielgestaltig wie ihr Lebensraum. Wichtige Glieder sind: Enchytraeiden, kleine Regenwurmarten, Tausenfüßler, Spinnen, Milben, Collembolen, Insektenlarven, Käfer und Schnecken. Die Tiere zerkleinern den Bestandesabfall und wandeln totes Pflanzenmaterial über weit verzweigte Nahrungsketten in Humuspartikel um. Die Tiere verfestigen durch ihre Bewegungen zerkleinertes totes Pflanzenmaterial, verkleistern die Partikel mit Kot und schaffen so stabile Hohlraumsysteme, in denen sie leben.

Ganz andere Möglichkeiten zur Schaffung von Hohlraumsystemen haben die grabenden edaphischen Formen. Hierher gehören alle Tiere, die sich aktiv grabend im gewachsenen Boden fortbewegen können. Regenwürmer sind die bekanntesten Formen dieser Gruppe, aber auch verschiedene Insektenlarven, Staphyliniden und Carabiden gehören zu den grabenden Formen. Schließlich sind Wirbeltiere wie zum Beispiel Maulwurf und Mäuse dieser Gruppe zuzuordnen. Die grabenden Formen haben walzig-wurmförmige Körper, ohne auffällige äußere Gliederung und kurze Gliedmaßen.

Werkzeuge zum Graben und Fortbewegen im Boden sind schlauchförmig angeordnete Muskeln bei Regenwürmern, Mundwerkzeuge bei Käfern und Insektenlarven und Grabbeine bei Grillen, Maulwürfen und Mäusen.

Die Tiere schaffen nicht nur Röhren- und Wohnräume im Boden für sich selbst, sie geben auch anderen Bodentieren, die nicht selbst graben können, die Möglichkeit in verlassenen Hohlräumen zu leben und schaffen so Habitats für die Hohlraumbewohner.

Die Hohlraumbewohner rekrutieren sich im wesentlichen aus Gliedern der hemiedaphischen Formengruppe, die dank ihrer geringen Körpergröße und ihrer kugeligen, walzen- oder wurmförmigen Gestalt in der Lage sind, in Bodenklüften, Wurzelröhren und verlassenen Regenwurmgängen zu leben.

Hauptvertreter der Hohlraumbewohner sind Enchytraeiden, Oribatiden und Collembolen.

So, wie die Haftwassersysteme im Boden Besiedlungsnischen für aquatische Tiere sind, sind Hohlraumssysteme Nischen für hemiedaphische Formen. Die Tiere haben sich ihrer unterirdischen Lebensweise gut angepaßt. Während hemiedaphisch lebende Collembolen pigmentiert sind, lange Antennen und Gliedmaßen und einen gut ausgebildeten Springschwanz besitzen, haben Arten, die in edaphischen Hohlraumssystemen leben, kurze Antennen, kurze Gliedmaßen und einen reduzierten Springschwanz. Sie sind meist unpigmentiert. Hemiedaphisch lebende Oribatiden sind meist groß, stark chitiniert und haben häufig spitze Fortsätze am Chitinpanzer, während die Arten der Hohlraumssysteme klein, rund und schwach chitiniert sind. Auch hinsichtlich ihres Sauerstoffbedarfs, ihres Luftfeuchtigkeits- und Temperaturoptimums und ihres Nahrungsbedarfs haben sich die Hohlraumbewohner ihrem Lebensraum angepaßt.

Die Tiere sind, auch wenn sie selbst nicht graben können für Bodenstruktur und Gefügebildung äußerst wichtig, weil sie vorgegebene Hohlräume durch "Sekundärstrukturen" verfestigen, ausbauen und überformen können.

Im Folgenden soll nun der Anteil der Regenwürmer, als Vertreter der grabenden edaphischen Formengruppe und der Collembolen,

als Vertreter der Hohlraumbewohner, an der Struktur- und Gefügebildung im Boden beschrieben werden.

Auf einem Acker bei Ingolstadt, der seit 8 Jahren nicht mehr gepflügt wurde, wurden bei einem Regenwurmbesatz von durchschnittlich 30 Individuen und durchschnittlich 66 g Biomasse/m² 90 Regenwurmröhren/m² ausgezählt. Der Rauminhalt dieser Röhren beträgt etwa 0,5 % des Bodenvolumens. Die Röhren verlaufen bis in ca. 60 cm Tiefe senkrecht nach unten. Dann verzweigen sie sich oder verlaufen waagrecht weiter.

Die hohe Zahl der Regenwurmröhren ist mit Sicherheit ein wesentlicher Faktor für die Wasserführung, Durchlüftung und Lockerung und damit für die Fruchtbarkeit des seit Jahren nicht mehr gepflügten Lößlehmbodens.

Setzt man eine ähnliche Grabaktivität der Tiere voraus, dann sind bei einer Regenwurmbesiedlung von durchschnittlich 178 Individuen und einer Biomasse von 155 g/m² auf einer Wiese bei Kempten sogar 2 - 3 % des Bodenraumes von Regenwurmröhren durchzogen.

Die Wandungen eines Regenwurmanges sind durch häufiges Befahren abgeglättet und mit vielfachen Schleimschichten imprägniert. Die wellige, quergeringelte Innenfläche wird durch die Muskelkontraktionen der Tiere beim Befahren des Ganges geprägt. Werden die Röhren nicht mehr befahren, bleiben sie je nach Bodentyp längere Zeit fossil erhalten und können als Durchwurzelungsräume und Habitate für Hohlraumbewohner dienen.

Im Lößboden des oben beschriebenen Versuchsfeldes sind mehr als 50 % der Regenwurmröhren fossil. Die Wandauskleidung aus schleimverkleisteten Mineralboden, die sich nur langsam plattig löst, hält, dies läßt sich aus dem Verhältnis des Regenwurmbesatzes zur Zahl der Regenwurmröhren schließen, diese mehrere Jahre lang stabil.

Beim Graben durchmischen Regenwürmer den Boden. Die Tiere dringen mit ihrem durch die Kontraktion der Ringmuskulatur dünn gewordenen Vorderende in Klüfte und Poren ein. Dann verdicken sie durch Kontraktion der Längsmuskulatur das

Vorderende und drücken das Bodenmaterial beiseite. Dadurch schaffen sie eine Art Turbulenz, die den Boden in Bewegungsrichtung aufwirft und verfrachtet.

Diese mechanische Durchmischung ist besonders bedeutend für das Einmischen von Mineralboden in den Humushorizont des Waldes.

Auf die spezielle Form und Struktur der Regenwurmlosung haben bereits viele Autoren aufmerksam gemacht. Im Regenwurm-darm vermischen sich aufgenommene Mineralbodenteile mit verdaute und teilweise verarbeiteten Pflanzenpartikel und Darmsekreten zu einem Konglomerat, das nach Verlassen des Darmes schnell erhärtet und durch die beigemengten Darmsekrete längere Zeit eine stabile krümelige Konsistenz behält. *Lumbricus terrestris*, *Allobophora terrestris* und einige weitere große Arten geben ihren Kot an der Erdoberfläche ab.

Nach EDWARDS und LOFTY (1977) bringen auf diese Weise Regenwürmer auf einer Wiese im Jahr 2 - 250 t Unterboden/ha an die Bodenoberfläche. Dadurch entsteht jährlich eine Regenwurm-kotschicht von 1 - 50 mm Mächtigkeit. Alte Wiesenflächen sollen dadurch einen steinfreien Oberflächenhorizont von 1 - 15 cm Mächtigkeit bekommen können. Nach GRAFF (1971) werden auf einer Wiese in Solling pro Quadratmeter 1 kg Regenwurm-kot im Jahr an die Bodenoberfläche abgegeben.

Kleinere Regenwurmartens deponieren ihre Losung in Bodenhöhlräumen und in ihren Wohnröhren. GRAFF (1971) fand auf der oben zitierten Wiese in Solling ca. 24,8 kg Regenwurm-kot pro Quadratmeter im Ober- und Unterboden. Durch die Kotabgabe im Bodenbereich können Regenwürmer beachtliche Mengen organischen Materials in den Mineralboden einmischen.

Aber auch die großen Regenwurmartens tragen zur Einmischung von organischem Material in den Boden bei, in dem sie Gras und Strohhalme und andere Pflanzenreste in ihre Röhren ziehen. Dadurch können auf gut besiedelten Ackerflächen im Jahr mehrere Tonnen Ernterückstände pro Hektar in den Boden eingearbeitet werden. So entstehen günstige Ernährungsvoraussetzungen für die Bodenmikroflora und für die bodenhohlraum-

bewohnenden Tiere.

Für hohe Populationsdichten bei Bodenhohlraumbewohnern ist das Vorhandensein von Großsporen und ein hinreichendes Nahrungsangebot unerlässlich.

Die Tiefenverteilung der Hohlraumbewohner ist mit der Verteilung der Großsporen im Bodenprofil positiv korrelierbar. In lockergelagerten Rendzinen ist eine Besiedlung bis zum C-Horizont ohne wesentliche Abnahme der Individuen- und Artenzahlen möglich. In dichter Sandbraunerde nimmt die Besiedlungsdichte und die Artendichte nach unten kontinuierlich stark ab. Dies ist in Ackerböden stärker ausgeprägt, als in Waldböden, in denen Wurzelgänge und Regenwurmröhren die Besiedlung tieferer Schichten ermöglichen (vgl. BAUCHHENSS u. DANCAU 1977).

Hohes Nahrungsangebot in Bodenhohlräumen wirkt besiedlungsfördernd. In einem dichten Pseudogleyboden bei Ottenhofen fanden sich in einem fossilen Humushorizont in ca. 45 cm Tiefe noch hohe Individuen- und Artenzahlen bei Collembolen und Oribatiden. An Stellen ohne diese Humusschicht ist die Besiedlung in dieser Tiefe nur gering (vgl. BAUCHHENSS u. DANCAU 1977).

Wie die grabenden edaphischen Bodentiere Wohnraum- und Futterangebot für Hohlraumbewohner positiv beeinflussen können, wurde oben am Beispiel der Regenwürmer erläutert. Aber auch durch Bodenschrumpfung und mechanische Bodenbearbeitung entstehen Klüfte und Hohlräume als Wohnhöhlen und eingepflügte Pflanzenreste und organischer Dünger können die Nahrungsverhältnisse verbessern.

Fressen und Kotabgabe sind die wesentlichen Organismen für die Gefüge- und Strukturbildungen durch Bodenhohlraumbewohner.

In unsere Collembolenzucht geben wir, um Kondenswasserbildung zu vermeiden, Quarzsand mit einer Körnung von 1 mm. Der Sand wird ca. 7 mm hoch auf dem Boden des Zuchtgefäßes aufgeschüttet. Nach etwa 4 Wochen ist dieser Sand durch Collembolenkot so verklebt, daß das Gefäß gestürzt werden kann, ohne daß der Sand herausfällt. Es ist aber kein kompaktes Gebilde aus Sand und Kot entstanden sondern ein Röhrensystem in dem die Tiere optimale Lebensbedingungen vorfinden: 100 % rel. Luftfeuchtigkeit, enge Höhlen, in denen sich die positiv digmotaktischen

Tiere gerne aufhalten und geschützte Nischen zur Eiablage. Collembolen geben ihre Losung regellos auf das jeweilige Substrat ab. Zur Kotablage werden auch die in den Boden eingebrachten Pflanzenreste, von denen die Tiere fressen und auf die sie auch ihre Eier ablegen, benutzt. Die Losung trocknet schnell ab, bindet lose Mineralpartikel und zementiert sie zusammen. Dadurch entstehen Aggregate von Collembolenkot und Mineralpartikeln, die ihrerseits wieder in engem Kontakt mit dem in den Boden eingebrachtem organischem Material stehen.

Da die positiv digmotaktischen Collembolen sich zusammenrotten und in ihren Höhlensystemen gern in Wandkontakt leben, entstehen regelrechte Laufgangsysteme aus organischem Nahrungssubstrat, Kot und Mineralpartikeln. Diese Strukturen sind schon makroskopisch an ihrem korallenstockartigem Aussehen zu erkennen. Sie füllen oft Bodenhohlräume und Regenwurmgänge vollkommen aus und bilden stabile Formen, die nach Einschwemmung von feinem Mineralbodenmaterial auch noch fossil zu erkennen sind.

Dank:

Fräulein Susanne Herr danke ich für ihre Mitarbeit bei der Artbestimmung und der Biomasseermittlung bei Lumbriciden und bei den statistischen Berechnungen.

Literatur:

- BAUCHHENSS. J. 1982: Artenspektrum, Biomasse, Diversität und Umsatzleitung von Lumbriciden (Regenwürmer) auf unterschiedlich bewirtschafteten Grünlandflächen verschiedener Standorte Bayerns. Bayer. Landw. Jahrbuch 59, 119 - 124
- BAUCHHENSS, J. u. B. DANCAU 1977: Die Collembolen- und Oribatiden-Taxozönosen einiger Böden in Süddeutschland. Berichte der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde, ed. R. TÜXEN. 1976: Vegetation und Fauna XVI, 49 - 61.
- DUNGER, W. 1964: Tiere im Boden. Wittenberg-Lutherstadt 265 S.

- EDWARDS, C.A. u. I.R. LOFTY, 1977: Biology of Earthworms.
2.ed. London.
- GRAFF, O. 1971: Stickstoff, Phosphor und Kalium in der
Regenwurmlösung auf der Wiesenversuchs-
fläche des Sollingprojekts. IV. Collo-
quium Pedobiologiae, Ann. Zool. Ecol.
Animal. No. hors série 503 - 511.
- TISCHLER, W. 1955: Synökologie der Landtiere. Stuttgart,
414 S.

Der Einfluß der Aggregierung auf die Druckfortpflanzung
im Boden

von
Horn, R.⁺

1) Einleitung

Die Frage nach der mechanischen Belastbarkeit von Böden ist im Zeitalter ständig steigender Schlepperleistungen und -gewichte vor allem für die Landwirte von immer größer werdender Bedeutung. Denn das Ziel ihrer Feldarbeit ist die Herstellung von für die Pflanzen optimalen Standortverhältnissen im gesamten Bodenaufbau. Diese Standortbedingungen herzustellen ist zwar technisch machbar, doch können die bei der Bearbeitung auftretenden Flächenbelastungen wiederum dazu führen, daß in Abhängigkeit von dem vom Boden mobilisierbaren Scherwiderstand die an der Bodenoberfläche einwirkenden Normalspannungen zu einer Wiederverdichtung des Bodens führen und damit die Standorteigenschaften für Pflanzen verschlechtern.

Während Untersuchungen über die Bedeutung der Körnung für die Druckfortpflanzung bereits durchgeführt worden sind (Fröhlich, 1934, Barnos et al., 1971), sind die Prozesse, die bei der Druckfortpflanzung in aggregierten Böden ablaufen, bisher noch weitgehend unerforscht und wurden daher näher untersucht.

2) Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an Bodenproben durchgeführt, die sich vor allem im Hinblick auf ihre Aggregierung unterscheiden. Al und B_(g)t sowie B_gt Proben entstammen [±] pseudovergleyten Parabraunerden aus Löß, während die Proben aus dem Cg Horizont das Ausgangsgestein einer Schwarzerde aus Löß charakterisieren. Die Proben des B_ga Horizontes sind aus einem Pseudogley-Pelosol aus Lias-Ton entnommen. Die Bodenproben wurden als Zylinderproben (250 cm³) bzw. als Bodenmonolithen (0,0013 m³) sowohl in natürlichem Zustand entnommen als auch makroskopisch homogen in die Zylinder bzw. Monolithen wieder eingefüllt, und nach Bewässerung (Anstau bei 0 mbar) auf 60 bzw. 300 mbar entwässert. Die der allgemeinen Charakterisierung dienenden physikalischen und chemischen Daten der untersuchten Böden sind bei Horn (1981b) beschrieben.

⁺ Lehrstuhl Bodenkunde und Bodengeographie, Universität Bayreuth, Postfach 3008, 8580 Bayreuth

An den Bodenproben wurde

- 1) das Drucksetzungsverhalten ermittelt und daraus die Vorbelastung nach dem Verfahren nach Casagrande (zit. bei Horn, 1981a) bestimmt, sowie die bei Belastung durch eintretende Setzung im Boden induzierte Wasserspannungsänderungen registriert, und
- 2) die Druckfortpflanzung bei unterschiedlichen vertikalen Normalspannungen ermittelt und daraus die Konzentrationsfaktoren V_K nach Newmark (zit. bei Horn, 1981b) berechnet.

3) Ergebnisse und Diskussion

In Abb. 1 sind die aus dem Verlauf der Drucksetzungskurven bestimmten Werte der Vorbelastung dargestellt. Man erkennt, daß steigende Aggregierung ebenso wie bzw. in Verbindung mit einer gleichzeitig verstärkten Entwässerung von 60 auf 300 mbar zu einer Zunahme der Vorbelastung führt und damit auch die Setzung erst nach Überschreitung dieses Wertes ein größeres Ausmaß annimmt. Hierbei ist bei den im gestörten Zustand behandelten Bodenproben der Wert der Vorbelastung betragsmäßig gleich dem der Vorentwässerung, während in den natürlichen Bodenproben bei insgesamt höheren Werten für die Vorbelastung der Einfluß der Aggregierung auf den Übergang von der Wiederverdichtungskurve auf die Erstverdichtung deutlich wird.

Dieser aus den Unterschieden in der Aggregierung resultierende Stabilitätsgewinn zeigt sich auch in den Konzentrationsfaktoren, die in Abb. 2 dargestellt sind. Während in den im gestörten Zustand belasteten Bodenproben versuchsbedingt die Konzentrationsfaktoren mit steigender Auflast nicht mehr ermittelt werden konnten, zeigen die an in natürlicher Lagerung belasteten Bodenproben ermittelten Ergebnisse, daß nach Überschreitung des Wertes der Vorbelastung die Konzentrationsfaktoren zuerst deutlich ansteigen und nach Durchlaufen des Kurvenmaximums die Werte der Konzentrationsfaktoren (nach Beendigung der Setzung) mit steigender Auflast wieder absinken, wobei diese Abnahme bei gleicher Vorentwässerung, z.B. von 60 mbar, mit steigender Aggregierung geringer wird, wie der Vergleich C_g (koh) und B_{gt} (pol) deutlich macht. Außerdem führt eine Erhöhung der Vorentwässerung von 60 auf 300 mbar in Abhängigkeit vom Aggregierungsgrad und dem jeweiligen Tongehalt zu geringeren Werten.

Als Ursache für die Inkonstanz der Werte für die Konzentrationsfaktoren ist die durch Setzung bedingte Porengrößenumverteilung und damit einhergehende Wasserbewegung und -umverteilung anzusehen. Denn die auf die flüssige Phase im Boden übertragene Spannung führt, wie in Abb. 3 dargestellt ist, dazu, daß durch Aufhebung der Wassermenisken Wasser freigesetzt wird und dieses freigeprägte Was-

ser bei niedriger Auflast in neu geschaffene, engere, noch luftgefüllte Hohlräume abgeführt wird und dort wieder durch Bildung neuer Wassermenisken über eine Erhöhung der Wasserspannung zur weiteren Stabilisierung des Bodens beiträgt. Nach Auffüllung auch dieser Poren mit Wasser steigen dann die Porenwasserdrucke in Abhängigkeit von der Aggregierung, der Wasserleitfähigkeit und dem Vorentwässerungsgrad mit der Auflast deutlich an und führen dazu, daß bei Auflasten, die über den Wert der Vorbelastung hinausgehen, der durch freigeprägtes Wasser instabiler gewordene Boden stärker verdichtet wird. Da hiermit die Kornkontaktzahl und der Scherwiderstand ansteigt, kann nach Abschluß der Setzung der Bodendruck auf engerem Raum kompensiert werden, was sich anhand der mit der Auflast abnehmenden Konzentrationsfaktoren nachweisen läßt.

Literatur

BARNES, K.K. et al., 1971: Compaction of agricultural soils. ASAE Monograph.

FRÖHLICH, O.K., 1934: Druckverteilung im Baugrund. Wien, Springer Verlag.

HORN, R., 1981a: Eine Methode zur Ermittlung der Druckbelastung von Böden anhand von Drucksetzungsversuchen. Z. Kulturt. und Flurber. 22, 20-27

HORN, R., 1981b: Die Bedeutung der Aggregierung von Böden für die mechanische Belastbarkeit. Schriftenreihe des Fachbereichs Landschaftsentwicklung der TU Berlin, H. 10, 200 S., ISBN 3 7983 0792 X.

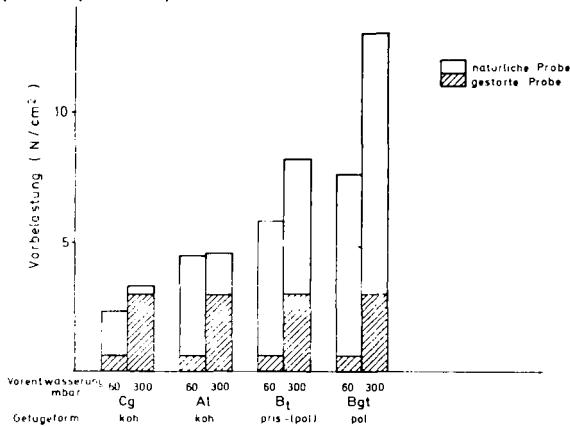


Abb.1: Einfluß der Aggregierung und/oder der Vorentwässerung auf den Wert der Vorbelastung

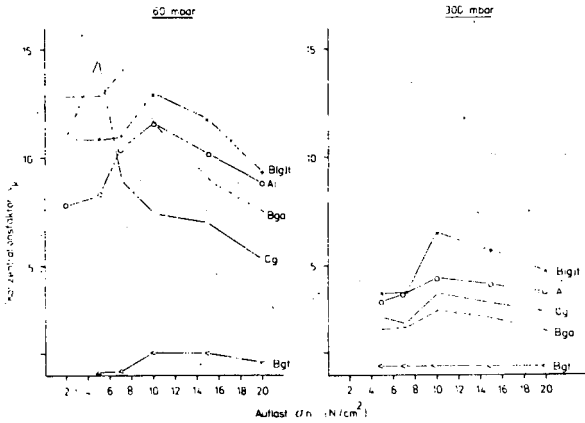


Abb. 2: Beziehung zwischen den errechneten Konzentrationsfaktoren V_K (n. Newmark) und der Auflast nach Vorentwässerung auf 60 bzw. 300 mbar.

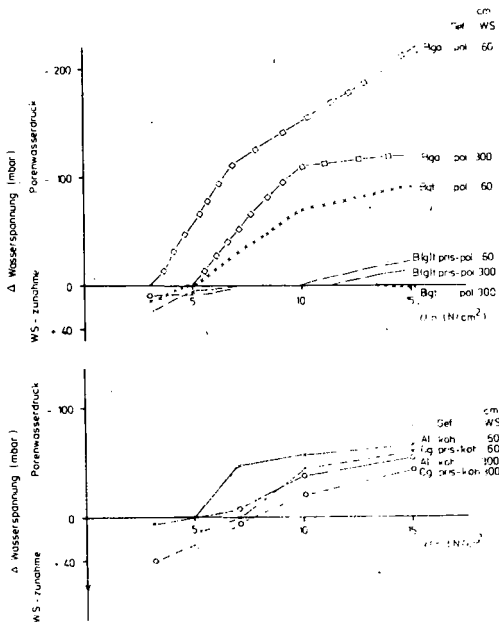


Abb. 3: Maximale Wasser-spannungsveränderung (mbar) als Folge der Belastung (σ_n) in Abhängigkeit von dem Aggregierungsgrad und der Vorentwässerung.

Auswirkungen der Gefügegeometrie auf den
Wuchs von Getreidekeimlingen

von

Bohne, H.⁺ und Hartge, K.H.⁺

In der Vergangenheit hat sich immer wieder gezeigt, daß Gefügemeliorationen, meist Lockerungsmaßnahmen, keinen nachhaltigen Erfolg haben. Das gelockerte Gefüge sackt im Verlauf der Kulturarbeiten wieder auf sein ursprüngliches Niveau zurück. Die Aufrechterhaltung eines gelockerten Zustandes ist nur dann möglich, wenn entweder die Belastung vermindert oder die bodeneigenen Widerstände verstärkt werden. Die hier beschriebenen Versuche sollen zeigen, ob darüberhinaus im Bereich geometrischer Ausrichtungen von Lockerungsvorgängen Chancen für eine höhere Stabilität des gelockerten Gefüges liegen.

Theorie:

Die Fortpflanzung in den Boden eingeleiteter Kräfte erfolgt nicht nach allen Seiten gleichförmig. Wegen der Scherwiderstände zwischen Bodenpartikeln kommt eine anisotrope Verteilung zustande, bei der die Spannung rechtwinklig zur Einleitungsrichtung im Minimum ist, solange es sich um erstmalige Belastungen handelt. Aufgrund dieser anisotropen Spannungssituation im Boden ($\sigma_1 > \sigma_3$) sind die Auswirkungen einer Last auf die Poren abhängig von deren Orientierung in der Matrix. Auf Poren mit horizontaler Ausdehnung wirkt bei senkrechter Krafteinleitung die größte Hauptspannung ein und führt zu einer Komprimierung des Hohlraumes in seinem ganzen Durchmesser. Vertikal orientierte Poren werden bei senkrechter Krafteinleitung nur verkürzt. Eine vollkommene Zerstörung einer vertikal angeordneten Pore müßte durch eine seitlich einwirkende Kraft erfolgen, hier tritt aber nur die kleinere Hauptspannung (σ_3) in Erscheinung (Abb. 1). Deshalb müßten senkrechte Schlitze, röhrenförmige und andere senkrecht orientierte Poren durch Belastung von oben weniger komprimiert werden als waagrecht orientierte.

⁺Inst. f. Bodenkunde, Herrenhäuser Str. 2, 3000 Hannover 21

Um die tatsächlichen Auswirkungen der beschriebenen Kraftverteilung zu untersuchen, wurden Kompressions- und Keimungsversuche mit Proben durchgeführt, die sich nur hinsichtlich der Orientierung der Poren im Gefüge unterschieden.

Versuchsdurchführung und Material

Böden: Es wurden zwei Böden verwendet: Liaston (51,6 % Ton, 35,9 % Schluff, pH (n/50 CaCl₂) 7,5, org. C 0,4 %) aus dem B_g-Horizont eines Pseudogley-Pelosol, sowie Löss (24,2 % Ton, 73,8 % Schluff, pH (n/50 CaCl₂) 5,9, org. C 0 %) aus dem B_t-Horizont einer Parabraunerde.

Beide Böden wurden getrocknet, auf < 2 mm gemahlen und mit entsalztem Wasser zu einer Paste verknetet. Mit der Strangpresse wurden aus der homogenisierten Bodenpaste kreisrunde Stränge mit 1 cm Durchmesser hergestellt. Stücke dieser Stränge wurden entweder senkrecht oder waagrecht in Metallzylinder (h = 60 mm, d = 33 mm) eingebaut.

Kompressionsverfahren: Mit den in der beschriebenen Art hergestellten Proben wurden undränierter, seitlich begrenzte Kompressionsversuche durchgeführt. Die höchste Laststufe betrug etwa 700 cN/cm². Um Wasserverluste während der Versuche einzuschränken, waren die Proben in dünne Kunststoffbeutel eingepackt.

Keimungsversuche: Im Anschluß an die Komprimierung wurden mit den Proben aus Tonsträngen Vegetationsversuche durchgeführt. Hierzu wurden auf die Oberfläche der Proben in den Zylindern (51 cm²) 50 Roggenkörner ausgelegt, mit ca. 2 cm reinem Sand (0,2-1mm) bedeckt und mit 10 cm³ Wasser angefeuchtet. Danach wurden die Proben nicht weiter gewässert. Sproß- und Wurzelwachstum wurde während der Versuche durch Längenmessung und nach Ende durch Wägung bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

Kompressionsversuche: Die Proben mit vertikal angeordneten Poren wurden in geringerem Ausmaß verdichtet als die mit horizontal angeordneten Poren (Tab. 1). Dabei wurde die Verdichtungsempfindlichkeit der Proben aus Löss durch die vertikale Porengeometrie stärker herabgesetzt als die der Tonproben.

Keimungsversuche: In den Proben mit waagrecht angeordneten Poren lief die Saat später und mit einer geringeren Keimzahl auf als bei der Gefügegeometrie mit senkrechten Poren. Dieser Wachstumsvorsprung blieb zunächst erhalten. Da während des Wachstums keine Wasserzufuhr erfolgte, begannen die Pflanzen zu welken. Dabei welkten die Pflanzen bei senkrechter Porenorientierung früher als bei waagrecht angeordneten Poren (Abb. 2). Dagegen wird das Wurzelwachstum durch die senkrechte Porengeometrie offensichtlich begünstigt (Tab. 2). Auch in der Art der Wurzel Ausbildung traten Unterschiede auf. Die Gefäße mit senkrecht angeordneten Poren waren bis zum Gefäßboden mit Wurzeln durchwachsen, die Wurzeln selbst wiesen viele Wurzelhaare auf. Bei der waagrechten Porengeometrie konzentrierten sich die Wurzeln auf den oberen Bereich des Gefäßes. Senkrechte Orientierung der Poren hatte also gegenüber den waagrecht nicht nur die Stabilität gegen Komprimierung erhöht, sondern auch eine schnellere Ausnutzung des gegebenen Wasservorrates ermöglicht.

Die Ergebnisse werden in ausführlicher Form in der Zeitschrift f. Kulturtechnik publiziert.

Tabelle 1

Veränderung der Porenziffer (ϵ) nach einer Belastung

Belastung $K \cdot cm^{-2}$	Poren vertikal			Poren horizontal		
	ϵ_{Anf}	ϵ_{Ende}	$\Delta \epsilon \%$	ϵ_{Anf}	ϵ_{Ende}	$\Delta \epsilon \%$
Ton 1,02	1,13	0,94	16,81	1,19	0,92	22,69
Löß 0,70	1,00	0,79	21,00	0,95	0,64	32,63

Tabelle 2

Sproß- und Wurzelgewichte [g] von Roggenkeimlingen (Ton)

	Sprosse frisch	Sprosse lufttr.	Wurzeln lufttr.
Poren vertikal	0,433	0,405	0,131
Poren horizontal	0,391	0,346	0,080

Abbildung 1

Spannungsverteilung und Porengeometrie

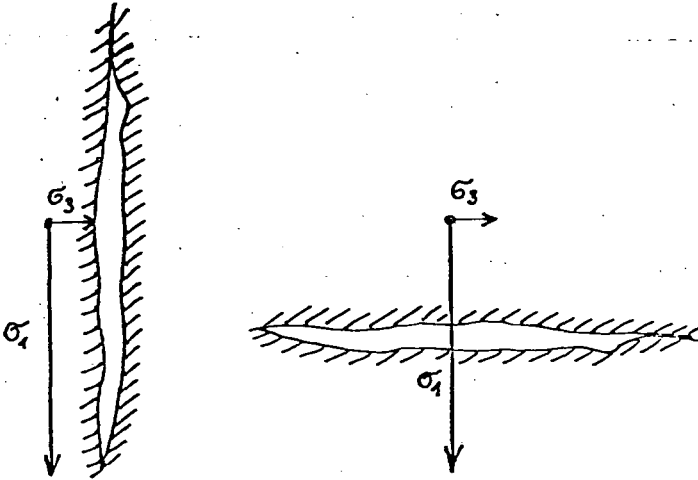
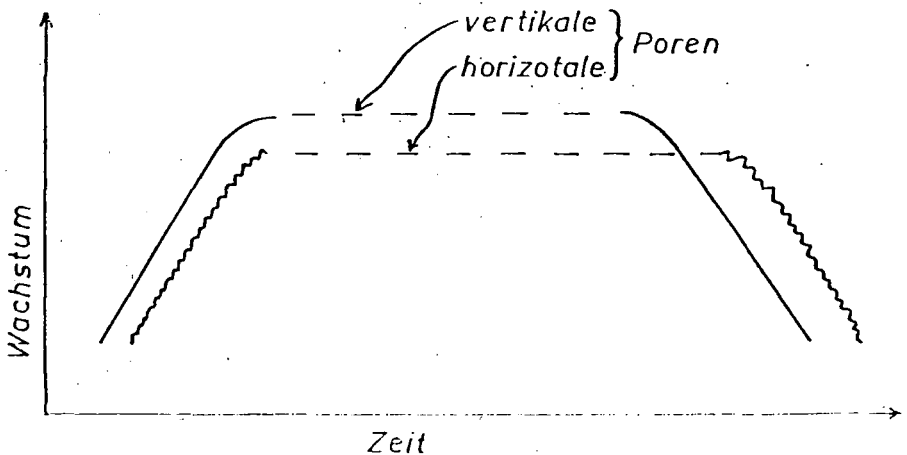


Abbildung 2

Wachstumsverlauf von Roggenkeimlingen



Spatendiagnostische Untersuchungen an der
Krume von Lößböden

von

Diez, Th.*

Wird der Pflanzenbauberater gerufen, um die Ursache irgendwelcher Wachstumsstörungen an Pflanzenbeständen herauszufinden, so kann er rätseln, ob es sich um einen Nährstoffmangel, eine Pflanzenkrankheit oder einen Bodenstrukturmangel handelt. Da in der Regel Eile geboten ist, bedarf es, um einen Strukturmangel zu diagnostizieren einer einfachen, im Gelände zu handhabenden Methode.

Eine solche einfache Methode wurde von Görbing bereits vor dem 2. Weltkrieg entwickelt. Sein Werkzeug war der Spaten, seine danach benannte Methode die "Spatendiagnose". Es ist erstaunlich, daß diese einfache, sehr aufschlußreiche Methode fast völlig in Vergessenheit geriet, zumal ihr Versprechen, Gefügeschäden schnell diagnostizieren zu können heute gefragter ist denn je. Görbing kannte auch die komplizierten Gerätschaften der Bodenphysik. In seinen "Grundlagen der Gare im praktischen Ackerbau" schreibt er: "Auch ich benutzte zunächst die manigfachsten Geräte, wie sie die Bodenkunde uns zur praktischen Anwendung bot, so die verschiedenen Bodenbohrer, Probenstöcke, Bodensonden, Probenzylinder, wie man sie zur Bestimmung der Wasser- und Luftkapazität gebraucht. Es zeigte sich aber, daß alles dies nicht genügte, die Erscheinungen zu erfassen, auf die es ankam." (GÖRBING, 1947).

Worauf es Görbing ankam, war eine Diagnose des Bodenstrukturzustandes unter pflanzenbaulichen Gesichtspunkten. An seine Methode anknüpfend, haben wir in den letzten Jahren begonnen, Struktur-schäden mit dem Spaten zu diagnostizieren, ihren Ursachen nachzugehen sowie ihre Beständigkeit und ihre Wirkung auf das Pflanzenwachstum zu verfolgen.

*) Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau,
Menzingerstraße 54, D-8000 München 19

Wir beschränkten uns zunächst auf die am weitesten verbreiteten Lehmböden mit ihren Aggregatgefügen, für die uns - im Sinn der gebotenen Einfachheit (in Anlehnung an GÖRBING) - vier Grundformen ausreichend erscheinen.

Schema zur vereinfachten Ansprache der Bodenstruktur im Gelände

1 Krümelstruktur a) biologisch b) mechanisch	hohlraumreiches, lockeres Feingefüge; Aggregate <3 mm
2 Bröckelstruktur a) <1 cm b) >1 cm	schwach aggregiert, locker, bei Druck leicht zerfallend in unregelmäßig geformte Aggregate
3 Polyeder-, Subpolyeder-, Schollen-, Prismenstruktur a) <1 cm b) 1 - 5 cm c) >5 cm	scharf ausgeprägte Aggregate, meist in mehreren Größenordnungen vorkommend, z. B. 3ba
4 Plattenstruktur a) <1 cm dick (porös) b) >1 cm dick (dicht)	horizontal geschichtete, plattige Aggregate

Die pflanzenbauliche Wertigkeit sinkt von 1 nach 4 und - bei der Unterteilung nach Aggregatgrößen - von a) nach b) bzw. c). Bei der Krümelstruktur wird unterschieden zwischen dem durch Mikroorganismen biologisch verbauten Gefüge (1 a als Idealzustand, Inbegriff der Gare) und dem durch Bearbeitung hergestellten Feingefüge (1 b). Als zusätzliche diagnostische Merkmale werden die folgenden Parameter benutzt.

Zusätzliche diagnostische Merkmale für

Durchlüftung		Durchwurzelung	
gut	schlecht	gut	schlecht
Wurmrohren	Reduktionsfarben	tief	flach
Wurzelrohren	Geruch	intensiv	ungleichmäßig
Spalten	vertorfte organ. Reste Krusten	gleichmäßig	(bevorzugt auf Klüften und Schichtgrenzen)

Vorgehensweise und Aussagekraft spatendiagnostischer Untersuchungen werden an nachstehenden Beispielen demonstriert (im Vortrag mit Dias).

1. In der Vegetationsperiode 1980 häufig auftretende Wachstumsstörungen bei Mais konnten mit Hilfe der Spatendiagnose eindeutig als Strukturschäden erkannt werden. Sie waren besonders auf Lößböden in Betrieben mit mehr als 50 % Silomais und entsprechend großem Gülleanfall verbreitet, erkennbar an grobpolyedrischer Struktur, Reduktionszonen im unteren Krumbereich und Beschränkung der Wurzeln auf die Klufflächen.
2. Unter den günstigen Witterungsbedingungen zur Ernte und Bestellung des Jahres 1980/81 traten Strukturschäden 1981 in den gleichen Betrieben wesentlich seltener auf.
3. Außerordentlich starke Strukturschäden brachte die Ernte der Hackfrüchte in dem abnorm und anhaltend nassen Herbst 1981. Die Frage, ob es besser sei, die "Schlammfelder" noch im Herbst tief zu pflügen und gegebenenfalls mit Winterweizen zu bestellen oder bis zum Frühjahr liegen zu lassen, wurde im allgemeinen im ersten Sinn entschieden. Die so bestellten Weizen befriedigten im Ertrag 1982 nicht: Ursache war die in der Spatendiagnose während der ganzen Vegetationsperiode beobachtbare, starke Verdichtung des unteren Krumbereiches (= untergepflügte Schlammschicht, Gefüge 3c), welche die Drainage und Durchwurzelung behinderte, die Verschlammung und Auswinterung förderte und eine ausreichende Bestockung unmöglich machte.
4. Auch bei unterlassenen Herbstpflügen waren die Strukturschäden der Silomaisernte im Frühjahr 1982 noch unverändert zu erkennen: in den Spuren Gefüge 3c (bis 15 cm Tiefe) zwischen den Spuren 1a/2a (bis 8 cm = Bodenbearbeitungstiefe für die Maissaat) bzw. 3ab (8 - 20 cm, ohne Bearbeitung seit Herbstfurche 1980).
5. Trockenschäden auf flachgründigen Schotterböden in den Spuren der Winterweizenbestellung (Vertrocknung der oberen Spindelstufen der Weizenähren) ließen sich mittels Spatendiagnose leicht auf Strukturschäden (3b in der Spur, 1a/2a außerhalb der Spur) zurückführen.

In allen angeführten Beispielen konnte gezeigt werden, daß die mit dem Spaten leicht diagnostizierbaren Verdichtungen als Folge der Mißhandlung des Bodens im nassen Herbst 1981 zu Ertragsein-

bußen geführt haben. Weder Frost noch Quellung und Schrumpfung noch Bodenleben konnten die Strukturschäden beheben.

Zusammenfassung

Die ertragsbegrenzenden Faktoren im Pflanzenbau sind heute häufig nicht die Nährstoffe, nicht die Pflanzenkrankheiten, schon gar nicht das genetische Potential, sondern Mängel in der Bodenstruktur. Die Spatendiagnose erscheint geeignet, pflanzenbaulich relevante Strukturängel im Gelände schnell und sicher zu erkennen. Als Werkzeug genügt ein einfacher Spaten. Vergleichende Untersuchungen sollten möglichst bei gleich feuchtem, nicht zu trockenem Bodenzustand durchgeführt werden.

Die Ansprache des Bodengefüges erfolgt am besten an dem aus etwa 1 m Höhe abgeworfenen Bodenbalken.

Zur Gefügebeurteilung wird ein einfaches, aus vier Gefügegrundformen bestehendes Schema vorgeschlagen, ergänzt durch zusätzliche diagnostische Merkmale für Durchlüftung und Durchwurzelung.

Um die Ansprache des Bodengefüges zu objektivieren, aber auch um Bodengefüge vermittelbar zu machen, erscheint das fotografische Bild besonders geeignet.

Literatur

GÖRHING, J. (1947): Die Grundlagen der Gare im praktischen Ackerbau. - Band 1, Landbuch-Verlag GmbH, Hannover

Zur Theorie der Gefüge-Verdichtung, -Lockerung und -Stabilisierung
in Ackerböden aufgrund mikrostruktureller Erscheinungen

von
Meyer, B. ⁺

Porengrößen als ökologische Gefüge-Parameter der Böden.

In der Beurteilung der ökologischen Qualität des Gefüges von Ackerkrumen und Unterböden stellen heute die "schnelldrainierenden Grobporen" bzw. die "Weitporen" mit Äquivalent-Durchmessern von mehr als 50 µm (pF 1,8) bzw. 30 µm (pF 2,0) hinsichtlich ihres Volumen-Anteils, ihrer Zer- und Verteilung und ihrer Form die am häufigsten verwendete Meßgröße dar.

Das mag mit dem Umstand zusammenhängen, daß diese Porengrößen bei ein und demselben Bodentypus den räumlich und zeitlich variabelsten Anteil des Poren-Raumes des Bodens bilden, zugleich ausschlaggebend für die Leitung von Wasser und Luft sind und wesentlich zum Zeitgang von Änderungen der Dichte und Durchdringbarkeit des Bodenmaterials beitragen.

Diese Akzentsetzung hat nicht unwesentlich zu der heute verbreiteten optimistischen, jedoch in vielen Fällen durchaus nicht berechtigten Auffassung geführt, Bodenverdichtungen seien letztlich allein mit mechanischen Prozessen wie Bodenbearbeitung oder Bodenverdrängung durch pflanzliche Organe behebbar - die nur in der Lage sind, solche Grob- oder Weitporen zu schaffen. Dabei wird folgendes übersehen: Jede dieser mechanischen Beanspruchungen übt zugleich lockernde und verdichtende Wirkungen auf das Bodenmaterial aus. Dabei besteht die Lockerung ausschließlich in der Erzeugung von Weitporen, die Verdichtung dagegen aber außer in der Vernichtung von Weitporen auch in der Vernichtung und Verkleinerung von Mittelporen. Die Beseitigung von Gefügeschäden in diesem Porenbereich ist aber auf rein mechanischem Wege nicht möglich. Somit besteht die Gefahr irreversibler oder nur sehr langsam rückgängig zu machender Gefüge-Schäden, die sich in Mengen und Größen-Verteilung der Mittelporen ausdrücken (Ø 30 - 0,3 µm, pF 2,0 - 4,0, MS 100-10000 mbar).

Verdichtung des Intergranular-Gefüges

Bei der mikromorphologischen Gliederung des Boden-Gefüges ist es im Hinblick auf bodenmechanische Fragen zweckmäßig, zwei Kategorien zu unterscheiden: 1.) Das Primär- oder Elementar- oder Intraaggregat- oder Intergranular-Poren-Gefüge, das durch die Art und Weise gekennzeichnet ist, in welcher die Mineralkörner unterschiedlicher Größe in der Boden-Matrix, also innerhalb der kohärenten Bodenkörper (Aggregate) zusammengelagert sind und 2.) das Sekundär- oder Interaggregat-Poren-Gefüge.

Nehmen wir als Beispiel die aus Löss hervorgegangenen Böden, die in Mitteleuropa das dominierende Substrat für den Ackerbau stellen! Die Krumen dieser Böden nähern sich in ihrer Textur den sog. "Einkorn-Schüttungen". Es sind, wenn es sich um C- oder A1-Horizonte und nicht gerade Bt-Horizonte mit mehr als 15 % Ton handelt, Ap-Horizonte

⁺) Institut für Bodenwissenschaften, von-Siebold-Straße 4,
3400 Göttingen

und Unterböden mit ausgeprägter Schluff-Dominanz (\emptyset 30-2 μm , Verteilungsmaximum häufig bei 36 μm) und dementsprechend in ihren Matrix-Intergranularen von Mittelporen-Größe (\emptyset 30-3 μm) mit einem Verteilungsmaximum, das bei lockerer Korn-Lagerung bei ca. 10, bei dichter bei ca. 5 μm \emptyset liegt, entsprechend Matrix-Saugspannungen von 300 (pF 2,5) bzw. 620 (pF 2,8) mbar (10^2 Pa).

Im Gegensatz zu einer "Vielkorn-Textur", in der die Hohlräume zwischen den das Gerüst der Matrix bildenden Sand- oder Schluff-Körnern durch feinere Körner ausgefüllt ist, die der Matrix insgesamt eine höhere Dichte, aber auch eine größere Stabilität in der Menge und Verteilung ihrer Mittel- (10-3 μm) und Engporen (3-0,3 μm) verleihen, zeigen "Einkorn Texturen" eine beträchtliche Variabilität in diesen Poren-Bereichen und damit in ihrer Dichte — schwankend zwischen der dichtesten und lockersten Packung der das Matrix-Gerüst bildenden Mineral-Körner. Sie sind in ihrer Matrix, ihrem Intergranular-Gefüge, verdichtbar.

Folgen für lössbürtige Böden

Die beigegebene Tabelle, statistische Mittelwerte einer Erhebung im Raum Südniedersachsen, verdeutlicht, daß die ökologische Qualität des Lösses in seiner hohen Poren-Kapazität für leichtest pflanzenverfügbares Wasser (pF 2,0 - 2,5), leicht pflanzenverfügbares Wasser (pF 2,5 - 2,8), mäßig pflanzenverfügbares Wasser (pF 2,8 - 3,7) und schwer pflanzenverfügbares Wasser (pF 3,7 - 4,2) besteht, wovon der Poren-Bereich pF 2,0 - 2,5 zugleich in dem an Interaggregat-Poren armen Löss als großer potentiell belüfteter Poren-Raum zu bewerten ist.

Durch den Ackerbau kommt es durchweg zu einer Verdichtung des Intergranular- oder Matrix-Gefüges, die in den Ackerkrumen in der Regel stärker ist als in den Unterböden, selbst wenn diese als Pflugsohlen verdichtet sind.

Diese Verdichtung beruht auf einer Verminderung der intergranularen Mittelporen, die als Folge der Kompression des Schluffkorn-Gerüsts und der Erhöhung der Korn-Kontaktzahl eintritt. Dabei verschiebt sich das Verteilungsmaximum der Mittelporen zu kleineren Durchmessern (s.o.), was sich besonders in der Abnahme der längerfristig belüftbaren, leichtest pflanzenverfügbares Wasser führenden Poren (pF 2,0 - 2,5) äußert. Gerade hierdurch verliert die Boden-Matrix erheblich an ökologischer Qualität.

Die Engporen werden, demgegenüber in ihrer Menge und Größenverteilung, nicht verringert, sondern durch "Zusammendrücken" von Mittelporen noch vermehrt. Die in der Tabelle bei pF 3,0 gezogene Grenze zwischen Mittel- und Engporen ist zugleich die "Achse der Umverteilung". Offenbar ist gerade in Zusammenhang mit der im Hinblick auf die Zugkraft verstärkte und krumenvertiefende Bodenbearbeitung die Verdichtung der Matrix in Krume und Unterboden der Lössböden gefördert worden. In einigen Fällen ist sogar die bislang gefundene stärkste Matrix-Verdichtung der Sw/Sd-Horizonte von Löss-Pseudogleyen - 1,87 - erreicht worden.

Ein etwas anderes Bild ergibt sich in den Ackerkrumen und Unterböden, die aus abgetragenen Bt-Horizonten von Löss-Parabraunerden erzeugt worden sind. Entsprechend ihrem stärker ausgeprägten Charakter als "Vielkorn-Gemisch" gibt es hier zwar zunächst ebenfalls eine Poren-Umverteilung, dann aber auch eine Abnahme der weiteren Engporen.

Stabilisierung und Lockerung des Intergranular-Gefüges

Eine kolloidchemische Stabilisierung der Krumen-Matrix, z.B. durch Calcium-Düngung, ist aufgrund von Modellen (die hier nicht wiedergegeben werden können) zur räumlichen Verteilung der Festsubstanz in der Matrix zwar möglich, aber selbst bei ständig hohen Ca-Ionen-Konzentrationen in Anbetracht der im heutigen Ackerbau üblichen

mechanischen Boden-Beanspruchung, besonders beim Bearbeiten und Befahren zu feuchter Ackerkrumen, nicht ausreichend. Trockenbearbeitung und -befahrung bleibt daher wichtigstes Gebot. Durch Ca

Poren-Gehalte (Vol %) und -Verteilung der Boden-Matrix (kohärentes Intergranular-Gefüge) von Ackerboden-Horizonten aus Horizonten der Löss-Parabraunerde. Weitporen (> 30 µm) als jahreszeitlich höchst variable Größe unberücksichtigt gelassen, Engporen (< 0,2 µm, $pF > 4,2$) als konstant (6,5 Vol % im Al, 12 % im Bt) in die Dichte eingerechnet

pf	Mittelporen		Engporen	Matrix-Dichte
	2,0-2,5	2,5-2,8 2,8-3,0	3,0-3,7 3,7-4,2	
Aus Al-Horizont entstanden				
Ap (25 cm).....	7	7	15	1,71
Unterboden ohne Pflugsohle	6	11	12	1,71
Ap (35 cm).....				
Pflugsohlen-Zone.....	5	5	16	1,79
Unterboden.....	3	8	21	1,63
	5	10	15	1,68
Aus Bt-Horizont entstanden				
Ap (25 cm).....	4	6	9	1,83
Pflugsohlen-Zone.....	2	8	15	1,67
Unterboden.....	5	9	10	1,70
C-Horizont Löss.....	14	6	15	1,55

wird im wesentlichen eine Fixierung der peripheren Schluff-Körner von Aggregaten bewirkt. Dadurch wird das zu rasche Zusetzen der durch die Bearbeitung erzeugten Weitporen vermieden. Das ist besonders dann erforderlich, wenn die Matrix so verdichtet ist, daß nach Schließung der Weitporen durchgehend anaerobe Verhältnisse in der Krume eintreten müssen.

Die Ca-Stabilisierung wird darüber hinaus umso weniger wirksam, je stärker die vorausgegangene Ton-Schluff-Entmischung und die Einregelung der Ton-Plättchen in Form von Feinaggregaten innerhalb der Matrix ist.

Eine Wiederauflöckerung des Intergranular-Gefüges von Lössböden unter Schaffung neuer Mittelporen ist mit mechanischen Mitteln nicht möglich - es sei denn, das Bodenmaterial würde vollständig pulverisiert oder dispergiert und nachfolgend sedimentiert.

Aufgrund theoretischer Überlegungen und praktischer Erfahrungen ist auch von der Wurzel-Tätigkeit, dem Quellen trockener Matrix, die lediglich eine "Quellung nach innen" bleibt, und vom langsamen Gefrieren unter Bildung von Eislamellen keine Regeneration zu erwarten. Schnelles Gefrieren einer wassergesättigten Matrix von dem Boden aufliegenden Aggregaten und besonders die "Luftquellung" trockener aufliegender Aggregate bei rascher Befeuchtung können eine Behebung der dargestellten Gefügeschäden einleiten. Inwieweit hierzu eine "stützende" oder fördernde Technik der Bodenbearbeitung beitragen kann, ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Korngrößenverteilung und Bodenverdichtung in gefügekundlicher Sicht

von

Altemüller, H.-J.*) und Sommer, C.**)

Je mehr ein Boden verdichtet ist, um so mehr ist die verbleibende Porosität abhängig von der Korngrößenzusammensetzung, und diese bestimmt auch weitgehend die Möglichkeiten der räumlichen Anordnung. Wie HARTGE (3) in kurzer Zusammenfassung zeigt, gelten dabei die Grundbedingungen von Kugelpackungen; sie werden aber überlagert von der Kornform, von den Eigenschaften des Tonmaterials und den andersartigen Verhältnissen von Masse und Oberflächenkräften bei abnehmenden Korngrößen. Daraus resultiert, daß die Kornpackung vom Sand über Schluff zum Ton hin poröser wird. Infolgedessen gelten für die Hauptkörnungsarten auch andere Kriterien bei der Beurteilung von Verdichtungen (6). Diese Aufgliederung hat ihren praktischen Wert. Es müßte aber möglich sein, die Gegenbenheiten der Korngrößenverteilung noch stärker zu berücksichtigen.

Hier bietet sich ein altes mikromorphologisches Konzept der Einteilung in "Gefügeskelett" und "Gefügeplasma" an (4), das ohne festen Bezug auf bestimmte Korngrößen angewandt werden soll. Tatsächlich läßt sich eine Gliederung in "Korn" und "Matrix" in zahlreichen Böden ohne Schwierigkeiten vornehmen. Wir haben dann in Annäherung die Verhältnisse von Zweikornmischungen, deren Packungsarten sich theoretisch einfacher angehen lassen als Normalverteilungen (2). Ein solches System Korn/Matrix ist z. B. bei den häufig vorkommenden Sandlössen gegeben. Die Sandkörner sind darin oft um ein Vielfaches größer als die lößbürtigen Grobschluff-Körner und erscheinen wie "Einsprenglinge" in einer Grundmasse.

Es sei einmal angenommen, daß die Grundmasse lediglich aus Grobschluff besteht (die feineren Körnungen bleiben vorerst außer Betracht) und ein Porenvolumen von 52 % hätte (entsprechend einer einfach kubischen Packung). In dieses System werden nach und nach Grobsandkörner im Austausch gegen ein entsprechendes

*) Inst. f. Pflanzenernährung und Bodenkunde

***) Inst. f. Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

FAL, Bundesallee 50, 3300 Braunschweig

Volumen der Schluffmatrix eingebracht. Die Packungsart der Matrix soll also konstant bleiben, aber ihr Anteil nimmt in dem Maße ab, wie der Anteil von Sandkörnern zunimmt. Das Porenvolumen wird dann mit größer werdendem Sandanteil kontinuierlich kleiner (Abb. 1). Der Sandanteil kann aber nur so lange zunehmen, bis die Sandkörner sich gegenseitig berühren und abstützen. Das dürfte der Fall sein, wenn ihre Anordnung selbst etwa der einfachen kubischen Packung entspricht. Das Porenvolumen des Korngemisches liegt dann bei 24 %, ist also schon extrem niedrig. Eine "dichteste" Sandpackung ist theoretisch möglich und würde dann noch ein Porenvolumen von etwa 14 % belassen. Eine weitere Vermehrung des Sandes ist nur noch durch Verringerung der Anteile der Schluffmatrix möglich. Die Hohlräume nehmen dann wieder zu, und am Ende bleibt eine Sandpackung mit 48 % oder im Fall der dichtesten Packung mit 26 % Porenvolumen.

Die dichtesten Packungen der "Einsprenglinge" in einer Matrix sind umso unwahrscheinlicher, je geringer die Größenunterschiede der beiden Packungssysteme sind. Bei dem Größenverhältnis von Grobsand zu Grobschluff (1 : 0,032) können die Effekte der Sperrigkeit jedoch zunächst außer Betracht bleiben. Die in Abb. 1 dargestellten Beziehungen wurden wie folgt berechnet:

$$H = \frac{b \cdot 100 \left(\frac{100}{P} - 1 \right)}{a + \left(b \frac{100}{P} \right)}$$

H = Porenvolumen in %
 a = Sand in Gew. %
 b = Schluff in Gew. %
 P = Packung (Substanzvolumen der Schluffmatrix, hier 52 %)

Ein zweiter Ansatz geht zurück auf mikromorphologische und experimentelle Untersuchungen an Schluffböden, nach denen Unterschiede im Tongehalt das Verdichtungsverhalten wesentlich beeinflussen (5). Auch hier kann man ein Korn/Matrix-Konzept zugrunde legen. Es wird wiederum von einer Schluffpackung ausgegangen, die jedoch jetzt als "Korngerüst" zu betrachten ist. Wenn somit bestimmte Raumbedingungen vorgegeben sind, läßt sich errechnen, wieviel Tonanteile in dem Korngefüge Platz finden können, bis eine völlige Ausfüllung der Intergranularräume gegeben ist (Abb. 2).

Ausgehend von einer nicht näher definierten mittleren Kornpackung von 37 % PV (= SV 63 %), wird durch die mittlere Kurve die Füllung des vorhandenen Porenraumes in Abhängigkeit vom Tongehalt angegeben. Danach können im äußersten Fall ca. 22 % Ton zwischen den Körnern eingelagert werden. Wird die Kornpackung verringert (26 % PV, linke Kurve), ist schon mit etwa 14 % Ton der gesamte Intergranularraum erfüllt. Eine weiträumigere Packung kann entsprechend mehr Ton aufnehmen. Die Kurven der Abb. 2 wurden nach folgender Formel berechnet:

$$F = \frac{1 - PV}{PV} \cdot \frac{d_K \cdot 100}{\left(\frac{100}{T} - 1\right) \cdot R_M}$$

F = Füllung der Hohlräume in %
PV = Porenvolumen der Kornpackung
 d_K = spez. Gew. der Körner (2.65)
T = Tongehalt in Gew. %
 R_M = Raumgewicht der Tonmatrix

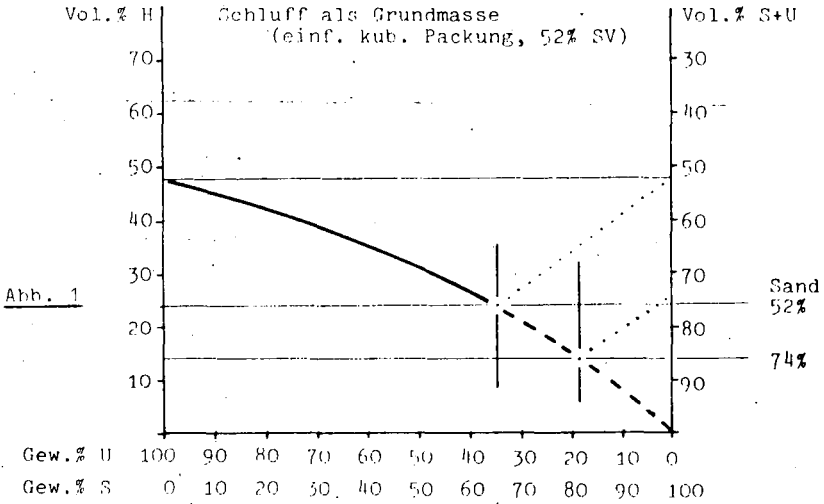
Für $\frac{1 - PV}{PV}$ kann auch der Kehrwert der Porenziffer = $\frac{1}{e}$ des Korngerüsts eingesetzt werden. Für das Raumgewicht der Tonmatrix wurde ein Wert von 1.2 angenommen, dem ein spez. Gew. von 2.4 und ein Festvolumen von 50 % zugrunde liegt.

Die hier wiedergegebenen Verhältnisse haben zunächst vor allem theoretischen Wert. Unter natürlichen Bedingungen ist mit weiteren Einflußgrößen zu rechnen. Geht man aber auf einen Füllungsgrad von 75 % zurück, so zeigen die Kurven einen Bereich von etwa 12 - 23 % Tongehalt an, der im Korngerüst untergebracht werden kann (im Mittel etwa 16 %). Diese Werte liegen durchaus schon im Bereich praktischer Erfahrungen und geben Hinweise zum Verdichtungsverhalten entsprechender Böden.

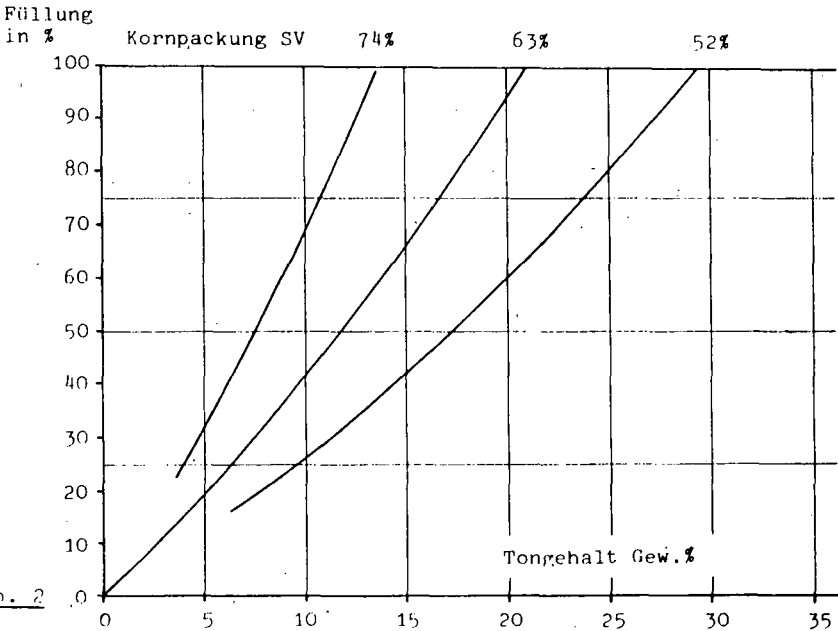
Literatur:

- 1) Altemüller, H.-J. (1974): Mikroskopie der Böden mit Hilfe von Dünnschliffen; in: H. Freund (Herausg.): Handbuch der Mikroskopie in der Technik; Bd. IV, Teil 2, 309 - 367, Frankfurt/M.
- 2) Frazer, H. J. (1935): Experimental Study of the Porosity and Permeability of Clastic Sediments; J. of Geol. 43, 910 - 1010.
- 3) Hartge, K. H. (1976): Bodengefüge; in Scheffer/Schachtschabel; Lehrbuch der Bodenkunde; 9. Aufl., S. 134 - 161, Enke, Stuttgart.
- 4) Kubiena, W.-L. (1935): Über das Elementargefüge des Bodens; Bodenkundl. Forsch. 4, 380 - 412.
- 5) Sommer, C. (1974): Die Verdichtungsempfindlichkeit zweier Ackerböden; 179 S., Diss. Braunschweig.
- 6) Sommer, C.; E. Ruhm und H.-J. Altemüller (1981): Direkt- und Nachwirkungen starker Verdichtungen auf das Bodengefüge und den Pflanzen-ertrag; Kali-Briefe (Büntehof) 15 (7), 429 - 448.

Hohlraum-Anteile in Schluff-Sand-Gemischen



Tongehalt und Füllung von Intergranularräumen bei gegebenem Raumgewicht der Tonmasse (RG = 1.2)



Mikroskopische Zeichen störungsbedingter Kolloidverlagerung

von
Stephan, S. *)

GERUNDETE EINSCHLÜSSE IN POREN GESTÖRTER BÖDEN

Tonwanderung erkennen wir mikroskopisch an doppelbrechenden, meist Fe-haltigen Tonbelägen an den Wänden von Leitbahnen. In mechanisch gestörten Böden mit verstärkter Tonverlagerung sieht man allerdings keinen doppelbrechenden Ton in den neu entstandenen Poren. Gleichsam als Wundsekret werden hier jedoch klare Kolloidtropfen gefunden, die sich vom Imprägnierungsmittel Vestopal durch Spannungsdoppelbrechung abgrenzen. Die Analysen und gelegentliche Inhaltsstoffe wie Kalk oder Pyrit zeigen, daß es sich nicht um Absonderungen im Vestopal handelt. Die Tropfen sind äußerst schwach gefärbt. Wo sie sich ansammeln (Abb. 2), vermindern sie die Luftkapazität und verdienen schon deshalb unsere Aufmerksamkeit.

VERGLEICHBARE ERSCHEINUNGEN

Farblose Kolloide kann man auch in gewachsenen Böden beobachten, was nicht unbekannt ist. Alle Beispiele aus meinem Dia-Archiv waren 54 Dünnschliffen zuzuordnen, die bestimmten Gruppen angehören.

Da sind zunächst die großen Kolloidmassen in Unterwasserböden aus der Tiefe des Laacher Sees und zweier Eifel-Maare, die teils Pyrit enthalten. Als Mudden vulkanogener Seen könnten sie teilweise Beziehungen zur nächsten Gruppe haben, zu den verwitternden Pyroklastiten. In Matrix und Poren bilden diese traubige, aber auch ungerundete Derivate. Sie sind meist stärker strukturiert und dann auch diagnostisch verwendbar, z.B. in Auenböden.

Kolloidtropfen in Leitbahnen von BS_d -Horizonten entsprechen genau denen der gestörten Böden. In Proben aus archäologischen Grabungen kommen sie meist von gestörten Stellen, teils auch von Tuff. Überraschend eng ist die Bindung dieser Gebilde an so wenige Gruppen: Nur vier der betroffenen Schliffe gehörten nicht hierzu.

*) Institut für Bodenkunde, Nußallee 13, 5300 Bonn 1

KOLLOIDEINSCHLÜSSE NACH GEFÜGESTÖRUNG

Aus Tunesien erhielten wir Proben aus den von Kopp (1975) beschriebenen Tieflockerungsprojekten. Wir fanden extreme Kolloidausscheidungen über der Lockerungssohle (Abb. 1). Auch Tieflockerungsversuche bei Ahrweiler und Bad Kreuznach (Martinović, 1982) zeigen solche Kolloide (Abb. 2). Ihr Auftreten im Kontrollprofil beim Pseudogley gehört zur erwähnten BS_d-Gruppe und ist beim Deposol störungsbedingt.

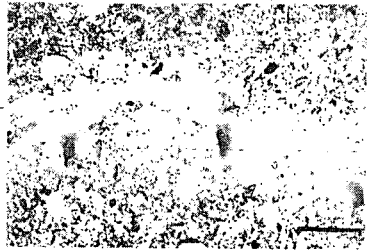


Abb. 1: Kolloidausscheidung in 60 cm Tiefe nach Tieflockerung eines Bodens in Badrouma. Maßstab 0,1 mm

Tiefe cm	SMONICA				PSEUDOGLEY				DEPOSOL			
	dicht		gelockert		dicht		gelockert		dicht		gelockert	
	F	D	mech.	pneumat.	F	F	mech.	pneum.	F	F	mech.	pneum.
0												
50												
100												

— o. Befund Spuren wenig viel sehr viel

Abb. 2: Kolloide in Dünnschliffen eines Tieflockerungsversuchs

In Säulenextraktoren bildeten sich Kolloidtropfen (Schröder et al., im Druck) bei einem dreijährigen Perkolationsversuch mit unterschiedlichem, gestörtem Bodenmaterial (Tab. 1). Das Phänomen richtet sich nach Bodentyp und Wassergabe. Sein Auftreten ist aber so unstat, daß Einzelschliffe keine Bewertung erlauben. Das abweichende Verhalten der dreifach bewässerten Säulen der beiden dichten Böden kann noch nicht erklärt werden.

WEITERE ANGABEN ZU DEN KOLLOIDTROPFEN

Es ist nicht bekannt, welche Form die Kolloidtropfen im unimprägnierten Boden haben, sei er trocken oder naß. Wohl wegen ihrer starken Wasserbindung kugeln

Bodentyp:	Tschernosem				Tschernosem-Parabraunerde				Pseudogley-Parabraunerde				Smonica						
Wasser:	N	N	3N	3N	<u>K</u>	N	N	3N	3N	<u>K</u>	N	N	3N	3N	<u>K</u>	N	N	3N	3N
Probe oben	-	-	1	-	-	2	3	nb	3	-	-	3	-	-	3	3	2	nb	-
mitte	-	-	1	2	-	3	2	2	3	-	3	2	-	2	-	3	2	1	-
unten	-	-	-	-	-	2	1	4	2	-	3	-	-	1	2	2	2	-	-
Jahr																			
1977	6		16		4		4		110		8100		92		310				
1978	5		14		3		2		130		6000		24		270				

Tab. 1, oben: Kolloidtropfen in extrahierten Säulen: - fehlend, 1 rar bis 4 sehr stark, nb nicht bestimmt. N = dem Niederschlag entsprechende Wassermenge, 3N = das Dreifache. K Proben aus dem Kontrollprofil

unten: Durchschnittlicher Tonausrag (kg/ha) zum Vergleich

sie sich gegen das hydrophobe Vestopal ab. Man findet solche Tropfen in der Mitte oder an der Wand von Leitbahnen. Detritusfreie Säume und Vorwölbungen der Porenwände lassen vermuten, daß Kolloide in die Poren abfließen, gröbere Bestandteile aber zurückbleiben.

Wegen der geringen Lichtbeeinflussung nehmen wir an, daß diese Gebilde substanzarm und in der Natur wasserreich sind. Das Raster-Elektronenmikroskop zeigt ein deutliches Schleif-Relief: Die Tropfen sind homogen und härter als Vestopal, aber weicher als Teile der rau erscheinenden Matrix. Für die chemische Zusammensetzung sind verschiedene Möglichkeiten offen, so daß von Fall zu Fall unterschiedliche Stoffe auftreten könnten. Bei den gestörten Böden nehmen wir eine Wanderform des vermehrt verlagerten Tons an. Da im Perkolat aus den Säulenextraktoren gut kristallisierter Ton vorherrscht, kommt hier nur dieser als Hauptbestandteil der Tropfen in Frage, wenn die Zuordnung zur Tonauswaschung richtig ist.

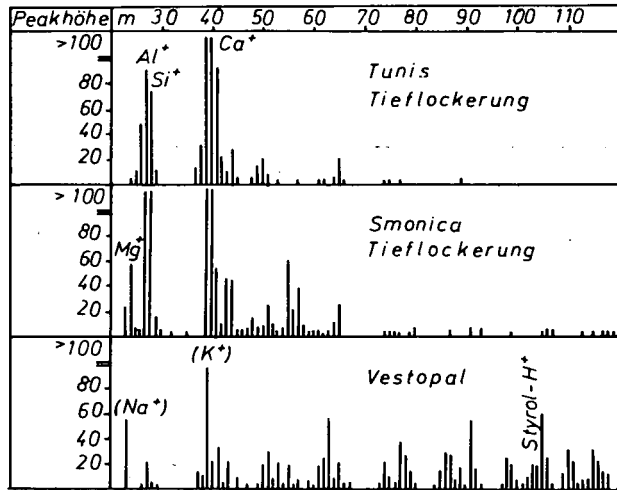


Abb. 3: Kolloidtropfen im unteren Teil der dreifach bewässerten Tschernosem-Parabraunerde-Säule. Maßstab 0,1 mm

LASER-MASSENSPEKTREN

Abb. 4 zeigt Beispiele von Laser-induzierten Massenspektren. Zur Technik vgl. Bisdorn et al. (1981). Vor allem wird der Unterschied zum Vestopal deutlich. Das

Abb. 4: Massenspektren aus Dünnschliffen. Gerät: LAMMA 500^R der Firma Leybold-Heraeus



zeigen Gesamtspektrum und Styrol-Peak. Die Elemente zeichnen sehr unterschiedlich; doch dürfen nach unseren Erfahrungen Al, Si, Ca, Mg hervorgehoben werden, sowie einige organische Stoffe, die noch nicht identifiziert wurden. Der Fe-Gehalt ist sehr gering.

Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob diese in Grobporen gefundenen Kolloidtropfen die von uns angenommene Bedeutung haben und welche chemisch-physikalischen Eigenschaften ihnen zukommen.

Dank gebührt Herrn Kolvenbach für die sorgfältige Präparation, der Fa. Leybold-Heraeus in Köln für die Möglichkeit, an der LAMMA-Sonde zu arbeiten und Herrn Vogt daselbst für geduldige Anleitung.

LITERATUR

- Bisdorn, E.B.A., S. Henstra, A. Jongerius, H.J. Heinen, S. Meier (1981): Chemical element detection in thin sections of soils with the Laser Microprobe Mass Analyzer (LAMMA 500).- *Neth.J.agric.Sci.* 29, 23-36.
- Kopp, E. (1975): Das Produktionspotential des semiariden tunesischen Oberen Medjerdatalles bei Beregnung.- *Schriftenreihe der GTZ Nr. 18*, 332 S., Eschborn.
- Martinović, L. (1982): Einfluß von mechanischer und pneumatischer Tieflockerung des Bodens auf Gefüge, Wasserdynamik, Wurzelentwicklung und Ertrag bei drei Bodentypen.- *Diss. Bonn*, 160 S.
- Schröder, D., S. Stephan, H. Zakosek (im Druck): Tonverlagerung in gestörten Böden.- *Z.Kulturtechnik u. Flurbereinigung*.

Luft- und potentiell luftführende Sekundärporen von Oberböden
und ihre Veränderlichkeit

von

Andres, L., H.G. Frede u. B. Meyer ^{†)}

1. Einleitung

Die Porenverteilung und Porengestaltung der Zwischenaggregatporen von Ackerböden erfährt mehrmals im Jahreslauf Veränderungen durch die Bearbeitung und das Befahren mit schweren Maschinen. Veränderungen des Luft- und Wasserhaushaltes des Bodens sind die Folge.

So mehren sich Beobachtungen über Schädigungen der Struktur durch direkte und indirekte Maßnahmen der Bodenbearbeitung. Deren negative Auswirkungen mindern oft erheblich die Ertragsleistung der Böden.

Die Behebung der Strukturschäden erhofft man vom Einsatz lockernder Bearbeitungs-Geräte sowie von natürlichen Kräften wie dem Wurzelwachstum, der Regenwurmaktivität, der Frostsprengung sowie den Quellungs- und Schrumpfung-Prozessen.

Ziel unserer Untersuchungen war, mit Hilfe von Messungen der Porengrößen-Verteilung, der scheinbaren Diffusions-Koeffizienten und der Poren-Kontinuitäten verschiedener Poren-Größen in Oberböden aufzuzeigen, wie sich mechanische Pressung auf das Bodengefüge auswirkt, und ob eine Regeneration durch die o.g. natürlichen Kräfte gegeben ist.

2. Untersuchte Oberböden

Untersucht wurden zwei Flächen unterschiedlichen Bodentyps, deren letzte stärkere mechanische Beanspruchung bzw. Verdichtung 6 bzw. 12 Jahre zurücklag. Seither wurden die beiden Flächen keiner mechanischen Lockerung mehr unterzogen. Die Veränderungen der Bodenstruktur waren nur durch natürliche Kräfte möglich.

Bei Fläche 1 handelt es sich um einen stark tonigen Sand aus Grundmoräne im N von Bremen, der bis zum Jahre 1976 forstlich genutzt worden war. Im Zuge des Neubaus der Autobahn wurde ein Teil der Fläche im Randbereich der Autobahn ständig mit schweren Baufahrzeugen befahren. Nach Abschluß der Bauarbeiten ist diese Teilfläche ohne jegliche Rekultivierung ebenso wie ein nicht beeinträchtigtes Teilstück wieder aufgeforstet worden.

Auf der nicht befahrenen Fläche haben die gepflanzten Eichen und die wild angesiedelten Birken heute inzwischen Wuchshöhen von max. 1,50 m erreicht. Der ehemals befahrene Bereich hebt sich hingegen von dieser Fläche scharf ab.

Die nur noch vereinzelt vorzufindenden Eichen-Pflanzen zeigen hier ein stark verkrüppeltes Wurzelwachstum, welches das vergebliche Bemühen, in den Boden einzudringen, erkennen läßt.

Ein Vergleich der Bodenstruktur der befahrenen und der in unmittelbarer Nachbarschaft (ca. 20 m Entfernung) gelegenen unbeeinträchtigten Teilfläche soll das Ausmaß der Verdichtung aufzeigen.

Fläche 2 ist eine ackerbaulich genutzte Löss-Parabraunerde in Rosdorf bei Göttingen, die bis zum Jahre 1970 konventionell bearbeitet wurde. Seit 12 Jahren führt das Institut für Pflanzenbau der Univ. Göttingen auf dieser Fläche einen Vergleich zwischen bearbeitungsfreiem Ackerbau und konventioneller Bearbeitung durch.

^{†)} Institut für Bodenwissenschaften, von-Siebold-Str. 4,
3400 Göttingen

Die hieran durchgeführten Untersuchungen sollen erklären, ob eine Pflugschle auf der bearbeiteten Variante vorhanden ist, und inwiefern diese durch das Unterlassen der Bodenbearbeitung wieder abgebaut werden konnte. Die Proben der Fläche 2 wurden z.T. von HARTIG (2) und NORTHOFF (3) untersucht.

3. Methodik

An Stechzylinder-Proben von allen Teilflächen wurden a) die Poren-Verteilungen und b) die Gasdiffusions-Koeffizienten bei verschiedenen Entwässerungsstufen bestimmt. Sind der Poren-Anteil und der scheinbare Diffusions-Koeffizient dieses Poren-Bereiches bekannt, so läßt sich die Poren-Kontinuität dieses Poren-Bereiches errechnen (FREDE, 1).

4. Ergebnisse

Aus Abb. 1 geht hervor, daß das intensive Befahren des tonigen Sandbodens zu einer starken Oberboden-Verdichtung geführt hat.

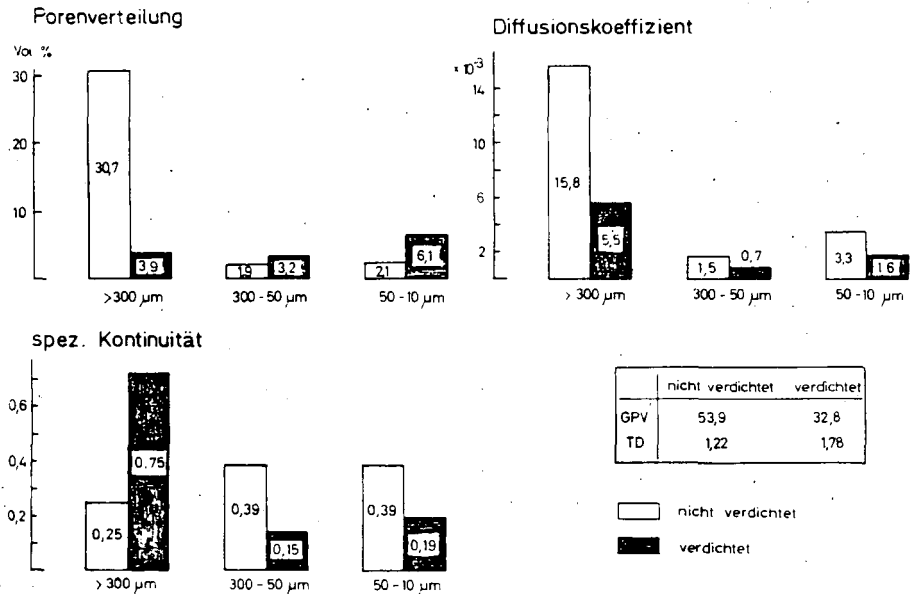


Abb. 1: Porenverteilung, Diffusionskoeffizienten und spez. Kontinuitäten in 20 cm Tiefe eines verdichteten und nicht verdichteten tonigen Sandes.

So ist eine Verringerung des Gesamtporen-Volumens von 53,9 auf 32,8 Vol. % zu beobachten. Sie resultiert ausschließlich aus einem Verlust an Grobporen.

Die Darstellungen der Poren-Verteilungen in 20 cm Tiefe der verdichteten und nicht verdichteten Teilfläche läßt erkennen, daß mehr als 26 Vol. % Poren >300 µm Ø durch die Verdichtung verloren gegangen sind. In den Bereichen kleinerer Poren ist dagegen keine Abnahme, sondern im Zuge der Poren-Umverteilung eher eine geringe Zunahme zu verzeichnen.

Die scheinbaren Diffusions-Koeffizienten für die verschiedenen Poren-Klassen zeigen, daß die Durchlüftungs-Bedingungen des untersuchten Kompartiments 6 Jahre nach der Verdichtung besser sind als

im Hinblick auf die Poren-Verteilung erwartet werden konnte. Während der Anteil der Poren $>300 \mu\text{m } \emptyset$ auf der verdichteten Fläche nur ein Achtel der nicht verdichteten beträgt, ist die Gasdiffusion nur auf ein Drittel reduziert.

Die Ursache der relativ guten Durchlüftung ist in der sehr hohen Kontinuität der wenigen Grobporen zu sehen. Die Kontinuität nähert sich in diesem Poren-Bereich dem Wert 1. Das heißt, die Poren durchziehen auf dem kürzesten Wege den Boden. Da auf dem relativ sauren Standort keine Regenwurmaktivität zu beobachten war, dürften diese durchgängigen Poren in erster Linie durch Wurzeln geschaffen worden sein.

Festzuhalten ist für diesen Standort: Sechs Jahre nach der Verdichtung ist die Durchlüftung des Bodens nur durch die Erhöhung der Poren-Kontinuität geringfügig verbessert worden. Die wenigen Pflanzenwurzeln, die den Boden durchbohrt haben, haben zwar einige luftführende Gänge geschaffen, jedoch noch keine Lockerung des Bodens bewirkt, offenbar wurde lediglich Bodenmaterial zur Seite verdrängt.

In dem Versuch zum bearbeitungsfreien Ackerbau stand den Bodenlebewesen, den Pflanzenwurzeln und dem Frost auf der unbearbeiteten Variante eine Zeit von 12 Jahren zur Verfügung, um Verdichtungen in der Pflugsohle wieder zu beseitigen.

Die Darstellung der Gesamt-Porenvolumina im Oberboden in Abb. 2 läßt eine deutliche Verdichtung im Bereich der Pflugsohle auf der bearbeiteten Variante in 30 cm Tiefe erkennen.

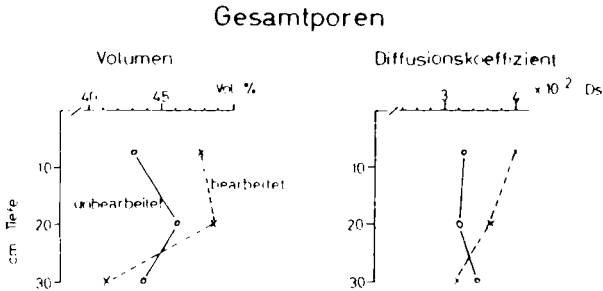


Abb. 2: Gesamtporenvolumen und Diffusionskoeff. für den gesamten Porenraum der Krume einer bearbeiteten und nicht bearbeiteten Parabraunerde aus Löss.

Das Gesamt-Porenvolumen nimmt hier im Vergleich zur Krume um etwa 7 Vol.% ab. Auf der unbearbeiteten Variante liegt es in der Pflugsohle um etwa 3 Vol.% höher.

Eine Lockerung der Pflugsohle in der bearbeitungs-freien Variante ist somit nur schwach angedeutet. Umgekehrt ist die Krume der unbearbeiteten Parzelle dichter als die der bearbeiteten. Ihre Dichte nähert sich der, die in der ehemaligen Pflugsohle gefunden wurde.

Die scheinbaren Diffusions-Koeffizienten für den gesamten Porenraum spiegeln die aus den Gesamt-Porenvolumina abzulesenden Unterschiede wieder.

Der Verlust an Poren im Bereich der Pflugsohle gegenüber der Krume beruht ausschließlich auf der Abnahme der Grobporen $>50 \mu\text{m } \emptyset$. Auf der nicht bearbeiteten Fläche nimmt der Anteil an Grobporen nach oben hin nicht zu. Was vorher für das Gesamt-Porenvolumen gesagt wurde, gilt auch hier für den Bereich der Grobporen:

Grobporen > 50 μm

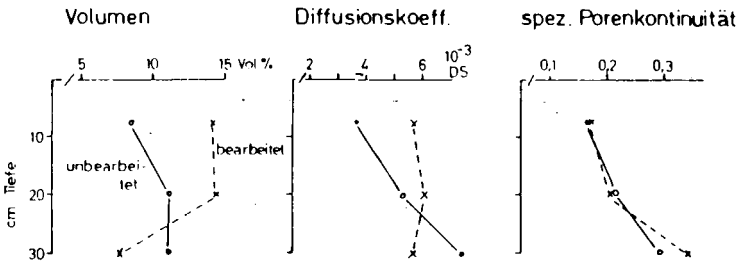


Abb. 3: Volumen, Diffusionskoeff. und spez. Porenkontinuität in bearbeiteter und un bearbeiteter Krume einer Parabraunerde aus Löss.

Das Unterlassen der Bodenbearbeitung führt im oberen Teil der Krume zu einer Verringerung der Grobporen im Vergleich zum bearbeiteten Boden. Die Bedingungen für die Gas-Diffusion in den Grobporen sind allein durch deren Anteil am Gesamt-Porenvolumen gegeben. Oft wird als Folge des bearbeitungsfreien Ackerbaues eine höhere spezifische Poren-Kontinuität erwartet als auf bearbeiteten Flächen. Hier jedoch konnte ein solcher Effekt nicht nachgewiesen werden - auch nicht für die feineren Poren-Bereiche. Der Grund mag darin liegen, daß hier schon auf der bearbeiteten Fläche die Poren-Kontinuitäten im Vergleich zu anderen Böden recht hoch sind.

Schlußfolgerungen

1. Ist eine Bodenmatrix von Natur aus oder durch vorausgegangene anthropogene Einflüsse an sich schon relativ dicht, so äußert sich jede weitere Verdichtung nahezu ausschließlich in einer Verringerung des Volumens der Grobporen. Für einen Standort mit hoher natürlicher Substrat-Dichte kann durch anthropogene Verdichtung das Wachstum von Nutzpflanzen stark gehemmt bis völlig unterbunden werden.
2. Das natürliche Regenerationsvermögen durch Neubildung von Grobporen ist in solchen Böden nicht sehr groß. Sowohl im tonigen Sand wie im Oberboden der Löss-Parabraunerde ist nach 6 bzw. 12 Jahren die Verdichtung nicht oder nur zu einem geringen Teil durch Neubildung von Grobporen aufgehoben worden. Die Wirkung der biologischen Lockerung durch Pflanzenwurzeln und Regenwürmer wird offenbar häufig überschätzt. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Bodenmatrix an sich dicht ist, so daß nach Zusammendrücken der Grobporen eine für die Neuschaffung von Grobporen erforderliche Verdrängungsarbeit erschwert ist.

Literatur

1. FREDE, H.-G., 1981: Die spezifische Porenkontinuität als Parameter der Bodenstruktur, *Mitteilg. Dtsch. Bodenkundl. Ges.* 32
2. HARTIG, D., 1981: Langfristig bearbeitungsfreier und konventioneller Ackerbau, Messungen der Porenverteilung und der Porenkontinuität, Diplomarbeit, Göttingen
3. NORTHOFF, K., 1981: Die Porenkontinuität im unteren Abschnitt des A_p -Horizontes einer Parabraunerde aus Löss, Diplomarbeit, Göttingen

Das Bodengefüge im Ap-Horizont einer
Parabraunerde im Laufe einer Vegetationsperiode

von

Wang, Jian, B. Huwe und R.R. van der Ploeg ⁺

Das Bodengefüge, speziell das der Krume, übt einen wesentlichen Einfluß auf den Wasser- und Lufthaushalt und damit auf die Wachstums- und Lebensbedingungen von Bodenorganismen im Oberboden aus. Als wichtige Kenngrößen des Gefüges, welche das hydrophysikalische Verhalten der Krume prägen, können die pF-Kurve, die Leitfähigkeit und die Trockenraumdichte betrachtet werden. Ein Maß für die Durchlüftung ist die Luftpermeabilität.

Bei Bodenwasserhaushaltsuntersuchungen werden die vorhin erwähnten hydrophysikalischen Kenngrößen meistens am Anfang der Untersuchungen auf ausgewählten Kleinflächen bestimmt. Fast ausnahmslos wird angenommen, daß sich diese Größen im Laufe der Untersuchungen nicht ändern. Auch die räumliche Variabilität dieser Kennwerte wird häufig nicht berücksichtigt; es wird angenommen, daß die untersuchte Kleinfläche als repräsentativ für ein größeres Areal mit der gleichen Bodenbeschaffenheit und mit dem gleichen Bewuchs betrachtet werden kann. Erst in jüngster Zeit hat die Variabilität von bodenphysikalischen Merkmalen Aufmerksamkeit bekommen; im August 1982 wurde beispielsweise von der European Geophysical Society (EGS) in Leeds ein Symposium organisiert über dieses Thema; die Abhandlungen dieses Symposiums werden im Laufe des Jahres 1983 von der Zeitschrift Agricultural Water Management veröffentlicht.

⁺ Institut für Bodenkunde und Standortslehre der Universität
Hohenheim, Postfach 700562, 7000 Stuttgart 70

Im Rahmen dieser Entwicklung wurden im Jahre 1982 auf dem Versuchsgut Heidfeldhof der Universität Hohenheim bodenphysikalische Untersuchungen durchgeführt mit dem Ziel, die zeitliche und die kleinräumige Variabilität des Gefüges während einer Vegetationsperiode zu verfolgen. Die untersuchte Kleinfläche war etwa 200 qm groß und befand sich in einem Maisfeld. Untersucht wurden der μ -Horizont einer Parabraunerde aus Löss. Die oberen 5 cm des μ -Horizontes wurden ausgewählt, weil in dieser Tiefe die größten Änderungen im Gefüge zu erwarten sind und die Probenahme aus dieser Tiefe am einfachsten ist. In Abständen von etwa 4 Wochen wurden die folgenden Größen bestimmt:

1. pF-Kurve, 2. gesättigte Leitfähigkeit, 3. Wassergehalt bei Feldfeuchte, 4. Trockenraumdichte und 5. Luftpermeabilität als Funktion der Saugspannung.

In Anbetracht dieser Kurzfassung können nur sehr wenig Ergebnisse diskutiert werden. Wir beschränken uns deshalb darauf, die Verteilung der Trockenraumdichte (TD) auf der untersuchten Kleinfläche am 5.6.1982 exemplarisch vorzuführen. Es wurden 100 Stechzylinderproben von 100 cm³ Inhalt untersucht. Der Gesamtbereich der gemessenen Werte wurde in 7 Klassen unterteilt und die Häufigkeit der Werte pro Klasse wurde als Funktion der Trockenraumdichte aufgetragen. Abbildung 1 zeigt, daß am 5.6.1982 die Verteilung der TD-Werte eine Normalverteilung war, welche dargestellt werden kann als

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-1/2(x-\mu)^2/\sigma^2}, \quad (1)$$

in welchem Ausdruck y die Häufigkeit des TD Werts x , μ den Mittelwert, und σ die Standardabweichung der TD-Werte darstellt. Als Mittelwert μ wurde 1.040 bestimmt, die Standardabweichung σ betrug 0.024 g/cm³. Mit einem χ^2 -Test kann die Normalverteilung der Meßwerte quantitativ nachgewiesen werden. Das Ergebnis dieses Testes ist ebenfalls in

DIE VERTEILUNG DER TROCKENRAUMDICHTEN
AM 5.6.1982 (100 PROBEN)

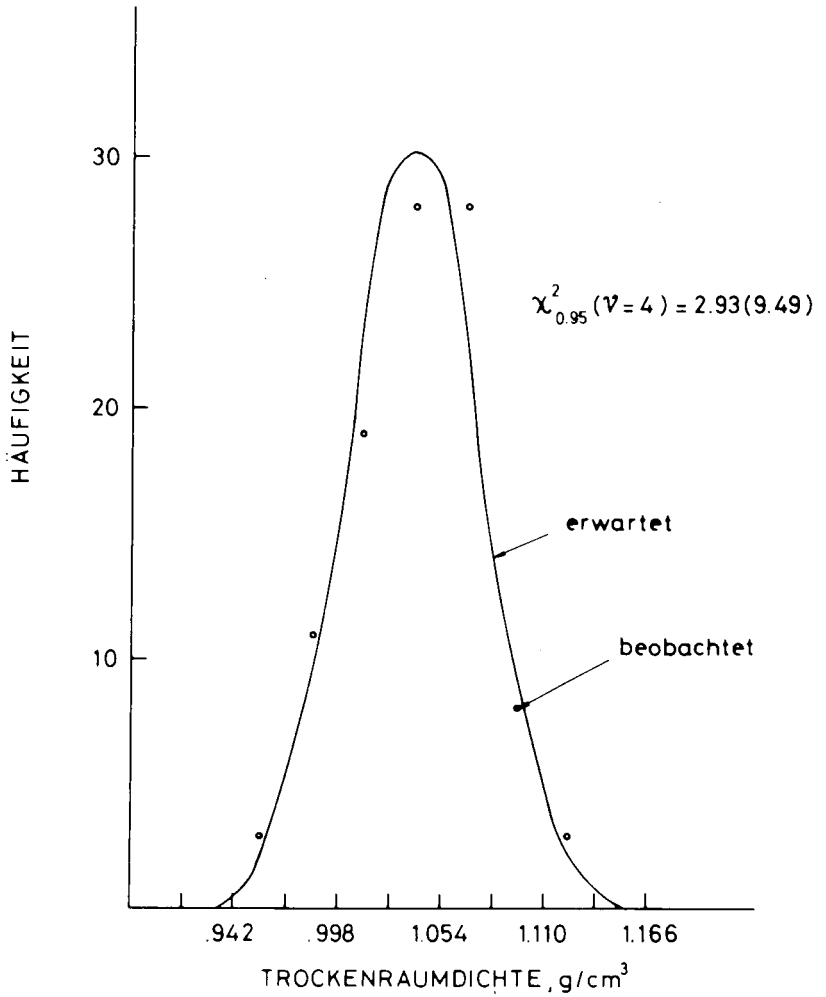


Abbildung 1 (Wang, Huwe und Van der Ploeg)

Das Ergebnis vom 5.6.82 kann beispielsweise benutzt werden um bei weiteren TD-Bestimmungen die Zahl der notwendigen Wiederholungen abzuschätzen. Soll ein Mittelwert \bar{X} bestimmt werden, welcher mit 95%iger Wahrscheinlichkeit weniger als 0.050 g/cm^3 von dem tatsächlichen Mittelwert μ abweicht, so ist die Zahl N der Wiederholungen zu berechnen aus der Gleichung (mit $z = 1.96$):

$$\sqrt{N} \geq z \cdot \sigma / 0.050 \quad (2)$$

oder $N \geq 2$. Für eine 99%ige Wahrscheinlichkeit, daß der Fehler der Abschätzung geringer ist als 0.025 g/cm^3 müßte $N \geq 14$ sein. In diesem Fall ist $z = 2.58$. Für beide Berechnungen von N wurde davon ausgegangen, daß σ konstant ist ($= 0.036 \text{ g/cm}^3$).

Wie für die Trockenraumdichte, so wurde auch für die Feldfeuchte, sowie für die Wassergehaltsverteilung in Proben aus der pF-Apparatur bei unterschiedlichen pF-Stufen eine Normalverteilung festgestellt. Die Verteilung der Leitfähigkeitswerte und der Luftpermeabilitätswerte dagegen entsprach einer logarithmischen Normalverteilung, die Porengrößenverteilung sogar einer zweifachen logarithmischen Normalverteilung. Die Messungen zeigten auch, daß die pF-Kurve der Krume zeitabhängig ist, daß aber eine Änderung der Porenverteilung nur im Grobporenbereich auftritt. Die Untersuchungen liefen von Anfang April bis Ende September 1982. Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse anderswo ist beabsichtigt.

Oberflächenabfluß, Bodenabtrag und Abschwemmung gelöster Stoffe
unter dem Einfluß unterschiedlicher Bodennutzungsbedingungen.

von

Müller, S. und Mollenhauer, K.*

1. Einleitung

Mit diesem Beitrag soll auf die Folgen von Gefügeveränderungen in Form von Oberflächenabfluß, Bodenabtrag und Abschwemmung gelöster Stoffe eingegangen werden. Das zur Untersuchung dieser Problematik entwickelte Untersuchungsprogramm umfaßt u.a. Beregnungsversuche, also eine Simulation von Niederschlagsereignissen. Die dabei entstehenden Stofffrachten sind zum einen unter dem Gesichtspunkt des Nährstoffverlustes auf landwirtschaftlich genutzten Flächen von Interesse, zum anderen soll geprüft werden, ob und in welchem Ausmaß unter unterschiedlichen Bodennutzungsbedingungen mit dem Oberflächenabfluß ein Stoffaustrag in Gewässer stattfinden kann.

2. Versuchsdurchführung

Die Beregnungsversuche werden mit der transportablen Beregnungsanlage nach KARL und TOLDRIAN (1973 - Wasser und Boden, 25, S. 63-65) durchgeführt; die beregnete Fläche beträgt $40\text{m} \times 6\text{m} = 240\text{m}^2$.

Die Beregnung erfolgt nach einem fünfständigen Programm, in dessen Verlauf insgesamt 73mm Niederschlag verregnet werden. Dabei betragen die Regengaben in der ersten Stunde 46mm, in der dritten Stunde 12mm und in der fünften Stunde 15mm. In der zweiten und der vierten Stunde wird eine Beregnungspause eingehalten. Die Regengaben der dritten und der fünften Stunde sind jeweils in vier Intervalle aufgeteilt. Es wird also ein Niederschlagsereignis simuliert, das zu Anfang von einem besonders intensiven Starkregen geprägt ist, dem dann aber schwächere Niederschlagsphasen folgen. Die innerhalb der fünf Stunden geregneten 73mm entsprechen im Versuchsgebiet einem Niederschlagsereignis, das einmal in etwa 60-70 Jahren wahrscheinlich ist (nach MEUSER, 1980, unveröff. Bericht, Institut f. Mikrobiologie und Landeskultur, Gießen).

* Institut für Mikrobiologie und Landeskultur (Landeskultur) der Justus-Liebig-Universität Gießen, Senckenbergstr. 3, 6300 Gießen.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Berechnungen auf Grünland

Von den verschiedenen untersuchten Nutzungsvarianten, nämlich Mähweide, Umtriebsweide und Standweide, sollen hier nur einige Ergebnisse der Umtriebsweide (17% Gefälle) vorgestellt werden. Diese wurde 1981 im Mai, Juli und Oktober geregnet. Auffallend ist, daß der Oberflächenabfluß im Laufe des Jahres deutlich anstieg. Er betrug im Mai in der ersten Stunde des Versuchs, also bei 46mm Niederschlag, 1% der Regengabe und stieg dann auf 13% im Juli und 19% im Oktober an.

In Abb. 1 wurden die bei diesen Versuchen aufgetretenen Abflußintensitäten fünfminutenweise in Form einer Treppenkurve dargestellt.

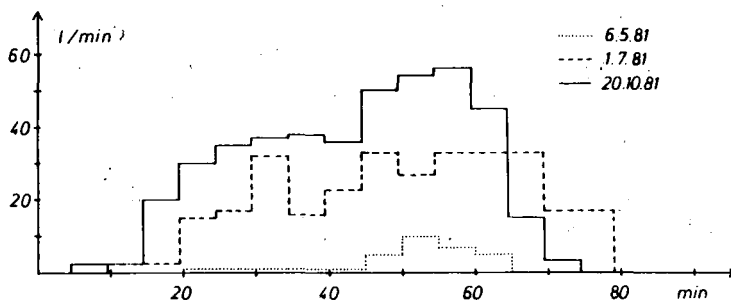


Abb. 1: Abflußintensitäten bei Versuchen auf einer Umtriebsweide (erste Beregnungsphase).

Der Oberflächenabfluß begann im Mai 1981 erst spät, erreichte nur geringe Intensitäten und endete bereits kurz nach Ende der sechzigminütigen Beregnungsphase. Im Juli und Oktober waren deutlich ein früherer Beginn des Abflusses, sehr viel höhere Abflußintensitäten und ein späteres Abflußende zu erkennen. Ein ähnliches Ansteigen der Oberflächenabflußmengen und -intensitäten wurden auf diesem Standort bereits bei Vorversuchen, aber auch auf anderen Grünlandstandorten festgestellt; im Versuchsjahr 1982 konnte jedoch - u.a. wohl aufgrund von großen Unterschieden in der Ausgangsfeuchte des Bodens - eine so deutliche Zunahme des Q_0 der o.g. Umtriebsweide zwischen Frühjahr und Herbst nicht ermittelt werden. Die Gründe für den Anstieg des Oberflächenabflusses dürften u.a. auch darin zu suchen sein, daß der während der Winterruhe sich lockernde Oberboden des Grünlands (Frosteinwirkung, wühlende Bodentiere) durch die Nutzung wieder verdichtet wurde.

Deutlich spiegelt sich die Nutzung im Stoffaustrag wider.

Die Gesamt-P-Konzentrationen stiegen im Laufe des Jahres an. Aufgrund der unterschiedlichen Abflußmengen sind die Unterschiede bei den Frachten am deutlichsten;

diese erhöhen sich von 3g/ha im Mai auf 75g/ha im Oktober (nur erste Berechnungsphase).

Eine andere Entwicklung weisen die Konzentrationen von Kalium, gelösten organischen Verbindungen (gemessen als C) und Ammonium auf, wo die höchsten Werte bei der Juli-Berechnung ermittelt wurden.

	Abflüsse (Q_0)		Stoffkonz. (mg/l)				Stofffrachten (g/ha)			
	l	%	Ges.-P	K	C(DOC)	NH ₄	Ges.-P	K	C(DOC)	NH ₄
6.5.81	160	1	0,5	0,3	2,3	0,02	3	2	17	1
1.7.81	1480	13	0,8	1,4	4,5	0,26	51	83	279	16
20.10.81	2130	19	0,9	0,4	3,1	0,04	75	38	275	4

Tab. 1: Umtriebsweide: Abflußmengen (Q_0 in l pro 240 m²), Stoffkonzentrationen u. -frachten (pro ha) im Abfluß der 1. Berechnungsphase (46 mm Niederschlag).

3.2 Berechnung auf Ackerflächen

Auf Acker wurde u.a. eine Situation untersucht, während der insbesondere bei sommerlichen Starkniederschlägen Erosionsgefahren auftreten können, nämlich die Getreidestoppel; dabei wurden auf zwei deutlich erosionsgefährdeten und relativ wenig durchlässigen Standorten (Wintergerste und Winterweizen) jeweils eine unbehandelte und eine hangabwärts gegrubberte Stoppelpärzelle (8% Gefälle) berechnet. Die entscheidenden Unterschiede in den Abflußmengen traten schon in der ersten Berechnungsphase auf. Die unbehandelten Varianten wiesen bereits nach wenigen Minuten einen rasch ansteigenden Abfluß auf, während die gegrubberten Parzellen wegen ihrer höheren Infiltrationsrate bzw. wegen ihrer größeren Wasserkapazität einen großen Teil des Niederschlags aufnehmen konnten. Erst in der zweiten Berechnungsphase kam es auch hier zu größeren Abflußmengen. Die höheren Abflußsummen aus der unbearbeiteten Stoppel haben jedoch nicht zu stärkerem Austrag an Feststoffen geführt. Die Feststoffkonzentrationen und -frachten lagen vielmehr wesentlich niedriger als bei den gegrubberten Varianten (Tab. 2).

	Abflüsse (Q_0)		Stoffkonzentrationen				Stofffrachten pro ha			
	l	%	Nitrat mg/l	Ges.-P mg/l	C(DOC) mg/l	Feststoffe g/l	Nitrat g	Ges.-P g	C(DOC) g	Feststoffe kg
W-Stoppel 2a	6570	37		0,7	5,2	0,4		192	1425	108
" (Gr) 2b	3300	19	11,9	15,5	7,1	11,5	1638	2133	975	1583
G-Stoppel 9a	5100	29		0,7	4,0	0,2		150	850	42
" (Gr) 9b	3670	21	3,8	6,9	3,1	3,3	579	1054	475	504

Tab. 2: Stoppel: Abflußmengen (Q_0 in l pro 240 m²), Stoffkonzentrationen und -frachten (pro ha) im Abfluß aller drei Berechnungsphasen (73 mm Niederschlag)(Gr = gegrubbert).

Inwieweit allerdings die günstigeren Ergebnisse auf den nicht gegrubberten Parzellen auf das Abfluß- und Abtragsgeschehen natürlicher Niederschlagsereignisse übertragbar sind, ist noch zu prüfen. Die größere Hanglänge bei natürlichen Niederschlägen läßt höhere Fließgeschwindigkeiten im Oberflächenabfluß erwarten, als bei unserer 40m-Parzelle aufgetreten sind. Dies dürfte dann aber auch stärkere Erosionsvorgänge erzeugen.

Bei den Nährstoffausträgen ist eine enge Beziehung der Gesamt-P-Menge mit der Feststoffmenge festzustellen, wobei der Anteil des partikulär gebundenen Phosphors 80-90% des gesamten P beträgt. Die höchste P-Fracht ergab sich mit über 2 kg/ha auf der gegrubberten Parzelle 2b.

4. Schlußbemerkung

Die Untersuchungen umfassen darüber hinaus auch Varianten, über die hier nicht berichtet werden kann, nämlich Mais- und Getreideflächen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien.

Die Übertragung der Erkenntnisse aus den Berechnungsversuchen auf die Situation bei natürlichen Starkniederschlägen wird auf einigen Standorten mit Hilfe von dauerhaft installierten Auffanganlagen versucht.

Gefügeänderungen in intensiv genutzten Lößböden
- ihre Erfassung, Tendenzen, Bedeutung -

von

Richter, J.⁺

1. Einleitung

In der südostniedersächsischen Lößregion ist konservierende Bodenbearbeitung kein Thema, solange der Boden nicht fortgeschwemmt oder verweht wird, das Ertragsniveau nicht sinkt und die Verschlammungsneigung sich in Grenzen hält. Anhaltende Tendenzen zunehmender Bearbeitungsintensität und/oder Gerätelasten in den letzten Jahrzehnten (Bolling u. Söhne, 1982) beleben jedoch die Frage nach den tolerierbaren Grenzen der Gefügeänderungen bzw. Verdichtungen neu.

Eine denkbare Beeinflussung des Wasserhaushaltes dieser Ackerstandorte aufgrund der Veränderung der Speicherung pflanzenverfügbaren Wassers oder der ungesättigten Leitfähigkeit als Folge zunehmender Intensität ist weitgehend auszuschließen, da sich bei Bearbeitung (z.B. de Leenheer, 1971; Ehlers, 1973) bzw. Belastung (z.B. Sommer et al., 1981) die Mittelporenanteile dieser Lößböden kaum, die Feinporenanteile gar nicht ändern. Anderslautende Ergebnisse sind oft durch den irreführenden Bezug auf das Gesamtbodenvolumen bedingt.

Der Hauptaspekt für die Beeinflussung des Wasserhaushaltes dieser stark speichernden Böden liegt damit bei der Veränderlichkeit bzw. Stabilität ihres Makro- und Grobporenkontinuums. Einerseits sorgt ein hochkontinuierliches Makroporensystem, wie es durch zero-tillage aufgebaut werden kann (Ehlers, 1975), für die schnelle Infiltration von Starkregen und begrenzt damit Erosion, Verschlammung und andere ungünstige Vernässungsfolgen. Daneben kommt der Kontinuität der größeren Poren entscheidende Bedeutung für den Lufthaushalt der Böden zu. Luftgehalte von selbst 15% und mehr in tieferen Krumenbereichen sagen wenig über ihren Beitrag zum Gasaustausch, wenn die Kontinuität der Poren nicht bekannt ist. Deshalb wird neuerdings zu Recht Angaben zu kritischen Luftgehalten, die als ausreichend für O₂-Versorgung gelten, weniger Aufmerksamkeit geschenkt.

Dichter - im Sinne höherer Lagerungsdichte - und gleichzeitig weniger dicht - im Sinne von kontinuierlicher in ihrem Grobporensystem sind die durch zero-tillage erzeugten Oberböden aus Löß. Daß die damit verbundenen Vorteile hinsichtlich Tragfähigkeit nicht auch Nachteile für das Eindringen von Wurzeln bedeutet, konnte von Ehlers

⁺Institut für Bodenkunde der Universität Hannover

(1982) gezeigt werden: die Wurzeln nutzen zum Eindringen - wie Wasser und Luftkomponenten - die hochkontinuierlichen Grobporen.

Die Kenntnis dieser Kontinuität einerseits und des Grobporenanteils andererseits scheint damit eine Voraussetzung zum Verständnis des Verhaltens dieser Acker-Böden hinsichtlich ihres Transformationsvermögens für die Pflanze wichtiger stofflicher wie energetischer Komponenten. Da der Mittel- plus Feinporenanteil der meisten Lößböden (mit Tongehalten unter 20%) bei etwa 35% liegt, läßt sich aus der Differenz zum GPV der Grobporenanteil abschätzen. Werden statt an Stechzylindern die Dichten an Aggregaten bestimmt, kann zusätzliche charakteristische Information anhand der Streuung der Aggregatdichten gewonnen werden.

2. Aggregatdichten

Abb.1 veranschaulicht die mechanische "Zustandsfunktion" eines Lößbodens unter "natürlichen" Bedingungen (nach Hartge und Sommer, 1979). Der hineingezeichnete Überkonsolidierungsast kennzeichnet die tatsächliche Situation in den von uns untersuchten Böden. Die "Brocken"-dichte (je 3 Brocken von 2-4 cm³ pro Tiefe und Boden) von 40 verschiedenen Zuckerrübenschlägen auf Löß-Parabraunerde oder -Pseudogley der Calenberger Börde im Juli 82 wurde testweise mit Hilfe der Tauchwägung (nach Paraffinumhüllung) bestimmt (Abb.2). Daß die Brockendichte im Mittel der Lagerungsdichte in Stechzylindern entspricht, zeigt das Beispiel in Abb.3 an einer mit Winterweizen bestellten Löß-Parabraunerde: mögliche Abweichungen sind in erster Linie auf Entlastungserscheinungen zurückzuführen.

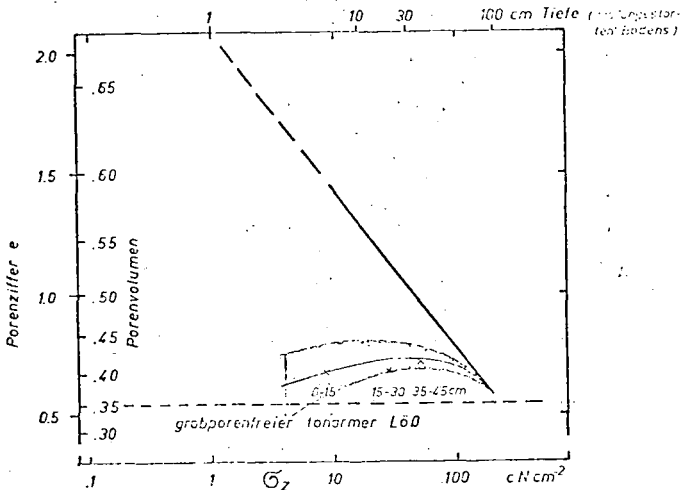


Abb.1: Porenziffer e über Normalspannung σ_z für "ungestörte" (-----) und intensiv gestörte Parabraunerden aus 1,25 (-----)

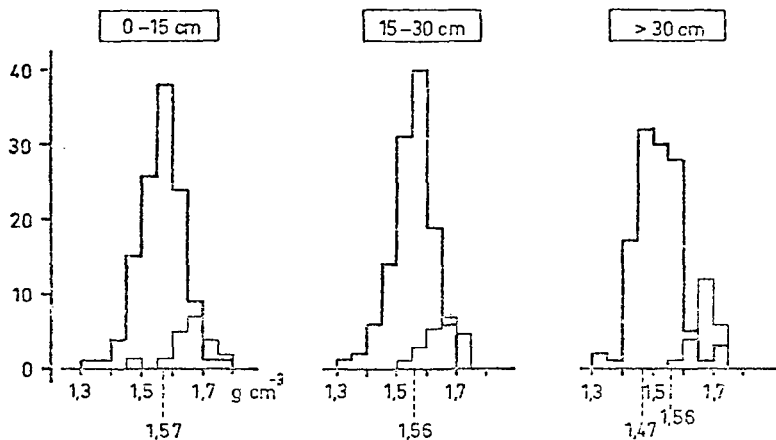


Abb.2: Aggregatdichteverteilungen intensiv genutzter Löß-Parabraunerden und Pseudogleye ("Brocken": 2-4 cm³; < 2 mm)

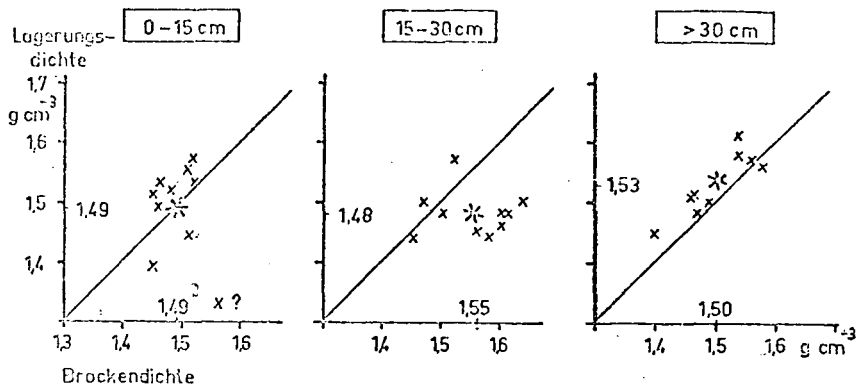


Abb.3: Vergleich von Lagerungsdichte und "Brocken"-Dichte bei einer Löß-Parabraunerde in Ober-, Unterkrume und Unterboden

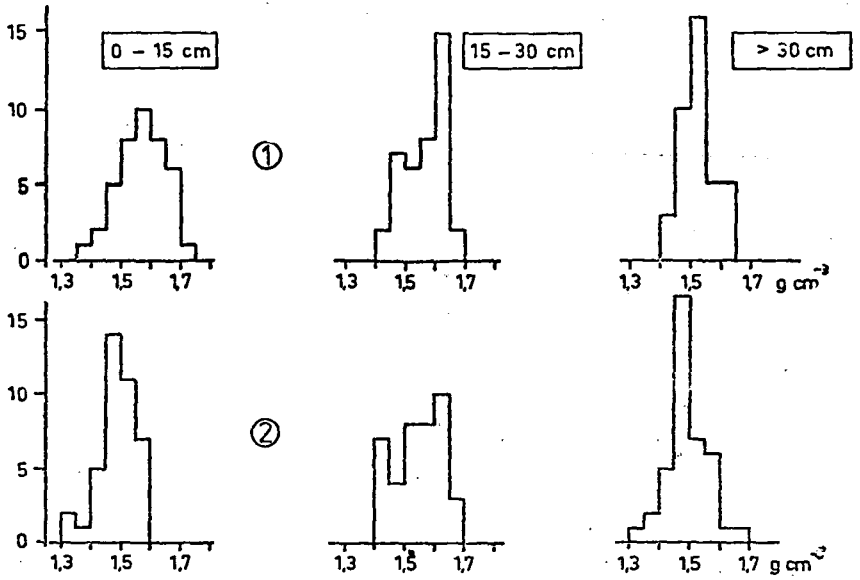


Abb. 4: Brocken-Dichteverteilungen zweier Ackerparabraunerden

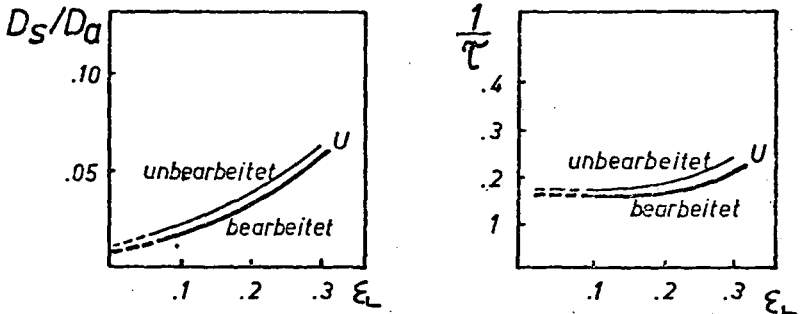


Abb. 5: Gasdiffusionskoeffizienten und daraus berechnete Kontinuitäten bei einem Bearbeitungsversuch auf Löß-Parabraunerde (schematisiert)

Die gleichfalls in Abb.2 eingezeichnete Aggregatdichte ($< 2 \text{ mm } \phi$, Zementmethode nach Bisal and Hinman, 1972) zeigt, daß diese Aggregate praktisch grobporenfrei sind und im Bereich höchster Brockendichte liegen. Beide Krumschichten weisen praktisch normal verteilte Dichten um $1,56 \text{ g cm}^{-3}$ ($\hat{=} \text{ PV} = 40\%$, $e = 0,60$) auf, was einem durchschnittlichen Grobporenanteil von nur etwa 5% entspricht. In den Unterböden (35-40 cm Tiefe) kommen etwa gleichviele Aggregate mit Dichten um $1,56$ und $1,47 \text{ g cm}^{-3}$ ($\hat{=} \approx 44\%$, also 9% Grobporenanteil) vor. Die Ergebnisse in Abb.2 charakterisieren also die hohe Verdichtung hauptsächlich der Krumen der untersuchten Böden, die sich aber schon deutlich in die Unterböden fortpflanzt. - In Abb.4 sind die Brockendichten für 2 Parabraunerden nach der Winterweizenernte (August 82) herausgezogen, die an je 10 Stellen mit je 4 Brocken/Tiefe ermittelt wurden. Boden 1 ist in der Krume deutlich dichter als im Unterboden, Boden 2 nicht. Auffällig ist die Mehrgipfeligkeit der Dichteverteilung in der Unterkrume bei beiden Böden sowie die Tatsache, daß in beiden Böden in der Unterkrume die höchsten Dichten ($= 1,62 \text{ g cm}^{-3} \hat{=} \sim 38\% \text{ GPV} \hat{=} \sim 3\% \text{ Grobporenvolumen}$) am häufigsten vorkommen.

Kontinuität der größeren Poren

Messungen des scheinbaren Gas-Diffusionskoeffizienten an Schluffböden (Richter und Großgebauer, 1978) ergaben die Beziehung in Abb.5 (links), sowie die daraus abgeleitete Abhängigkeit der Kontinuität $\frac{1}{T}$ vom Luftgehalt, Abb.5 (rechts). Außerdem enthält die Abb.5 die $\frac{1}{T}$ -schematisierte - Aufspaltung für die bearbeitete und unbearbeitete Variante: meist ergaben die unbearbeiteten Böden höhere D_S - und $\frac{1}{T}$ -Werte. - Entsprechende Untersuchungen von Ball (1981) und Luftpermeabilitätsmessungen von Hamblin and Tennant (1981) an Proben aus den obersten 10 cm von ähnlichen Böden zeigten jedoch häufig bei den bearbeiteten Varianten höhere Kontinuitäten. Es ist durchaus denkbar, - und das ist schließlich das Ziel der Bearbeitung - daß in den ersten Jahren nach Anlage eines Versuchs zum bearbeitungsfreien Ackerbau die bearbeiteten Varianten

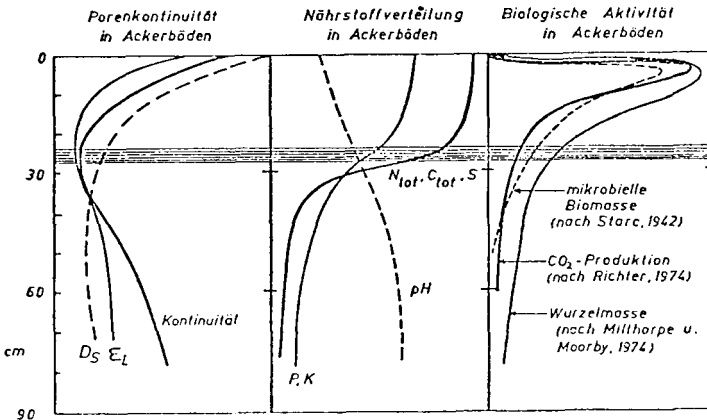


Abb.6: Charakteristische Tiefenverteilungen wichtiger Parameter in einer Löß-Ackerparabraunerde

unmittelbar nach der Bearbeitung höhere Kontinuitäten nahe der Oberfläche zeigen als die bearbeitungsfreien. Nach mehreren Jahren jedoch zeigen Schluffböden deutlich höhere scheinbare Gas-Diffusionskoeffizienten in den zero-tillage-Oberböden als in den Krumen (Ehlers, 1982).

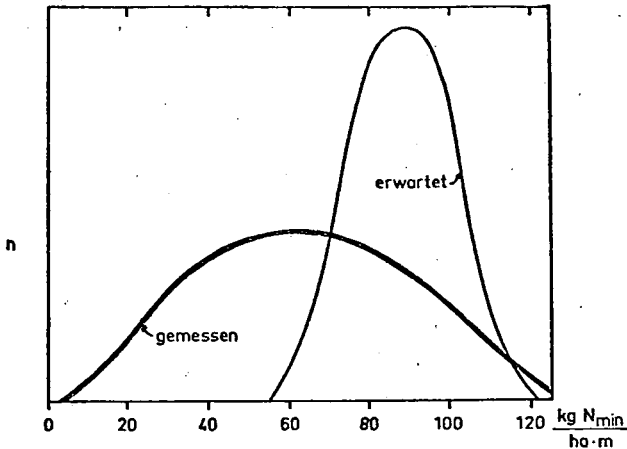


Abb.7: Erwartete und gemessene Verteilung von N_{\min} - Werten im Februar

Der Einfluß des Diffusionskoeffizienten (und damit der Kontinuität der größeren Poren) auf den Lufthaushalt läßt sich durch Messungen der ϵ_L , CO_2 -Profile und der CO_2 -Produktion an der Oberfläche ermitteln. Abb.6 enthält ein typisches Beispiel für die Tagesmittelwerte all dieser Werte zu einem Zeitpunkt im Sommer: die CO_2 -Produktion - und O_2 -Konsumption - beschränkt sich im wesentlichen auf die obersten 10-15 cm. Die gleichzeitig angegebenen Profile für Wurzelmassen- und Biomassenverteilung sprechen für die Richtigkeit dieser Auffassung. Im Hochsommer (Ende Juni-Anfang August) kann die biologische Aktivität wegen der oberflächlichen Austrocknung und dadurch erhöhten Diffusionskoeffizienten wesentlich tiefer in den Boden hineinreichen (Richter und Großgebauer, 1978).

Der Einfluß der unterschiedlichen Belüftungsbedingungen in Lößackerböden auf die Mineralisation drückt sich in der Verteilung der im Februar gemessenen N_{\min} -Werte aus: Abb.7 zeigt eine gemessene Verteilung nach Winterweizen von über 100 Lößböden im Vergleich zu einer erwarteten, die sich allein aufgrund unterschiedlicher Ernte- bzw. Abreifetermine sowie der Meßunsicherheit ergäbe, wenn die Belüftung optimal wäre, d.h. bei oberflächlicher Einbearbeitung der Residuen.

Abb.8a zeigt schematisch, wie die Unterkrume bearbeiteter Böden

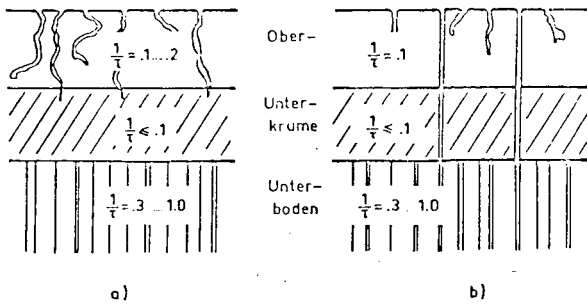


Abb.8: Die dichten Unterkrumen in Löß-Böden unterbrechen das Porenkontinuum

das natürliche Dränagesystem des wenig beeinflussten Unterbodens vor dem künstlichen der Oberkrume trennt. Flache Einarbeitung der Ernterückstände würde kaum zu einer weiteren Verdichtung der Unterkrume führen, eher mit der Zeit in Richtung un bearbeiteter Böden führen, wie dies in Abb.8b angedeutet wird.

Zusammenfassende Schlußfolgerungen

1. Die durch tiefere Bearbeitung der Lößackerböden bedingte Unterkrume unterbricht die Kontinuität des Porensystems zwischen Oberkrume und Unterboden und damit die natürliche Dränage.
2. Es erscheinen Zweifel angebracht, ob die bisherigen Bodenbearbeitungspraktiken überhaupt in der Lage sind, die Struktur der strukturschwachen Lößböden auch nur für die Dauer der Vegetationsperiode positiv zu beeinflussen. Eher scheint es so zu sein, daß es infolge intensiver Bearbeitung zu einer fortschreitenden Destabilisierung der Struktur dieser Böden und damit ihres Makroporenkontinuums kommt. Die Folgen sind u.a.: zunehmende Vernässung und damit Vergrößerung der Erosions- und Verschlämmungsneigung, Beeinträchtigung der Stickstoffmineralisation und Förderung denitrifizierender Bedingungen.
3. Es erscheint sinnvoll und notwendig, an einer größeren Anzahl von Lößflächen langfristige Untersuchungen der beschriebenen Art (einschließlich Ertragserhebungen) durchzuführen, um die Folgen sicherer abschätzen zu können.

- Ball, B.C., (1981): "Pore characteristics of soil from two cultivation experiments as shown by gas diffusivities and permeabilities and air-filled porosities". J. Soil Sci. 32, 483-498.
- Bisal, F. and Hinmann, W.C., (1972): "A method of estimating the apparent density of soil aggregates". Can. J. Soil Sci. 52, 513-514.
- Bolling, I., und Söhne, W., (1982): "Der Bodendruck schwerer Ackerschlepper und -Fahrzeuge". Landtechnik 37, 54-56.
- de Leenheer, L., (1971): "The influence of weather, crop and sampling depth on the measurement of pore size distribution in the arable layer of some cultivated silt soils". Soil Sci. 112, 89-99.
- Ehlers, W., (1973): "Strukturzustand und zeitliche Änderung der Wasser- und Luftgehalte während der Vegetationsperiode in unbearbeiteter und bearbeiteter Löß-Parabraunerde". Ztschr. Acker- und Pflanzenbau 137, 213-232.
- Ehlers, W., (1975): "Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled Loess soils". Soil Sci. 119, 242-249.
- Ehlers, W., (1982): "Die Bedeutung des Bodengefüges für das Pflanzenwachstum bei moderner Landbewirtschaftung". DBG-Mitt. dieser Band.
- Hamblin, A.P. and Tennant, D., (1981): "The influence of tillage on soil water behavior". Soil Sci. 132, 233-239.
- Hartge, K.H., und Sommer, C., (1979): "Bodenverdichtungen und ihre Beurteilung". Ztschr. f. Kulturtechnik u. Flurberreinigung 20, 257-268.
- Richter, J. und Großgebauer, A., (1978): "Gasdiffusionskoeffizienten als Strukturmaße für Böden". Ztschr. Pflanzenern. Bodenkde. 141, 181-202.
- Sommer, C., Ruhm, E. und Altemüller, H.-J., (1981): "Direkt- und Nachwirkungen starker Verdichtungen auf das Bodengefüge und den Pflanzenertrag". Kali-Briefe (Büntehof) 15, 429-448.

Auswirkung des Befahrens mit schweren Fahrzeugen auf
bodenphysikalische Kennwerte (Kurzfassung)

von

Bencke, P.*

Einleitung

Um die Wirkung des Befahrens forstlicher Standorte mit schweren Fahrzeugen zu ermitteln, wurden Messungen der ungesättigten Leitfähigkeit (k_u -Werte) und der pF-Kurven durchgeführt.

Material und Methoden

Stechzylinderproben (5 Parallelen, 2 Tiefen zwischen 0 und 20 cm u. Gel.) wurden entnommen, und zwar jeweils von der befahrenen und einer unbefahrenen Vergleichsparzelle.

Diskutiert werden hier 3 Bodenpaare:

1. flach- bis mittelgründige Braunerde aus Basalt, tonig-schluffig, skelettreich, F-Mull, unter Buchenwald
2. mittel- bis tiefgründiger Podsol aus Buntsandstein, Mittelsand, skelettreich, rohhumusartiger Moder, Kiefern-Buchen-Eichen-Mischwald
3. tiefgründige, schwach podsolige Braunerde aus Buntsandstein, lehmig-sandig bis sandig-lehmig, skelettarm, Moder, Fichten-Buchen-Lärchen-Kiefern-Mischwald

Alle Bestände sind im Baumholzalter und so weitständig, daß in ihnen schwere Rad- und Kettenfahrzeuge fahren können.

Ergebnisse

1. Braunerde, Abb. 1a u. 1b, Tab. 1

Tiefe 2 - 7 cm: starke Abnahme der Grobporen (> -10 kPa), geringe Zunahme der groben, starke Zunahme der feinen Mittelporen auf der befahrenen Parzelle. Dementsprechend starke Verringerung der Leitfähigkeit (k_u -Werte) im Grobporenbereich; dagegen Erhöhung im Bereich der groben Mittelporen.

Tiefe 12 -17 cm: Zunahme (!) der Grobporen, starke Verringerung der groben und fast gleiche Zunahme der feinen Mittelporen. Die k_u -Werte wurden durch das Befahren verringert, obwohl die Grobporen zugenommen haben (für $\psi > -10$ kPa), verursacht - vgl. Abb. 1b - offensichtlich durch Porenverteilung im Grobporenbereich zugunsten der größten Grobporen.

*Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen

Standörtliche Interpretation: Beeinträchtigung der Luftführung des Oberbodens im wesentlichen durch Porenverteilung. Leitfähigkeit zwar stark, jedoch noch in ökologisch unschädlichen Grenzen verringert.

2. Podsol, Abb. 2a u. 2b, Tab. 1

Tiefe 7 - 2 cm u. Gel.(Auflagehumus): starke Zunahme (!) der Grobporen, offenbar durch Zerstörung der Struktur des Auflagehumus; hauptsächlich auf Kosten des mittleren Bereichs der Mittelporen (10μ Äquivalentdurchmesser > 3): Dementsprechend stark erhöhte Werte der k_u -Funktion im Grobporenbereich.

Tiefe 2 - 7 cm: deutlich geringeres Grobporenvolumen und (trotzdem) geringfügig erhöhte, im Prinzip ähnlich wie im Auflagehumus abgeänderte Leitfähigkeit.

Standörtliche Interpretation: der starke Abfall der Leitfähigkeit im hohen Matrixpotentialbereich (unbefahrene Parzelle) zeigt einen wirksamen Verdunstungsschutz durch geringes kapillares Leitvermögen aus dem Boden zur Oberfläche an.

Dieser Mulcheffekt ist auf der befahrenen Parzelle weitgehend verloren gegangen, insbesondere im Auflagehumus.

In abgeschwächtem Maße zeigt sich ein ähnlicher Effekt jedoch auch im oberen Mineralboden, hier offenbar aufgrund einer Kompaktierung. Der befahrene Boden dürfte leichter austrocknen, d.h. stärkere und anhaltendere Wasservorratsdefizite aufweisen.

3. Schwach podsolige Braunerde, Abb. 3a u. 3b, Tab. 1

Tiefe 1 - 6 cm: durch Befahrung starke Verringerung der Grobporen und mäßige Verringerung der groben Mittelporen, teilweise durch Kompaktierung, hauptsächlich jedoch zugunsten der feinen Mittelporen. Ferner stellten sich höhere Leitfähigkeiten im Bereich der größten Poren ($> 50\mu$) ein.

Tiefe 12 - 22 cm: abgeschwächte, jedoch ähnliche Auswirkungen wie im darüberliegenden Mineralboden.

Standörtliche Interpretation: die Kompaktierung hat hauptsächlich die größten Poren betroffen und offenbar neben der Reduktion auch eine Porenverteilung im Grobporenraum hervorgerufen mit der Folge höherer Leitfähigkeiten im Bereich der mittleren Grobporen. Sie dürfte - ähnlich dem voraus-

gehenden Profil - die Bodenverdunstung fördern. Die Luftkapazität des Oberbodens ist nach dem Befahren nicht mehr ausreichend; hierbei dürfte die Luftführung allerdings von der erhöhten kapillaren Leitfähigkeit profitieren, d.h. ein gewisser Ausgleich erfolgen.

Zugenommen haben die feineren Mittelporen (Porenverteilung).

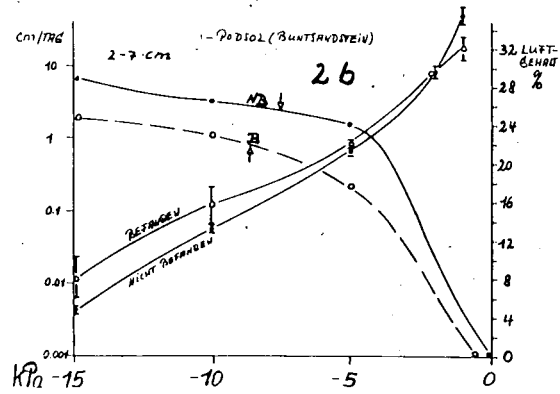
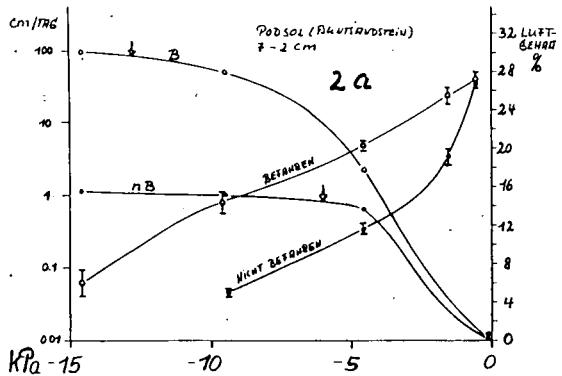
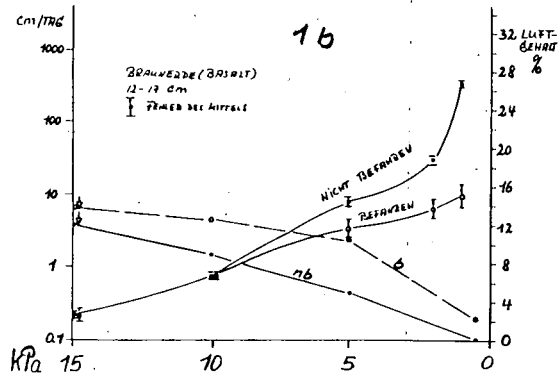
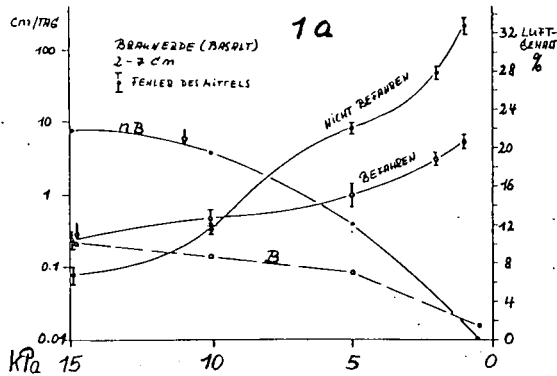
Tabelle 1: Fraktionen der Grobporen sowie der gröberen und der feineren Mittelporen der nicht befahrenen (n b) Vergleichsflächen und der befahrenen (b) Flächen.

GPV = Gesamtporenvolumen, LK = Luftkapazität
 nFK_g = gröbere, nFK_f = feinere Mittelporen der nutzbaren Feldkapazität. (Angaben in Volumen%)

Tiefe, cm	Behandlung	GPV	LK	nFK_g	nFK_f	(Äquivalentdurchmesser)
			>30 μ	3-30 μ	.2-3 μ	
1. Braunerde (Basalt)						
2- 7	n b	61,2	19,6	15,5	11,5	
2- 7	b	58,3	8,3	18,1	17,8	
12-17	n b	50,7	9,0	19,0	8,7	
12-17	b	50,8	12,6	9,7	15,5	
2. Podsol (Buntsandstein)						
7- 2	n b	81,2	15,6	37,3	3,3	
7- 2	b	80,4	28,6	31,5	1	
2- 7	nb	46,1	26,9	10,3	1	
2- 7	b	40,5	23,1	10,5	4,9	
3. Podsolige Braunerde (Buntsandstein)						
1- 6	nb	42,0	19,2	10,1	5,8	
1- 6	b	37,4	10,6	7,7	11,2	
12-17	nb	37,0	12,4	12,0	5,7	
12-17	b	36,8	11,6	10,9	6,3	

Zusammenfassung

Das Befahren mit schweren Fahrzeugen hat bei den untersuchten Böden zu Porenverteilungen und Kompaktierungen geführt. Vermindert wurden hauptsächlich die Grobporen, erhöht insbesondere die feineren Mittelporen. In begünstigten Porenbereichen nahm die Wasserleitfähigkeit zu und umgekehrt. Die standörtlichen Auswirkungen sind durchweg negativ, jedoch recht unterschiedlich in Ausmaß und Art.



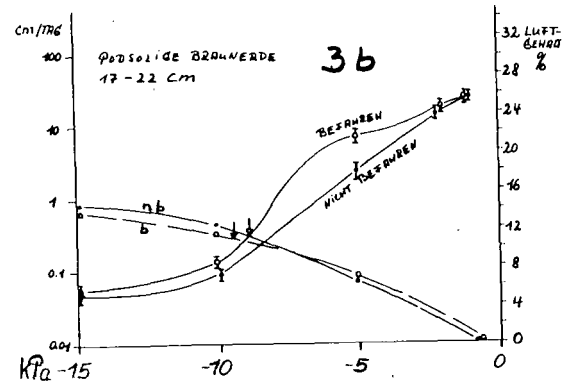
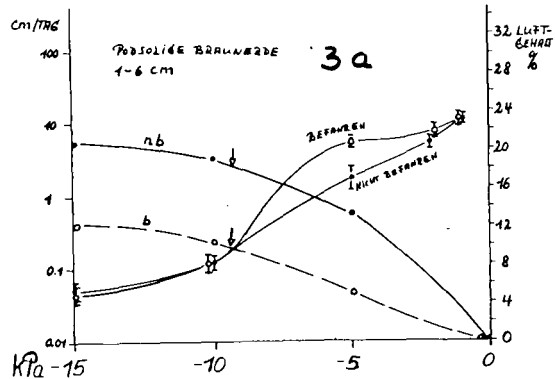


Abb. 1 bis 3: Dargestellt ist die Zunahme des Luftgehaltes mit abnehmendem Matrixpotential jeweils des nicht befahrenen (ausgezogen, n b) und des befahrenen (gestrichelt, b) Bodens in 2 Tiefen zwischen 0 und 20 cm u. Gel. Ferner ist die Leitfähigkeit als Funktion des gleichen Matrixpotentialintervalles zu sehen. Wählt man einen Gleichgewichtssickerfluß von 0,1 cm/Tag als ökologisch sinnvolle Normbelastung eines Bodens, so läßt sich das Matrixpotential als Parameter sowohl der Sickerate als auch des korrespondierenden Luftgehaltes verwenden. Dies erlaubt eine Aussage über den Lufthaushalt des Bodens.



Direkt- und Nachwirkungen starker Verdichtungen
auf das Bodengefüge und den Pflanzenertrag

von

Sommer, C.* und Altemüller, H.-J.**

1. Problemstellung

In den Jahren 1970 - 1976 wurde in Labor- und Feldversuchen auf vier Standorten Südostniedersachsens der Frage nachgegangen, inwieweit nach starken Bodenverdichtungen zwischen der Direktwirkung und den Nachwirkungen bezüglich des Bodengefüges und des Pflanzenertrages unterschieden werden kann.

Mit einem 40 t schweren Kettenfahrzeug (mittlere Flächenpressung in der Berührungsfläche Kette/Boden: 1.55 daN/cm^2) wurden jeweils im Spätherbst tiefe Spurrinnen auf gepflügten Acker gelegt, die vor der Aussaat zu Zuckerrüben und Winterweizen mit der Saatbettbereitung eingeebnet wurden. Die Wintergerste war zum Zeitpunkt des Spurenlegens bereits aufgelaufen.

Für die Anlagen der Versuchsflächen wurden vier Böden ausgewählt. Bei den Profilen 1 und 2 handelt es sich um Parabraunerde in verschiedener Ausprägung aus Löß, die für weite Gebiete repräsentativ und von großer landwirtschaftlicher Bedeutung sind. Die Böden 3 und 4 besitzen ebenfalls hohe Anteile von Löß, sie bestehen aber insgesamt aus kolluvialem Material verschiedener Herkunft und sind nach ihrer typologischen Ausprägung als stark degradierte Schwarzerden mit Staunässe-Merkmalen einzustufen.

Unter Direktwirkung wird die Beeinflussung des Bodengefüges bzw. Ertragsbeeinflussung im Jahr nach dem Befahren des Bodens verstanden. Es fließen demnach Krümen- und Unterbodenverdichtungen mit ein. Die Nachwirkung wird definiert als

* Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der FAL, Braunschweig-Völkenrode

** Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der FAL, Braunschweig-Völkenrode

die Beeinflussung von Boden und Erträgen über das erste Jahr hinaus. Hierbei wirken sich demnach nur Unterbodenverdichtungen aus, da die Krümmenverdichtung durch die übliche Bodenbearbeitung nach der ersten Ernte beseitigt worden ist.

Aus den umfangreichen Ergebnissen (SOMMER, RUM, ALTMÜLLER, 1981) wird im folgenden hauptsächlich nur auf einen Teilversuch (Profil 1, Versuchsplan: Abb. 1) eingegangen. Es sollten speziell die Tiefenwirkung, die Auswirkung wiederholten Befahrens, die Regenerationsfähigkeit des Bodens und die zeitliche Änderung des Porenvolumens untersucht werden.

2. Ergebnisse zum Bodengefüge

Zur Beurteilung der Verdichtungsempfindlichkeit der ausgewählten Bodenprofile wurden im wesentlichen vier Zielfunktionen verwendet (SOMMER, 1974). Sie sind mit den verwendeten Gleichungen zusammengestellt und mit entsprechenden Ergebnissen von SOMMER (1976) diskutiert worden.

Die Tiefenwirkung eines zwei- bzw. sechsmaligen Befahrens wird aus den Ergebnissen bezüglich Porenvolumen und Grobporen (Poren > 30 μ) deutlich, Tab. 2. In der Tiefe 30-35 cm wurde eine Schlepperradsole, hervorgerufen durch jahrelanges Fahren mit dem Schlepper in der Furche beim Pflügen, angetroffen. Schon dadurch betrug das Porenvolumen nur 39.1 Vol%. Dennoch traten durch das Befahren mit dem Kettenfahrzeug zusätzliche Verdichtungen ein, die statistisch gut bis sehr gut zu sichern waren. In der Tiefe 40-45 cm sind durch das Befahren die stärksten Verdichtungen entstanden, die fast stets sehr gut abzusichern waren. In der Tiefe 60-65 cm war die Wirkung des Befahrens gegenüber 'unbefahren' zwar noch festzustellen, die Differenzen waren jedoch nicht statistisch gesichert, Tab. 3. Aus Abb. 2 gehen Streubreite und Verminderung der Grobporen durch mehrmaliges Befahren hervor. Der untere Grenzwert scheint bei $0.1 \text{ cm}^3 \text{ Poren} > 30 \mu \text{ pro cm}^3 \text{ Bodenfestsubstanz}$ erreicht zu sein.

Ein Ausweg aus der Schwierigkeit der Beurteilung von Bodenverdichtungen auch aus bodenphysikalischer Sicht weist eine Überlegung von HARTGE und SOMMER (1979). Geht man nämlich von der Annahme aus, daß unter natürlichen Bedingungen im Feld für ein bestimmtes Bodenvolumen unter Flur die Last der darüberliegenden Bodenschicht die einzige Belastung darstellt ('unbefahren'!), so kann für jede Tiefe im Boden die natürliche Auflast errechnet werden. Den Werten für die Porenziffer in den entsprechenden Tiefen sind diese Auflasten gegenüberzustellen, Abb. 3. Bodenzone, die geringere Werte für die Porenziffer aufweisen, wären dann im eigentlichen Sinne des Wortes 'verdichtet'.

Diese Vorstellung läßt allerdings außer acht, daß z.B. ein biogen entstandenes Gefüge höhere Porositäten aufweisen kann, als sie von der natürlichen Auflast her erwartet werden. Dies gilt insbesondere auch für die Porentanteile in tieferen Schichten, etwa bei begrabenen Bodenhorizonten. Die hier vornehmlich angesprochenen, nur mäßig stabilen und zeitweise übermäßten Böden (Frühjahr!) zeigen aber weitgehend die angesprochene Beziehung der Lagerung zur Auflast, so daß die Bezugsgröße zur Beurteilung der Verdichtung in - erster - Annäherung gegeben ist.

Die wesentlichen Ergebnisse aus diesem Teilbereich können wie folgt zusammengefaßt werden:

- für das Ausmaß der Unterbodenverdichtung ist nicht die Flächenbelastung in der Spur, sondern die Gesamtbelastung (40 t) ausschlaggebend
- 10 cm seitlich der Spur reicht die Verdichtung bis in etwa in 50 cm Tiefe
- 1 x befahren: bis 50 cm Tiefe, unter feuchten Bedingungen bis 70 cm
- 6 x befahren: größere Tiefenwirkung und stärkere Verdichtung
- Regeneration in offen gebliebenen Spuren besonders hoch
- länger andauernde Restverdichtung in den Spuren bei üblicher Bewirtschaftung (über 3 Jahre hinaus).

3. Ergebnisse zum Pflanzenertrag

Da an anderer Stelle (SOMMER, RUHM, ALTEMÖLLER, 1981) ausführlich auf die Ergebnisse der Versuche eingegangen wird, sollen hier die Direkt- und Nachwirkungen nur für die Wintergerste angeführt werden, Tab. 4. Im Mittel betrug die Direktwirkung 25 % Minderertrag, die erste Nachwirkung nur noch 7 %, die zweite 6 %.

Die wesentlichen Ergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:

- Bodenverdichtungen hatten meist Ertragsminderungen zur Folge, für die Direktwirkung fast ohne Ausnahme; die Ergebnisse waren jedoch nicht ohne Widersprüche
- unterschiedliche Ertragsminderungen zwischen den Getreidearten nur bei der Direktwirkung
- Nachwirkungen nur bis in das 3. Jahr nach Spurlegung
- die Zuckerrübe reagierte mit größeren Ertragsstreuungen und mit Rübenbeinigkeits.

4. Schlußfolgerungen

Wenn trotz der Ergebnisse über negative Auswirkungen von Krümen- und Unterbodenverdichtungen das Problem 'Bodenverdichtung' noch nicht als gelöst anzusehen ist, dann liegt dies bei näherer Betrachtung an der Tatsache, daß auch positive Auswirkungen festzustellen sind (SOS1). Deshalb kann die so schwierige Analyse des Problems 'Bodenverdichtung' sicher nur durch verschiedene, integrierte Forschungsansätze erreicht werden. Solche sind und werden weltweit verfolgt:

- Gefäß- und Modellversuche, die auch unkonventionelle Lösungsansätze für eine Verbesserung der Unterbodenerschließung durch die Wurzeln aufzeigen können (HARTGE und SOMMER, 1980).
- Erhebung von Daten im praktischen landwirtschaftlichen Betrieb, wie sie von NITZSCH (1936) schon durchführte. In Tab. 5 sind neuere Ergebnisse zusammengestellt (persönl. Mitteilung von RIEM) und nach einem Vorschlag von HARRACH und WOURTSAKIS (1981) beurteilt. Dabei fällt der prozentual hohe Verdichtungsgrad auf schweren Böden ins Auge, was sicher auch eine Folge des nassen Herbstes 1981 ist.
- Die Fortführung von Feldversuchen wie dies von HAKANSSON in einem internationalem Programm durchgeführt wird.

5. Literatur

- HARRACH, T. und WOURTSAKIS, A. (1981): Ermittlung der Porengrößenverteilung von Böden aus Bodenart, Lagerungsdichte und Humusgehalt (im Druck)
- HARTGE, K.H. (1979): Bodenverdichtungen und ihre Beurteilung. - Z. Kulturtech. u. Flurbereinigung 20, 257-268
- HARTGE, K.H. und SOMMER, C. (1980): The effect of geometric patterns of soil structure on compressibility. - Soil Science 130, 180-185
- v. NITZSCH, W. (1936): Bessere Bodenbearbeitung. - RKT-L-Schrift 70
- SOMMER, C. (1974): Die Verdichtungsempfindlichkeit zweier Ackerböden. - Diss. Braunschweig
- SOMMER, C. (1976): Über die Verdichtungsempfindlichkeit von Ackerböden. - Grndl. Landtechnik 26 (1), 14-23
- SOMMER, C., RIEM, E. und ALTEMÜLLER, H.-J. (1981): Direkt- und Nachwirkungen starker Verdichtungen auf das Bodengefüge und den Pflanzenertrag. - Kali-Briefe 15 (7), 429-448.

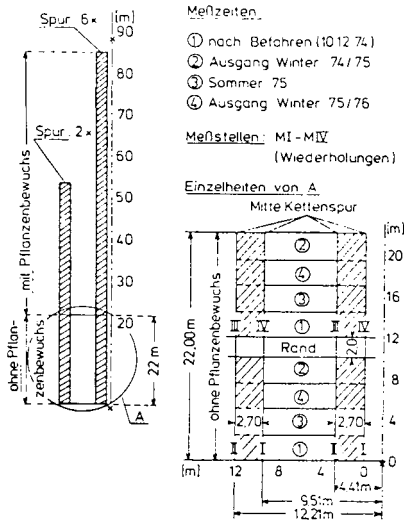


Abb. 1: Versuchsplan des Teilversuchs 74/76

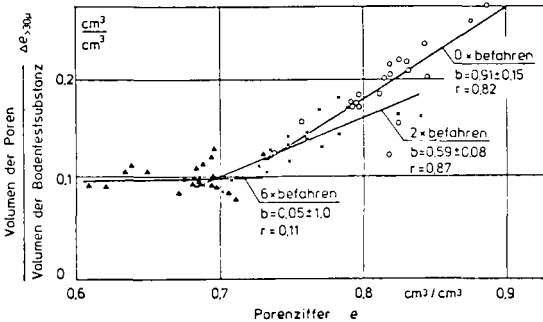


Abb. 2: Zusammenhang zwischen den Grobporen $\Delta e_{>30\mu}$ und der Gesamtporoziffer e vor und nach dem Befahren

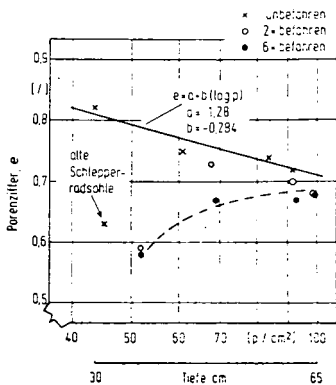


Abb. 3: Ansprache der Verdichtung eines Bodenprofils anhand der Porenziffer-Auflast-Beziehung

Tab. 2: Mittelwerte und Standardabweichungen für Porenvolumen und Poren >30 µ vor und nach mehrmaligem Befahren

Meßgröße	Tiefe (cm)	0 x	2 x	6 x
Porenvolumen (Vol %)	30 - 35	39,1	37,2	37,7
		1,8	1,0	1,0
	40 - 45	44,9	42,9	40,4
		1,0	1,3	1,1
	60 - 65	43,0	42,3	41,4
		2,5	1,7	1,7

Luftschicht (Vol %)	30 - 35	5,0	4,2	5,5
		1,9	1,2	1,2
	40 - 45	10,6	7,5	6,0
		1,9	1,4	0,8
	60 - 65	8,2	6,3	7,8
		3,5	1,5	2,1

Tab. 5: Beurteilung der Lagerungsdichte von Schlepperradspuren in 134 Feldstücken 1981/82

Bodenart	Sand	Löss	Ton
Anzahl der Feldstücke	25	92	17

Verdichtungsgrad (%) n. HARRACH u. MOURITSAKIS, 1981			
hoch	52	42	82
mittel	40	46	12
gering	8	12	6

Tab. 3: Differenzen und Signifikanzen für die Porenvolumina-Werte nach dem Befahren

Tiefe (cm)	Prüfglied	Porenvolumen (Vol %)	Differenz zu 2 x	6 x
30-35	0 x	39,1	- 1,9 ^{xxx}	- 1,4 ^{xx}
	2 x	37,2		- 0,5
40-45	0 x	44,9	- 2,0 ^{xxx}	- 4,3 ^{xxx}
	2 x	42,9		- 2,5 ^{xxx}
60-65	0 x	43,0	- 0,7	- 1,6 ^x
	2 x	42,3		- 0,9

Tab. 4: Direkt- und Nachwirkungen auf die Erträge von Wintergerste 71/74

Direktwirkung	Zahl der Vers.	Normal 10 ⁻²	Spur dt/ha	Rel.
lehm. Schluffboden	7	6826	5021	73
schluff. Lehm-boden	7	7296	5540	75
	14	7061	5281	74
<u>1. Nachwirkung</u>				
lehm. Schluffboden	5	6795	6123	90
schluff. Lehm-boden	5	6886	6721	97
	10	6841	6422	93
<u>2. Nachwirkung</u>				
lehm. Schluffboden	4	6946	6621	95
schluff. Lehm-boden	4	5761	5416	94
	8	6354	6019	94
<u>3. Nachwirkung</u>				
lehm. Schluffboden	2	7394	8303	112
schluff. Lehm-boden	1	6751	6859	101
	3	7180	7822	108

Struktur-Inhomogenität von Ackerkrumen als Wirkungen landtechnischen Gerätes

von
Frede, H.G. ⁺)

1. Problemstellung

Die gezielte Bodenbearbeitung wie auch die unbeabsichtigte, d.h. durch Pflege und Ernte der Kulturen ausgeübte Bodenbearbeitung und das mit beiden Maßnahmen verbundene Befahren von Ackerflächen rufen in der Krume nebeneinander und gleichzeitig Lockerung und Verdichtung hervor.

Lockerung heißt dabei: Ausschließlich Schaffung von Grobporen, Verdichtung: Vernichtung von Grob- als auch Mittelporen, d.h.

Verdichtung der eigentlichen Boden-Matrix, des Intergranular-Gefüges, welches die Dichte der Boden-Aggregate bestimmt.

Die Relation von Lockerungs- zu Verdichtungs-Effekt hängt bei ein- und demselben mechanischen Vorgang von der Feuchte des Bodens ab. Struktur-Verschlechterung durch Boden-Verdichtung wirkt sich in den Phasen des Überganges meist nicht in einer homogenen Minderung der Gefüge-Qualität des gesamten Ackers aus. Sie führt vielmehr zunächst in Art eines Raum-Mosaiks mit Kompartimenten im Dezimeter-Bereich oder weniger zu einem Nebeneinander von dichten und lockeren Boden-Partien. Erst langsam bildet sich ein Flächen-Mosaik mit meßbaren Inhomogenitäten der Standortsqualität und entsprechenden Streuungen des Ertrages im Quadratmeter-Bereich heraus, bis schließlich die gesamte Fläche vom Struktur-Verfall erfaßt wird und eine homogene Ertragsdepression eintritt.

Die Frage ist auf den Nachweis von Stadien inhomogenen Struktur-Verfalls gerichtet. Solche Untersuchungen sind methodisch aufwendig. Die Messung von Dichte und Poren-Verteilung mittels Stechzylindern kann zwar durch die wesentlich schnellere Bestimmung der Aggregat-Dichten ergänzt und ersetzt werden und damit statistisch sicherer gemacht werden, doch gehört zur Struktur-Beurteilung unabweisbar auch die Messung der Poren-Form, so z.B. der Poren-Kontinuität.

2. Methodik

Neben der Dichte größerer Boden-Ausschnitte ist die Kenntnis der Dichte von kleinen Aggregaten deswegen wichtig, weil sie etwas über die Packungsdichte der Matrix aussagt. Es wurde ein Verfahren zur Bestimmung der Dichte von Aggregaten entwickelt, das es gestattet, die Dichte von Aggregaten jeder Größe zu bestimmen. Die Aggregate werden bei diesem Verfahren durch einen Sprühkleber stabilisiert, das Volumen wird durch Tauchwägung bestimmt (FREDE, und MEYER, 2).

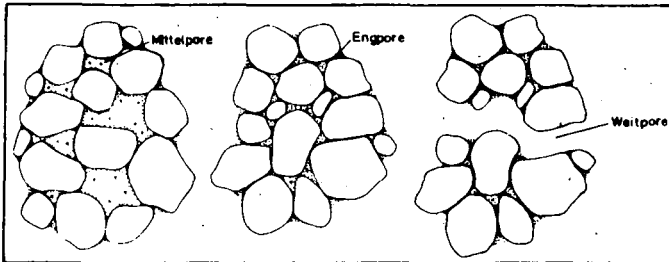
Die Porenverteilung wird aus der pF-Charakteristik nach Sättigung der Poren im Vakuum abgeleitet. Das Verfahren ist bekannt.

Parallel zur Bestimmung der pF-Charakteristik werden die Proben nach jedem Entwässerungsschritt in ein Gasdiffusions-Meßgefäß gegeben, in dem der O₂-Diffusions-Koeffizient und die spezifische Porenkontinuität (= Porenkontinuität einer Porenklasse) bestimmt werden. Siehe hierzu FREDE et al. (1) und FREDE (3)..

⁺) Institut für Bodenwissenschaften, von-Siebold-Str. 4,
3400 Göttingen

3. Ergebnisse

Im Grunde genommen ist der sichtbare Effekt der Lockerung des Bodens durch die Bodenbearbeitung häufig eine optische Täuschung. Die Verdichtung, welche die einzelnen Bruch-Aggregate, d.h. die Boden-Matrix mit ihren Mittelporen dabei erfahren hat, wird verschleiert. Das möge Abb. 1 verdeutlichen.



Bodenaggregate vor und nach der Bodenbearbeitung

Abb. 1: gut strukturiertes Aggregat mit vielen Mittelporen verdichtetes Aggregat mit vielen Engporen durch Bearbeitung aufgerissenes verdichtetes Aggregat, kleinere Aggregate bleiben dicht

Ein Aggregat mit einer idealen Poren-Verteilung mit vielen Mittelporen (linkes Bild) wird durch die Bearbeitung verdichtet (mittleres Bild). Ein nachfolgender Bearbeitungsgang zerbricht zwar das verdichtete Aggregat, schafft aber nur kleinere, weiterhin verdichtet bleibende Aggregate mit wenigen Weitporen dazwischen.

3.1 Matrix- oder Aggregat-Dichte

Solche kleineren Aggregate wurden in großer Zahl auf ihre Dichte hin untersucht. Neben lockeren Aggregaten mit Dichten von 1,1 - 1,2 wurden auch zahlreiche stark verdichtete Aggregate mit Dichten von bis zu 1,76 vorgefunden. Die verdichteten Aggregate hatten die folgende Herkunft:

- Aggregate aus Fahrspuren, die durch Grubber oder Pflug aufgebrochen worden waren,
- Aggregate, die aus den Reifenprofilen herausgefallen waren,
- Aggregate, die durch Pressung mit dem Bearbeitungsgerät (Pflug, Grubber, Justus) verdichtet waren.

Schon äußerlich waren solche Aggregat-Verdichtungen deutlich erkennbar. Pflanzenwurzeln bildeten auf den Oberflächen der Aggregate regelrechte Tapeten, konnten aber nicht in sie hineindringen, was schon darauf hindeutet, daß die Nährstoffaufnahme aus solchen Aggregaten stark behindert ist.

3.2 Porenverteilung

Bei vorgegebener höherer Matrixdichte können durch die Verdichtung nur noch Grobporen zerstört werden. Die Untersuchungen auf Rübenschlägen bestätigen dieses: Hier wurden nach der Ernte 1981 in Fahrspuren von Rodern, Schleppern und Anhängern Stechzylinderproben genommen und Poren-Verteilungen bestimmt. Als Referenzproben dienten solche, die neben den Fahrspuren genommen worden waren.

Die folgende Abbildung zeigt, daß das Gesamt-Porenvolumen durch die Verdichtung im Mittel von 95 Stechzylinder-Proben nur um 1,3 Vol.% abnahm, Verluste aber fast nur bei den Grobporen mit Durch-

messer $> 300 \mu\text{m}$ auftraten.

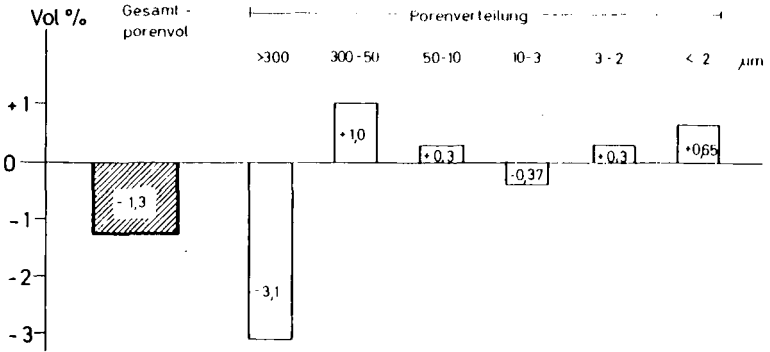


Abb. 2: Veränderung des Gesamtporenvolumens und der Porenverteilung nach der Verdichtung durch Rübenerntegerät (Mittel aus 95 Stechzylinder-Proben)

Gesamtporenvolumen nicht verdichtet: 43,1 Vol.% = 1,51 g/ccm
 verdichtet: 41,8 Vol.% = 1,54 g/ccm

Es drängt sich nach diesen Ergebnissen die Frage auf, warum die Unterschiede zwischen "verdichtet" und "nicht verdichtet" nicht größer waren. Die Antwort liegt eindeutig darin, daß auch die sog. "nicht verdichteten" Vergleichsglieder bereits Matrix-Dichten aufwiesen, die über 1,5 lagen. Ein echter Vergleich "ungeschädigt"/"geschädigt" konnte also gar nicht mehr durchgeführt werden.

3.3 Poren-Struktur

Die Angaben über die Abnahme der Grobporen $> 300 \mu\text{m}$ \emptyset als Folge einer Verdichtung sagen nur wenig über die Veränderung der Durchlüftungs-Bedingungen aus, die nach der Verdichtung eintreten. Das zeigen eindeutig Gas-Diffusions-Messungen, die an Proben aus der Fahrspur eines dreireihigen Rübeneroders sowie aus dem Bereich einer seitlichen Aufpressungs-Zone und aus dem nicht verdichteten Teil genommen wurden.

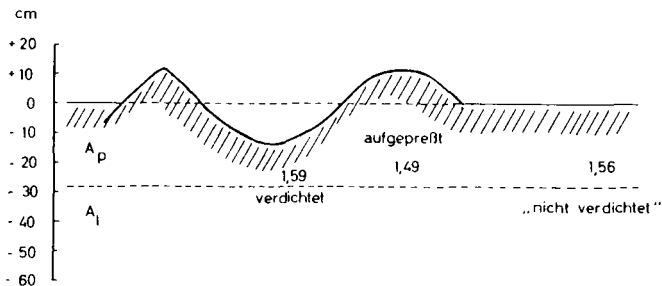


Abb. 3: Probenahmepunkte im Bereich der Spur eines dreireihigen Rübeneroders in Holtensen

Die Ergebnisse dazu sind zusammen mit denen der Dichtemessungen und Porenanteile in Abb. 4 dargestellt. Abbildung 4a und b zeigen, daß die Verdichtung wieder zu Lasten der Poren >300 µm gegangen ist. Auch dieses Beispiel macht deutlich, daß ein echter Vergleich nicht möglich war. Das sogenannte unbeeinträchtigte Bezugsglied zeigte mit Dichten von 1,56 bereits starke Strukturschäden als Folge vorausgegangener Bodenbearbeitung.

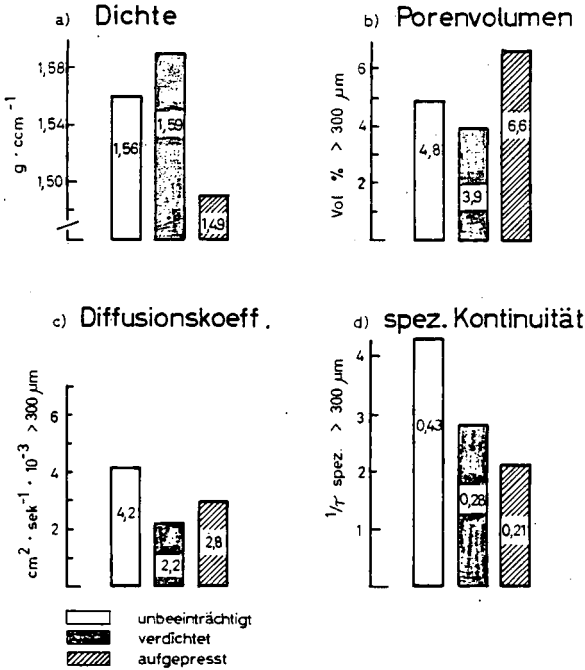


Abb. 4: Dichte sowie Porenvolumen, scheinbarer Diffusionskoeff. und spez. Porenkontinuität in den Grobporen >300 µm einer Ackerkrume aus Löss nach der Rübenernte.

Im Bereich der Aufpressung ist jedoch eine Auflockerung zu verzeichnen. Wie wenig Informationen die Poren-Verteilung über die Durchlüftungs-Bedingungen in dieser Poren-Klasse gibt, machen die Diffusionskoeffizienten deutlich (Abb. 4c). Trotz eines wesentlich höheren Poren-Volumens im Bereich der Aufpresszone ist die Durchlüftung hier nur unwesentlich besser als in der verdichteten Krume und deutlich geringer als in der unverdichteten Krume. Ursache ist die Abnahme der Poren-Kontinuität (Abb. 4d). Durch die Aufpressung in unmittelbarer Nachbarschaft der Fahrspur wurde die Durchgängigkeit der Poren in einem solchen Maße gestört, daß trotz eines Gewinns an Grobporen die Durchlüftungs-Bedingungen verschlechtert wurden.

Zusammenfassung

Mit einer Kombination von 3 Methoden wurden Struktur-Inhomogenitäten und Strukturschäden als Folge der Bearbeitung von Ackerkrumen mit landwirtschaftlichem Gerät nachgewiesen. Verdichtungen gehen zu Lasten von Grob- und Mittelporen, bei durch Bodenbearbeitung vorverdichteten Böden nur noch zu Lasten der Grobporen. Wenn verdichtete Böden durch einen Bearbeitungsgang gelockert werden, so bleibt das Innere der geschaffenen Aggregate dicht. Durch Pressvorgänge in den Krumen wird die Durchlüftung trotz eines vergrößerten Poren-Anteils verschlechtert. Landwirtschaftliche Flächen, vor allem Rübenflächen zeigen zum Teil schon so starke, flächendeckende Strukturschäden der Matrix, daß es nahezu unmöglich ist, unbeeinträchtigte Vergleichsglieder zu finden.

Literatur

1. FREDE, H.G., J. BÖTTCHER, B. MEYER und K. SEVERIN, 1979: Gastransport und Gasproduktion in Lössböden, Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 29, 179 - 190 (1979)
2. FREDE, H.-G. und B. MEYER, 1982: Bestimmung der Dichte von Boden-Agregaten durch Messung des Auftriebs, Zur Veröffentlichung eingereicht.
3. FREDE, H.-G., 1981: Die spezifische Porenkontinuität als Parameter der Bodenstruktur, Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 32, (1981)

Entwicklung der Rohdichte, C- und N-Gehalte von Bodenaggregaten
einer Knick-Brackmarsch nach Grünlandumbruch

von
Burghardt, W.*

1. Einleitung

Zur Rationalisierung landwirtschaftlicher Betriebe wird häufig Grünland in Ackerland umgewandelt. Dadurch wird insbesondere die Bodenkrume verändert, was im folgenden Bericht an einigen Merkmalen aufgezeigt werden soll.

2. Material und Methoden

Der Standort Meyenburg wurde bereits beschrieben (Burghardt, 1979). Die Untersuchungen erfolgten in der Krume der Knick-Brackmarsch (Tab. 1 u. 2). Nach Vorflutausbau und Dränung wurden Teilflächen des Dauergrünlandes im Herbst 1971 und im Herbst 1973 umgebrochen und seither als Acker bewirtschaftet.

In den Jahren 1973, 1976 und 1979 wurde zusammen mit Stechringproben zur pF-Messung Boden aus 5 - 10 cm Tiefe zu 3 Zeitpunkten entnommen: 1. mit einsetzender Vegetationsperiode bis Mitte Mai, 2. beim Schossen des Getreides Anfang bis Mitte Juni und 3. zur Ernte im August/September. Aus 3 Schnittlinien von 120 m Länge wurden jeweils 8 Proben gewonnen. 1973 lag eine dieser Schnittlinien im Grünland und 2 befanden sich im Acker. Ab 1974 wurde auch das Grünland geackert.

Die lufttrockenen Bodenaggregate wurden in Größenfraktionen von 1 - 2 und 5 - 8 mm unterteilt. Gemessen wurde die Aggregatdichte (nach Sunkel, 1960), der pH-Wert, der C- (Wösthoff) und N-Gehalt (Kjeldahl). Das C/N-Verhältnis wurde berechnet.

3. Ergebnisse

Es wurde die langjährige wie auch die jahreszeitliche Entwicklung der Bodenkennwerte nach Grünlandumbruch ermittelt.

* Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
Bodentechnologisches Institut Bremen
Friedrich-Mißler-Str. 46/50, 2800 Bremen 1

3.1 Langjährige Entwicklung

Im Jahre 1973 wurden aus 3 Probenahmeterminen 24 Proben des Grünlandes und ebensoviele des benachbarten, im Herbst 1971 umgebrochenen Ackers herangezogen. 1976 und 1979 stammten die 24 Proben aus 3 Probenahmeterminen des 1973 umgebrochenen Grünlandes. Bei Grünland wie bei Ackernutzung war zu jedem Untersuchungszeitpunkt die Rohdichte der größeren Aggregate (\varnothing 5 - 8 mm) gegenüber den feineren Aggregaten (\varnothing 1 - 2 mm) erhöht (Tab. 3).

Nach Umbruch nahm zunächst die Rohdichte feiner Aggregate ab. Für die größeren blieb diese unverändert. Im Laufe der Jahre war ein deutlicher Anstieg über die Grünlandwerte festzustellen. Dieser Vorgang war bereits 3 Jahre nach Umbruch abgeschlossen. Die C- und N-Gehalte (Tab. 3) der Aggregate fielen im 3. Jahr auf die Hälfte der Grünlandwerte. Das C/N-Verhältnis (Tab. 3) wurde weder durch Umbruch noch durch die Aggregatgröße verändert.

Der pH-Wert fiel zunächst nach Umbruch (Tab. 3). Der Landwirt erhöhte diesen jedoch im Laufe der Jahre durch Kalkung. Auch hier trat keine nach Aggregatgrößen differenzierte Entwicklung ein.

3.2 Jahreszeitliche Entwicklung

Aus den 3 Untersuchungsjahren (1973/76/79) und den 3 Schnittlinien wurden nach Aggregatgrößen getrennt für jeden Termin jeweils 72 Proben (April, Mai, Juni, August/Sept.) varianzanalytisch verrechnet.

Die Dichte feiner wie grober Aggregate (Tab. 4) stieg zur Ernte an. Die C-Gehalte feiner Aggregate wiesen schon im Juni einen gesicherten Anstieg von 0,45 % auf. Zum Erntezeitpunkt waren die C-Gehalte je nach Aggregatgröße um 0,5 - 0,8 % abgefallen. Die jahreszeitliche Entwicklung der N-Gehalte wies eine ähnliche Tendenz wie die der C-Gehalte auf. Die C/N-Verhältnisse blieben während der Vegetationsperiode annähernd konstant.

4. Diskussion

Der Gehalt an organischer Substanz war in den oberen Zentimetern des Grünlandes besonders hoch. Die Probenahme erfolgte jedoch etwas tiefer in 5 - 10 cm. Durch die Beackerung wurde nun die oberflächennah angesammelte organische Substanz auf eine Tiefe von 0 - 20 cm verteilt, so daß es direkt nach dem Umbruch kurzfristig zu deren Anstieg in 5 - 10 cm Tiefe kommen konnte.

Der Gehalt organischer Substanz war an die Aggregatgröße gekoppelt. Der C- und N-Gehalt der größeren Aggregate unterschied sich um den Faktor 0,7 bis 0,8 von den feineren. Dies wird als Folge einer Konzentration an organischer Substanz an der Aggregatoberfläche gedeutet. Große Aggregate weisen im Verhältnis zur Masse eine kleinere Oberfläche und damit geringere Mengen organischer Substanz als kleinere Aggregate auf. Die zeitliche Konstanz des Verhältnisses der C- und N-Gehalte bei sich ändernden Gehaltswerten deutete darauf hin, daß die Aggregatgröße durch den Gehalt an organischer Substanz nicht wesentlich beeinflußt wurde. Andererseits aber beeinflußte die Aggregatgröße das Verteilungsmuster der organischen Substanz im Krumboden.

Innerhalb von 2 - 3 Jahren nach Umbruch konnte eine Freisetzung von 5.000 - 6.000 kg N/ha festgestellt werden. Entsprechend der unterschiedlichen N-Gehalte mußte im Boden ein aggregatgrößenspezifisches N-Angebotsmuster vorgelegen haben.

Ein systematischer Einfluß der Aggregatgröße und der Aggregatrodichte auf das C/N-Verhältnis war nicht feststellbar. Das C/N-Verhältnis erschien als zeitlich wie räumlich stabiler Bodenkennwert. Für die Praxis der Landbewirtschaftung ergab sich nun die Frage, ob sich durch feinere Aggregation des Bodens höhere Gehalte an organischer Substanz im Krumboden erhalten oder sogar neu einstellen lassen. Diese Frage konnte jedoch aus den vorliegenden Ergebnissen nicht beantwortet werden.

Innerhalb eines Jahres waren die stärksten Veränderungen zur Ernte feststellbar. Es liegt die Vermutung nahe, daß im Lauf der Vegetationsperiode ein Teil der organischen Substanz im Boden wanderte und somit die Probenahmeschicht in 5 - 10 cm Tiefe verließ. Durch mischende Bodenbearbeitung stiegen im folgenden Frühjahr die Gehalte wieder an.

5. Zusammenfassung

An einer Knick-Brackmarsch wurde nach Grünlandumbruch die Entwicklung der Rohdichte von 1 - 2 mm und 5 - 8 mm großen Aggregaten, deren pH-Wert, C- und N-Gehalt sowie C/N-Verhältnis ermittelt. Das C/N-Verhältnis wies jahreszeitlich, wie auch im Laufe von 6 Jahren eine räumliche wie zeitliche Konstanz auf. C- und N-Gehalte nahmen bei Ackernutzung auf die Hälfte der Grünlandwerte (10. - 12.000 kg N/ha) ab. Die C- und N-Gehalte

größerer Aggregate waren um den Faktor 0,7 - 0,8 geringer als die kleineren. Die Aggregatdichte erhöhte sich nach Umbruch.

Literaturhinweise:

Burghardt, W., 1979: Gefügedynamik einer Knick-Brackmarsch nach Umbruch. - Mitteilung. Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch. 29, 967 - 976.

Sunkel, R., 1960: Über die Porosität von Bodenaggregaten. - Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 89, 17 - 27.

Tabelle 1: Einige Kennwerte des Grünlandbodens 1971

Organische Substanz	7,5	%
Ton	46	%
Fein- und Mittelschluff	34	%
Grobschluff	19	%
Sand	1	%
pH (0,01 mol CaCl ₂)	5,0	
Ca/Mg-Verhältnis	1,6	
Volumengewicht	1130	g/l

Tabelle 2: Aggregatgrößenverteilung bei Grünland- und Ackernutzung (Meyenburg)

Nutzung Tiefe, cm	Grünland			Acker
	2 - 5	5 - 10	10 - 15	5 - 10
Aggregatgröße, mm	%	%	%	%
> 8	0	7	40	29
5 - 8	0	26	29	34
2 - 5	29	42	21	24
1 - 2	25	14	5	7
< 2	36	11	5	7

Tabelle 3: Langjährige Entwicklung der Aggregatdichte, des C- und N-Gehaltes, C/N-Verhältnisses und pH-Wertes

Aggregat Ø: Variante	1-2	5-8	1-2	5-8	1-2	5-8	1-2	5-8	1-2	5-8
	Aggregatdichte, g/cm ³		C, %		N, %		C/N		pH (0,01 mol CaCl ₂)	
1. Grünland (1973)	1,54	1,59	5,87	4,81	0,59	0,50	10,0	9,9	5,0	5,0
2. 2 Jahre nach Umbruch (1973)	1,46	1,58	6,66	4,75	0,65	0,45	10,3	10,6	4,6	4,6
3. 3 Jahre nach Umbruch (1976)	1,64	1,72	3,17	2,25	0,31	0,23	10,2	9,5	5,5	5,5
4. 6 Jahre nach Umbruch (1979)	1,68	1,76	2,99	2,40	0,30	0,24	10,2	10,2	5,8	5,8
GD 5 %	0,04	0,05	0,59	0,53	0,05	0,05	0,7	0,9	0,2	0,1
GD 1 %	0,06	0,06	0,78	0,70	0,07	0,06	1,0	1,3	0,2	0,2
GD 0,1 %	0,07	0,08	1,01	0,91	0,09	0,08	1,3	1,6	0,3	0,2

Tabelle 4: Jahreszeitliche Entwicklung der Aggregatdichte, des C- und N-Gehaltes und des C/N-Verhältnisses

Termin	Aggregatdichte, g/cm ³	C, %	N, %	C/N
Aggregat Ø: 1-2 mm				
April / Mai	1,59	4,14	0,43	9,8
Juni	1,59	4,61	0,44	10,3
August / Sept.	1,65	3,79	0,37	10,3
Aggregat Ø: 5-8 mm				
April / Mai	1,69	3,11	0,31	9,8
Juni	1,68	3,34	0,33	9,9
August / Sept.	1,72	2,85	0,28	10,1
GD 5 %	0,02	0,33	0,03	0,4
GD 1 %	0,03	0,43	0,04	0,6
GD 0,1 %	0,04	0,55	0,05	0,8



Bodengefügeveränderung nach Umstellung
von konventioneller Bodenbearbeitung
auf Minimal-Bodenbearbeitung

von

Borchert, H. *

Auf dem landwirtschaftlichen Betrieb Hellmannsberg bei Ingolstadt bearbeitet der Besitzer, Herr Klaus Horsch, seine Felder nicht mehr mit intensiver Bodenbearbeitung. Vor 9 Jahren nahm Herr Horsch eine Umstellung in der Bodenpflege von der konventionellen Pflugarbeit (P) zur Minimal-Bodenbearbeitung (M) vor. Die Fruchtfolge ist Körnermais - Sommerweizen. Nach einer Atrazinspritzung im Herbst bleibt das Stoppelfeld über Winter so liegen. Im Frühjahr wird das Maiskorn wie das Weizenkorn mit dem Sämavator in Breitsaat in die Erde gebracht. Anschließend, bei etwas abgetrocknetem Feld wird ganz flach und mit möglichst hoher Geschwindigkeit mit der Kreiselegge über das Feld gefahren. Die "Bearbeitungstiefe" beträgt 6 - 8 cm.

Der Hof liegt auf der Fränkischen Alb 430 m über NN mit einem Jahresniederschlag von 688 mm und Jahrestemperatur von durchschnittlich 7,9 °C. Der Boden ist ein schluffiger Lehm, entstanden aus Lößlehm (Albüberdeckung) und bodentypologisch eine Pseudogley-Parabraunerde.

Seit 1980 läuft ein Bodenbearbeitungsversuch der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, München, auf den oben beschriebenen Flächen. An zwei Standorten werden die Pflugbearbeitung (P) und die Minimal-Bearbeitung (M) gegenübergestellt. Außer Erntevergleichen werden bodenphysikalische Untersuchungen in Form von Porengrößenbestimmungen und Bodenwiderstandsmessungen (Penetrometer) durchgeführt. Die Arbeitsweise dieses elektronisch messenden Gerätes beschreiben KNITTEL und STANZEL (1976).

*) Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau
Menzinger Straße 54, D-8000 München 19

Tabelle 1: Bodenkennwerte von Hellmannsberg I
(Mittelwerte der Jahre 1979 - 1982)
P = Pflug M = Minimalbearbeitung

	Gesamtporen- volumen %		Luftgehalt %		nFK %		Lagerungs- dichte %	
	P	M	P	M	P	M	P	M
Krume oben	43,5	41,8 (-4)	9,7	7,4 (-24)	17,9	18,6 (+4)	1,68	1,72
Krume unten	42,4	38,7 (-9)	8,4	5,1 (-39)	20,2	17,6 (-13)	1,73	1,83
Unterboden	41,7	40,2 (-4)	6,4	4,2 (-34)	12,5	12,3 (-2)	1,87	1,91

je Krume								
57 mm 51 mm								

Tabelle 2: Bodenkennwerte von Hellmannsberg II
(Mittelwerte der Jahre 1980 - 1982)
P = Pflug M = Minimalbearbeitung

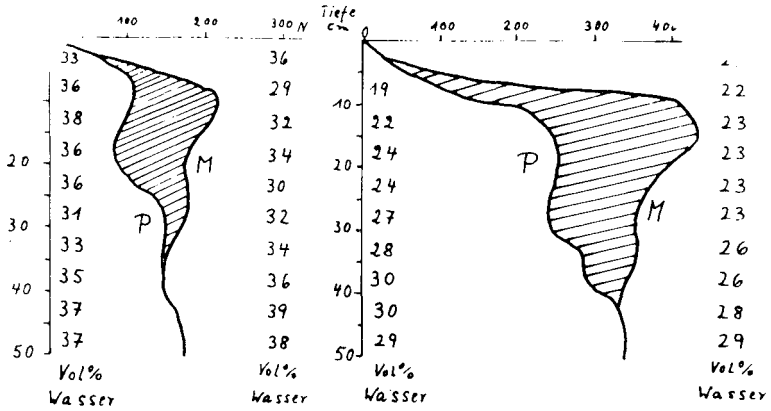
	Gesamtporen- volumen %		Luftgehalt %		nFK %		Lagerungs- dichte %	
	P	M	P	M	P	M	P	M
Krume oben	43,6	38,4 (-12)	11,7	6,0 (-49)	17,3	17,1 (-1)	1,69	1,82
Krume unten	41,5	38,6 (-7)	8,1	6,5 (-20)	19,0	17,3 (-9)	1,74	1,78
Unterboden	39,2	39,6 (+1)	3,2	4,5 (+40)	12,8	11,7 (-8)	1,93	1,91

je Krume								
57 mm 51 mm								

Der Tongehalt von Standort I beträgt in der Krume 23 %, im Unterboden 36 %. Im Feld fällt beim Aufgraben bereits die ausgeprägte plattige Struktur bei der Variante "M" auf. Die Durchwurzelung konzentriert sich in Rissen und Klüften des Bodens. Die Feldoberfläche, mit entweder Stroh- oder Maisrückständen bedeckt, bietet kein besonders gepflegtes Bild. Man erkennt vielerorts Regenwurm-tätigkeit, durch Kothäufchen oder in Regenwurmlöcher hineingezogene Strohhalme ersichtlich.

Die Werte der Porengrößenbestimmung stammen aus der oberen wie der unteren Krumenhälfte und 10 cm unterhalb der Krume (Tabelle 1). Grundsätzlich ist das Gesamtporenvolumen bei Variante "M" niedriger als bei der Variante "P", besonders in der unteren Krumenhälfte.

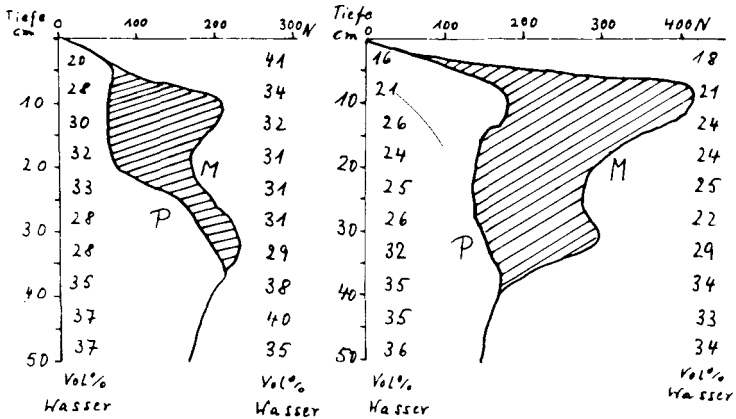
Hellmannsberg I - So. Wei. Bodenwiderstand



P = Pflüg M = Minimalbearbeitung

Abbildung 1: Penetrometermessungen von Hellmannsberg I

Hellmannsberg II - Mais Bodenwiderstand



P = Pflüg M = Minimalbearbeitung

Abbildung 2: Penetrometermessungen von Hellmannsberg II

s eklatant beim Luftgehalt,
Arbeitung in der unteren Krume,
Pflugbearbeitung. Die nutzbare Feld-
krumenbereich bei "M" leicht erhöht, im Unte-
rkrumenbereich, aber im unteren Krumenbereich um 13 %
höher als bei "P". Berücksichtigt man die durch Ablagerung ab-
gesetzte geringmächtigere Krume bei "M", ergibt sich eine verminderte
nFK bei der Minimalbearbeitung. Die Lagerungsdichten (TRG +
0,009 · Ton %) sind bei beiden Varianten in der oberen Krumenhälfte
"mittel" und im übrigen "hoch".

Die bei Feldkapazität gemessenen Bodenwiderstandswerte von April
1982 (Abb. 1) geben eine starke Verdichtung bei "M" in 10 cm Tiefe
wieder, allgemein liegen die Meßkurven beider Varianten bis Krume-
tiefe mit 100 N (kg/cm²) weit auseinander. Diese Tendenz
bleibt erhalten, auch wenn aufgrund geringeren Bodenwassergehaltes
(Juli 1982 um 1/3 geringere nFK) beide Meßkurven in höherem Meß-
bereich liegen.

Die Verhältnisse auf dem Standort II, ebenfalls ein schluffiger
Lehm mit 20 % Ton in der Krume und 33 % im Unterboden, sind dem
ersten Standort vergleichbar. Dieselbe plattige Struktur im Feld
ist zu beobachten bei der Variante "M", ihr entspricht das geringe
Gesamtporenvolumen, der geringere Luftgehalt, besonders in der
Krume und die verminderte nFK (Tabelle 2). Ebenso zeigen die Pene-
trometerkurven eine starke Zunahme des Bodenwiderstandes, sprich
Bodendichte, in 10 cm Bodentiefe bei der Minimalbearbeitung (Abb.2).

Um so verwunderlicher ist die Tatsache, daß in allen drei Versuchs-
jahren kein gesicherter Mehrertrag bei der bodenphysikalisch gün-
stiger abschneidenden Variante "P" vorliegt. Der Regenwurmbesatz
mit 100 Röhren/m² ist bemerkenswert. Liegt hierin die Beantwortung,
daß diese Röhren wie eine Kanalisation den Boden mit Wasser ver-
sorgen? Weitere Versuchsjahre mit Erntevergleichen und mit beson-
derem Augenmerk auf die Regenwurmtätigkeit sollen Aufschluß
bringen.

tur:

H. und Stanzel, H.: Untersuchungen des Bodengefüges mit
Penetrometer und Rammsonde. -

Z. Acker- und Pflanzenbau, 142, 181 - 193 (1976)

Die Einbeziehung von Taxa in die Horizontsymbole für anthropo-
gene Böden

von

Schwerdtfeger, G.⁺⁾

Ein Taxon ist eine systematische Kategorie. In der US "SOIL TAXONOMY" (1975) wird die taxonomische Gruppe als nomenklatorische Einheit in einem formalen System definiert. Sie ist durch eine bestimmte Horizontfolge gekennzeichnet. Zur Unterscheidung der Haupthorizonte werden in allen Klassifikationssystemen Großbuchstaben verwandt. Während die Soil Taxonomy mit fünf Großbuchstaben auskommt, werden in dem Entwurf zur 3. Auflage der KARTIERANLEITUNG (1982) 17 großgeschriebene Horizontsymbole aufgeführt. Diese Hauptsymbole werden durch eine weitaus größere Anzahl von kleingeschriebenen Horizontsymbolen ergänzt.

Für deren Kombinationsmöglichkeit sei ein Bbtv-Horizont genannt. Dies ist ein durch Verwitterung verbrauchter und verlehmteter mineralischer Unterbodenhorizont mit <1cm mächtigen Tonanreicherungs-bändern.

Wenn die 25 Buchstaben des Alphabets nicht mehr ausreichen, bleibt nur eine Kombination von zwei Buchstaben. Ein Beispiel hierfür ist der von BOCHTER (1982) vorgeschlagene Ofpa-Horizont; sprich O-ef-pa, nicht pe-a. Das Symbol pa ist von Paket, englisch parcel abgeleitet. Hiermit wird ein organischer Horizont aus Humusansammlung über dem Mineralboden bezeichnet, in dem neben Pflanzenresten die organische Feinsubstanz deutlich hervortritt. "In die mehr oder weniger dichten Blattpakete oder Nadelbündel dringen von unten her die ersten Feinwurzeln ein. Diese beginnende Durchwurzelung geht Hand in Hand mit einer fast sprunghaften Zunahme der Feinsubstanz, die aber im Ofpa die 50 Vol.-%-Marke noch nicht überschreitet" (BOCHTER). Bei einem Ofpa schließt die Standortangabe eine Verwechslung mit dem Horizontsymbol p weitgehend aus.

Ein Ap- oder ein Hp-Horizont ist durch regelmäßige Bodenbearbeitung geprägt und wird meist als Ackerkrume bezeichnet. Es sollte geprüft werden, ob dieses häufigste und wichtigste, anthropogen bedingte Horizontmerkmal auch mit E, R und Y kombinierbar ist. Ein durch regelmäßige Pflugarbeit entstandener Oberbodenhorizont ist im allgemeinen nach unten scharf begrenzt. F...

<sup>+) Fachhochschule Nordostniedersch...
schaft und Kulturtechn...</sup>

bearbeitung mit anderen Geräten, ist der Übergang zum darunterliegenden Horizont meist unscharf (SCHWERDTFEGER 1977 und 1979). Dieser Unterschied kann nur in der Horizontbeschreibung erfaßt werden; die stark variierenden Eigenschaften im p-Horizont können dagegen bei einer Quantifizierung der Bodenhorizontsymbolik berücksichtigt werden.

Für alle Ackerflächen in der Bundesrepublik Deutschland sind nach den Vorschriften der Reichsbodenschätzung die Bodenzahlen ermittelt worden. Diese Schätzungsergebnisse sind aus der Feststellung der Bodenart, des geologischen Ausgangsmaterials der Bodenbildung und einer von 1 bis 7 reichenden Zustandsstufe dem Ackerschätzungsrahmen entnommen worden. Die Zustandsstufe kennzeichnet zusammenfassend die durch Klima, früheren Pflanzenbestand, Geländegestaltung, Wasserhaushalt und derzeitige Nutzung hervorgerufenen unterschiedlichen Bodeneigenschaften (KUNTZE et al. 1981). Für den Wert einer Ackerkrume sind weiterhin die in der Reichsbodenschätzung nicht erfaßten Eigenschaften der Mächtigkeit, des Gefuges und der Humusqualität von Bedeutung. Letztere kann durch das C/N-Verhältnis charakterisiert werden.

Diese vielen Einzelwerte können in die Horizontsymbolik nur zusammenfassend aufgenommen werden. Da die Buchstaben weitgehend festgelegt und damit verbraucht sind, bleiben nur Zahlenangaben übrig. Wenn ein Maximalwert von 100 auf vier Gruppen aufgeteilt wird, können innerhalb jeder Gruppe Werte von 1 - 25 ermittelt werden. Damit hier nicht eine durch Schätzung im Gelände nicht zu erreichende Genauigkeit vorgetäuscht wird, werden innerhalb der Gruppen nur Stufenschritte von 5 festgelegt.

Tabelle 1 Qualitätsmerkmale von p-Horizonten

Mächtigkeit von 20 - 40 cm		Gefuge	
20 - 24 cm	5	Einzelkorngefüge	5
25 - 27 cm	10	Bröckel- und Klumpengefüge	10
28 - 31 cm	15	Polyedergefüge	15
32 - 35 cm	20	Krumelgefüge	20
36 - 40 cm	25	Schwammgefüge	25
C/N-Verhältnis von 8 - 30			
8 - 10	25	16 - 20	15
11 - 15	20	21 - 25	10
		26 - 30	5

Die steigende Bewertung mit zunehmender Mächtigkeit ist für Acker-
Podsolböden und anderen flachgründigen Bodentypen

unbestritten. Auf tiefgründigen Lössböden sollte man auf dieses Merkmal verzichten. MEYER, ROESCHMANN und Mitarbeiter (1969) haben auf Hildesheimer Schwarzerden aus Untersuchungsergebnissen der Mineralarten-Zusammensetzung ein Q/F (Quarz/Feldspat)-Verhältnis gebildet. Dieses schwankte im Untersuchungsjahr am Standort Aseler Holz-Ost zwischen 4,8 im Ah1- und 7,8 im Cg2-Horizont. Wenn andere Qualitätsmerkmale zur Bewertung herangezogen werden, muß darauf geachtet werden, daß die Summe aller Maximalwerte stets 100 beträgt.

In den nachstehenden drei Beispielen wird dies durch die Einbeziehung eines Viertels der Bodenzahl erreicht.

Tabelle 2 Ermittlung der Qualifikationszahl für p-Horizonte

Merkmal	Schwarzerde Hildesheim	Agrosol Suderburg	tiefgepflügte Sandmischkultur Meppen/Ems
Mächtigkeit	25	20	10
Gefüge	25	5	20
C/N-Verhältnis	20	10	15
1/4 der Bodenzahl	22	7	9
Qualifikationszahl	92	42	54

Die so ermittelte Qualifikationszahl unterscheidet sich von der Bodenzahl durch zwei Kriterien; sie wird nicht für das ganze Profil sondern für jeden Horizont ermittelt und die Merkmale sind nicht in einem Schätzungsrahmen starr festgelegt. Eine andere Festlegung der Stufenschritte und ein Auswechseln von Qualitätsmerkmalen ist möglich. So wie bei der Kartierung weitere kleingeschriebene Horizontsymbole an die großgeschriebenen Hauptsymbole angefügt werden können, können die Qualitätsmerkmale unter Beachtung des Summenmaximalwertes von 100 abweichend kombiniert werden.

Der Vorteil von Qualifikationszahlen liegt nicht nur in der Einsparung von kleingeschriebenen Horizontsymbolen, sondern auch in der Möglichkeit, qualitative Veränderungen in den einzelnen Horizonten übersichtlich zu erfassen.

Da dieser Arbeitsschritt sowohl für die Bodenphysik als auch die Bodentechnologie von Interesse sein kann, ist dieser Vorschlag nicht sofort in der eigentlich zuständigen Kommission 5 "Boden-genetik und Klassifikation", sondern auf einer gemeinsamen Sitzung der Kommissionen 1 und 6 der DBG vorgetragen worden.

Zur Ermittlung von Qualitätsmerkmalen ist auf die HEFTE 115 und 116 der DVWK REGELN ZUR WASSERWIRTSCHAFT (1980 und 1982) zurückgegriffen worden.

Literatur

- BOCHTER, R.: Arbeitsdefinitionen wichtiger Lagen in Bodenprofilen.-Aus Exkursionsführer zur bodenkundlichen Exkursion in das Spitzinggebiet am 16.9.1982 - Kommission V d. DBG
- DVWK-REGELN ZUR WASSERWIRTSCHAFT, Verlag Paul Parey, Hamburg, Bodenkundliche Grunduntersuchungen im Felde zur Ermittlung von Kennwerten meliorationsbedürftiger Standorte, Teil I: Grundansprache der Böden, Heft 115, 1980, Teil II: Ermittlung von Standortkennwerten mit Hilfe der Grundansprache der Böden, Heft 116, 1982.
- KUNTZE, H., J. NIEMANN, G. ROESCHMANN u. G. SCHWERTFEGER: Bodenkunde, UTB 1106, Ulmer, Stuttgart, 1981.
- MEYER, B., G. ROESCHMANN et al.: Exkursionsführer Schwarzerde-Griserde-Morphosequenz, Mittlg. dtsh. bodenkl. Ges., 9, 103-111, 1969.
- SCHWERTFEGER, G.: Genese und Nomenklatur krumenvertiefter Ackerböden, Mittlg. dtsh. bodenkl. Ges., 25, 633-638, 1977.
- SCHWERTFEGER, G.: Die Bedeutung der Bodenbearbeitung für die Veränderungen von ackerbaulich genutzten Böden, Mittlg. dtsh. bodenkl. Ges., 29, 775-782, 1979.
- SOIL SURVEY STAFF: Soil Taxonomy, Agriculture Handbook No. 436, Soil Conservation Service, U.S. Dept. of Agriculture, Wash. D.C., 1975.

Einfluss einer Meliorationskalkung
auf die Plastizität eines schweren
Marschbodens

von
Kuntze, H.⁺

1. Problemstellung

Jedes Jahr werden Tausende von Bodenproben auf ihren Kalkbedarf untersucht. Wenn die darin ausgewiesenen Mengen den Ersatz in Höhe von 5 - 10 dt/ha CaO₃ für den jährlichen Entzug und die Auswaschung einschliesslich eines heute Nötigen für Immissionen (saurer Regen!) (= Erhaltungskalkung) deutlich und langfristig überschreiten, handelt es sich um eine Meliorationskalkung. Für schwere Marschböden können dann einige 100 dt/ha Kalkdünger notwendig werden. Erst nach hohen Kalkgaben steigen nachhaltig die Erträge. Es ist auch bekannt, dass dann der Zugkraftbedarf beim Pflügen geringer wird. Alte Marschbauern berichten, dass sie nach der Meliorationskalkung statt vierspännig nur dreispännig pflügen konnten.

Kalk ist ein Bodendünger. Seine Wirkungen auf die Pflanze können direkt durch einen besseren pH-Wert und davon abhängige Ionenantagonismen oder -fällungen, bzw. indirekt durch verbesserte physikalische Eigenschaften des Bodens nach einer Kalkung erklärt werden. Letztere sind offensichtlich theoretisch leichter zu deuten als praktisch-analytisch festzustellen. Zumindest sind die Beziehungen pH/Kalkversorgung : Bodeneigenschaften : Ertrag oft widersprüchlich.

Lit.Hinweis: Ausführliche Darstellung erfolgt in der Zeitschrift f.Kulturtechnik u.Flurbereinigung, 1983.

⁺ Bodentechnologisches Institut Bremen,
2800 Bremen 1, Friedrich-Mißler-Str.46-50

Seit den grundlegenden Arbeiten von ATTERBERG (1911) ist die Plastizität des Bodens in der Bodenmechanik mehr gebräuchlich als in der Bodenkunde. Plastizität ist die Fähigkeit eines Bodens, unter der Einwirkung von Kräften bleibende Verformungen ohne Zerstörung des inneren Zusammenhalts zu erfahren. (KURON, 1948). Alle Vorgänge der Lockerung sind mit Gleitbewegungen verbunden. Bodenteilchen werden gegeneinander verschoben durch die drängende Arbeit der wachsenden Wurzeln, durch wühlende Tätigkeit der Bodentiere und schliesslich durch die vielfältigen, mechanischen Einwirkungen der Bearbeitungsgeräte. Dabei kann man die Bodenkolloide als Schmiermittel für gröbere Bodenteilchen auffassen. Insofern ist der Feuchtegehalt z.Zt. der Bodenbearbeitung sehr wichtig.

Wenn man einen Boden durch Kalk in seinem Gefüge stabilisieren will, muss man die Plastizität und Quellung vermindern. In Abhängigkeit von der Zeit und Höhe der Kalkung kann man sich diese Stabilisierung in 4 Schritten vorstellen:

1. Eintausch von Ca-Ionen, Zunahme der Basensättigung und des pH-Wertes.
2. Flockung und Dehydratisierung der Mikroaggregate.
3. Intergranulare Karbonatisierung.
4. Hydraulisches Abbinden durch lösliche Kieselsäure.

Die Schritte 1. und 2. sind auch bei relativ kleinen, 3. und 4. nur bei hohen Kalkgaben und zeitlich verzögert zu erwarten. Ein 1973 angelegter Meliorationskalkungsversuch auf schwerer Brackmarsch wurde nach diesen Vorstellungen erneut untersucht. Dabei steht die Frage im Vordergrund, ob die relativ einfach zu ermittelnde Plastizität Kalkwirkungen auf das Bodengefüge besser darstellt als aufwendige, neuere bodenphysikalische Untersuchungsmethoden.

2. Material und Methoden

1. Meliorationskalkung bis pH 7 + 1 % CaCO₃, in einer hohen Gabe (213 dt/ha CaO bzw. 426 dt/ha Kalkmergel oder Hüttenkalk).
2. Meliorationskalkung bis pH 7, 1 Gabe (25 dt/ha CaO bzw. 50 dt/ha Kalkmergel oder Hüttenkalk)

3. Meliorationskalkung bis pH 7 in 5 jährlichen Teilgaben
á 5 dt/ha CaO bzw. 10 dt/ha Kalkmergel oder Hüttenkalk.
4. Vergleichsvariante ohne Kalk.

Ermittelt wurden Ausroll- und Fließgrenze (W_a bzw. W_f) nach DIN 18122 in Gew. % H_2O in je 2 Parallelen. Daraus wurde die Plastizitätszahl ($W_f - W_a$) errechnet. Die so gewonnenen Daten wurden zum Tongehalt und den pH-Wert in Beziehung gesetzt und statistisch mit Rechenprogramm auf unserer Rechenanlage MINC 11 verarbeitet.

3. Ergebnisse

Bereits die kleineren Kalkgaben führen lt. Tab. 1 zu einer leichten Zunahme des Wassergehaltes bei der Fließgrenze (W_f) um 1,5 Gew. % = 2 Vol. % und einer leichten Abnahme des Wassergehaltes bei der Ausrollgrenze (W_a) um 0,5 Gew. % = 0,7 Vol. %. Die Plastizität ($W_f - W_a$) nimmt entsprechend um durchschnittlich rd. 2 Gew. % zu. Dabei korrespondieren die Fließgrenze bei steigender Kalkzufuhr mit pF 1,1 - 1,7, die Ausrollgrenze verbleibt im Mittel bei pF 4,1.

Tab. 1

Meliorationskalkung und Plastizität eines
Brackmarschbodens (ÜT) - FV 63 - Rade - 1982 -

Variante	pH (CaCl ₂)	<2 µm Gew. %	Gew. %	W_f = pF	Gew. %	W_a = pF	$W_f - a$
1	7,0	31,9	32,8	1,69	19,9	4,18	12,9
2	6,5	34,6	33,5	1,23	21,1	4,13	12,4
3	6,4	32,3	33,4	1,10	20,7	4,16	12,7
4	5,7	32,0	31,9	1,40	21,1	4,08	10,8

Die Fließgrenze korreliert mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % enger mit steigendem pH als zum Tongehalt (5 %). Erst beide Bodeneigenschaften gemeinsam führen zu einer sehr engen, hoch gesicherten Korrelation. Der Einfluss des pH ist dabei grösser als derjenige des Tongehaltes.

Die Ausrollgrenze zeigt sich vom pH-Wert statistisch nicht abhängig. Hier ist ein deutlich engerer Bezug zum Tongehalt gegeben. Beide Bodeneigenschaften ergeben gemeinsam wieder eine sehr enge, hoch gesicherte Beziehung zur Ausrollgrenze.

Die Beziehungen zur Plastizitätszahl fassen beide Kennwerte als Differenz zusammen. Entsprechend sind die statistischen Beziehungen: Plastizitätszahl : pH sehr eng und hoch gesichert, Plastizitätszahl : Tongehalt sehr schwach und nicht gesichert.

4. Schlussbemerkung

Wenn die Fliessgrenze mit steigendem pH in höhere Wassergehalte verschoben wird, so hat diese Feststellung im humiden Klima grosse Bedeutung für die gefügestabilisierende Wirkung einer Kalkung auf die Verschlammungsneigung dieser schluffreichen Marschböden. Die Fliessgrenze korreliert positiv enger und sicherer zum pH als zum Tongehalt. Allerdings ist die jeweils enge Variation dieser Parameter zu beachten.

Die Ausrollgrenze trennt nach ATTERBERG den plastischen vom nichtplastischen Zustand eines Bodens und dient der Beurteilung des Erfolges der Lockerung - nicht jedoch des Arbeitsaufwandes. Zu beachten ist, dass dieser bodenphysikalisch günstige Zustand erst bei sehr hoher Wasserspannung oberhalb pH 4 im untersuchten Marschboden erreicht wird. Die Ausrollgrenze wurde durch die Meliorationskalkung praktisch nicht verändert. Die statistischen Bezüge sind in der Regressionsanalyse zum pH überraschend lose, dagegen besser zum weniger variablen Tongehalt gesichert. So nimmt bei Zunahme des pH-Wertes um eine Einheit die Ausrollgrenze nur um 1,6 Gew.% H₂O ab. Bereits 1 % mehr Tongehalt jedoch kann die Ausrollgrenze um 1,6 Gew.% H₂O steigen lassen. Da solche Tongehaltsunterschiede auf engerem Raum in den Marschen sehr wahrscheinlich sind, können sich pH-bedingte Abnahmen der Ausrollgrenze schwerer ausdrücken.

Die Zunahme der Plastizitätszahl ist also im wesentlichen durch die Verschiebung der Fliessgrenze in höhere Wassergehalte bedingt. Eine derartige Verschiebung kann auch dahingehend gedeutet werden, dass die Konsistenz bei gleichem Wassergehalt zäher sein wird.

Für die schnelle, apparativ und personell weniger aufwendige Darstellung gefügekundlicher Einflüsse einer Meliorationskalkung in bindigen Böden erlauben die Plastizitätsgrenzen bzw. die Plastizitätszahl mindestens ebensolche Deutungen wie aufwendigere, bodenphysikalische Untersuchungen.

Wirkung von Streusalz auf Gefügeeigenschaften
eines Pelosols und einer Pseudogley-Braunerde
aus Keupersedimenten

von

Wilke, B.-M., Hantschel, R. und Schuster, E.

Einleitung

Der Einsatz von Streusalzen hat sich im Zeitraum von 1968 bis 1979 in der BRD vervielfacht und liegt derzeit bei $2 \cdot 10^6$ t (HIRTH, 1981). Nach OLSCHOWY (1980) werden 50 t/km Autolohn ausgebracht. Bisherige Streusalzuntersuchungen an Böden beschränkten sich auf bodenchemische Kennwerte (KREUTZER, 1974; BROD und PREUSSE, 1979, u.a.). Untersuchungen über Auswirkungen auf Gefügeeigenschaften von Böden sind uns aus der bodenkundlichen Literatur nicht bekannt. Aus der Kenntnis der Gefügeveränderungen durch Bewässerung mit salzhaltigen Wässern (CERATZKI, 1961; FRENKEL et al., 1978; MUKHTAR et al., 1974) kann bei Anwendung von Auftausalzen mit einer tiefgreifenden Veränderung der physikalischen Eigenschaften unserer Böden gerechnet werden. Dies aufzuzeigen war das Ziel der vorliegenden Untersuchungen.

Versuchsaufbau und Methoden

Im Oktober 1980 wurden in einem Forst nahe Bayreuth ein Pelosol (pH 7.0 - 7.2) und eine lehmig-sandige Pseudogley-Braunerde (pH 3.6 - 3.9) einmalig mit 2.5 kg/m^2 und 5.0 kg/m^2 Auftausalz belastet. Die Versuchsflächen hatten eine Größe von $1 \times 6 \text{ m}^2$. Jeweils eine Kontrollfläche blieb unbelastet. Ein Jahr nach Besalzung war der A_h -Horizont der Pseudogley-Braunerde auf den besalzten Parzellen deutlich verschlämmt und vernäht.

Proben für die Untersuchungen wurden im November 1981 genommen. Die Analysen wurden nach SCHLICHTING und BLUME (1966) bzw. HARTGE (1971) durchgeführt. Die statistische Auswertung erfolgte soweit möglich nach dem LSD-Test von TUCKEY (in SACHS, 1974).

Ergebnisse und Diskussion

Zum Zeitpunkt der Probennahme konnte kein Chlorid im Wasserextrakt nachgewiesen werden. Demzufolge war kein freies Salz mehr im Boden vorhanden. Die Na^+ -Konzentrationen lagen mit 0.5 - 1.8 mval/100 g etwa so hoch wie die von BROD und PREUSSE (1979) an Autobahnrandern gemessenen Werte. Der prozentuale Anteil des Na am Austausch (ESP-Wert) betrug im A_h der Pseudogley-Braunerde max. 16 %, im A_h

* Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie, Universität Bayreuth, Postfach 3008, 8580 Bayreuth

den Pelosols max. 7 %. Die Na-Belastung der Böden entsprach damit etwa den in Bayreuth gefundenen Werten (2-20 ‰), liegt aber unter den von BROD und PREUSSE (1979) von Autobahnrändern gemachten Angaben (15-46 ‰).

Die Lagerungsdichten (d_B) sind bei der Pseudogley-Braunerde (s. Tab.) auf den 5.0 kg/m^2 Flächen angestiegen. Allerdings konnte nur im B_V die Zunahme statistisch gesichert werden. Die Lagerungsdichten der Aggregate wiesen keine deutlichen Veränderungen auf. Im A_h -Horizont des Pelosols nahmen die Lagerungsdichten mit zunehmender Salzbelastung signifikant ab, die Dichte der Aggregate zu. Keine Veränderungen konnten beim SP-Horizont festgestellt werden. Abnahmen der Lagerungsdichten werden bei der Pseudogley-Braunerde auf Zerstörung stabiler Aggregate und dem damit verbundenen Zusammen sacken des Bodens zurückgeführt. Beim Pelosol führt die Na-Belastung zu stärkerer Quellung und Schrumpfen. Letzteres erklärt die Zunahme der Aggregatdichten. Verstärkte Quellung führt hingegen insbesondere im A_h -Horizont zu stärkerer Ausdehnung und damit zur Verminderung der Gesamtlagerungsdichte.

Die Porengrößenverteilung wurde im A_h der Pseudogley-Braunerde kaum verändert. Nur auf der 5 kg/m^2 -Fläche konnte eine Verminderung der Mittelporen und signifikant höhere Feinporengehalte gemessen werden. Deutlichere Veränderungen haben im B_V -Horizont stattgefunden. Allerdings trifft dies wiederum nur auf die 5 kg/m^2 -Parzelle zu, wo Grob- und Mittelporenanteile signifikant zu-, Feinporenanteile abnahmen.

Im Gegensatz dazu zeigen sich beim Pelosol gegenläufige Tendenzen. Im A_h -Horizont nehmen die Grobporenanteile mit zunehmendem Besalzungsrat ab, die Mittel- und Feinporenanteile zu. Beim SP-Horizont wurden jedoch nur Zunahmen der Mittelporen auf der am stärksten besalzten Fläche festgestellt. Grob- und Feinporenanteile blieben unverändert.

Mikromorphologische Untersuchungen bestätigten die vorgenannten Ergebnisse. In den besalzten Parzellen waren deutlich mehr grobe Risse zu erkennen. Wasserstabile Feinaggregate fehlten im A_h -Horizont der belasteten Pseudogley-Braunerde. Im A_h -Horizont des Pelosols war eine Veränderung des Ribbildes im Sinne von WOLKEWITZ (1958) erkennbar.

Die Aggregatstabilität wurde mit dem Tauchsiebverfahren getestet. Erwartungsgemäß erhöhten sich die ΔGMD -Werte in den A_h -Horizonten der streusalzbelasteten Pseudogley-Braunerde. Beim B_V -Horizont wies nur die 5 kg/m^2 -Fläche einen eindeutig höheren ΔGMD -Wert auf.

Keine eindeutigen Ergebnisse konnten beim Pelosol gefunden werden. Wir stellten jedoch eine Erhöhung der Trockensiebstabilität (TSS) der Aggregate im A_h -Horizont der besalzten Flächen fest.

Mit Ausnahme des A_h der Pseudogley-Braunerde wurde in allen besalzten Böden eine Zunahme der Plastizität gemessen. Die deutlichste Reaktion tritt im A_h -Horizont des Pelosols auf. Die Ergebnisse entsprechen den Erwartungen, da mit steigendem Anteil austauschbaren Na die Plastizität der Böden erhöht wird.

Schlußfolgerungen

Die hier erzielten Ergebnisse zeigen, daß die Wirkung von Auftausalzen auf die Bodenstruktur weitgehend von den Eigenschaften der belasteten Böden gesteuert wird. Bei sauren, sandigen Böden muß nach Streusalzanwendung mit einer hohen Verdichtung aufgrund größerer Dispersivität und Verminderung stabiler Aggregate gerechnet werden.

Bei einem tonigen, neutralen Boden wie dem hier untersuchten Pelosol können zumindest bei mittleren Salzbelastungen weniger nachteilige Wirkungen nachgewiesen werden. Die Plastizität wird infolge höherer Na-Belegung der Austauscher erhöht, Anteile von Mittelporen nehmen in den gesalzten Flächen sogar zu. Höhere Elektrolytgehalte in der Bodenlösung während der Salzperiode könnten die Verminderung der Aggregatstabilität in besalzten Böden teilweise wieder aufheben. Da jedoch während der Sommermonate zumindest in nicht zu trockenen Jahren mit einer nahezu vollständigen Auswaschung der Salze aus den Oberböden zu rechnen ist (BROD und PREUSSE, 1979), kommt die hohe Na-Sättigung während der Vegetationsperiode wieder voll zur Wirkung.

Literatur

- BROD, H.G. und PREUSSE, H.U. (1979): Mitteilungen d. Dtsch. Bodenk. Gesellschaft 29, 519-524
CERATZKI, W. (1961): Zeitschrift für Kulturtechnik 2, 217
FRENKEL, H.; GOERTZEN, J.O.; RHOADES, J.D. (1978): Soil Science Society of America Journal 42 (1), 32-39
HARTGE, K.M. (1971): Die physikalische Untersuchung von Böden, Stuttgart, 168
KREUTZER, K. (1974): European Journal of Forest Pathology, Band 4, Heft 1
MUKHTAR, O.M.A.; SWOBODA, A.R.; GODFREY, C.L. (1974): Soil Science 118 (2), 109-119
OLSCHOWY, G. (1980): Der Landkreis 12, 744-747
SACHS, L. (1979): Statistische Methoden, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 105 S.
SCHLICHTING, E. und BLUME, H.P. (1966): Bodenkundliches Praktikum, Hamburg, Berlin, 209
WOLKEWITZ, H. (1958): Z. Pflanzenern. u. Bodenkunde 82, 17-33

Danksagung

Für die Durchführung der Untersuchungen danken wir den Teilnehmern des bodenphysikalischen Praktikums (WS 1981/82): S. Kronimus, H. Helger, M. Joneck, T. Suttner, N. Burger, F. Kießling, R. Hempfling. Herrn Professor Dr. R. Horn möchten wir für die anregende Diskussion danken.

Veränderung bodenphysikalischer Kennwerte durch Streusalzbelastung

Horizont	Tiefe (cm)	Belastung (kg/m ²)	d _B (g/cm ³)	Porengrößenverteilung (Vol.%)			Δ GMD (mm)	TSS (%)	W _{fa} (%)
				∅ > 10 μm	10-0.2 μm	< 0.2 μm			
<u>Pseudogley-Braunerde</u>									
A _h	0 - 10	0	1.26	22.3	14.6	13.6	0.64	48.75	11.35
		2.5	1.22	20.4	16.6	16.8	2.10	82.27	11.36
		5	1.30	23.0	6.6	20.6	3.30	74.12	11.54
			LSD* 0.13	LSD 7.2	11.7	5.8			
B _v	10 - 37	0	1.47	21.2	15.8	10.2	3.13	87.12	4.13
		2.5	1.42	20.4	14.9	13.2	3.19	84.97	5.29
		5	1.60	10.9	6.9	20.3	4.18	93.22	6.06
			LSD 0.08	LSD 7.3	5.0	8.2			
<u>Pelosol</u>									
A _h	0 - 15	0	0.87	24.1	15.9	23.5	0.41	49.44	38.0
		2.5	0.73	20.7	27.0	24.3	0.63	56.88	47.0
		5	0.62	19.7	26.5	28.8	1.13	98.90	86.0
			LSD 0.03	LSD 4.7	3.4	2.6			
SP	15 - 55	0	1.42	6.2	15.8	24.8	1.03	49.12	29.0
		2.5	1.43	7.5	19.6	21.6	0.78	52.03	34.0
		5	1.35	5.5	22.6	24.2	0.78	50.24	37.0
			LSD 0.07	LSD 5.7	6.1	3.7			

*) LSD=Least significant difference

Gefügebesserung bei drei Bodentypen durch
mechanische und pneumatische Tieflockerung

von

Martinovic, Lj.⁺, Mückenhausen, E.⁺⁺ und Schröder, D.⁺⁺⁺

Einleitung

Versuche zur Verbesserung des Bodengefüges verdichteter, verfestigter, luftarmer, staunasser Böden wurden schon zwischen 1935 und 1940 von v.NITZSCH und MERBITZ durchgeführt (MERBITZ und v.NITZSCH 1936 a, 1936 b, 1937). Nach 1945 setzten MERBITZ (1957 a und 1957 b, 1975) und SCHULTE-KARRING (1957) diese Versuchstätigkeit fort. Auf Anregung von SCHULTE-KARRING entwickelten verschiedene Landmaschinenhersteller aus den starren Lockerungsgeräten solche mit angetriebenen, beweglichen Scharen. Die jüngste Entwicklung ist der Stechhublockerer, der den Boden besonders intensiv aufbricht.

Neben den mechanischen Lockerungsgeräten befindet sich seit 1979 auch ein pneumatisches in der Erprobung. Die Wirkung beider Geräte auf das Bodengefüge wurde in Versuchen, die SCHULTE-KARRING auf einem Pseudogley aus lößreicher Fließerde, einer Aufschüttungsboden (Densol) aus Verwitterungsmaterial von Grauwacken und Schluffschiefer und einem Vertisol-Pelosol (Sironica) aus Cyrenenmergel 1979 angelegt hat, in den Jahren 1980 und 1981 im Rahmen einer Dissertation (MARTINOVIC 1982) untersucht. Die mechanische Lockerung erfolgte bis in 80 cm, die pneumatische bis in 100 cm Tiefe. Die Funktion beider Geräte wird in den Abb. 1 und 2 dargestellt.

+ Inst. f. Bodenforschung, Theodora-Pratzers 7, 1100 Berlin
++ Inst. f. Bodenkunde, Mulallee 13, 5300 Bonn
+++ Universität Trier, Bodenkunde, Postfach 2025, 5500 Trier

Nähere Angaben zu Standorten, Methoden und Ergebnissen finden sich bei MARTINOVIC (1982) und MARTINOVIC, MÜCKENHAUSEN und SCHRÖDER (1982 a und b). Hier werden im folgenden nur die wichtigsten Ergebnisse mitgeteilt.

Ergebnisse und Diskussion

Das Gesamtporenvolumen nimmt auf allen drei Standorten in den Tiefen 30-50 und 50-70 cm in beiden Jahren von den ungelockerten über die pneumatisch gelockerten zu den mechanisch gelockerten Varianten stark zu (Tab. 1). In der Krume sind wegen der gleichen Bodenbearbeitung keine lockerungsbedingten Unterschiede zu erkennen. In 70-100 cm Tiefe ist die mechanische Lockerung nicht mehr wirksam, die pneumatische hat das Porenvolumen, zumindest auf dem Pseudogley, geringfügig erhöht.

Ähnlich wie das Gesamtporenvolumen steigt auch das Grobporenvolumen in 30-70 cm Tiefe von der ungelockerten über die pneumatisch gelockerten zu den mechanisch gelockerten Varianten an (Tab. 2).

Parallel hierzu steigen die Wasserdurchlässigkeit und Infiltration. Die mechanische Festigkeit nimmt hingegen ab (Tab. 3). Die Wasserdynamik wird bis in größere Tiefe durch die Lockerung bestimmt. Das Wasser dringt in die gelockerten Bereiche schneller ein und wird für die Vegetationsphase bevorratet, so daß den Pflanzen außer der erhöhten nutzbaren Feldkapazität je untersuchter Schicht auch noch dadurch mehr Wasser zur Verfügung steht, daß sie tiefer wurzeln können (SCHULTE-KARRING 1970).

Die direkte Gefügeansprache im Dünnschliff ergab, daß die pneumatische Lockerung außer ein paar erzeugten Rissen keine Veränderung der Gefügeverhältnisse bewirkt hat. Die mit 15 at eingepreßte Druckluft entweicht nach Anhebung eines Bereiches von $\sqrt{4}$ m im Durchmesser auf dem Weg des geringsten Wider-

standes an die Oberfläche, wobei allerdings natürliche Klüfte erweitert und durch abplatzende Aggregate oder eingeblasenes Styropor verbaut werden. Diese verbauten Klüfte dienen dem Luftaustausch sowie der Wasserführung und stellen zugleich bevorzugte Wurzelleitbahnen dar. Der Bereich zwischen den Klüften erfährt hingegen kaum eine Veränderung, da der angehobene Boden kompakt zurückfällt, ohne daß eine wesentliche Verstellung von Aggregaten erfolgt. Dennoch ermutigen die erzielten Ergebnisse, das Gerät weiterzuentwickeln (es arbeitet inzwischen schon mit größerer Luftmenge und höherem Druck).

Spezielle Einsatzgebiete des pneumatischen Lockerungsgerätes bieten sich in Plantagen, Hausgärten, Parkanlagen und Steilhängen an, zumal wenig Energie benötigt wird und Tiefendüngung möglich ist.

Das mechanische Lockerungsgerät ist durch seinen speziellen Stach-Ruhvorgang in der Lage, die Aggregate fein zu zerteilen. Aus Primären und Grobporvedern entsteht ein feinnalvedrisches bis teilweise krümelig-schwammiges Mesoporegefüge. Dieses bietet günstige Durchwurzelungsmöglichkeiten und kann durch die gefügebildenden Kräfte im Verein mit Wurzelwirkung und biologischer Aktivität zu einem relativ stabilen Sekundärgefüge umgebaut werden. Dies gelinkt allerdings nur, wenn nach der Lockerung eine gefügeschonende Bewirtschaftung erfolgt. Im Bereich des Mikrogefüges hat sich auch durch die mechanische Lockerung keine Änderung ergeben. Dies steht in Einklang mit der Tatsache, daß der Grobporanteil zugenommen hat, der Mittel- und Feinporanteil aber kaum verändert wurde.

Literatur

- MARTINOVIC, Lj. (1952): Einfluß von mechanischer und pneumatischer Tieflockerung des Bodens auf Gefüge, Wasserdynamik, Wurzelentwicklung und Ertrag bei drei Bodentypen. - Diss. Bonn, 156 S.
- MARTINOVIC, Lj., E. MÜCKENHAUSEN und D. SCHRÖDER (1952 a und b): Einfluß mechanischer und pneumatischer Tieflockerung auf drei Bodentypen. - Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, im Druck. 1. Mitt. und 2. Mitt.
- MERBITZ, J. und W. v. NITZSCH (1936 a): Untergrundbearbeitung als Versicherung gegen Dürreschäden. - Deutsche Landwirtschaftliche Presse, Nr. 9 und 10, 1-5.
- MERBITZ, J. und W. v. NITZSCH (1936 b): Untergrundbeschaffenheit und Untergrundbearbeitung. - Deutsche Landwirtschaftliche Presse, Nr. 30, 1-6.
- MERBITZ, J. und W. v. NITZSCH (1937): Erfahrungen mit Untergrundbearbeitung im feuchten Jahr 1936. - Deutsche Landwirtschaftliche Presse, Nr. 26 und 27, 1-12.
- MERBITZ, J. (1957 a): Tiefe Bodenlockerung als Mittel zur Ertragssteigerung. - Landtechnik, H. 11, 338-340.
- MERBITZ, J. (1957 b): Tieflockerung in der Praxis. - Landtechnik, H. 12, 367-369.
- MERBITZ, J. (1975): Streifzüge durch die Geschichte der Bodenbearbeitung. - Selbstverlag Bonn.
- SCHULTE-KARRING, H. (1957): Die Untergrundlockerung allgemindeter Böden und ihre Wirkung auf Boden und Pflanzenertrag. - Diss. Bonn.
- SCHULTE-KARRING, H. (1970): Stand der Entwicklung neuer Lockerungs- und Tiefendüngungsgeräte. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 10, 147-150.

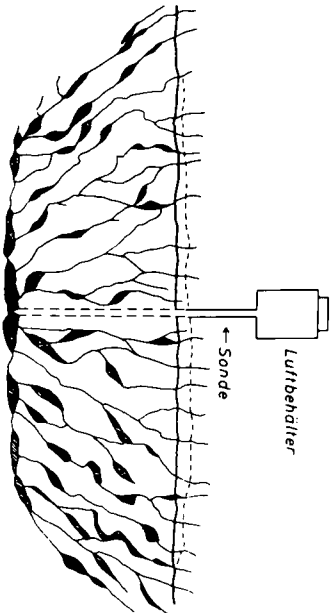


Abb. 1. Pneumatische Bodenverdichtung durch Luftsonde.

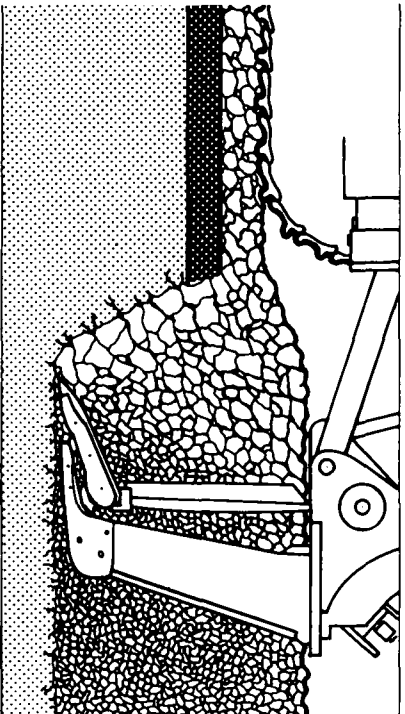


Abb. 2. Funktionsweise des mechanischen Bodenverdichters.

Tab. 1: Gesamtporenvolumen (Vol. %)

Behandlung	Jahr	Tiefe cm	Bodentyp			\bar{x} -Behandlung
			Pseudogley	Deposol	Smonica	
Ungelockert	1980	0- 30	47.9	40.6	50.5	46.3
	1981	0- 30	49.1	49.1	50.6	49.6
Pneumatisch gel.	1980	0- 30	48.3	41.9	56.1	48.7
	1981	0- 30	48.1	48.6	53.5	50.0
Mechanisch gel.	1980	0- 30	49.5	43.9	53.4	48.9
	1981	0- 30	49.8	52.0	53.7	51.8
\bar{x} Bodentyp			48.7	46.0	52.9	49.2
GD 5 % Bodentyp/Behandlung/Jahr = 5.44						
Ungelockert	1980	30- 50	41.5	37.4	47.5	42.1
	1981	30- 50	36.3	32.7	46.9	38.8
Pneumatisch gel.	1980	30- 50	45.4	39.5	53.4	46.1
	1981	30- 50	41.7	39.9	46.6	42.7
Mechanisch gel.	1980	30- 50	47.4	45.3	55.5	49.4
	1981	30- 50	44.2	48.8	57.0	50.0
\bar{x} Bodentyp			42.3	40.6	51.1	44.8
GD 5 % Bodentyp/Behandlung/Jahr = 4.56						
Ungelockert	1980	50- 70	37.7	36.5	48.8	41.0
	1981	50- 70	36.2	32.2	48.3	38.9
Pneumatisch gel.	1980	50- 70	44.2	38.8	49.8	44.1
	1981	50- 70	42.3	35.6	46.2	41.3
Mechanisch gel.	1980	50- 70	49.6	42.9	54.1	48.8
	1981	50- 70	48.0	48.0	56.5	52.2
\bar{x} Bodentyp			43.0	39.0	56.6	44.4
GD 5 % Bodentyp/Behandlung/Jahr = 4.06						
Ungelockert	1980	70-100	38.4	37.7	42.9	39.6
	1981	70-100	32.5	31.4	45.5	36.4
Pneumatisch gel.	1980	70-100	47.3	36.0	47.4	43.5
	1981	70-100	41.4	33.4	45.2	40.0
Mechanisch gel.	1980	70-100	42.2	38.7	49.1	43.3
	1981	70-100	32.7	33.8	47.0	37.8
\bar{x} Bodentyp			39.0	35.1	46.1	40.1
GD 5 % Bodentyp/Behandlung/Jahr = 3.70						

Tab. 2 : Poren > 50 µ (Vol. %)

Behandlung	Jahr	Tiefe cm	Bodentyp			\bar{x} -Behandlung
			Pseudogley	Deposol	Smonica	
Ungelockert	1980	0- 30	12.4	7.6	11.6	10.5
	1981	0- 30	15.2	15.9	9.2	13.4
Pneumatisch gel.	1980	0- 30	12.3	9.5	15.5	12.4
	1981	0- 30	14.3	15.5	10.6	13.4
Mechanisch gel.	1980	0- 30	12.9	13.6	14.1	13.5
	1981	0- 30	16.5	18.7	12.7	15.9
\bar{x} Bodentyp			13.9	13.4	12.3	13.2
GD 5 % Bodentyp/Behandlung/Jahr = 6.38						
Ungelockert	1980	30- 50	7.4	5.1	7.0	6.5
	1981	30- 50	4.9	3.7	7.2	5.2
Pneumatisch gel.	1980	30- 50	12.3	8.4	15.0	11.9
	1981	30- 50	9.2	10.7	6.7	8.8
Mechanisch gel.	1980	30- 50	13.5	13.0	18.3	14.9
	1981	30- 50	11.4	14.2	21.9	15.3
\bar{x} Bodentyp			9.8	9.2	12.6	10.5
GD 5 % Bodentyp/Behandlung/Jahr = 5.27						
Ungelockert	1980	50- 70	4.9	3.8	8.3	5.6
	1981	50- 70	2.3	1.5	4.1	2.6
Pneumatisch gel.	1980	50- 70	8.2	4.4	9.0	7.2
	1981	50- 70	5.6	3.5	5.2	4.7
Mechanisch gel.	1980	50- 70	13.1	7.7	14.8	11.3
	1981	50- 70	13.2	13.9	20.4	15.3
\bar{x} Bodentyp			7.3	5.8	10.3	7.9
GD 5 % Bodentyp/Behandlung/Jahr = 2.66						
Ungelockert	1980	70-100	5.2	5.2	1.7	4.0
	1981	70-100	1.3	0.4	4.8	2.3
Pneumatisch gel.	1980	70-100	10.8	4.1	8.2	7.7
	1981	70-100	4.8	4.1	4.4	4.4
Mechanisch gel.	1980	70-100	8.7	8.1	10.1	8.9
	1981	70-100	1.2	3.5	4.5	3.0
\bar{x} Bodentyp			5.4	4.2	5.6	5.0
GD 5 % Bodentyp/Behandlung/Jahr = 3.72						

Tab. 3: Abscherwiderstand (cm·kp)

Behandlung	Jahr	Tiefe cm	Bodentyp			\bar{x} -Behandlung
			Pseudogley	Deposol	Smonica	
Unge-lockert	1980	0- 30	320	250	360	310.0
	1981	0- 30	215	320	200	245.0
Pneumatisch gel.	1980	0- 30	250	340	320	306.5
	1981	0- 30	210	260	200	223.3
Mechanisch gel.	1980	0- 30	410	220	330	320.0
	1981	0- 30	210	320	180	236.6
\bar{x} Bodentyp			270.3	285.0	265.0	273.5
GD 5 % Bodentyp/Behandlung/Jahr = 167.19						
Unge-lockert	1980	30- 50	760	1500	680	980.0
	1981	30- 50	980	1500	320	933.3
Pneumatisch gel.	1980	30- 50	540	1100	580	740.0
	1981	30- 50	610	870	310	596.5
Mechanisch gel.	1980	30- 50	360	190	280	276.5
	1981	30- 50	270	190	130	173.3
\bar{x} Bodentyp			586.6	880.0	383.3	616.5
GD 5 % Bodentyp/Behandlung/Jahr = 405.16						
Unge-lockert	1980	50- 70	960	1500	800	1086.6
	1981	50- 70	1250	1500	450	1066.6
Pneumatisch gel.	1980	50- 70	460	1200	660	773.3
	1981	50- 70	870	1300	400	856.6
Mechanisch gel.	1980	50- 70	110	250	90	153.3
	1981	50- 70	170	230	90	163.3
\bar{x} Bodentyp			636.6	998.3	415.0	683.3
GD 5 % Bodentyp/Behandlung/Jahr = 300.17						
Unge-lockert	1980	70-100	1500	1500	890	1296.6
	1981	70-100	1500	1500	520	1173.3
Pneumatisch gel.	1980	70-100	800	1500	680	993.3
	1981	70-100	1500	1500	440	1063.3
Mechanisch gel.	1980	70-100	1500	1500	780	1260.0
	1981	70-100	1500	1500	500	1166.6
\bar{x} Bodentyp			1341.6	1500.0	635.0	1158.8
GD 5 % Bodentyp/Behandlung/Jahr = 291.33						

Veränderung der Moorbodeneigenschaften durch Bunkerdeiekkultur

von

Burghardt, W. und Hugenbusch, E.M.

1. Einleitung

Hochmoorböden werden durch Nutzung verändert. Nachfolgend soll nun dargestellt werden, wie sich die Torflagen eines Leegmoores (Bunkerde, minderwertige Weißtorfe wie *Sphagnum cuspidata* und Schwarztorfe) nach Herauslösung aus ihrem natürlichen Verband und Mischung physikalisch verhalten und welche Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Nutzung zu erwarten sind.

2. Material und Methoden

Die untersuchte Fläche liegt bei Sedelsberg am Küstenkanal. Nach Abbau des schwach zersetzten Weißtorfes verblieben 25 cm Bunkerde über 25 bis 45 cm Weißtorf aus *Cuspidata*-Torfen und 3 m mächtigem Schwarztorf. Die Bunkerde entstand durch Zurücksetzen der oberen 15 cm starken Weißtorfschicht während der Abtorfung. Dabei wurde diese Torflage gelockert.

Durch 1,2 m tiefe Fräsdränung war der Moorboden entwässert worden. Dieser Moorboden wurde 1975 durch 70 und 100 cm tiefes Pflügen und Meliorationsdüngung mit 5.000 kg/ha CaO, 350 kg/ha P₂O₅ und 10 kg/ha Cu verändert.

Die Kennwerte des Ausgangsprofiles enthält Tab. 1. Durch Pflügen wurden die horizontalen Torflagen schräg gestellt und durch anschließende Bodenbearbeitung in der Krume vermengt (Abb. 1).

In der Krume und den einzelnen Torflagen wurden 1980 Volumenproben entnommen. Ermittelt wurde je Lage an 8 - 10 Proben das Volumengewicht feucht und trocken, das Substanzvolumen, die gesättigte Wasserleitfähigkeit in vertikaler Richtung. In 10 cm Tiefen-

abständen wurde in 10-facher Wiederholung der Abscherwiderstand (Schaffer, 1960) ermittelt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Den landwirtschaftlichen Erfolg der Tiefpflugmaßnahme auf mächtigen Moorböden behandelten bereits Kuntze und Bartels (1982). Durch Tiefpflügen ließen sich die Erträge nicht steigern (Abb. 2).

Das Substanzvolumen von Moorböden ist im Vergleich zu Mineralböden äußerst gering. Unterhalb der Ackerkrume lag es im Ausgangsprofil bei 6 Vol.%. Lediglich in der Krume stieg es auf 10 - 12 Vol.% an (Tab. 2). Nach dem Tiefpflügen trat jedoch unter der Krume bis in 70 bzw. 100 cm Tiefe eine deutliche Zunahme der SV auf. Bei 70 cm tiefer Pflugfurche war diese Zunahme einheitlich in den gepflügten Torflagen, die aus schwach bis mittel zersetzten Torfen bestanden. Wurde 100 cm tief gepflügt, wurden auch die stark zersetzten Schwarztorfe erfaßt, deren Substanzvolumen nur geringfügig erhöht worden war (Tab. 2).

Das höhere Substanzvolumen nach Tiefpflügen ist durch die Zerstörung des natürlichen Torfverbandes zu erklären. Ähnliches fand bereits Eggelsmann (1979) nach Baumaßnahmen zur Verlegung von Industrieversorgungsleitungen durch Moore.

Die Zunahme des Substanzvolumens macht sich als Sackung bemerkbar. Bekanntlich tritt sie nach Entwässerungsmaßnahmen auf. Dort nimmt sie mit zunehmender Tiefenlage der Torfe ab (Ilnicki u. Burghardt, 1981). Nach Tiefpflügen war jedoch das Substanzvolumen und damit die Sackung der Weißtorfe in jeder Tiefe ähnlich groß (Tab. 2).

Die angepflügten Schwarztorfe waren sackungsunempfindlich. Dies kann auf den hohen Wassergehalt infolge höherer Wasserbindungsintensität der Schwarztorfe zurückgeführt werden.

Die Sackung der Torfe betrug ca. 20 - 30 % der Tiefpflugtiefe (Tab. 3).

Die Zunahme des Substanzvolumens machte sich in einer Erhöhung der Abscherwiderstände (Abb. 3) bemerkbar. Die Krume blieb infolge der Bodenbearbeitung locker und wies entsprechend niedrige Abscherwiderstände auf. Die Folge war eine weiterhin geringe Tragfähigkeit der Krume.

Bei steigendem Substanzvolumen der Torfe und damit einer höheren Lagerungsdichte des Moorbodens war zunächst eine Abnahme der Wasserleitfähigkeit erwartet worden. Diese trat jedoch nur bei Krumentorfen ein (Abb. 4). Die übrigen Moorbodenschichten wiesen einen gleichzeitigen Anstieg von Wasserleitfähigkeit und Substanzvolumen auf. Die Torfe waren bei der Tiefpflugarbeit aus ihrer ursprünglichen Lage herausgebrochen worden. Dabei entstanden grobe Torfschollen. Zwischen diese konnten sich Kluftflächen bilden. Die Kluftflächen sind umso ausgeprägter, je mehr die Torfe schrumpften. Somit können trotz steigendem Substanzvolumen der Torfe hohe Wasserleitfähigkeitswerte auftreten.

Auf eine Kluftbildung wies auch die tiefgehende Oxidation bis in den ungestörten Schwarztorf der Pflugprofile hin, was an der schwarzgrauen Farbe erkennbar war.

4. Zusammenfassung

Durch Tiefpflügen wurden die physikalischen Moorbodeneigenschaften verändert. Durch scholligen Bruch entstanden Spalten, die den Moorboden verstärkt belüfteten und eine Schrumpfung der Schollen und damit Sackung des Moorbodens ermöglichten. Die Abscherwiderstände nahmen entsprechend zu. Andererseits wurde durch die Spaltenbildung die Wasserleitfähigkeit mit zunehmender Schrumpfung erhöht. Für eine verbesserte Produktivität des Ackerbaues auf Hochmoor reichten die physikalischen Veränderungen am Moorbodenprofil nicht aus, da diese zwar im Unterboden, jedoch nicht in der Krume erzielt werden konnten.

Literaturhinweise

- Eggelsmann, R., 1979: Bodentechnologische Aspekte der Folgeschäden in Niederungsböden nach Rohrleitungsbau. Tiefbau, Ingenieurbau, Straßenbau, Bd. 21, 799 - 806.
- Ilnicki, P. u. W. Burghardt, 1981: Sackung in wiederholt entwässerten Hochmooren des nordwestdeutschen Flachlandes. 6. Bericht: Einfluß von klimatischer Wasserbilanz auf Abfluß Reliefform, Oberflächen- und Dränsackung. Z. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung 22, 112 - 121.
- Kuntze, H. u. R. Bartels, 1982: Bunkerdetiefkulturen auf einem industriell teilabgetorften Hochmoor (Leegmoorkultivierung). Telma (in Vorbereitung).

Tabelle 1: Profilmerkmale des Moorbodens

Tiefe, cm	Torfart	Zersetzungs- grad n. v. Post	Asche Gew. %	Vol. Gew. tr. g/l	
0 - 20	Hhsy	4 - 5	12,4	173	Bunkerde/ Weißtorf.
20 - 35	Hhsy,su	3 - 4	3,4	119	Weißtorf
35 - 50	Hhsy,e4	3 - 4	2,7	97	Weißtorf
50 - 75	Hhsy,e2	3 - 4	2,3	99	Weißtorf
75 - 90	Hhsy,e5	6	0,8	102	Schwarztorf
90 ↘ 120	Hhe,i	7 - 8	0,8	99	Schwarztorf

Tabelle 2: Substanzvolumen des Moorbodens
und der Tiefpflugkultur

Tiefe, cm	SV, %
Moorboden:	
0 - 20	10,7
20 - 35	7,3
35 - 50	6,0
50 - 75	6,2
75 - 90	6,4
90 ↘ 120	6,4

Tiefpflugkultur, 70 cm:		
	Bunkerde/Weißtorf:	Weißtorf:
0 - 20	11,3	11,0
20 - 45	8,7	10,4
45 - 70	9,8	8,2

Tiefpflugkultur, 100 cm:		
	Bunkerde/Weißtorf:	Schwarztorf:
0 - 20	10,6	9,5
20 - 60	10,7	6,8
60 - 100	8,9	6,2

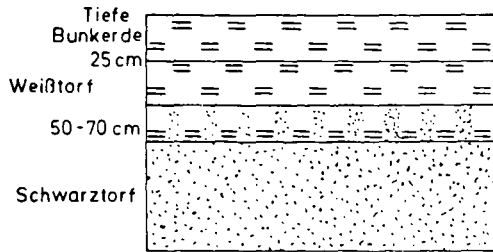
GD 5 %: 1,1; GD 1 %: 1,5; GD 0,1 %: 1,9

Tabelle 3: Sackung der Tiefpflugprofile

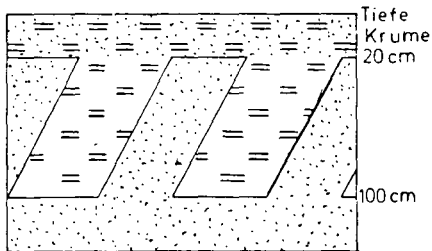
	cm	%
Tiefpflugkultur 70 cm, Weißtorf/Bunkerde	15	22
" 100 cm, " /"	27	27
" 100 cm, Schwarztorf	- 1	- 1

Abb.1 Schema des Moorboden-
und Tiefpflugprofiles

Moorbodenprofil



Tiefpflugprofil





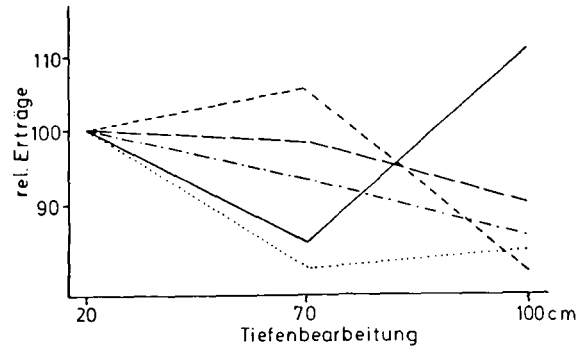
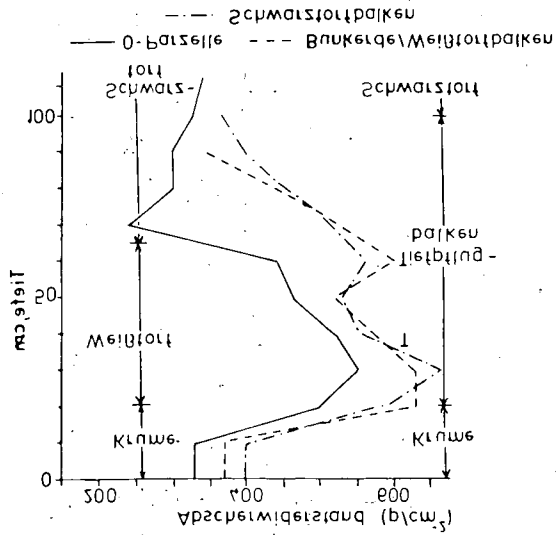
 Bunkererde/Weißtorf  Schwarztorf

Abb.2 Erträge

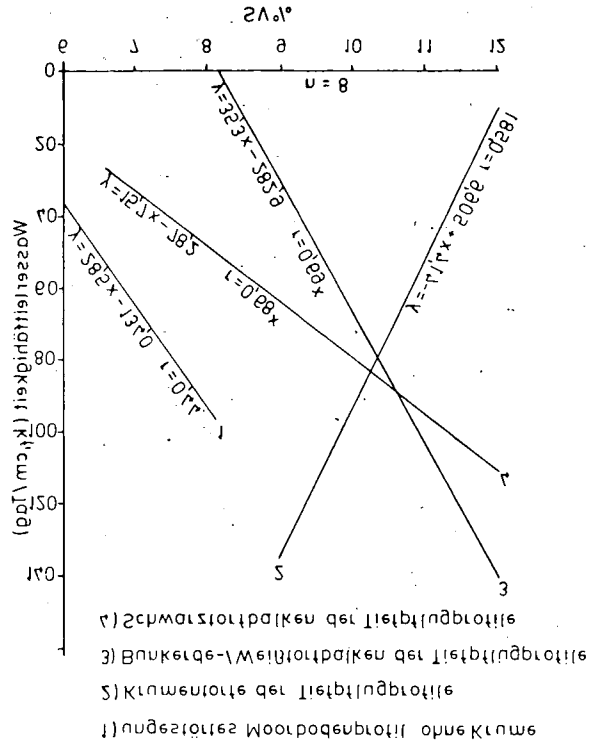


— 1976 Hafer, 100 = 30,4 dz/ha
 - - - 1977 Roggen, 100 = 36,5 dz/ha
 - · - · 1978 Hafer, 100 = 35,4 dz/ha
 ····· 1979 Roggen, 100 = 26,6 dz/ha
 - - - 1980 Hafer, 100 = 23,4 dz/ha



vor u nach Tiefkultur

Abb. 3 Abscherwiderstände eines Leegmoortes



Substanzvolumen

Abb. 4 Beziehung der Wasserfeuchtigkeit zum

Einfluß von Rekultivierungsmaßnahmen auf Gefügeeigenschaften.

von

Becher, H.H.*

Bei der Anlage von Lehmgruben für Ziegeleien wird das Solum von Teilflächen entfernt, um den ziegelfähigen Lehm abbauen zu können. Sind diese Teilflächen ausgebeutet, wird im Rahmen der Rekultivierungsmaßnahmen das Solum wieder aufgebracht. Nach diesen Arbeiten ist vielfach jedoch die Bodenbearbeitung erschwert und die Fruchtbarkeit vermindert, weshalb die Landwirte nur ungern Verträge über den Lehmabbau mit den Ziegeleien abschließen. Um die Ursachen für die beobachtete Bodenverschlechterung zu finden, wurden Rekultivierungsprofile und benachbarte, ungestörte Bodenprofile untersucht.

Das 65ha große Untersuchungsgebiet ist lößbedeckt und liegt im Unterbayerischen Hügelland zwischen Landshut und Regensburg. Die 1981 durchgeführte Kartierung erbrachte für die ungestörten Profile meist Parabraunerden, die unterschiedlich stark erodiert und pseudovergleyt sind und entweder - bei jüngeren Löß - einen carbonathaltigen C-Horizont aufweisen oder - bei älterem Löß - im Untergrund stark pseudovergleyt sind. Auf den seit 1969 rekultivierten Flächen wurden Braunerde-ähnliche Böden angetroffen, die aber z.T. Carbonat und im allgemeinen erhöhte Tongehalte und Bodenfestigkeiten aufweisen. Einige Profile zeigten auf Anaerobie zurückzuführende blaugüne Farben.

Die Probenentnahme einschließlich Zylinderproben (367cm³) erfolgte Ende April 1981 aus ungestörten und gestörten Profilen, bei letzteren jedoch nicht für jedes Rekultivierungsjahr. Zusätzlich wurden eine Probe aus aufgehäuftem Material, das kurz vor der Wiederverteilung stand, und 2 Proben aus einer Panzerspur entnommen, die im Spätherbst 1980 entstanden war. Körnung und chemische Analysen wurden nach Standardmethoden durchgeführt, Volumengewicht, Porengrößenverteilung und gesättigte Wasserleitfähigkeit nach Hartge (1965, 1966) bestimmt.

Die chemischen Analysen und Körnung bestätigten die Geländebefunde, beson-

* Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München, D-8050 Freising-Weißenstephan

ders die höheren Tongehalte und pH-Werte in den oberen Horizonten als Folge der Rekultivierung. Die bodenphysikalischen Änderungen sind aber noch ausgeprägter, wie Tab. 1 zeigt (s.a. Becher 1982,1983). Die Verschlechterung des Gefüges tritt danach nur auf seit 1970 rekultivierten Flächen auf. In einigen Fällen weist die Krume stärkere Schäden auf als die nachfolgende Schicht 20-50cm. Ungünstigste Eigenschaften bestanden im Unterboden >50cm auf den Rekultivierungsflächen von 1972 und 1976, in dem zu verteilenden Material und in der Panzerspur. Die auch bei einigen ungestörten Profilen auftretenden, relativ ungünstigen Eigenschaften in der Krume oder im C-Horizont sind entweder auf eine Bodenbearbeitung unter zu feuchten Bedingungen (Krume) oder auf Sedimentation und Verwitterung (C-Horizont) zurückzuführen.

Die ungünstigen bodenphysikalischen Eigenschaften beruhen auf der starken Verdichtung, die dadurch entsteht, daß für den Abbau das Solum durch Planier-
raupen zu Haufen bis >5m Höhe zusammengeschoben wird (= 1.Vermischung und Verdichtung) und nach dem Abbau die Solumhaufen mit Planier-
raupen auf der Grubensohle verteilt und eingeebnet werden, ohne daß zuvor der Grubenboden tiefgelockert wurde (= 2.Vermischung und Verdichtung). Während des Abbaus und Transports von Lehm wird die Grubensohle nicht nur durch Gewicht und Vibration der schweren Maschinen, sondern auch durch Knetung verdichtet. Um alles zu verschlimmern, werden ofentrockene, aber ungebrannte Ziegel durch die Fahrzeuge für eine spätere Wiederverwendung in die Grubensohle eingeknetet, wodurch die sehr ungünstigen Werte in >50cm entstehen. Alle diese Arbeiten erfolgen auch unter feuchter bis nasser Witterung, wodurch die verdichtende Wirkung noch verstärkt wird.

Die Bodenverdichtung scheint auf Flächen von vor 1970 weniger ausgeprägt zu sein. Als mögliche Ursachen kommen in Frage: 1. bis 1969 wurden leichtere Maschinen eingesetzt; 2. war die Witterung günstiger, denn Bodenfeuchte in 0-60cm und Niederschlag nahmen zwischen 1968 und 1972 ab. Jedoch war die voraufgehende trockene Witterung ohne Einfluß für die 1972-Rekultivierung. Deshalb ist, zumindest ab 1972, weder ein Einfluß der Witterung noch der verstrichenen Zeit auf die Rekultivierungswirkung zu erkennen. Die Geländebeobachtungen an den Profilen weisen auf 2 Tatsachen hin: 1. Anaerobie in 20-50cm Tiefe, besonders unter nassen Bedingungen; 2. starke Verminderung der biologischen Aktivität; sogar in der Krume. Für letzteres sprechen noch deutlich sichtbare, dünne, intakte Schluffbänder unter Grünland, die vor der letzten Bodenbearbeitung, die 2 Jahre vor der Aufgrabung erfolgte, entstanden sein müssen. Dies bedeutet, daß schlechte Durchlüftung und hohe Festigkeit Regenwürmer und andere Bodentiere daran hindern, in diesen Horizonten zu leben, in ihnen organische Substanz abzubauen und Bodenmaterial umzuverteilen. Hierauf

beruht auch die Durchwurzelung bis max. 50cm.

Aufgrund von Bodenanalysen und Feldbeobachtungen unter Berücksichtigung industrieller und landwirtschaftlicher Praxis wird folgendes empfohlen:

1. Das Solum sollte, getrennt nach Horizonten, unter Verwendung leichter Löffelbagger abgeräumt und mittels Transportbänder zu 3m breiten und 2m hohen Mieten aufgehäuft werden.
2. Die Mieten sollten mit Luzerne oder anderen Tiefwurzlern angesät werden, um die Mieten relativ trocken zu halten.
3. Vor der Rekultivierung sollten alle Grubensohlen unter relativ trockenen Bedingungen tiefgelockert werden.
4. Der Boden sollte mittels leichter Löffelbagger und Transportbänder wieder verteilt werden.
5. Der Boden sollte mit einer kleinen oder leichten Planierraupe eingeebnet werden.
6. Die rekultivierte Fläche sollte mit Luzerne angesät werden, um die Bildung von organischer Substanz und die biologische Aktivität in Krume und Unterboden zu fördern.
7. Diese Flächen sollten im nächsten Jahr vor der Rückgabe unter relativ trockenen Bedingungen nochmals tiefgelockert werden, wenn das vorausgegangene Jahr sehr naß war.
8. Die Landwirte sollten angehalten werden, nur unter günstigen Boden- und Witterungsverhältnissen den Boden zu bearbeiten, um eine Wiederverdichtung zu vermeiden.

Wenn zumindest ein Großteil dieser Empfehlungen befolgt wird, wird die Verdichtungsgefahr sehr vermindert.

Literatur:

- Becher, H.H. (1982): Soil compaction of arable soils due to recultivation of loam pits. Proc. 9th Conf. ISTRO, Osijek 1982, 171-176.
- Becher, H.H. (1983): Soil compaction caused by readjustment of a loam pit and by manoeuvre. Reclam. a. Reveget. Research (in Vorbereitung).
- Hartge, K.H. (1965): Die Bestimmung von Porenvolumen und Porengrößenverteilung. Z.f.Kulturtech. u. Flurber. 6, 193-206.
- Hartge, K.H. (1966): Ein Haubenpermeameter zum schnellen Durchmessen zahlreicher Stechzylinderproben. Z.f.Kulturtech. u. Flurber. 7, 155-163.

Table 1: Soil physical characteristics of readjusted and not readjusted soil profiles derived from loess

Hor. Depth	PV	LP	MP	FP	ρ_b	k_s	clay	pH
<cm>	---<vol.-%>---				<g/cm ³ >	<cm/d>	<%>	
readjusted 1969								
RA _p	0-25	44	9	9	26	1.493	1728	7.2
R ₂	35-55	39	5	8	27	1.622	54	6.9
readjusted 1969								
RA _p	0-30	44	9	11	24	1.471	3404	
R ₂	50-100	41	8	7	26	1.595	985	
readjusted 1970								
RA _p	0-25	41	1	15	25	1.589	497	30 7.4
R ₁	25-50	40	3	11	26	1.623	145	24 7.7
R ₂	50-90	45	9	12	24	1.479	364	31 7.4
readjusted 1972								
RA _p	0-22	40	2	12	26	1.583	5	31 7.0
R ₁	22-50	44	7	13	24	1.493	32	32 7.1
R ₂	50-80	35	0	7	28	1.772	0.3	38 7.5
readjusted 1976								
RA _p	0-20	38	2	12	24	1.634	40	31 7.4
R ₁	20-55	41	4	11	26	1.578	1711	30 7.7
R ₂	55-75	35	0	9	28	1.757	0.1	36 7.4
readjusted 1979								
RA _p	0-20	44	11	12	21	1.475	154	28
R ₁	20-60	41	6	11	24	1.565	2	29
1981, prior to grading								
RR	250	45	3	16	27	1.473	0.7	35 6.4
1980, manoeuvre (damage due to tank traffic)								
A _p	0-18	35	1	12	22	1.703	12	25 5.9
B _t	18-30	40	3	9	28	1.623	4	35 6.2
grey-brown podzolic								
A ₁₂	12-30	49	19	18	12	1.340	254	19 3.5
B _{t1}	30-50	46	9	12	25	1.448	11	32 3.8
C ₁	78-110	43	9	20	14	1.550	16	17 7.6
grey-brown podzolic, weakly pseudogleyed and shortened due to erosion								
A _p	0-22	42	7	13	22	1.508	1132	30 6.5
B _t	22-45	47	12	8	28	1.419	1555	42 6.6
C _v	45-75	42	9	15	18	1.566	319	28 7.5
IIB _t	75-115	39	5	11	23	1.665	102	33 7.4
grey-brown podzolic, pseudogleyed and shortened due to erosion								
A _p	0-20	45	13	14	18	1.451	1477	27 6.0
B _{et}	20-45	46	9	10	26	1.468	117	40 6.3
B _{et}	45-55	47	12	11	24	1.416	63	37 6.4
C ₁	55-90	42	7	20	15	1.586	188	23 7.7
colluvial brownearth								
A _p	0-30	49	14	21	14	1.344	1607	
M _p	30-80	47	15	19	13	1.416	2151	

LABORVERSUCH AN WÄRMEN DER KÖRPERSTROMER 1 UND VI DER DEUTSCHEN
BODENKUNDEGESELLSCHAFT IN GÖTTINGEN AM 9. OKT. 1982
- EIN BERICHT -

Teil 1: Auswirkungen eines möglichen Tiefenbruches auf bodenphysikalische Kennwerte
von
Benecke, P.¹⁾

Orter Exkursionspunkt: Bei "Westerberg" im Forstamt Radeichshausen

Vergleichsprofil: Farnheuernde-Pseudogley aus LTB (wahrscheinlich mit Schwarzerdevergangenheit).

Horizontabfolge: An - (SW)A1 - A1SW - BtSd - H1Sd.

Bei BtSd beginnt in 61 cm der H1Sd in 40 cm Tiefe. Auf der umgebessenen Fläche ist die H1Sd etwas geringmächtiger.

Der Labbruch erfolgte im Frühjahr 1979 auf etwa 60 cm Tiefe, d.h. das liegende, stark verwitterte, vereultlich umgelagerte, tonig-lehmige Bundesandsteinrudstrat wurde kaum vom Pflanz erfasst. Die Bodenart der umgebrochenen Schicht ist toniger bis stark toniger Schluff (< 20 % Ton).

Der Labbruch wurde nicht als meliorative Maßnahme durchgeführt, sondern diente der Erleichterung der im gleichen Frühjahr angesetzten Rekkultur mit Säulen.

Die bodenphysikalischen Kennwerte lassen eine standörtlich nachteilige Wirkung des Labbruches erkennen. Insbesondere der Grobporenanteil (Luftkapazität) wurde beträchtlich vermindert, begleitet von einer Verringerung der ungesättigten Leitfähigkeit. Besonders betroffen hiervon ist die Tiefenstufe um 14-20 cm.

Verbreitelter Pflanzenwuchs weist auf unzureichende Durchlüftung des Oberbodens hin.

Die oberste Bodenschicht H1A1 ist zentraler unter den Fehrspuren der für Pflanz und Bodenbedeckung eingesetzten Maschinen verweht und betroffenen Stellen erkennbar.

Die Fehrspure muß aus bodenkundlicher-sten Artliche: Sieht als verfehlt an gesehen werden, läßt sich aber durch ihre arbeitswirtschaftlichen Vorteile rechtfertigen.

¹⁾ Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen, Büsenweg 2, 3400 Göttingen

Teil II: Gefügedynamik lehmig-toniger Böden aus Muschelkalk
in Ackerbauversuchen auf Sozialbrache-Flächen

von

Frede, H. G. u. B. Meyer[†]

Im zweiten Teil der Exkursion wurden auf dem vom oberen Muschelkalk (Ceratiten-Schichten, Trochiten-Bänke) gebildeten Plateau des Drakenberges bei Göttingen-Herberhausen Ackerflächen mit den Böden Mull-Rendsina bis Braunlehm-Rendsina der Körnungsart uT bis uTL vorgestellt.

Diese Flächen werden seit längstens 13 Jahren im Rahmen eines Forschungs-Projektes zur ackerbaulichen Nutzungstechnik von Sozialbrache-Grenzböden bewirtschaftet.

Dabei hat sich die fluglose, allein mit dem flachgehenden Federzinken-Grubber durchgeführte Bodenbearbeitung als die ökonomisch zweckmäßigste Methode für den Anbau von Wintergetreide im Wechsel oder in Monokultur erwiesen.

Mit dieser Technik wird die ausgeprägte jahreszeitliche Dynamik der fortwährenden Gefüge-Umbildung unterstützt, die auf dem starken Quellungs- und Schrumpfvorgängen der illitisch-montmorillonitischen Bodenmatrix beruht.

An 4 Bodenprofilen, davon einem in der verbuschten Sukzessions-Fläche, drei im Acker, wurden die auf Quellung und Schrumpfung, Stabilisierung und mechanischer Pressung beruhenden Erscheinungen der Gefügedynamik vorgestellt, die durch agrartechnische Maßnahmen in den insgesamt nur 20 - 35 cm starken Ap/Ah/AB-Horizonten über dem Kalkstein ausgelöst werden. Dazu wurden Gipsausgüsse des ganzen Oberbodens verwendet.

Auf der Sukzessions-Fläche mit ihrer permanenten Pflanzen-Decke wurde die beständige Stabilisierung des Schrumpf-Polyeder-Aggregat-Gefüges durch die Überziehung der Aggregat-Oberflächen mit Wurzelfilz und den "Sperreffekt" demonstriert, den die Aggregate durchbohrenden und diese auseinanderdrängenden Wurzeln ausüben, wenn sie eine lockere Aggregat-Matrix aufweisen.

Die über ein Jahrzehnt mit der oben genannten Technik genutzten Böden zeigen zum Zeitpunkt der Austrocknung im Herbst ein bis auf den Kalkstein hinunterreichendes Schrumpf-Aggregat-Gefüge, das bei Wiederbefeuchtung infolge Quellung und Blähung in irregulär geformte Krümel übergeht und unter Winterung im unteren Teil des A-Horizontes während des Winters in ein grobpolyedrisches Aggregat-Verbund-Gefüge übergeht.

Trotz der im trockenen Zustand scheinbar hohen Gefügestabilität bedingt die spezifische mineralogische Zusammensetzung der tonigen Bodenmatrix eine hohe Empfindlichkeit gegen falsche Maßnahmen der Bodenbearbeitung, die zu einer Verdichtung führen, die ein Durchdringen der Bodenmatrix für Wurzeln - gezeigt wurde ein heranwachsender Rapsbestand - fast unmöglich macht und dadurch das für die Kulturpflanzen ausschöpfbare Bodenvolumen beträchtlich verringert.

An einem Profil in einer versuchsweise im Vorjahr zu feucht gepflügten Parzelle konnte die Verdichtung durch den Pflug gezeigt werden. Besonders deutlich wurde die Struktur-Labilität aber in einer Parzelle, die im Sommer 1982 vor der Raps-Aussaat durch wiederholtes flaches Grubbern brach und unkrautfrei gehalten worden war und deren Boden unter dem Aggregat-Gefüge der oberen ca. 5 cm starken Lockerschicht durch Konservierung einer hohen Bodenfeuchte und wiederholtes Befahren so verdichtet worden war, daß der Raps nur auf den wenigen weiten Interaggregat-Klüften den Boden tiefer durchwurzeln konnte.

[†]) Institut f. Bodenwissenschaften, v. Siebold-Str. 4, 3400 Göttingen

Teil III: Bodengefüge im Ap-Horizont einer konventionell bearbeiteten und einer langjährig nicht bearbeiteten Löss-Parabraunerde

von
Ehlers, W. *)

Im dritten Teil besichtigten die Exkursionsteilnehmer in Korbhof einen Versuch zum bearbeitungsfreien Ackerbau, der von Professor Dr. K. Baeumer im Jahre 1970 begonnen worden war. Der Bodentyp ist eine Parabraunerde mit Schwarzerde-Verwandtheit, entstanden aus bis zu 5 m mächtigem jungwürmzeitlichen Löss (Richter, 1977). Die Horizontfolge ist: A_p (0-28 cm), A_s (28-41 cm), B_{t1} (41-71 cm), B_{t2} (71-115 cm), B_v (115-125 cm), C (>125 cm). Die Forschungsfrage lautete, wie sich die Art der Bodenbearbeitung (konventionell: Pflug mit Folgegeräten; bearbeitungsfrei: ohne jeden gezielten mechanischen Eingriff, Aussaat mit Dreischeiden-Drillmaschine) auf ertragsbestimmende Bodeneigenschaften die Durchwurzelung (Köpke 1979) und auf den Pflanzenenertrag (Stülpnagel 1979) in einer Getreidefruchtfolge auswirkt.

Auf der bearbeiteten Variante ist das Gefüge im Ap krümelig-bröckelig, auf der unbearbeiteten Variante ist das Gefüge bis zu 10 cm Tiefe plattig, darunter subpolyedrisch. Der bearbeitete Boden ist locker, der unbearbeitete ist dichter mit geringem Porenvolumen, höherem Penetrometerwiderstand und größerer Tragfähigkeit für Maschinen. Im Jahre 1976 war auf den bearbeiteten Parzellen eine deutliche Pflugsole in 25-30 cm Tiefe mit kompaktem Gefüge nachzuweisen (Ehlers, 1977). Die örtliche Konzentration und Ausrichtung des Mulches auf der Oberfläche des unbearbeiteten Bodens deutet bereits auf rege Regenwurmartivität hin (Ehlers, 1975). Die Durchporung des Bodens mit Bioporen (Gänge von Regenwürmern und Wurzeln) wurde mit einer von Ehlers (1975) beschriebenen und von Emanuel (1977) weiterentwickelten Technik demonstriert. Die Verbindung zahlreicher Bioporen mit der Bodenoberfläche und somit ihre Wirksamkeit für die schnelle Wasserinfiltration konnte nach Ausbringung einer Gips-Suspension (FitzPatrick, 1982) gezeigt werden. Die Funktion eines Gefüges

*) Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Göttingen, von-Siebold-Str. 8, 37073 Göttingen

mit vergleichsweise höherer Trockenraumdichte aber mit einer biogenen Durchporung, das nach Unterlassen jeglicher Bearbeitung auf dem Lößboden entsteht, wurde abschließend im Hinblick auf gesättigte und ungesättigte Wasserleitung (Ehlers, 1976; Ehlers und v.d. Ploeg, 1976; Edwards et al. 1979), Durchlüftung (Ehlers 1982), Durchwurzelung (Ehlers et al. 1982) und Wasseraufnahme und Ertragsbildung von Hafer (Ehlers et al. 1980/81) diskutiert.

- Edwards, W.M., van der Ploeg, R.R. und Ehlers, W., 1979: A numerical study of the effects of noncapillary-sized pores upon infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 851-856.
- Ehlers, W., 1975: Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. *Soil Sci.* 119: 242-249.
- Ehlers, W., 1976: Water infiltration and redistribution in tilled and untilled loess soil. *Gött. Bodenkdl. Ber.* 44: 137-156.
- Ehlers, W., 1977: Measurement and calculation of hydraulic conductivity in horizons of tilled and untilled loess-derived soil, Germany. *Geoderma* 19: 293-306.
- Ehlers, W., 1982: Die Bedeutung des Bodengefüges für das Pflanzenwachstum bei moderner Landbewirtschaftung. *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.*, dieser Band.
- Ehlers, W. und van der Ploeg, R.R., 1976: Evaporation, drainage and unsaturated hydraulic conductivity of tilled and untilled fallow soil. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 139: 373-386.
- Ehlers, W., Khosla, B.K., Köpke, U., Stülpnagel, R., Böhm, W. und Baeumer, K., 1980/81: Tillage effects on root development, water uptake and growth of oats. *Soil Tillage Res.* 1: 19-34.
- Ehlers, W., Köpke, U., Hesse, F. und Böhm, W., 1982: Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Tillage Res.*, im Druck.
- Emanuel, C., 1977: Untersuchungen zur biogenen Auflösung einer Pflugsohlenverdichtung während einer zweijährigen Bodenruhe. *Diss. agr.*, Göttingen.
- FitzPatrick, E.A., 1982: mündliche Mitteilung.
- Köpke, U., 1979: Ein Vergleich von Feldmethoden zur Bestimmung des Wurzelwachstums landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. *Diss. agr.* Göttingen.
- Richter, W., 1974: Vergleichende Untersuchungen des Wasserhaushalts und Untersuchungen der Wasserdynamik in einem repräsentativen Parabraunerde-Areal mit mächtiger Lössdecke. *Diss. agr.*, Göttingen.
- Stülpnagel, R., 1979: Ertragsbildung von Hafer auf bearbeiteten und unbearbeiteten Löß-Parabraunerden. *Diss. agr.*, Göttingen.

Arbeitsgruppe „Bodennutzung in Wasserschutz- und Wasser-
schongebieten“ der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft

Bericht über die neunte Sitzung der Arbeitsgruppe am
6. Oktober 1982 in Göttingen

von

Mollenhauer, K. *

Zu den Beurteilungskriterien und Empfehlungen zur Bodennutzung in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren, deren Erarbeitung sich die Arbeitsgruppe zum Ziel gesetzt hat, wurde ein neu konzipierter Entwurf vorgelegt. Dieser unterscheidet sich besonders insofern von den bisherigen Entwürfen, als ihm eine neue Unterteilung der verschiedenen in einem Talsperreneinzugsgebiet vorkommenden Standorte zugrunde liegt. Diese Unterteilung lehnt sich an das 1981 erschienene Arbeitsblatt W 105 (Behandlung des Waldes in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren) des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) an und geht vornehmlich von der Lage der Standorte im Einzugsgebiet, deren jeweiliger Entfernung zum Stauraum der Talsperre bzw. zu den Talsperrenzuflüssen, von hydrologischen Charakteristika der Standorte und von der Geländemorphologie aus.

Dabei erscheint als ein wichtiges Kriterium, in welchem Maße von den Kuppen- und Hanglagen im Einzugsgebiet Oberflächenabfluß (mehr oder weniger ungefiltert) und auch Zwischenabfluß - neben dem Abfluß über das Grundwasser - in die Talsperre und in deren Zuflüsse gelangen kann. Berücksichtigung findet aber auch die besondere Situation in den Talauen der die Talsperre speisenden Hauptzuflüsse.

* Institut für Mikrobiologie und Landeskultur (Landeskultur) der Justus-Liebig-Universität Gießen, Senckenbergstraße 3, D-6300 Gießen

Neben der Angabe einzelner Maßstäbe für die Beurteilung der Standorte und neben den eigentlichen Empfehlungen zur Bodennutzung stellt der Entwurf aber auch die Notwendigkeit aktiver Schutzmaßnahmen im Kontaktbereich zwischen landwirtschaftlich genutzten Flächen und Gewässern heraus und verweist dazu auf Möglichkeiten im Zusammenhang mit Flurbereinigungs-, Meliorations-, Wegebau-, Gewässerbau- und anderen landeskulturellen Maßnahmen, insbesondere auch auf die Bedeutung bewaldeter Schutzstreifen in den unmittelbar die Gewässer umschließenden Bereichen.

Die Diskussion der Arbeitsgruppe befaßte sich unter anderem mit der Berücksichtigung und Bewertung bestimmter hydropedologischer und hydrogeologischer Parameter bei der Standortbeurteilung und mit Einzelfragen hinsichtlich der Bodennutzung, insbesondere auch im Zusammenhang mit der Gülleanwendung.

Die Weiterbearbeitung des Entwurfs und die Erstellung einer Endvorlage der Beurteilungskriterien und Empfehlungen wird von einem Redaktionsgremium vorgenommen werden.

Arbeitsgruppe "Bodenerosion": Konstituierende
Sitzung

von
Diez, Th.*)

Anläßlich der gemeinsamen Sitzung der Kommissionen I und VI "Anthropogene Einflüsse auf das Bodengefüge" in Göttingen fand im Anschluß an den ersten Vortragstag am 6.10.82 die erste Sitzung des Arbeitskreises Bodenerosion statt, dessen Konstituierung bereits auf der Tagung der DBG 1981 in Berlin beschlossen wurde. Als Obmann des neuen Arbeitskreises innerhalb der Kommission VI wurde durch Akklamation Dr. Diez von der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, München, bestimmt, der sich bereits in Berlin als Kontaktperson für den zu gründenden Arbeitskreis zur Verfügung gestellt hatte. Dr. Diez gab anschließend einen kurzen Bericht über bisher gelaufene Aktivitäten. Der im Rundschreiben der DBG vom 18.1.82 ergangenen Aufforderung an alle Interessenten an einen solchen Arbeitskreis, sich zu melden und ihre Arbeitsschwerpunkte sowie bisher erschienene Publikationen mitzuteilen, sind bisher 34 Kollegen gefolgt. Die sehr unterschiedlichen Aspekte, unter denen die Bodenerosion behandelt wird, lassen 3 Schwerpunkte erkennen: Formen und Wirkungen, Parameter und Bedingungen der Bodenerosion sowie Maßnahmen gegen die Bodenerosion. Die Liste bisher erschienener Veröffentlichungen über Bodenerosion umfaßt 130 Arbeiten. Alle Eingänge wurden in einer Liste zusammengestellt und den Einsendern mit Rundschreiben vom 21.4.82 zugestellt.

Nachdem die Bodenerosion bereits 1980 in Würzburg (Sitzung der Kommissionen V und VI, DBG) und 1981 in Weißenstephan (DLG, Bodenerosion - Ursachen des Bodenabtrags und Gegenmaßnahmen) das Thema eineinhalbtägiger Veranstaltungen war, wurde beschlossen, 1983 von einer eigenen Veranstaltung abzusehen. Die nächste Zusammenkunft des Arbeitskreises soll auf der Tagung der DBG in Trier 1983 stattfinden. Dazu ergeht noch gesonderte Einladung.

*) Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau,
Menzinger Str. 54, D-8000 München 19

Dr. Diez berichtete über eine Einladung zu Vorgesprächen über eine eventuell zu erlassende Bodenschutzverordnung im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, bei der auch die Bodenerosion angesprochen werden soll.

Nach bisherigen Vorstellungen der Programmgestalter soll die Bodenerosion Thema eines von 12 Symposien auf der Tagung der Internat. Bodenkundlichen Gesellschaft in Hamburg 1986 sein.

Starkes Interesse fand das von Prof. Schwertmann herausgegebene Ringbuch "Die Vorausschätzung des Bodenabtrags durch Wasser in Bayern".

Es wurde angeregt, der Überprüfung der C-Faktorwerte besondere Beachtung zu schenken. Möglicherweise würden auch Fehler bei der Bodenbearbeitung in ihrer Wirkung auf die Bodenerosion nicht genügend berücksichtigt.

Prof. Rodenburg wies auf eine bevorstehende Veranstaltung der Initiativgruppe "Fluviatile Geomorphodynamik" im Geographischen Institut Braunschweig hin. Er wurde gebeten, als Kontaktperson zu fungieren und dem Arbeitskreis gegebenenfalls über die Arbeit der Initiativgruppe zu berichten.

PALÄOBÖDEN IM LÖSS

Sitzung

des

AK Paläoböden

der

Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft

in

G Ö T T I N G E N

am

16. u. 17. Oktober 1982

Lößbürtige Böden des Jung-Quartärs zwischen Harz und Leine. -
Beziehungen zur Quartär-Chronostratigraphie, Relief-Geschichte der
Landschaft, fluvialen Sedimentation, Paläoklimakunde und Variation
der holozänen Prozesse der Bodenbildung. -

Bericht über die Exkursion des Arbeitskreises "Paläoböden" der
Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft am 16. und 17.10.1982

von
Ricken, W. *) u. B. Meyer **)

ZUSAMMENFASSUNG: Im südlichen Niedersachsen bieten Paläoböden aus
Lössen und lößbürtigen Sedimenten die Möglichkeit einer differen-
zierteren chronostratigraphischen Auflösung der Epoche von der
mittleren Saale-Zeit bis in das Holozän. Durch Überlagerung und
Verzahnung mit den fluvialen Ablagerungen können für diese und
für deren Oberflächen-Niveaus Mindestalter angegeben werden. Anhand
von 15 Exkursionspunkten, die in der chronostratigraphischen Abfolge
von unten nach oben und innerhalb des Flußsystems im Harz-Vorland
von oben nach unten aufeinander folgen, werden lößbürtige Deck-
schichten und Flußkiese in Zusammenhang mit der Quartär-Geomorpho-
logie der Landschaft dargestellt, wobei die Geschichte der Subrosion
der Zechstein-Formation am Harzrand eine modifizierende Rolle spielt.

1 ÜBERBLICK: (vgl. Abb. 1) Das rd. 750 km² große Einzugsgebiet der
südniedersächsischen Flüsse Oder, Sieber, Söse und Rhume liegt auf
paläozoischen und mesozoischen Gesteins-Einheiten (Harz-Paläozoikum,
Harzrand-Zechstein, Harzvorland-Trias, vorwieg. Buntsandstein).
Dabei bestimmen Relief und erhöhte Niederschläge (heute bis 1500 mm)
im Gebiet der gefalteten paläozoischen Gesteins-Serien des Harzes
weitgehend die Menge und die Zusammensetzung der fluvialen Kies-
Ablagerungen im Buntsandstein-Vorland des Harzes.

Neben der klimatisch bedingten Steuerung fluvialer Sedimentation
und Erosion, die am Rand des Harzes im Verlauf des Pleistozäns zu
ineinander geschachtelten Fluß-Ablagerungen in Form von Kies-Terras-
sen geführt hat, greift auch die Subrosion der bis 500 m mächtigen
Serien des Zechsteins intensiv in das geomorphologische Geschehen
ein.

+) Geolog.-Paläontolog. Institut, Sigwartstr. 10, D-7400 Tübingen
**) Inst.f.Bodenwissenschaften, Abt. Bodenkunde, von-Siebold-Str.4,
D-3400 Göttingen

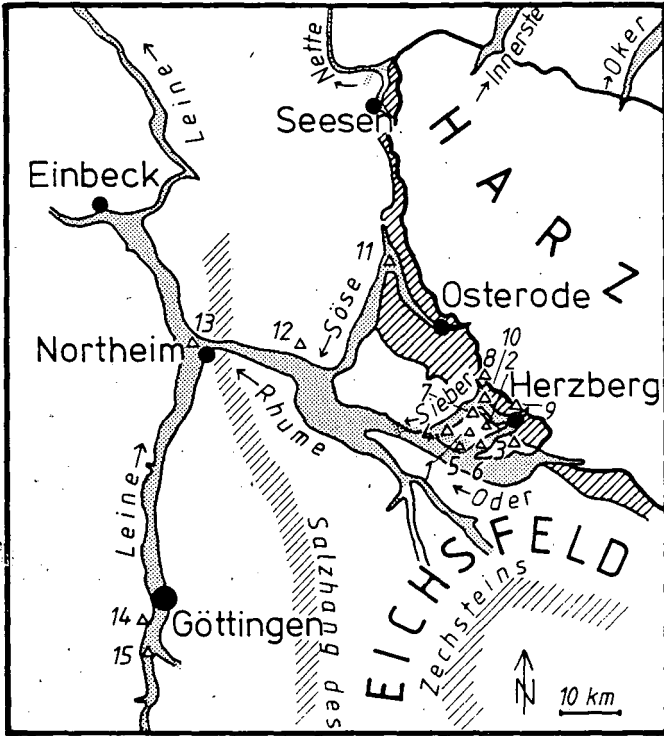


Abb. 1: Exkursionsgebiet

dick umrandet: Harz-Paläozoikum
kräftig schraffiert: Ausstrich-Bereich des Zechsteins
schwach schraffiert: Zone des Salzhanges, vgl. Anlage
12 der Exkursion B, Symp. Intern. Assoz. Ing. Geol.,
Hannover 1973
gerastert: Niederterrassen und Talauen
Dreiecke: Exkursionspunkte

Es herrschen zwei Arten der Subrosion vor: Einmal erhöht die Ab-
laugung der unmittelbar am Harzrand austreichenden Zechstein-Gipse
die Erosion und den Kies-Transport der Harz-Flüsse. Zum anderen
wird ca. 20 bis 30 km vom Harz entfernt Zechstein-Salz subrodiert,
welches noch westlich und südlich des Salz-Hanges vorhanden ist.
Hierbei werden großräumig Areale abgesenkt. Dies bedingt, daß die
verschieden alten Kiese nicht mehr in Form von Terrassen ineinander
geschachtelt sind (Intraposition), sondern im wesentlichen überein-
ander liegen, z.B. im Superpositions-Bereich des Leine-Tales.

Der Löß bedeckt - untergliedert durch Paläoböden - die älteren
Kiese und mesozoischen Gesteine in einer Mächtigkeit bis zu 15 m.
Dabei beginnt in Gebieten mit gut entwickelter Terrassen-Schachte-
lung die Folge lößbürtigen Materials auf den älteren Terrassen mit
jeweils älteren Bodenhorizonten. Im Gebiet der Salz-Subrosion lie-
gen dagegen Löss und Kiese verschiedenen Alters nebeneinander,
z.T. auch übereinander in der Abfolge Löß-Kies.

Die Sequenz der Paläoböden in den Löß-Folgen ist für die Alters-
stellung der Fluß-Kiese von Wichtigkeit, da bisher eine biostrati-
graphische Zonierung der Kiese am Fehlen von Fossilien scheitert
und eine Parallelisierung mit den nordischen Moränen noch aussteht.

Bisher sind in Süd-Niedersachsen 15 fossile Boden-Horizonte und
Boden-Komplexe bekannt geworden, deren stratigraphisches Alter
die Weichsel-Eiszeit und Teile der Saale-Eiszeit umfaßt, vgl. Abb.
2 und 3: Mit zwei Tufflagen (Eltville, Laach) lassen sich die
wesentlichen Horizonte in Mitteleuropa bis über 500 km durchver-
folgen. Im Exkursions-Raum verzahnen sich Löß-Paläoböden mit
pollenanalytisch datierten See-Sedimenten, welche die von der Löß-
stratigraphie seit 16 Jahren geforderte Altersstellung der Löß-
Böden durch ROHDENBURG u. MEYER (10) im wesentlichen bestätigen,
vgl. HALT 8. In der Jung-Weichselzeit können neben Tuff-Horizon-
ten auch Eiskeile zur Gliederung herangezogen werden, welche bevor-
zugt unterhalb der Naßböden auftreten, vgl. ROHDENBURG (9). Saale-
und Weichsel-Löß enthalten jeweils in der Mitte ihrer Löß-Pakete
einen ausgeprägten arktischen Boden mit kryoklastischer Tonbildung.
Hierzu gehört der Saale-zeitliche Hördener Boden-Komplex, ein mehr-
phasiger Pseudogley ohne Tonverlagerung, der in seinem Oberboden
zahlreiche fossile Wurzel-Röhren enthält. Vorläufig wird dieser
Boden in Analogie zu den Verhältnissen am Kliff von Sylt - ent-
sprechend FELIX-HENNINGSSEN u. URBAN (4) - in das Drenthe-Warthe-

Vegetation
 Pollen: GRÜGER ▲
 Holzkolen: WILLERDING ●

Häufigkeit von
 Eiskeilen n ROHDENBURG 1966

50% rel. Häufigkeit
 von Frostplattung

50% rel. Häufigkeit von
 Solifluktionerscheinungen

synoptisches
 Profil

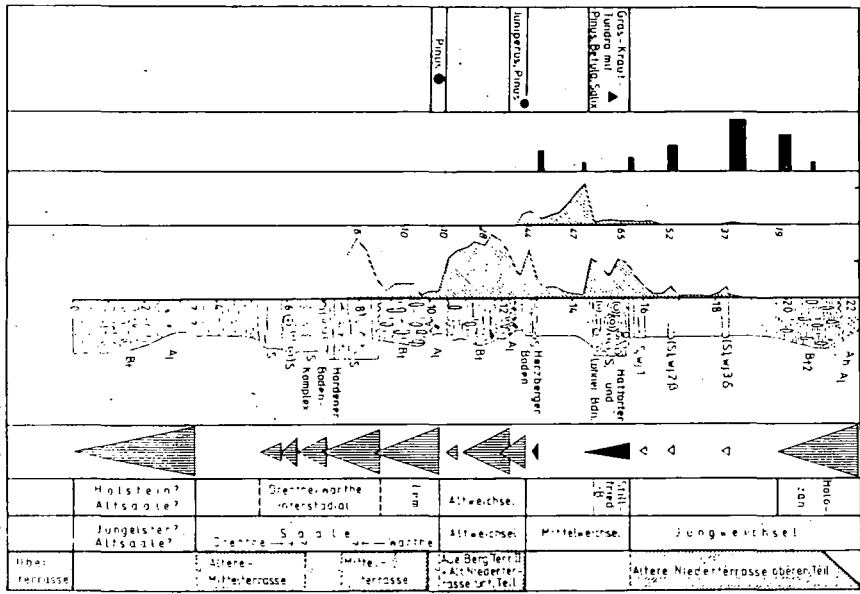
Phasen der Boden-
 bildung schwarz: CaCO₃-Stauer

Böden

Löß

Schotterkörper

stratigraphische
 Zuordnung



I. Lithologie

- Mergelstein (Zug) Braunerstein
- Mergelstein (Zug)
- Fe-Konglomerat (Zug)
- Fe-Konglomerat (Zug) (beschriftet)
- Rostflecken
- Konglomeratische Fe-Mergelauflage im fossilen Mutterboden
- Fe-Mergelauflage im fossilen Mutterboden
- Holzstreu
- org. Partikel
- Humus

II. Boden - relativ reiche Böden - Profilzusammensetzung

- A1-100cm
- B1-100cm
- B2-100cm
- S-100cm
- Stauflasse mit Pseudovergleyung

III. Textur

- Überprägung eines älteren Horizonts
- Bleichbänder (Anreicherung) aus A₁-H₁ in B₁-H₁ eingreifend
- Anreicherung diffus (B₂)
- Anreicherung in Form von Lamellen (B₂)
- Frostplattigkeit (Klüfte mit Fe-Oxiden belegt)
- steifiger Materialwechsel durch Solifluktion u. Fließvorgänge
- deformierte Bleichbänder durch Solifluktion u. Fließvorgänge

Abb. 21. Synoptisches Löss-Profil für das südwestliche Harz-Vorland mit der Zuordnung der Kiese-Körper (aus RICKEN (6)). Zahlen innerhalb des Profils: Alter, Zahlen außerhalb des Profils: Anzahl der für die statistische Auswertung herangezogenen Profile. Pfeilcke in der Spalte: Phasen der Bodenbildung charakterisieren schematisch die Oberfläche von der die Bodenbildung, in der Intensität nach unten abnehmend, aussieht.

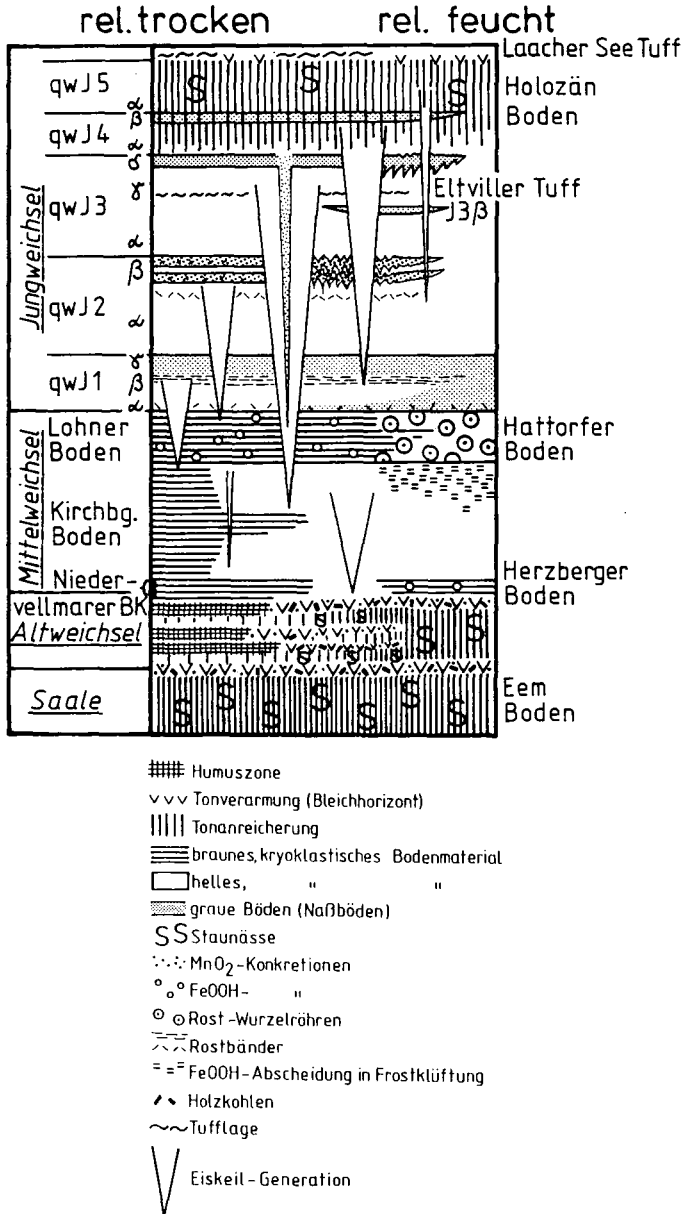


Abb. 3 : Sammel-Profil für den Weichsel/Würm-LÖB in Süd-Niedersachsen und Nordhessen. Nach ROHDENBURG u. MEYER (10) erweitert.

Interstadial gestellt. Der Weichsel-zeitliche Horizont von Lohner und Hattorfer Boden entspricht nach heutiger Interpretation dem Horizont von Stillfried-B, Österreich, ca. 30 000 Jahre b.p. (FINK, 5). Dieses Interstadial war im Harz-Vorland durch Tundren-Vegetation geprägt (RICKEN, 6).

Fast alle Löß-Böden zeigen fazielle Änderungen, die sich regional über 100 km auswirken können und i.w. vom ehemaligen Niederschlagsregime abhängen. Daneben gibt es aber auch ausgeprägte lokale Fazies-Unterschiede, die reliefbedingt durch die unterschiedliche Menge an Boden-Wasser hervorgerufen wurden. So ändert sich der Eem-Boden von einer durchschlammten Schwarzerde (Griserde) zu einer ausgeprägt pseudovergleyten Parabraunerde. Noch größere Unterschiede bestanden in der Alt-Weichselzeit, als sich kontinental geprägte Schwarzerden und pseudovergleyte Parabraunerden ausbildeten, vgl. ROHDENBURG u. MEYER (10). Regionale, aber auch ausgeprägt lokale Unterschiede bestehen im Stillfried-B-Interstadial, in dem der wechselnde Oxidationszustand des Eisens bei einem bestimmten Wasser-Gehalt zu scharf getrennten Bodentypen führte. Die braune, ehemals trockenere Bodenfazies wird als "Lohner Boden" bezeichnet, während die gebleichten, ehemals wasserreicheren Bodentypen den Gruppennamen "Hattorfer Boden" tragen, vgl. RICKEN (6), Abb. 4 und HALT 4.

Die Untergliederung der Kiese mit Hilfe ihrer Deck-Sedimente erbrachte im südwestlichen Harzvorland eine Vielzahl von Terrassen und trennbaren Kies-Akkumulaten, besonders innerhalb der Weichselzeitlichen Kiese, vgl. RICKEN (7) und Abb. 5.

Die Kiese der Ober-Terrassen werden in einer Erdfall-Senke vom Hördener Bodenkomplex bedeckt und sind möglicherweise noch von einem älteren B_t -Horizont überlagert. Damit wäre die Ober-Terrasse prä-Saale-zeitlich, vermutlich sogar Elster-zeitlich. Der Komplex der Mittel-Terrassen besteht offenbar aus zwei selbständigen Kies-Akkumulationen und einer Erosions-Terrasse. Einen eigenen Kieskörper bilden die Kiese der Älteren Mittel-Terrasse, die vom Eem und obersten Teilen des Hördener Bodenkomplexes überlagert werden und vermutlich Drenthe-zeitlich sind. Dagegen ist die eigentliche Mittel-Terrasse noch in der Warthe-Zeit aktiv gewesen oder in der Altweichselzeit stark umgelagert worden. Ihre Lößdecke beginnt meistens mit Altweichsel B-Horizonten.

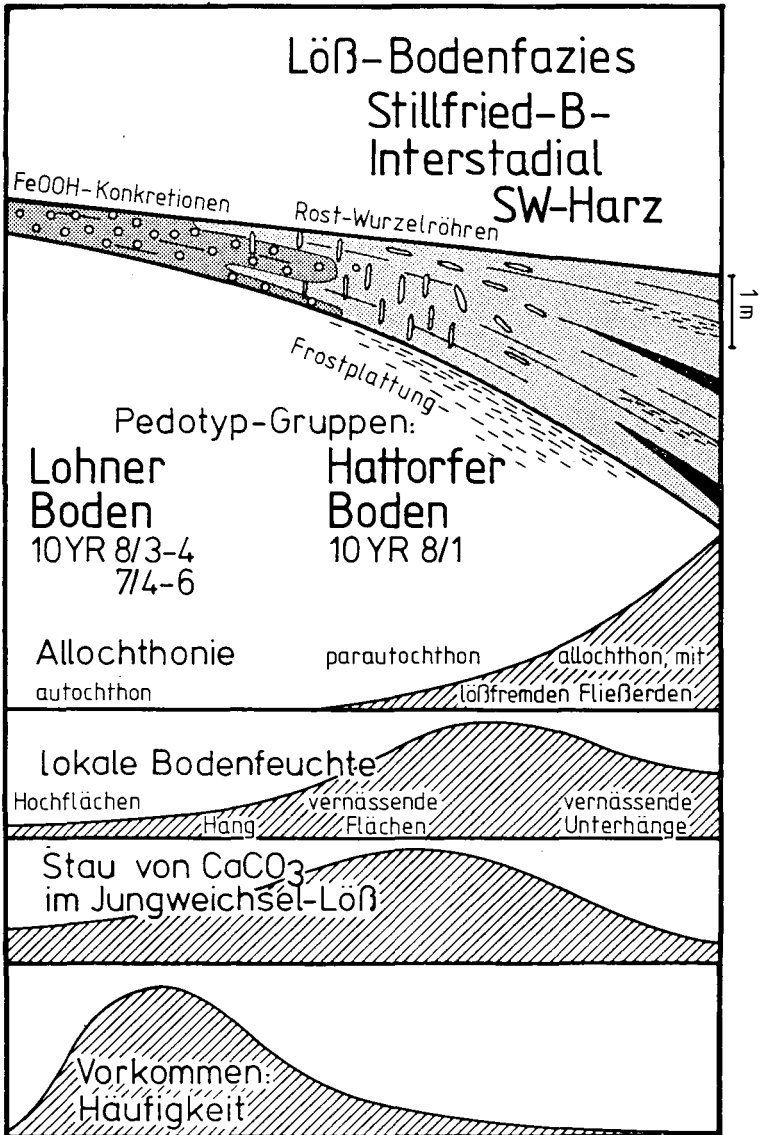


Abb. 4: Löß-Bodenfazies des Stillfried-B-Interstadials im südwestlichen Harzvorland

Die Kiese der Weichsel-Zeit sind in den Rand-Bereichen der Täler bis zu 10 m Mächtigkeit von Lössen verschiedenen Alters bedeckt. Bis jetzt sind 4 nur geringfügig höhere Teile der Älteren Nieder-Terrasse bekannt geworden, die wegen ihrer Löß-Bedeckung vorerst mit Lokalnamen bezeichnet werden. Diese Terrassen zeigen, daß der Höhepunkt der Kies-Aufschüttungs-Intensität in der Alt-Weichselzeit gelegen hat, und daß die Aktivitäts-Bereiche der Flüsse seit dem Beginn der Mittel-Weichselzeit zunehmend schmaler geworden sind. Die drei höheren Teil-Terrassen des Weichselzeitlichen Kies-Körpers korrespondieren wahrscheinlich mit einer ausgeprägten Diskordanz im Kies-Körper der Älteren Nieder-Terrassen. Die Diskordanz trennt einen unteren, stark verlehnten Kies-Körper der Alt-Weichselzeit mit Erdfall-Füllungen und Holzkohlen aus Pinus, Larix, Juniperus und Betula von einem oberen, an Feinmaterial armen, häufig kryoturbat verstellten Kies-Körper der Jung-Weichselzeit.

Die Jüngere Nieder-Terrasse trägt am Harzrand sehr wenig bis gar keinen Hochflut-Lehm. Vielleicht kann die Phase ihrer Eintiefung mit der spätglazialen Aktivitäts-Phase der Leine in Zusammenhang gebracht werden, in der in Altarmen noch Schwemmlöß und Laacher Bims abgelagert worden ist.

Die holozäne Tal-Geschichte ist kompliziert. Neben holozänen Kiesen im Harzvorland gibt es eine Reihe verschieden alter Hochflut- und Auenlehme mit begrabenen Boden-Horizonten. Diese Boden-Horizonte können nicht nur zur Gliederung der Tal-Sedimente beitragen, sondern auch über die im Holozän erfolgte Bodenentwicklung Auskunft geben. Man vergleiche hierzu ROHDENBURG u. MEYER (11), WILDHAGEN u. MEYER (12) und BORK (2)!

Paläopedologie ist somit im südniedersächsischen Raum eine der wichtigsten Zuliefer-Disziplinen für die Quartär-Chronostratigraphie. Für die Bodenkunde liegt die große Bedeutung der typologischen und genetischen Kenntnis besonders der weichselzeitlichen Böden für die Ansprache der heutigen Oberflächen-Böden aus Löß in folgendem begründet: In der heutigen Gley-Schwarzerde/griserde/Parabraunerde/Pseudogley - Landschaft der südniedersächsischen Löß-Fluren gibt es nur im Idealfall holozäne Böden, die vollständig mit allen ihren Horizonten -- A₁, B₁, B₂, C -- allein aus primärem Löß entwickelt sind. In der Regel überdecken die heutigen Prozesse der Bodenbildung aus Löß die pleistozän-pedogenen Überprägungen von Straten innerhalb des wenig veränderten primären Lösses. Dieser Umstand beeinflusst die horizontmäßige Ansprache der heutigen Böden erheblich, kompliziert die auf Horizont-Analysen beruhenden Aussagen zur holozänen Pedogenese sehr und hat überhaupt nicht zuletzt einen beträchtlichen differenzierenden Einfluß auf die typologische Ausprägung und Vergesellschaftung der Böden in der Landschaft -- und zwar haupt-

sächlich über die Modifizierung des Wasser-Haushaltes. Im Hinblick auf bodentechnologische Fragen spielt oft der pleistozäne sedimentär-paläopedologische Aufbau der Profile der heutigen Oberflächen-Böden eine größere Rolle als der Aufbau der holozänen pedogenetischen Horizonte. Sequenz und Typologie der pleistozänen Paläoböden zu erforschen ist aus diesen Gründen unerlässliche Aufgabe für die Bodenkunde, die sich mit rezenten Böden befaßt

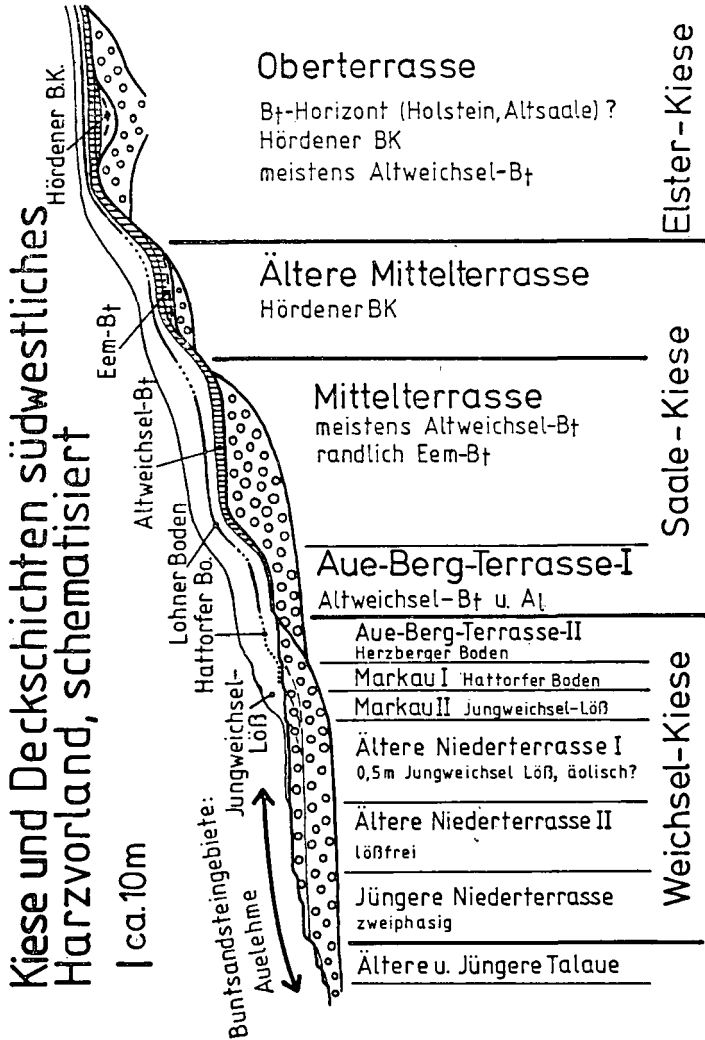


Abb. 5: Beziehung zwischen Kiesen und Deck-Schichten im südwestlichen Harzvorland, schematisiert

2 FOLGE DER AUFSCHLÜSSE

Die Beobachtungspunkte und Aufschlüsse, die bei dieser Exkursion gezeigt wurden, waren so aneinandergereiht daß sie mit den chronostratigraphisch ältesten (Saale-Zeit) begannen und mit den jüngsten (Holozän) endeten.

HALT 1 westlicher Ausläufer des Ochsenberges bei Herzberg, Wegkreuzung Pöhlder Stieg und alter Verbindungsweg Herzberg-Hattorf.

R 3589220/ H 5724620/ TK 4328, 4327/Exk.-Führer x 60 - x 67
Geländeübersicht: Die Kuppe des Ochsenberges besteht aus einer Ton-Sandstein-Wechselagerung des Unteren Buntsandsteins (Su). Die tieferliegenden Gebiete sind mit Fluß-Terrassen-Kiesen und Löß bedeckt. Nach SE stuft sich das Gelände in einer welligen Terrassenlandschaft bis zu den Talfluren von Oder und Sieber ab. Im Norden das bewaldete Gebiet des Harzes, davor die Auslaugungs-Senke des Zechsteins, im Tal der Sieber die Dörfer Hörden und Hattorf. Im E die bewaldete Kies-Fläche der Niederterrasse des Auetales, eines am Ende des Hochglazials aufgegebenen Seitenarmes der Sieber, der während des Pleistozäns bevorzugt in den Kaltphasen aktiv war (Fluß-Bifurkation). Dies hat seine Ursache darin, daß wegen verminderter Subsion in den Kaltzeiten das westliche Paralleltal der Sieber über Hörden-Hattorf nicht versteilt und vom Flußlauf bevorzugt werden konnte. Nach S Blick auf die vom Rotenberg gebildete Bruchstufe des Su vor der Kies-Aue der Oder. Im N dieser sogenannten Rotenberg-Störung ist im Gebiet von Pöhle der Zechstein horstartig um ca. 100 m gehoben worden (Saxonische Tektonik). Die Kiese der Niederterrasse verdicken sich zu einer ca. 70 m tiefen und 2,5 km breiten Kies-Wanne im Pöhlder-Becken, die durch synsedimentäre Subrosion überwiegend während der Alt-Weichsel-Zeit entstanden ist.

HALT 2 Ober-Terrasse der Sieber im Gebiet der Krumbbreite, halbe Strecke des geteerten Verbindungsweges Elbingerode → Herzberg. R 3590400/ H 5725250/ TK 4327/Exk.-F: x 66/67, x74, x80
Rund 200 m breite, von Löss-Material völlig plombierte Subrosions-Senke in den Kiesen der Ober-Terrasse. Die Subrosions-Senke ist morphologisch nicht mehr erkennbar. In der tiefsten Bohrung von 13 m wurde von 7,50 m - 11,50 m u. F. der Hördener Boden-Komplex angetroffen. Darüber befinden sich in ungestörter Folge Eem und Alt-Weichsel - Bt-Horizonte, Herzberger und Lohner Böden. Die völlig entkalkten Deck-Lehme der Ober-Terrasse sind außerhalb der Subrosions-Senken nur wenige Meter mächtig und bestehen aus mehrfach überprägten Bt-Horizonten, die vom Lohner Boden überlagert werden. Nach S Blick auf das alte Südufer der Ober-Terrassen-Sieber am nördlichen Hang des Ochsenberges.

HALT 3 Lößdecke der Mittel-Terrasse am Bahnhof Herzberg, Landstraße Herzberg → Pöhle, erster Feldweg nordöstlich der Straßenbrücke. Das Profil befindet sich an der Nord-Wand des Bahneinschnitts. R 3592450/ H 5723420/ TK 4327, 4328/ Exk.-F.: x 66/67, x 71

Ca. 7 m mächtige, völlig entkalkte Löß-Material-Folge über den Kiesen der Mittel-Terrasse. Letztere stehen 1 m unterhalb der Graben-Sohle an, bzw. streichen südlich der Gleise in einem Kleingarten aus. Zu beachten ist die gelbliche Verwitterung der ursprünglichen grauen Grauwacken. Über den Kiesen mächtiger Klüf-

tiger Eem - Bt-Horizont, der in seinem unteren Teil schwarze Ton-Infiltration zeigt (Typ Griserde). Über einer roststreifigen Kappungszone des Eem-Bodenhorizonts folgt der Altweichsel-Sedi-ment/Boden-Komplex. Pseudovergleyte Parabraunerde-Horizonte wechseln mehrfach mit gebleichten Al-Horizonten. Der oberste Ton-Verarmungs-Horizont ist besonders mächtig und enthält zahlreiche Mn-Konkretionen und Holzkohlen (Leithorizont).

Darüber Mittelweichsel-Löß mit den Boden-Horizonten des Stillfried-B-Interstadials. Getrennt durch zwei gebleichte Solifluktiions-Lagen stellt dieser Boden bodengenetisch-faciell einen selteneren Mischtyp zwischen Lohner und Hattorfer Boden (-Facies) dar. Die braunen Lagen enthalten zwar noch FeOOH-Konkretionen aber auch schon Roströhren. Darüber folgt holozän entkalkter Jungweichsel-Löß mit lamellenförmiger Tonverlagerung des holozänen Bodens (Bt₂-Hor.). Das Profil wird an seiner nordwestlichen Seite durch einen Eiskeil gestört.

Dies ist die einzige Stelle, wo über den Kiesen der Mittel-Terrasse im südwestlichen Harzvorland der Eem-Boden sicher nachgewiesen werden konnte. In der Regel beginnen die Deck-Lehme der Mittel-Terrasse mit Altweichsel-Bt-Horizonten. Möglicherweise wurde im Eem vom nahen Haxgraben randlich Schwemmlöß auf die Mittelterrasse transportiert, in dem sich dann eine Eem-Griserde-Parabraunerde ausbilden konnte.

HALT 4 Prallhang der Sieber bei Hattorf, Abzweigung von der Straße Hattorf-Elbingerode, 2,5 km nordöstlich Hattorf, asphaltierter Feldweg, von dort noch ca. 400 m nach Westen.

a) R 3587170/H 5724900 b) R 3587030/H 5724800/TK 43277
Exk.-Führer x 63-65,69/70

Achtung: Steilufer unter Landschaftsschutz gestellt! Holozäner Prallhang der Sieber. Von der Kante des Prallhanges Blick nach Osten über die ackerbaulich genutzte Lößlehm-Fläche der Mittel-Terrasse. Nach W wird auf der anderen Talseite der Sieber die tieferliegende, von 1 m Auenlehm bedeckte Nieder-Terrasse sichtbar. Am Prallhang sind auf einer ca 200 m langen Strecke verschiedene Aufschlüsse in Kiesen und lößbürtigen Deck-Sedimenten der Mittel-Terrasse offen. Die Beschreibung der einzelnen Aufschlüsse erfolgt von NE nach SW.

A Kies- und Löß-Wände im NE Abschnitt.-

3 Aufschluß-Stellen von NE nach SW.-

A₁ Basis: 2 m mächtiger roter Sockel aus su, rotweiße Wechselfolge. Darüber 5 m Kies der Saale-zeitlichen Sieber mit nach oben abnehmender Schrägschichtung, zunehmendem Gehalt an Tonschiefer, verstärkter Sediment-Aufarbeitung. Die Kiese bestehen aus rd. 70 % Grauwacken, 20 % Tonschiefer und 10 % Quarzit, Hornfels und Kieselschiefer. Die verwitterten Kiese sind bis an ihre Basis durch pedogene Toninfiltration und sekundäre hämatit-reiche Abscheidung von Fe-oxiden braun-rot gefärbt. Ergebnis der Eem-(?) (vergl. HALT 3) und Altweichsel-zeitlichen Parabraunerde-Bildung und späterer Vergleyung. Ursprünglich waren die Kiese also von Deck-Material überdeckt, in dem sich Parabraunerde entwickelt hatte, aus der Ton in den Kies infiltrierte ist. Die nachfolgende Erosion gibt sich dadurch zu erkennen, daß Bt-Horizonte über den Kiesen fehlen, daß die Kies-Oberfläche gegenüber der normalen Höhe der Mittel-Terrassen-Kiese tiefer liegt und daß der Kontakt von Kies zu Löß durch eine oder mehrere Steinsohlen gekennzeichnet ist. Die Erosion erfolgte in einem flachen Dellental, welches am heutigen Prallhang auf ca 1 km Länge längs-schräg angeschnitten ist.

In diesem Tal wurde in der Alt-Weichselzeit als die hier älteste Löß-Boden-bürtige Schicht typisches Bleichhorizont-Material von abgespülten ehemaligen Oberböden akkumuliert. An Holzkohlen wurden hierin bestimmt: Nadelholz, Juniperus, Pinus (WILLERDING).

- A₂ Der Mittel-Weichsel-Löß ist noch von der feuchten Dellental-Situation der Alt-Weichselzeit geprägt. Herzberger und Lohner Boden-Zone sind stark streifig durch Solifluktion. Das Lößmaterial der Jung-Weichselzeit ist völlig von der ausgeprägten lamellenartigen Tonverlagerung der holozänen Parabraunerde überprägt.
- A₃ Einmündung eines kleinen zur Sieber gerichteten Dellen-Tales; vermutlich Nachfahre des älteren der Alt-Weichsel-Zeit. Der Jungweichsel-Löß liegt hier über einer Steinschle direkt dem Bleichhorizont der Alt-Weichsel-Zeit auf. Es handelt sich um eine Post-Stillfried-B-Erosions-Phase. Vom SW-Ende von Profil A₂ her kann die allmählich einsetzende Kappung von Lohner und Herzberger Boden beobachtet werden.
- B Löß-Wand im SW-Abschnitt, ca 100 m SW von A. Typ-Lokalität für den Hattorfer Boden des Stillfried B-Interstadials. Über dem Kies der Mittel-Terrasse liegt Bleichhorizont-Material der Alt-Weichsel-Zeit mit eingeschalteter Stein-Sohle. Darüber entkalkter Löß der Mittel-Weichsel-Zeit, der an seiner Basis die braune Herzberger Boden-Zone enthält und im Hangenden unterhalb der Hattorfer Boden-Zone ausgeprägt frostplattig ist. Auf der Frostklüftung Ausscheidung von Goethit. Hattorfer Boden-Horizont: Basis-Teil stark horizontalstreifig, durch Boden-Fließen eingearbeitetes Material aus Mittel-Weichsel-Löß. Der Mittel-Teil ist gering streifig, während im Ober-Teil des Bodens wieder durch Solifluktion bedingte Streifung auftritt, die von aufgepreßten Eiskeil-Schultern ausgeht. Das verdichtete Boden-Material ist stark gebleicht und von senkrecht stehenden Rost-Wurzelröhren durchsetzt, die im obersten Solifluktions-Paket wieder verstellt sind. Darüber holozän entkalkter Jung-Weichsel-Löß mit lamellenartiger Tonverlagerung (holozäne Parabraunerde), auch in den Füllungen der Eiskeil-Pseudomorphosen. Diese Befunde lassen sich wie folgt interpretieren: Zunächst Absinken der Ober-Grenze des Dauerfrostes und solifluidale Umgestaltung der oberen 50 cm des Mittelwürm-Lößpakets (vergleiche auch HALT 7!), dann während des Klima-Optimums des Interstadials die Durchwurzelung, gegen Ende des Interstadials Wiederansteigen der Obergrenze des Dauerfrostes und erneute Solifluktion.

HALT 5 Aue-Berg-Terrasse II, halbe Wegstrecke auf dem asphaltierten Flurweg zwischen Schützentrift und Pöhlder Stieg. Der Weg begleitet die Bahnlinie Herzberg-Hattorf auf der nördlichen Seite. R 3588300 / H5723100 / TK 4327 / Exk.-Führer X63 x67 x75/76

Löß-Tafelberg mit gleichförmig ausgebildetem Löß-Hang im W zur Älteren Nieder-Terrasse des Aue-Tales. Die Kies-Oberfläche setzt sich -- nur geringfügig erhöht -- in den Aue-Berg hinein unter den Löß fort. Der Aue-Berg ist allein durch die Sedimentation von Löß entstanden, welcher auf diesem Terrassen-Areal nicht mehr durch den Fluß abtransportiert worden ist. Die bis 10 m mächtigen Lössen und ihre Derivate beginnen mit der Mittel-Weichselzeit. Bleich-Material und Holzkohlen der Alt-Weichselzeit befin-

den sich gelegentlich in den Kiesen. Deren Verwitterungs-Grad entspricht nicht den Kiesen der Mittel-Terrasse, sondern den Kiesen des unteren Abschnittes der Älteren Nieder-Terrasse. Der Boden-Horizont des Stillfried-B-Interstadials ist hier vom Grundwasser beeinflusst und als "Hattorfer Boden" ausgebildet.

In dem Scheitel des Aue-Berges liegt die Grenze zwischen Aue-Berg-Terrasse I und II. Während die Aue-Berg-Terrasse II einen eigenen Kies-Körper der Weichsel-Zeit darstellt, handelt es sich bei der Aue-Berg-Terrasse I um Kiese der Mittel-Terrasse, deren Niveau durch Abtragung erniedrigt worden ist. Vom Aue-Berg Blick nach NW auf die Löß-Flächen der Aue-Berg-Terrasse I, der Mittel-Terrasse und der Älteren Mittel-Terrasse. Die Ober-Terrasse ist in diesem Gebiet nicht vorhanden. Die bis zu 9 m mächtigen durch kaltzeitliche Bodenbildung nur unwesentlich gestörten Jung-Würm-Zeit-Lösse des Aue-Berg-Plateaus stellen ein hervorragendes Objekt für Studien der Abwärts-Verdrängung des Bodenwassers (ca. 900 mm Niederschlag) und des damit einhergehenden Stoff-Transports dar. Dies wurde am Beispiel der Nitrat-Bewegung unter landwirtschaftlichen Intensiv-Rotationen demonstriert (angewandte Paläopedologie).

HALT 6 Südöstliches Aue-Tal, Kiesgrube in der Älteren Nieder-Terrasse.-Jagen 49, R 3589400/ H 5722500/ TK 4327/ Exk.-Führer x77
In der Kiesgrube, 5m tief, sind übereinander die beiden Kies-Körper der Älteren Nieder-Terrasse aufgeschlossen. Der untere ca. 2 m mächtige Kies-Körper enthält braunes Lehm-Material und dürfte aus der Alt-Weichsel-Zeit stammen - vermutlich die Fortsetzung in der Aue-Berg-Terrasse II, vergl. HALT 5! Im oberen, ca. 3 m mächtigen Kies-Körper fehlt das tonige Feinmaterial, die Kiese sind z.T. kryoturbat verstellt. Der obere Kies-Körper entspricht in seinem Habitus im wesentlichen dem der Jung-Weichsel-Zeit (vergl. HALT 7!)

Auf der Kies-Fläche der Älteren Nieder-Terrasse liegt stellenweise noch 0,5 m Löß-Material, besonders in den Randbereichen des Aue-Tales. Der Löß ist von der heutigen Bodenbildung völlig überprägt, sodaß hier nicht zwischen Schwemmlöß und äolischem Löß unterschieden werden kann. Im SW Harzvorland haben sich die Flüsse vermutlich mit den Ende der Lößanhebung von den breiten Flächen der Nieder-Terrasse zurückgezogen.

Im zentralen Teil des Aue-Tales zwischen der B 27 und dem Haupt-Forstweg befindet sich eine flach in die Ältere Niederterrasse eingetiefte Fluß-Rinne, die aus der letzten Phase der Bifurkation am Ende des Hoch-Glazials herrührt. Danach ist das Aue-Tal trocken gefallen, die jüngere Niederterrasse dementsprechend hier nicht mehr entwickelt.

HALT 7 Prallhang der Sieber, 600 m E Hörden, gegenüber dem Holz-Verarbeitungs-Betrieb MACKENSEN. R 3589730/ H 5726700/ TK 4327.

Im E der oberen Sieberbrücke, 700 m östlich von Hörden, erstreckt sich die klar ausgebildete Fläche der Älteren Nieder-Terrasse. Darin befindet sich eine Kiesgrube, in der ehemals die Grenze zwischen unterem und oberem Kies-Körper sowie Erdfallfüllungen im unteren Kies-Körper aufgeschlossen waren.

Am Hang zur Mittelterrasse schneidet die heutige Sieber den unteren Kies-Körper an. Er liegt ca 6 m mächtig über roten

Übergangsschichten des zo/su. Über dem Kies folgt auf einer kleinen Terrassenfläche stark solifluidales Hattorfer Boden-Material mit Roströhren, darüber Jung-Weichsel-Löß. Der oberste Teil der insgesamt 2 m mächtigen Lößlehmschicht besteht aus anthropogenem Kolluvium. Die Grenze zwischen Kies und lößbürtigem Hattorfer Boden-Horizont ist durch ein Fe(oben) - Mn(unten)-oxid-Band gekennzeichnet, das eine ehemals aus dem Boden absteigende Wasser-Bewegung anzeigt. Die Obergrenze des Dauerfrostes war also während der Boden-Bildung abgesunken, die Wasser-Bewegung nicht durch Bodeneis blockiert.

Die Kies-Oberfläche liegt 2 m tiefer als die benachbarte Fläche der Älteren Nieder-Terrasse. Somit muß hier die Aufschüttung des oberen Kies-Körpers gegen den Löß-Hang erfolgt sein. Der obere Kies-Körper der Älteren Nieder-Terrasse stellt demnach ein Aquivalent eines Teils des Jung-Weichsel-Lösses dar.

HALT 8 Fossiler Erdfall-See bei Aschenhütte, Parkplatz der Autobahn auf deren SW-Seite, Strecke Osterode-Herzberg in Richtung Herzberg. R 3590130/ H 5729030/ TK 4327/ Exk.-Führer x 72/73.

Beim Bau der Autobahn wurde 1975 ein verfüllter 40 m breiter Erdfall-See angeschnitten. Sein ehemaliges Zentrum liegt in der N gegenüberliegenden Straßen-Böschung, wobei die See-Sedimente noch ca. 3 m unter das Niveau der Straße reichen. Der ehem. Erdfall ist in Kiese der Ober-Terrasse eingesenkt. Diese reichen infolge von Subrosion und Solifluktion heute als lange Schleppen vom Harz herab in das Niveau der Tal-Aue. Ähnlich wie die von Löß-Derivaten verfüllte Subrosionssenke auf der Oberterrasse bei HALT 2, ist der ehemalige See durch limnische Sedimente und Löss vollständig plombiert worden. Die See-Sedimente zeigen eine komplizierte Faziesentwicklung, die zur Untersuchung eine große Zahl von Bohrungen und Pollenanalysen (GRÜGER) erforderte.

Die limnische Sedimentation beginnt im Eem-Interglazial. Gegen Ende des Eems wird ein Wasser-Höchststand erreicht. In einer anschließenden Stadiäl-Phase sinkt der Wasserspiegel wieder, die auf dem Ufer-Schelf sedimentierten warmzeitlichen Torfe werden umgelagert und zusammen mit stadialen Sedimenten im Zentrum des Sees erneut abgesetzt. Danach folgt eine Phase der Wiederbewaldung (Amersfoort ?, 14C-Datierungen in Vorbereitung) mit Juniperus, Betula, Pinus, Picea und Larix. Gleichzeitig steigt der Wasserspiegel wieder an, sodaß die interstadialen Torfe und Mudden über den Ufer-Saum transgredieren und dabei fortschreitend mit jüngerem Alter aufsetzen. Nach Ende des Interstadials ändert sich der Wasserspiegel des Sees nur noch geringfügig. Der See sedimentiert noch stadialzeitlich zu. Hierbei bildet sich ein kaltzeitlicher Verlandungstorf aus Seggen.

Über dieser 5 m mächtigen limnischen Folge liegen 3 m Löß-Derivate der Mittel-Weichsel-Zeit, die als mehr oder weniger verdichtete Pakete aus Fließerden und lößbürtigen autochthonen Bildungen von Hattorfer und Lohner Boden bestehen. Darüber folgen 2 bis 3 m holozän kräftig pedogen durchschlammter Jungweichsel-Löß.

Am ehemaligen Seeufer verzahnt sich allochthones und autochthones Al-Horizont-Material mit den See-Sedimenten. Hierbei werden während der Stadiäle parautochthone Bleich-Horizonte gebildet. Als Äquivalent des Alt-Weichsel-Interstadials entsteht eine relativ tonreiche mit Holzkohlen und organischem Detritus durchsetzte Fließerde aus Bleichhorizont-Material. Der Eem-Bt-Horizont wird noch von einem Al-Horizont überlagert, der nach pollen-

analytischen Befunden schon am Ende des Eems gebildet wurde.

HALT 9 Lonauer-Wasserfall, nördlicher Ortsausgang von Herzberg in Richtung Lonau. R 3593310/ H 5726200/ TK 4328/ Exk.-Führerx78/79.

Die subrosive Absenkung in der dem Harz vorgelagerten Zechstein-Senke verstärkt bei fast allen aus dem Südharz kommenden Flüssen die heutige klimatisch bedingte Eintiefung unter das Niveau der Nieder-Terrasse. Mit dieser Eintiefung entwickelten sich am Rande des Harzes bei rückschreitender Erosion steile Gefälls-Stufen und Schluchten in der Grauwacke — besonders auffällig bei der Lonau dort wo sie in die Sieber mündet. Hier werden zwischen Nieder-Terrasse und Talau 18 m Höhen-Unterschied erreicht, etwa das 6-fache der Beträge in den Buntsandstein-Gebieten. Die Lonau bildet kurz vor ihrer Einmündung in die Sieber einen Wasserfall, und zwar an der Stelle, wo sie aus dem Streichen der roten Grauwacken-Tonstein-Serie quer zum Streichen umbiegt. Der Wasserfall ergießt sich über eine mächtige Grauwacken-Bank und steht in keinem direkten Zusammenhang mit tektonischen Bewegungen. Oberhalb des Wasserfalls liegt an der östlichen Talseite die Fläche der Älteren Nieder-Terrasse. In sie ist die Jüngere Nieder-Terrasse eingetieft. Zwischen Sieber und Lonau wird der Hang aus geschichteten Kiesen der Niederterrasse gebildet, die nach Süden bis auf das Niveau der Talau hinabreichen. Die Kiese liegen auf Grauwacken, die nicht subrodiert werden können. Das Vorkommen von geschichteten Kiesen in derart tiefer Position zeigt, daß auch vor der Weichsel-zeitlichen Akkumulation von Kies ebenfalls eine sogar noch tiefere, jetzt aber zusedimentierte Schlucht bestanden haben muß. Hieraus kann geschlossen werden, daß in der Eem-Zeit die Talau der Sieber, ebenso wie heute, durch synerosive Subrosion übertieft worden ist. Das Aue-Tal war im Eem ebenfalls trocken gefallen.

Am Ausgang der heutigen Lonau-Schlucht ist die von der permischen Verwitterung rotgefärbte Grauwacke ausgebleicht. Sie wird vom Kupferschiefer-Flöz und vom Zechsteinkalk überlagert. Der Zechstein transgredierte hier über ein ausgeprägtes kleinkuppiges Relief der Perm-Zeit.

HALT 10 Erdfallgebiet östlich Aschenhütte (Lüderholz)

R 3591000/ H 5727750/ TK 4327/ Exk.-Führer x 62, x 81-84
Typisches Gebiet der Älteren Niederterrasse, mit ca. 0,5 m mächtigen Decksedimenten. Das Gebiet ist von zahlreichen Erdfällen und Erdfall-Seen perforiert. Die Erdfallseen stellen ein rezentes Gegenstück zu dem mit Sediment plombierten Erdfall von HALT 8 dar. Das Gesamt-Volumen der subrosiven Absenkung von Erdfällen und Senken beträgt für das Lüderholz ca. 80 cm seit dem Trockenfallen der Nieder-Terrassen-Fläche vor ca. 14 000 Jahren. Die Erdfälle übertreffen die Senken nach Anzahl und Volumen erheblich. Die durchschnittliche Absenkung im südwestlichen Harz-Vorland liegt bei 0,3 bis 0,2 m in 14 000 Jahren. Die Steilheit der Böschungen von Erdfällen, die hier in Terrassen-Kiesen unter Wald ausgebildet sind, kann als ein relatives Maß für das Alter der Erdfälle verwendet werden. Datiert man den Böschungswinkel durch Pollenanalysen, so erhält man Vorstellungen über das Alter einzelner Erdfälle und über die regionale Entwicklung der Subrosion. Böschungen von 40° entsprechen ca. 3000 Jahren b.p., 30° ca. 4000 Jahren und 20° ca. 7000 Jahren b.p.. Die Auswertung von rd. 300 Erdfällen ergab ein Maximum der Bildung von Erdfällen nach Anzahl und Volumen zwischen 8000 und

3500 Jahren b.p.. Die subrosive Absenkung beginnt aber schon im ausgehenden Glazial. Die rezent gebildeten Erdfälle sind nach Volumen und Anzahl gering. Das Luderholz zeigt keine klare Zonierung der Erdfälle, wie sie in anderen Gebieten im Harzvorland zu beobachten ist. Offenbar werden hier keine deutlichen Subrosions-Fronten ausgebildet. Die jüngsten und steilsten Erdfälle liegen häufig in der Nähe von Flüssen, hier zwischen dem Kessel-Sumpf und der Gr. Steinau.

HALT 11 Posthof 1 km westlich von Badenhausen bei Osterode.
A R 3582400/ II 5737800. - B R 3581950/ II 5738700. - TK 4227

(A) Bucht der Jüngeren Nieder-Terrasse in die Ältere Nieder-Terrasse nach N in die Zechstein-Auslaugungssenke. Mündungs-Bereich der Markau (von N) in die Söse, die hier in S-Richtung umbiegt. Nach N Hang der Mittel-Terrasse, im Hintergrund Wiesen-Flächen der Ober-Terrasse am Fuße des Harzes:

Der Posthof selbst liegt auf der Jüngeren Nieder-Terrasse der Söse. Die Lehm-Decke dieser Terrasse ist so gering, daß sie heute meist vollständig in den Ap-Horizont der Ackerböden umgewandelt ist. Häufig wird Kies hochgeflügt (Profil einer Ranker-Braunerde). Marsch vom Posthof nach N über die Kante der Älteren Nieder-Terrasse in Richtung auf das Flußgewässer "Schwarzes Wasser", dann am Südufer des Schwarzen Wassers nach Westen.

Die ackerbaulich genutzte Fläche der Älteren Nieder-Terrasse ist in unterschiedlicher Stärke von LÖß bedeckt, dessen Mächtigkeit kleinräumig von 0 auf bis zu 3 m wechselt. Eine deutlich ausgeprägte Kante der LÖß-Decke befindet sich im W der Straße Eisdorf-Windhausen. Auf dem Flächen-Stück zwischen Straße und Schwarzem Wasser findet sich hier im Zentrum Jung-Weichsel-LÖß, an dessen Basis noch ein geringmächtiger Horizont des Hattorfer Bodens liegt. In den Rand-Bereichen dieses Flächenstücks liegt jedoch nur Jungweichsel-LÖß auf dem Kies. Der gesamte Löss ist ausgeprägt streifig und weist Merkmale intensiver Feuchte auf. Die Lössen liegen hier auf dem Niveau der Kiesoberfläche der Älteren Nieder-Terrasse. Der Verwitterungs-Zustand der von LÖß bedeckten Kiese ist relativ gering.

(B) Aufschluß am Südufer des Schwarzen Wassers: Jungweichsel-LÖß mit drei Naßböden, die kräftig marmoriert und relativ mächtig sind. Die Stellung des unteren Bodens ist noch unsicher. Möglicherweise handelt es sich auch hier um den Hattorfer Boden-Horizont. Wegen seiner Hangsituation wird das Profil hier in voller Mächtigkeit von der holozänen Parabraunerde-Bildung stark überprägt.

HALT 12 Profil im Jung-Weichsel-LÖß, 1 km N von Elvershausen im Mittelberg-Tal. R 3576500/ H 5730725/ TK 4226

LÖß-Wand von ca. 5 m Höhe. Im Basis-Bereich der Doppelboden des wj 2 β . Etwa 1,70 m über dem wj 2 β der gut hervortretende, schwach aufgehellte wj 3 δ -Naßboden, an dessen Unterseite Kleinkeile ausgebildet sind. Im oberen Teil des Profils befindet sich der wj 4 β -Naßboden, der schon im Bereich der holozänen, lamellenartigen Ton-Verlagerung des Btz-Horizonts der Parabraunerde liegt. Darüber junges Kolluvium. Zwischen dem wj 2 β und dem wj 3 δ ein 0,5 mm breites schwarzes Bändchen: Eltviller Tuff, mit dunklen schluffgroßen Pyroxenen. Die scharf ausgeprägte holozäne Entkalkungs-Grenze liegt im nördlichen Teil des Aufschlusses noch über dem wj 3 δ , reicht aber im südlichen Teil der Aufschluß-Wand noch

in diesen hinein. Im Liegenden der Sohle wurden noch 4 m kalkhaltige Lösssedimente erbohrt, die an ihrer Basis ein mit Buntsandstein-Fließerde durchsetztes Bodenmaterial enthalten, möglicherweise die sekundär wieder aufgekalzten oberen Abschnitte des Hattorfer Bodens. Darüber befindet sich im Bohrprofil ein weiterer Naßboden-Komplex (wj 1?).

Eine ausführliche Profilbeschreibung befindet sich bei BORK & ROHDENBURG (3).

HALT 13 Kiesgruben-Gelände in der Leineau, 1,5 km NW Northeim, Spätglaziale Sedimente und Böden. vergl. Abb. 6 und Literaturverzeichnis Nr. 13!

R 3566800/ H 573250/ TK 4225

Aufschlüsse an einem Hochwasser-Arm der Rhume/Leine. Der Hochwasser-Arm mündet in die südöstliche Ecke des Bagersees der Fa. Oppermann im S vom Autobahn-Damm durch die Leine-Aue. Über dem Kies der Älteren Nieder-Terrasse, der hier überwiegend aus Harz-Material besteht, liegt in 1,5 m tiefen Rinnen ein geschwemmtes, aber auch eingeblassenes Sand- und Löß-Material. Darin befindet sich in einem ehemaligen Altarm eine Wechselagerung von Sanden und Mudden in Gleithangschichten. Die Mudden enthalten Hölzer des Spätglazials, u.a. einen Birkenstamm mit 25 cm Durchmesser. An der Basis des Schwemmlöß-Sand-Paketes tritt ein schwach ausgeprägter Roströhrengley auf, der am auffälligsten im Oberbereich der Mulde ausgebildet ist. Die Schwemmlöß-Serie schließt nach oben mit kompaktem, im trockenen Zustand hellweißem zusammengeschwemmtem Laacher Bims des Alleröds ab, der im südlichen Teil des Aufschlusses 20 cm mächtig werden kann. Unterhalb des Laacher Bims ist lediglich eine leichte Dunkelfärbung als Äußerung einer nur schwachen Alleröd-zeitlichen Bodenbildung zu beobachten. Die spätglazialen Sedimente werden durch ehemals kalkhaltige Hochflut-Lehme abgeschlossen, in denen sich ein begrabener intensiv schwarz gefärbter holozäner Ah-Horizont ausgebildet hat. Infolge holozäner Entkalkung hat sich im HoLozän daraus eine Auen-Parabraunerde entwickelt. Darüber lagern rötliche Auen-Lehme in unterschiedlicher Mächtigkeit und auch holozäner Kies.

HALT 14 Tongrube der Firma HENTE u. SPIESS, 2 km N von Rosdorf am südlichen Stadtrand von Göttingen.

R 35632/ H 57097/ TK 4424

Die dunkelgrauen sulfidischen Lias-Tone gehen nach oben zur pleistozänen Deck-Folge hin in eine rötlich-braune Oxidationszone über. Darüber folgen 4 bis 6 m Wechselfolgen von 40 bis 100 cm starken Bröckel-Ton-Solifluktionslagen. Durch periglaziale Frostwirkung sind die Lias-Schiefertone in polyedrische Bröckchen zerlegt worden. Die daraus gebildeten Fließerden haben sich teleskopisch hangabwärts übereinander geschoben. Ein Solifluktions-Paket im oberen Abschnitt dieser Folge ist bodengenetisch stark überprägt und zeigt Ähnlichkeit mit dem Hattorfer Boden. Darüber folgen 2 bis 3 m Jung-Weichsel-Löß, der an der Basis durch äolische Rotsand-Anwehung von sm-Sand aus den Schotterfluren der Leine -typisch für das Leine-Gebiet von Göttingen bis Hildesheim - eingeleitet wird. In einer 5 m breiten Erosionsrinne in den Lias-Bröckel-Tonen war dieser Sand über 1,2 m mächtig in m. o. w. reiner Form erschlossen.

Leineue Northeim spätglaziale und holozäne Sedimente

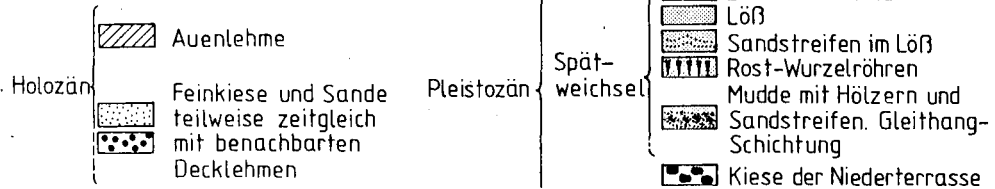
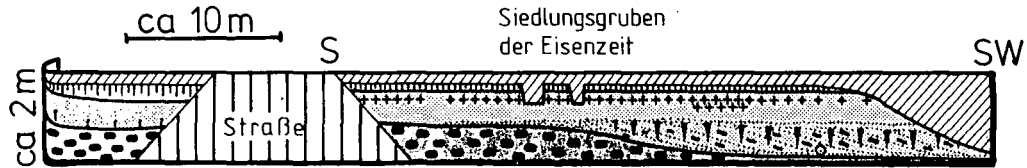


Abb. 6: Spätglaziale und holozäne Sedimente im Gebiet der Leineue bei Northeim

HALT 15 Kiesgrube S von Göttingen, 1 km W vom Reinshof,
1 km SE Rosdorf in der Leine-Aue.

R 35638/ H 57067/ TK 4524

Über den Kiesen der dunkle, begrabene Ah-Horizont (vergl. HALT 13),
darüber ca. 2 m rötliche Auenlehme, gegliedert in älteren und
jüngeren Auenlehm, vgl. WILDHAGEN *et alii* (12).

Die rötliche, durch Hämatit verursachte Färbung der Auenlehme
ist nach neueren Befunden auf einen polygenetischen Prozeß
von wiederholter Mikro-Vergleyung in Intergranular-Poren im
Wechsel mit erosiver Umlagerung zurückzuführen.

LITERATUR

- 1 Bork, H.-R., 1981: Die holozäne Relief- und Bodenentwicklung im
Unteren Rhume- und Sösetal. - Göttinger Jahrb. 29, 7 - 21.
- 2 Bork, H.-R., 1982: Die holozäne Relief- und Bodenentwicklung im
Untereichsfeld und im südwestlichen Harzvorland. -
Diss.Nat.Fakult.T.U. Braunschweig, 187 S.
- 3 Bork, H.-R.u.H.Rohdenburg, 1979: Beispiele für jungholozäne Bo-
denerosion und Bodenbildung im Untereichsfeld und Randgebieten.
- Landschaftsgenese und Landschaftsökologie 3, 115 - 134.
- 4 Felix-Henningsen, P.u.B.Urban, 1982: Paleoclimatic interpreta-
tion of a thick intra-saalian paleosol the "bleached loam" on
the Drenthe moraines of Northern Germany. - Catena 9, 1 - 8.
- 5 Fink, J., 1962: Studien zur absoluten und relativen Chronologie
der fossilen Böden in Österreich. - II Wetzleinsdorf und Still-
fried. - Archaeologia Austriaca 31, 1 - 18.
- 6 Ricken, W., 1982: Mittel- und jungpleistozäne Lößdecken im süd-
westlichen Harzvorland. - Stratigraphie, Paläopedologie, fazielle
Differenzierung und Konnektierung mit Flußterrassen. - in: Bork,
H.-R.u.Ricken, W. : Bodenerosion, holozäne und pleistozäne Boden-
entwicklung. - Catena Supplement 3 (im Druck).
- 7 Ricken, W., 1982: Quartäre Klimaphasen und Subrosion als Faktoren
der Bildung von Kies-Terrassen im südwestlichen Harzvorland. -
Eiszeitalter u. Gegenwart, 32, 109 - 136.
- 8 Ricken, W.u.B.Meyer, 1982: Quartär-Paläopedologische Exkursion
im südwestlichen Harzvorland. - Exk.-Führer 9.Tagg. AK Geo-
morphologie/3.Tagg. AK/DBG Paläoböden(11. - 17.10.82 Braun-
schweig) - 16./17.10.82. - S. x57 - x87.
- 9 Rohdenburg, H., 1966: Eiskeilhorizonte in südniedersächsischen
und nordhessischen Lößprofilen. Mitt. Dtsch. Bodenkundl.
Gesellsch. 5, 137 - 170.
- 10 Rohdenburg, H.u.B.Meyer, 1966: Zur Feinstratigraphie und Paläo-
pedologie des Jungpleistozäns nach Untersuchungen an südnieder-
sächsischen und nordhessischen Lößprofilen. - Mitt. Dtsch.
Bodenkundl. Gesellsch. 5, 1 - 137. - Nachdruck: Landschaftsgenese
und Landschaftsökologie 3, 1979.
- 11 Rohdenburg, H.u.B.Meyer, 1968: Zur Datierung und Bodengeschichte
mitteleuropäischer Oberflächenböden (Schwarzerde, Parabraunerde,
Kalksteinbraunlehm): Spätglazial oder Holozän? - Göttinger
Bodenkundl. Ber. 6, 127 - 212.
- 12 Wildhagen, H.u.B.Meyer, 1972: Holozäne Bodenentwicklung, Sediment-
Bildung und Geomorphogenese im Flußauenbereich des Göttinger
Leinegrabens. - Göttinger Bodenkundl. Ber. 21, 1 - 158.
- 13 Wildhagen, H., P.Hugenroth u. B.Meyer, 1979: Exkursionsführer
Untereichsfeld 9.6.1979 (Profil Northeim). - Deutscher Geographen-
tag, Göttingen, Juni 1979.