

GÖTTINGER BODENKUNDLICHE BERICHTE

53

Peter-C. Hagemann

**Bodentechnologische und moorkundliche Faktoren
zur nachhaltigen Entwicklung von
Sanddeck- und Sandmischkulturen**

1978

ISSN 0340 - 4153

Im Selbstverlag der Anstalten für
Bodenkunde der Universität Göttingen

Herausgeber: B. Meyer und B. Ulrich

Schriftleitung: P. Hugenroth

Bestellungen über:

Institut für Bodenkunde, Göttingen, von Siebold-Str. 4

Institut für Bodenkunde und Waldernährung
Göttingen, Büsgenweg 2

oder den Buchhandel (Gewährung von Wiederverkäufer-Rabatt)

Selbstkostenpreis

DM

GÖTTINGER BODENKUNDLICHE BERICHTE

53

Peter-C. Hagemann

**Bodentechnologische und moorkundliche Faktoren
zur nachhaltigen Entwicklung von
Sanddeck- und Sandmischkulturen**

1978

ISSN 0340 - 4153

Peter-C. Hagemann

**Bodentechnologische und moorkundliche Faktoren
zur nachhaltigen Entwicklung von
Sanddeck- und Sandmischkulturen**

**Göttinger Bodenkundliche Berichte 53, 1-154
(1978)**

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung und Problemstellung	1
2 Theoretischer Teil	3
2.1 Entwicklung der Kulturverfahren nordwest- deutscher Niederungsböden	3
2.1.1 Mischkulturen auf Hochmooren	3
2.1.1.1 Holländische Fehnkultur	4
2.1.1.2 Maschinelle Besandung	5
2.1.1.3 Deutsche Sandmischkultur	6
2.1.2 Deckkulturen auf Niedermooren	7
2.1.2.1 Moordammkultur	8
2.1.2.2 Mischkulturen auf Niedermoor?	8
2.1.2.3 Tiefpflugsanddeckkulturen	9
2.2 Moorkundliche und bodentechnologische Voraus- setzungen für Misch- und Deckkulturen	10
2.2.1 Physikalische Bedingungen	10
2.2.1.1 Der organische Anteil	10
2.2.1.2 Der mineralische Anteil	13
2.2.2 Chemische Bedingungen	16
2.3 Auswirkung der Melioration auf die Ackernutzung	18
2.3.1 Ertragssteigerung	18
2.3.2 Erweiterung des Anbauspektrums	19
2.3.3 Gefügestabilisierung	19
2.3.4 Verbesserung des Mikroklimas	19
3 Praktischer Teil	22
3.1 Material und Methoden	22
3.1.1 Beschreibung der untersuchten Böden	22
3.1.2 Beschreibung der angewandten Methoden	24
3.1.2.1 Chemische Untersuchungsmethoden	24
3.1.2.2 Physikalische Untersuchungsmethoden	24

	Seite
3.2 Chemische Untersuchungen	25
3.2.1 Allgemeine Nährstoffcharakteristik	25
3.2.2 Gehalt an organischer Substanz	30
3.2.3 CO ₂ -Freisetzung	38
3.2.4 Stickstoff-Fraktionierung	43
3.3 Physikalische Untersuchungen	57
3.3.1 Korngrößenverteilung	57
3.3.2 Porenraumgliederung	60
3.3.3 Wasserbewegung in einer Sandmischkultur	80
3.3.4 Wasserdurchlässigkeit	103
3.3.5 Bodenwiderstand	106
3.4 Erträge	111
3.4.1 Statistische Verrechnung der Ertragsdaten	115
4 Diskussion	118
5 Zusammenfassung	136
6 Literatur	138

1 Einleitung und Problemstellung

Im nordwestdeutschen Flachland sind mit ca. 800 000 ha fast 20% der Bodenfläche Moore, die sich aufgrund ihrer Grundwassernähe im humiden Klima lange Zeit dem menschlichen Zugriff entzogen haben.

Mit der wissenschaftlichen Moorforschung - vor rund 100 Jahren durch eine Bürgerinitiative in Bremen ins Leben gerufen - konnten durch die "Deutsche Hochmoorkultur" mehr als 50% aller Hochmoore in Nordwestdeutschland einer Acker-Grünland-Nutzung zugeführt werden (TACKE 1929).

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Torfe und die nach Entwässerung, Aufkalkung und Düngung ablaufenden Prozesse (Sackung, Schrumpfung, biochemischer Torfschwund) ließen eine dauernde Ackernutzung Deutscher Hochmoorkulturen jedoch nicht zu (BADEN 1960).

Der in der holländischen Fehnkultur seit dem 17. Jahrhundert verwirklichte Gedanke, durch oberflächiges Einmischen von Mineralboden in den Torf diese organischen Naßböden zu verbessern, ließ mit fortschreitender technischer Entwicklung den Tiefumbruch zunehmend mächtiger, wurzelechter Hochmoore und die anschließende Durchmischung von Sand und Torf in der geackerten Krume zu einem Standardverfahren der Hochmoormelioration werden (= Deutsche Sandmischkultur) (BADEN 1968). Sie ist eine Fortentwicklung der bewährten Heidekultur (BRÜNE 1948).

Teilabgetorfte Moore und gealterte Deutsche Hochmoorkulturen können durch diese aufwendige Meliorationsmaßnahme ebenfalls in nachhaltig sichere und vielseitig nutzbare Ackerstandorte rekultiviert werden, mit dem Ziel in der Krume zunehmend homogene, stark humose Sandböden zu schaffen, im Unterboden dagegen die günstigen Torfeigenschaften (Wasserspeicherung) und Sandeigenschaften (Selbstdränung) zu erhalten.

Der Entwicklungsprozeß dieser anthropogenen Böden konnte bisher noch nicht endgültig beschrieben und abgegrenzt werden (KUNTZE 1972a).

Fragen nach der Richtung der weiteren Bodenentwicklung, nach dem Klimaxstadium solcher Moorkulturen und nach der Alterung von Sandmischkulturen mußten bisher unbeantwortet bleiben.

Prägender Bestandteil Deutscher Sandmischkulturen in bezug auf bodenphysikalische und bodenchemische Eigenschaften ist ihr Gehalt an organischer Substanz.

Bei allen Untersuchungen ist vorrangig die Frage nach den durch Nutzung auftretenden qualitativen und quantitativen Veränderungen der organischen Substanz und ihren Auswirkungen auf bodenkundliche Parameter von Interesse. Sie allein ist Träger und Vermittler von Nährstoffen und Wasser für die Pflanzen in diesen Substraten. Die als "Alterung" angesprochene Umwandlung der organischen Substanz soll über Messungen der CO_2 -Freisetzung und Veränderungen im Stickstoffanteil (Stickstoff-Fraktionierung) dargestellt werden.

Physikalische Untersuchungen (pF-, kf-, Bodenfeuchtemessungen, Eindringwiderstand) werden unter dem Aspekt ihrer Beeinflussbarkeit durch die quantitativ und qualitativ veränderte organische Substanz durchgeführt.

Es kommt dabei vor allem auf folgende Fragen an:

- wie verändert sich die organische Substanz mit Alterung einer Deutschen Sandmischkultur?
- reicht eine herkömmliche flache Bodenbearbeitung (ca. 20 cm) bei Sandmischkulturen aus, "Alterungen" zu begegnen?
- läßt sich der Bodenbildungsprozeß durch Krumenvertiefung beeinflussen?
- sind die Erfahrungen in der Rekultivierung von Hochmoor-Schwarzkulturen auch auf Niedermoorstandorte zu übertragen?

Die Arbeit wurde durch die finanzielle Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft ermöglicht. Dafür sei an dieser Stelle gedankt.

2 Theoretischer Teil

2.1 Entwicklung der Kulturverfahren nordwestdeutscher Niederungsböden

Die Entstehung der Moore in der küstennahen Landschaft Nordwestdeutschlands ist auf klimatische, geologische und topographische Ursachen zurückzuführen. Nahezu 70% der Moorflächen der Bundesrepublik befinden sich in Niedersachsen und Schleswig-Holstein, wo ihr Anteil zwischen 17 und 30% der Gesamtfläche ausmacht (KUNTZE 1969). Im Gegensatz zu anderen moorreichen Gebieten der Bundesrepublik überwiegen in Niedersachsen ombrogene, oligotrophe Hochmoore mit über 50%.

Verschiedene Verfahren der Hochmoorkultur sind von den Niederlanden schon sehr früh auf die benachbarten deutschen Moore übertragen worden. Eine geregelte landwirtschaftliche Nutzung des Hochmoorbodens setzte jedoch erst im 17. Jahrhundert mit der Einführung der holländischen Fehnkultur - einer Mischkultur - in Nordwestdeutschland ein.

Die älteste bekannte landwirtschaftliche Nutzung dürfte hingegen die Grünlandnutzung eutropher Niedermoore sein.

2.1.1 Mischkulturen auf Hochmooren

An Versuchen, die Urlandschaft der Moore in landwirtschaftliche Kulturflächen zu verwandeln, hat es zu keiner Zeit gefehlt. Die Moorkulturen, die sich lediglich auf die Bearbeitung der Torfe in der Krume des gewachsenen Profils beschränkten (Schwarzkulturen), und die Schwierigkeiten, die besonders durch Veränderungen der physikalischen Gegebenheiten mit der Alterung dieser Moorböden auftraten, sollen hier nicht näher behandelt werden (Brandkultur, Deutsche Hochmoorkultur).

Alle weiter entwickelten Kulturverfahren zielten auf die Regelung der Probleme ab, die sich im Laufe der ackerbaulichen Nutzung von Hochmooren ergaben.

Hier sind u.a. zu nennen:

- Erhöhung der Tragfähigkeit
- Verbreiterung des Anbauspektrums
- Schaffung eines günstigeren Mikroklimas
- Stabilisierung des Gefüges (Moorbodenentwicklung und -erhaltung).

Daher lag es nahe, den gegebenenfalls nach einer Teilabtorfung in geringerer Tiefe anstehenden Sand aus dem mineralischen Untergrund, mit den vorher zurückgesetzten, schwächer zersetzten Torfen zu vermischen.

2.1.1.1 Holländische Fehnkultur

Die holländische Fehnkultur ist als Folgekultur nach einer technischen Vornutzung anzusehen. Der zuunterst liegende stärker zersetzte Schwarztorf ist aufgrund seiner Eignung als wertvolles Brennmaterial fast vollständig abgebaut worden. Die zu Beginn zurückgesetzte Bunkerde (= mäßig zersetzter, bereits durchwurzelter und belebter Weißtorf) wurde nach der Abtorfung wieder auf der Fläche ausgebreitet, Sand wurde aus dem Liegenden aus breiten Gräben in einer 10 - 15 cm mächtigen Schicht mit Hand auf der Bunkerde verteilt und anschließend mit ihr vermischt. Das fossile Podsolprofil über dem Hochmoor wurde dabei mit seinem verdichteten Bh(s)-Horizont rigolt.

Die Sanddecke erhöhte die Tragfähigkeit, verbesserte die Bodenfeuchteverhältnisse und schaffte somit ein günstigeres Mikroklima. In Holland werden diese Fehnkulturen außerordentlich intensiv genutzt. Solange die verbleibende Torfsubstanz unter der mineralischen Deckschicht weitgehend geschont wird, d.h. solange nicht durch die regelmäßige Bearbeitung immer wieder frische Torfsubstanzen in die Krume befördert werden, gelten diese Moorkulturen als sichere und ertragreiche Ackerstandorte (HUSEMANN 1947, KUNTZE 1969, BARTELS 1977). Anwendungsgrenzen dieses Kulturverfahrens sind allerdings in dem hohen Arbeitsaufwand (nach heutigen Verhältnissen 80 000 - 100 000 DM/ha) und einer zu großen Moormächtigkeit zu sehen.

Gealterte Fehnkulturen mit starker Nährstoffanreicherung in der Krume werden seit einigen Jahren vorwiegend durch den "Mengwoeler" bzw. Mischpflug rekultiviert (BADEN 1968, WIND und POT 1976).

Die dichtlagernden Resttorflagen zwischen Sanddecke und wieder verdichtetem mineralischen Untergrund werden durch Sanddochte aufgelockert und in ihrer Selbstdränung verbessert.

2.1.1.2 Maschinelle Besandung

Der in der holländischen Fehnkultur realisierte Gedanke, Moorböden durch Auftragen von Sand aus dem Untergrund in ertragfähige Ackerstandorte zu verwandeln, führte mit zunehmender technischer Entwicklung zur Konstruktion spezieller Kuhlmaschinen, mit denen es möglich war, Sand aus bis zu maximal 3,2 m Tiefe an die Oberfläche zu fördern und relativ gleichmäßig zu verteilen (BADEN, EGGELS-MANN und JANNER 1960).

Anwendung fand dieses Verfahren vor allem bei der Kultivierung von Hochmooren, die eine so mächtige Torfauflage besaßen, daß der mineralische Untergrund nicht mit Spaten rigolt werden konnte.

Neben den hohen Kosten ist es als entscheidender Nachteil der maschinellen Besandung anzusehen, daß es nur selten gelingt, eine für die vorgesehene Ackernutzung ausreichend mächtige und gleichmäßig verteilte Sanddecke wie bei dem Verfahren von Hand herzurichten. Zwar ist es wünschenswert - ähnlich wie bei der Fehnkultur - zur Humusanreicherung und Lockerung etwas rohes organisches Material mit in die Krume einzumischen, jedoch sollen bei der weiteren Nutzung die Torfe unterhalb der Sanddecke verbleiben und geschont werden. Aufgrund der meist unregelmäßig verteilten Sanddecke werden daher oft schon in den ersten Jahren der Nutzung unterschiedlich große Mengen des Torfes mit in die Krume eingemischt.

Da heute die maschinelle Bodenbearbeitung tiefer greift, besteht somit weiterhin die Gefahr, daß stellenweise zu viel unzersetzter Torf mit aufgepflügt wird. An diesen Stellen mit beschleunigter Torfzersetzung bilden sich Senken, die dazu führen, daß erneut frischer Torf angeschnitten wird - ein Prozeß, der sich schließlich nicht mehr kontrollieren läßt und durch Ansammlung feinsten Bodenbestandteile in den Senken eine zunehmende Vernässung nach sich zieht, die zur Einstellung der Ackernutzung zwingt (KUNTZE 1969, BARTELS 1977).

2.1.1.3 Deutsche Sandmischkultur

Die beiden bisher beschriebenen Mischkulturtypen fanden in Deutschland nur begrenzte Verbreitung.

Für die Fehnkultur standen nicht genügend Flächen aus dem bäuerlichen Torfstich zur Verfügung, weil die Nachfrage nach Brennmaterial relativ gering war und damit eine wesentliche Voraussetzung für die Anlage derartiger Kulturen entfiel (TACKE und KEPPELER 1941).

Aus den im vorigen Abschnitt beschriebenen Gründen sind bis heute noch nicht wesentlich mehr als die von BADEN (1960) angegebenen 6 000 ha mit der Rathjenschen Kuhlmaschine melioriert worden (BARTELS 1977 und EGGELSMANN, persönliche Mitteilung 1978).

Die Erfahrungen, die man mit diesen beiden Kulturverfahren gesammelt hatte, machte man sich zunutze, als es im Zuge des technischen Fortschritts möglich wurde, immer größere und tiefer greifende Pflüge zu konstruieren. Mit ihrer Hilfe gelang es, auf maschinellem Wege eine Umschichtung der ehemaligen Moorprofile vorzunehmen. BRÜNE entwickelte in den 30er Jahren aus der Heidekultur allmählich die Deutsche Sandmischkultur.

Hochmoore, deren Mächtigkeit aufgrund der vorausgegangenen Nutzung nicht mehr als 1,5 m beträgt und die außerdem noch von genügend grobkörnigem Sand unterlagert sind, können jetzt durch den Tiefumbruch mit Mammutpflügen in ertragssichere und vielseitig nutzbare Ackerstandorte umgewandelt werden. Dabei werden die Torfschichten und Mineralbodenhorizonte aus hydrologisch ungünstiger horizontaler Lage durch Wenden um 130° in eine für die Wasserführung vorteilhafte nahezu vertikale Lage gebracht (KUNTZE 1974).

Die anschließende Bearbeitung erstreckt sich nach den Planierarbeiten auf die Durchmischung von Sand und Torf in der Krume. Nach Prozessen der Setzung, Humifizierung und Homogenisierung der beiden miteinander vermischten Komponenten ist am Ende der Entwicklung dieser anthropogenen Böden ein stark humoser Sandboden mit 6 - 8 Gew.% organischer Substanz in der Krume zu erwarten.

Die im Tiefkulturprofil unterhalb der Krume sich abwechselnden, schräg verlaufenden Sand- und Torf-"balken" sollen in Zeiten des Wasserüberangebotes Aufgaben der Dränung übernehmen (Sandbalken) bzw. Wasser und darin gelöste Nährstoffe speichern (Torfbalken).

Werden die von der Moorversuchsstation anhand langjähriger Erfahrungen zusammengestellten "Grundregeln für den Tiefpflugeinsatz" (EGGELSMANN 1968) beachtet, so können durch dieses Meliorationsverfahren weite Hochmoorflächen einer regelmäßigen und sicheren Ackernutzung zugeführt werden.

Die für die Anlage von Sandmischkulturen bedeutsamen chemischen und physikalischen Voraussetzungen sollen unter 2.2 gesondert erläutert werden.

Der nachhaltig landeskulturelle Wert der Deutschen Sandmischkultur läßt sich auch daran ableiten, daß bis heute mehr als 200 000 ha durch Tiefumbruch melioriert worden sind (EGGELSMANN, persönliche Mitteilung 1978).

2.1.2 Deckkulturen auf Niedermooren

Die unter eutrophen Bedingungen durch Verlandung oder Versumpfung entstandenen Niedermoore sind - hinsichtlich ihrer nachhaltigen Ertragsfähigkeit beurteilt - zu den fruchtbarsten Böden zu rechnen (KUNTZE 1969). In erster Linie ihr hoher Stickstoffgehalt macht sie auch ohne N-Düngung zu ertragreichen Grünlandstandorten.

Die Mähweidenutzung der Niedermoore ist daher bekanntlich die älteste landwirtschaftliche Nutzungsform der Moore. Das futterwüchsige Dauergrünland auf Niedermooren wurde über die Viehhaltung zur sprichwörtlichen "Mutter des Ackerlandes" (FRECKMANN 1921).

Es hat auch hier nicht an Bemühungen gefehlt, die nährstoffreichen Niedermoore in ertragsfähige Ackerstandorte zu verwandeln. Eine Niedermoorschwarzkultur war jedoch mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden, vornehmlich aus folgenden Gründen (WOJAHN 1960):

- starkes Auffrieren des Bodens
- häufige Spät- und Frühfröste
- Vermullung und Gefahr von Winderosion
- starker Unkrautdruck und Lagergefahr bei Getreidebau
- geringe Tragfähigkeit.

Es ist das Verdienst v. Rimpaus (v. RIMPAU 1887, SCHIRMER 1934), mit der Anlage von Niedermoor-Sanddeckkulturen in Anlehnung an die holländischen Fehnkulturen, Wege aufgezeigt zu haben, nach denen die als absolutes Grünland geltenden Niedermoore auch einer Ackernutzung zugeführt werden konnten.

2.1.2.1 Moordammkulturen

In seiner technischen Anlage unterscheidet sich dieses Kulturverfahren zunächst wenig von der holländischen Fehnkultur. Durch "Rigolen" wird auch hier von Hand eine gleichmäßige Sanddecke aufgetragen. Allerdings muß bei der anschließenden Bearbeitung - im Gegensatz zu Mischkulturen - genau darauf geachtet werden, daß die kalk- und stickstoffreichen Niedermoortorfe nicht mit der Sanddecke vermischt werden, da sonst die oben beschriebenen Nachteile der Schwarzkultur auch für diese unvermeidlich bleiben. Um einer unkontrollierten Stickstoffmineralisation, schnellem Torfverzehr und der Gefahr der Wiedervernässung vorzubeugen, gilt die Schonung der wertvollen Torfsubstanz als oberstes Gebot. Sofern diese Grundforderung im Zuge der mit dem Fortschritt in der Landtechnik einhergehenden Neigung zur Krumenvertiefung vernachlässigt wurde, waren viele Moordammkulturen zum Scheitern verurteilt (KANNENBERG 1939, WOJAHN 1960).

2.1.2.2 Mischkulturen auch auf Niedermoor?

Der zweifelsohne durchschlagende Erfolg der Deutschen Sandmischkultur bei der Melioration von Hochmooren ließ es nicht an Versuchen fehlen, dieses Meliorationsverfahren auch auf Niedermoorstandorte zu übertragen.

Gegen das Bestreben, auch flachgründige Niedermoorprofile nach Art der Deutschen Sandmischkultur herzurichten, sind vier Gründe anzuführen (BARTELS und HAGEMANN 1977):

- der Niedermoortorf macht anfangs auf das Volumen bezogen 50 - 70% der Krume einer Mischkultur aus - entsprechend sind auch andere Nachteile der Schwarzkultur kaum verändert.
- der hohe Nährstoffgehalt des Niedermoortorfes bedingt bei Ackernutzung eine schnelle Zersetzung und führt so zu einem Überangebot an Nährstoffen.
- im Liegenden unter Niedermooren befindet sich meist bindigeres bzw. schluffiges Material, so daß nach Vermischung mit den Torfen zur Haftnässe und Dichtlagerung neigende Böden entstehen können.
- die fossilen Gleye unter Niedermooren enthalten pflanzen-schädliche Stoffe (FeS_2).

2.1.2.3 Tiefpflugsanddeckkulturen

Das Aufbringen von Sand erweist sich für die Ackernutzung von Niedermooren als außerordentlich erfolgreich (s. Moordammkulturen). Heute ist es möglich, durch besonders konstruierte Pflüge flachgründige Niedermoore (< 8 dm Torf) derart umzugestalten, daß ein Teil der mineralischen Komponenten und der Niedermoortorf schräg in Balken geschichtet werden wie bei der Deutschen Sandmischkultur. Zusätzlich kann aber noch soviel des mineralischen Untergrundes als Deckschicht nach oben befördert werden, daß die nachfolgende Bearbeitung auf diese Schicht beschränkt bleibt (BARTELS 1977).

WOJAHN (1960) und KUNTZE (1974) berichten über die Anlage derartiger "Tiefpflugsanddeckkulturen". Beide Autoren fanden übereinstimmend eine Verbesserung des Kleinklimas, Verbreiterung des Anbauspektrums und eine günstigere Wasserführung auf diesen Standorten.

Über Bodenbildungsprozesse in der humusarmen Sanddecke konnten beide Verfasser nach zwei- bzw. vierjähriger Versuchsdauer noch keine Ergebnisse mitteilen.

Die Bewertung der Tiefpflugsanddeckkultur als Meliorationsmaßnahme für flachgründige Niedermoore ist Bestandteil der vorliegenden Arbeit - umfangreiche Ergebnisse werden im praktischen Teil mitgeteilt.

2.2 Moorkundliche und bodentechnologische Voraussetzungen für Misch- und Deckkulturen

Sandmisch- und Sanddeckkulturen sind vielseitig nutzbare und nachhaltig sichere Ackerstandorte. Das hohe Ertragsniveau dieser anthropogenen Böden läßt sich jedoch nur dann erreichen und erhalten, wenn vor Beginn des Tiefumbruchs eine genaue Standortaufnahme und -beurteilung erfolgt (DIN 4220, 19680/84, 1185).

Als die beiden erfolgsbestimmenden Komponenten bei der Anlage von Tiefkulturen gelten sowohl die anstehenden Torfe als auch das beim Pflügen mit erfaßte Liegende. Der organische und der mineralische Anteil bestimmen im Zusammenwirken mit Entwässerung, Düngung und Bearbeitung die Richtung und den Verlauf der in diesen Böden ablaufenden Entwicklungsprozesse.

2.2.1 Physikalische Bedingungen

2.2.1.1 Der organische Anteil

Nach der Entwässerung - sie steht am Beginn jeder Moornutzung - unterliegen die Torfe unter nun wieder aeroben Bedingungen einer tiefgreifenden Zustandsänderung. Der unter Luftabschluß unterbrochene Prozeß der Mineralisierung und Humifizierung der organischen Substanz wird bei günstiger Reaktion und reichlichem Stickstoffangebot recht lebhaft fortgesetzt (KUNTZE 1974). Neben diesem biochemischen Torfschwund treten zusätzlich, hervorgerufen durch Sackung und Schrumpfung der entwässerten Torfe, für den Wasser- und Lufthaushalt nachteilige Veränderungen der Porenraumverteilung auf.

Bei Schwarzkulturen auf Hochmoor ist unter den klimatischen Voraussetzungen Nordwestdeutschlands bei Ackernutzung mit einem jährlichen Höhenverlust von 1 cm zu rechnen. Niedermoor-schwarzkulturen weisen bei besonders intensiver Bewirtschaftung - begünstigt durch entsprechende Klimabedingungen - sogar über 10 cm Torfschwund/Jahr auf, während unter hiesigen Verhältnissen 2 cm Höhenverlust im Jahr zu veranschlagen sind (EGGELSMANN 1960, SCHOTTHORST 1967 zit. bei KUNTZE 1972). Von besonderem Einfluß auf die Verluste organischer Masse scheinen Temperatur und Feuchte (Klimafaktor n. Lang) zu sein (EGGELSMANN 1976).

Unter günstigen Bedingungen wird in der Krume von Sandmischkulturen als Richtwert ein Mischungsverhältnis Torf : Sand von 2 : 1 angestrebt (BADEN 1958, LAUENSTEIN 1960). Um dieses Mischungsverhältnis auch bei wechselnden Moormächtigkeiten zu garantieren muß die Pflugtiefe durch enge Peilung (unter Berücksichtigung fossiler Störhorizonte wie Ortstein) festgelegt werden. Daher sind auch hydraulisch regulierbare Tiefpflüge vorzuziehen (KUNTZE 1974a).

Schon bei der Anlage früherer Moorkulturen (Deutsche Hochmoorkultur) wurde Wert auf wenig zersetzte Weißtorfe in der Krume gelegt, da sie sich durch ein für den Wasser- und Lufthaushalt außerordentlich günstiges Porenvolumen im Bereich der Feldkapazität auszeichnen; ihr Anteil an schnell dränenden Poren ist sehr hoch (KUNTZE 1965). Dagegen fällt der Hauptanteil der Poren bei den stärker zersetzten Torfen in den Mikroporenbereich (BADEN und EGGELSMANN 1963).

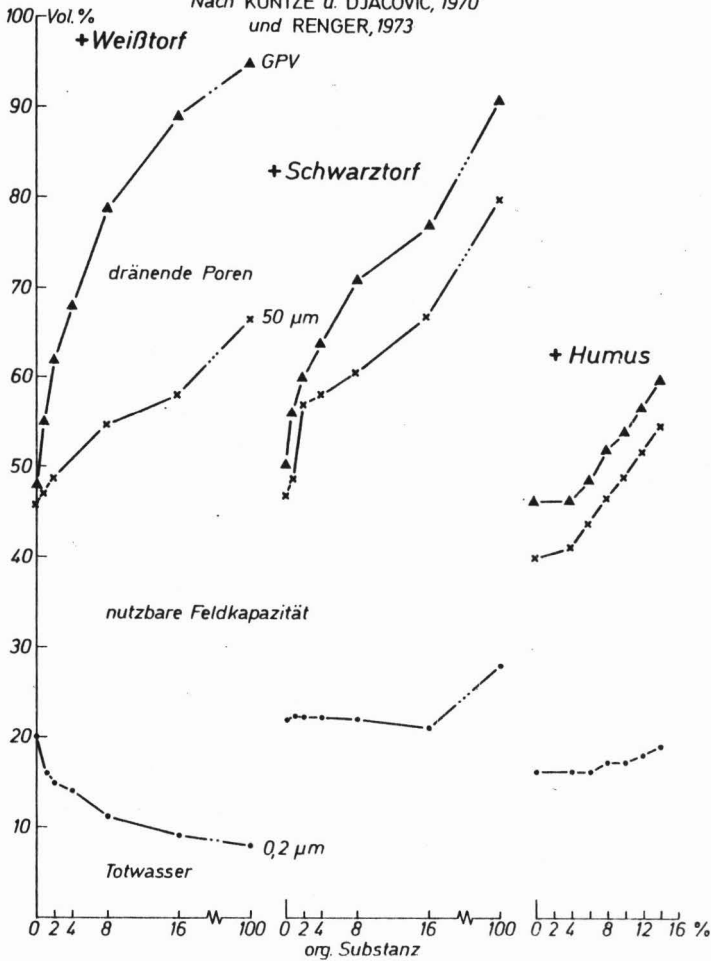
Daher spielt auch bei der Prüfung, inwieweit ein Moor für die Sandmischkultur geeignet ist, der Zersetzungsgrad der Torfe eine wesentliche Rolle. KUNTZE und DJAKOVIC (1970) wiesen durch umfangreiche Untersuchungen an Torf-/Mineralbodenmischungen nach, daß schon mit kleinen Zugaben wenig zersetzten Hochmoortorfes zu verschiedenen Mineralböden die Porenraumverteilung günstig beeinflußt werden kann und daß außerdem bis zu einem Anteil von 4 - 8 Gew.% auch stärker zersetzte Hochmoortorfe eine durchaus noch positive Wirkung erzielen können. Deutlich ist jedoch aus Abb. 1 zu erkennen, daß mit weiter steigenden Anteilen an stärker zersetzten Torfen bodenkundlich bedenkliche Zustände erreicht werden; auch ein Weißtorfanteil über 8 Gew.% verbessert das Porenvolumen der untersuchten Mischungen nur noch geringfügig.

Aufgrund ihres hohen Stickstoff- und Calciumgehaltes unterliegen Niedermoor torfe nach ihrer Entwässerung einer verstärkten Zersetzung. Daraus resultiert eine überhöhte und unkontrolliert verlaufende Stickstoff-Mineralisation. KUNTZE (1972) errechnet aus einer 30 cm tiefen Krume eines Niedermoorbodens eine jährliche Freisetzungsr ate von bis zu 270 kg N/ha - entsprechend 1196 kg NO₃/ha, die von Ackerfrüchten nur in geringem Maße assimilierbar sind. Die zusätzlich auftretenden Bewirtschaftungshemmnisse einer Niedermoor schwarzkultur sind in dem Abschnitt 2.1.2 bereits erwähnt worden, so daß an dieser Stelle nur noch einmal

A b b.1 Porenraumgliederung u. org. Substanz

— uL, $\bar{U}$ —

Nach KUNTZE u. DJACOVIC, 1970
und RENGIER, 1973



auf die Forderung verwiesen werden soll, Restgrünland auf Niedermoor nach Rekultivierung nur über die Sanddeckkultur ackerbaulich zu nutzen.

2.2.1.2 Der mineralische Anteil

Die ersten Erfolge der Sandmischkultur stellten sich nach dem Tiefpflügen wurzelechter Hochmoore über podsolisiertem Sand ein. Daraus leitete sich die Forderung ab, daß die Bodenart des mineralischen Untergrundes aus gS - mS bestehen sollte. Ist das Liegende dagegen feinsandreicher oder finden sich sogar größere Anteile an Schluff und Ton, so reicht ein Schichtverhältnis von 2 : 1 (Torf : Sand) für die Beherrschung des Wasserregimes nicht mehr aus. Durch ein geringeres Porenvolumen entwickeln sich haft- oder staunasse Standorte. KUNTZE (1974) hält unter derartigen Umständen eine Verengung des Mischungsverhältnisses auf 1 : 1 oder bei schluffigem Ton sogar auf 0,5 : 1 für erstrebenswert.

SEGEBERG (1957) spricht Mineralböden mit >15% abschlämmbaren Bestandteilen jegliche Eignung zur Anlage von Sandmischkulturen ab. Besonders mit stärker zersetzten Torfen neigen derartige Sandmischkulturen zur Haftnässe, die eine Ackernutzung bald sinnlos erscheinen läßt.

Torfe schwanken in ihrer Lagerungsdichte recht erheblich (SEGEBERG 1964). Durch die komplexe Wirkung der Mineralisation, Sackung und Schrumpfung nach Entwässerung nimmt diese Kenngröße sogar noch zu, wobei die stärker zersetzten Torfe von vornherein dichter gelagert sind (BARTELS und KUNTZE 1973), und damit ebenfalls das Porenvolumen und die Durchlässigkeit beeinflussen. Unter Berücksichtigung der unterschiedlich dichten Lagerung auch des mineralischen Untergrundes leiten KUNTZE und DJAKOVIC (1970) daraus recht hohe Gehalte an organischer Substanz in 20 cm Krume bei einem herkömmlichen Mischungsverhältnis von 2 : 1 (Torf : Sand) ab.

Auf die nachteiligen Auswirkungen höherer Torf Beimengungen wurde bereits hingewiesen (Abb. 1).

Aus Tabelle 1 läßt sich ableiten, daß in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte beider Mischungspartner (organisch und mineralisch) das Mischungsverhältnis in der Krume zu verengen ist, damit nicht ungünstig hohe Gehalte an organischer Substanz in der Krume auftreten.

Tabelle 1: Einfluß der Rohdichte und des Schichtverhältnisses Sand/Torf auf die organische Substanz in der Krume (KUNTZE und DJAKOVIC 1970)

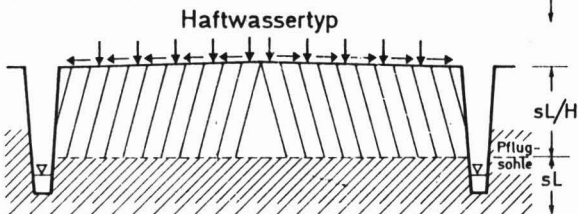
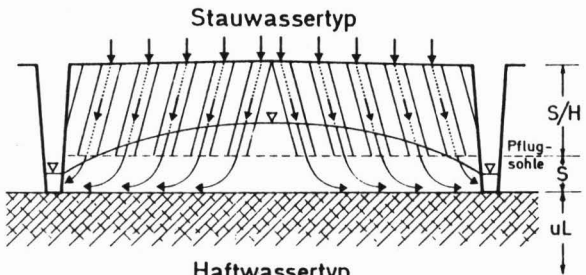
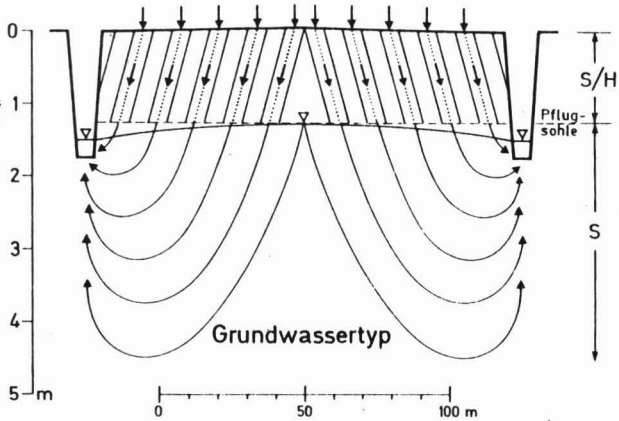
Rohdichte g/l		Gew. % org.Sbstz. in 20 cm Krume bei Mischungsverhältnis Sand : Torf		
Sand	Torf	1 : 2	1 : 1	1 : 0,5
1300	100	13 ⁺)	7 ⁺)	4
1300	200	24	13 ⁺)	7 ⁺)
1300	300	31	19	10 ⁺)
1300	400	38	24	13 ⁺)
1300	500	43	28	16
1500	100	12 ⁺)	6 ⁺)	3
1500	200	21	12 ⁺)	6 ⁺)
1500	300	29	17	9 ⁺)
1500	400	35	21	12 ⁺)
1500	500	40	25	14 ⁺)

⁺) = Optimalbereich

Das als Faustzahl geltende Mischungsverhältnis von 2 : 1 findet also nur in besonders günstigen Sonderfällen bei der Melioration wurzelechter Hochmoorflächen über gS - mS seine Anwendung.

Die bodenartige Zusammensetzung des mineralischen Untergrundes muß jedoch über die geplante Pflugtiefe hinaus mit in die Beurteilung einbezogen werden, da einerseits fossile Störhorizonte (Ortstein) oder aber bindige Schichten (Geschiebelehme) sich als Stauhorizonte auswirken können, die eine zusätzliche Dränung erforderlich machen. EGGELSMANN (1973) unterscheidet anhand des Strömungspotentials hydrologisch drei Tiefkulturtypen (A = Grundwassertyp, B = Stauwassertyp, C = Haftwassertyp).

Abb.2
Grundwasser-Strömungslinien in Tiefpflugkulturen
(nach EGGELESMANN 1973)



EGGELSMANN leitet daraus hinsichtlich des mineralischen Untergrundes folgende Grundregeln für den Tiefpflugeinsatz ab:

- bindige Böden im Liegenden sind für den Tiefpflugeinsatz unbrauchbar.
- auch die Lagerungsdichte des mineralischen Untergrundes muß berücksichtigt werden.
- bei stark zersetzten Torfen und Feinsand ist das zu pflügende Schichtverhältnis Torf/Sand auf 1 : 1 bis sogar 1 : 2 zu verengen.

2.2.2 Chemische Bedingungen

Die Mischungskomponenten Hochmoortorf und diluvialer Sand sind bekanntlich sehr nährstoffarm und sauer. Daher sind sie zunächst in eine für das Pflanzenwachstum günstige Reaktion zu bringen. Nach wiederholten Untersuchungen der Moorversuchsstation Bremen (BADEN 1958, 1960, BADEN, EGGELSMANN und JANNER 1960, KUNTZE 1972, FEIGE 1974) wird der für eine junge Sandmischkultur günstige pH-Wert mit pH (KCl) 4,5 - 5,0 angegeben. Eine stärkere Aufkalkung ist aus folgenden Gründen zu vermeiden:

- wegen der hohen Ca^{++} -Selektivität der Torfe verringert sich mit steigendem pH die K^{+} -Sorption; damit wäre eine ausgewogene Pflanzenernährung in Frage gestellt (FEIGE 1970).
- ein höherer pH-Wert ruft durch Mineralisation der Torfsubstanzen einen verstärkten Torfschwund hervor (FRERCKS und KOSEGARTEN 1956). Eine Förderung der Zersetzung infolge überhöhter Aufkalkung führt zudem zu einer Anreicherung von organischem Stickstoff vor allem in der Krume, was im Zusammenwirken mit der Düngung die Entstehung niedermoorartiger Krumenböden fördert (FEIGE 1977).

Die zunächst auf Moorböden bezogene Erkenntnis, die Düngung mit langsam wirkenden Kalkdüngern vorzunehmen und eine obere pH-Grenze einzuhalten - nach neueren Untersuchungen liegt das Optimum älterer humusärmerer Sandmischkulturen bei pH 5,5 (FEIGE 1974) - gilt in gleichem Maße auch für die Sandmischböden (LAUENSTEIN 1960).

Mit zunehmender Zersetzung der Torfe nimmt auch ihre Austauschkapazität zu (FRERCKS und PUFFE 1958), jedoch werden Moorböden im Zuge ihrer anthropogenen Entwicklung bodendynamisch träger und nähern sich damit schweren Mineralböden. Für KUNTZE (1971) ergibt sich daraus die Notwendigkeit "durch Vermischen oder Bedecken der Moorböden mit möglichst sorptionsschwachen Mineralböden Veränderungen der organischen Substanz quantitativ und qualitativ aufzufangen".

Für die Ca- und N-reichen Niedermoor- und Torfe gilt das bisher Gesagte noch in verstärktem Maße, da hier natürlich ein höherer pH mit der lebhaft ablaufenden Zersetzung eine unkontrollierte Stickstoffmineralisation in Gang setzen würde.

Hochmoorkulturen sind schon bei relativ geringen Gehalten der beiden doppelaktat-löslichen Nährstoffe Phosphor und Kalium sehr gut versorgt.

Auch Tiefkulturen benötigen keine höheren Düngergaben. Hier gelten Gehalte von 10 - 15 mg P_2O_5 bzw. K_2O bezogen auf 100 cm als ausreichend (FEIGE 1977). Kalium und vor allem Phosphor sind in organischen Böden bekanntlich sehr gut pflanzenverfügbar, da Eisen- und Aluminiumionen als Bindungspartner fehlen. Aus diesem Grund ist jedoch auch mit relativ hohen Verlagerungs- und Auswaschungsverlusten zu rechnen, die eine dosierte jährliche Erhaltungsdüngung unumgänglich machen (LAUENSTEIN 1960, SCHEFFER 1977).

Ebenso muß aber auch die Mineralbodenkomponente in die chemischen Untersuchungen mit einbezogen werden, da das Vorhandensein pflanzenschädlicher Schwefeleisenverbindungen (FEIGE und LEISEN 1973) zusätzlich recht erhebliche Kalkgaben notwendig machen kann, um die nach Luftzutritt entstandene Schwefelsäure zu neutralisieren, wenn nicht die betreffende Fläche sogar ganz von der Tiefkultur ausgeschlossen werden muß.

2.3 Auswirkungen der Melioration auf die Ackernutzung

Gründlandnutzung auf Moorböden setzt in der Regel die mit hohen Kosten und großem Arbeitsaufwand verbundene Milchviehhaltung voraus, Kapital und Arbeitskraft sind andererseits oft die Betriebsentwicklung begrenzende Produktionsfaktoren. In erster Linie sind daher innerbetriebliche Gegebenheiten für die Bestrebungen, Moorböden mit geringerem Risiko ackerbaulich zu nutzen, verantwortlich zu machen (BARTELS 1977).

Erst mit der Anlage maschinell hergerichteter Misch- bzw. Deckkulturen sind die teilweise primitiven und unrationellen älteren Nutzungsverfahren durch Meliorationsmaßnahmen abgelöst worden, die - großflächig und kostensparend durchgeführt - einen nachhaltigen Erfolg versprechen.

2.3.1 Ertragssteigerung

Die ackerbauliche Nutzung der Deutschen Hochmoorkulturen (Niedermoore brachten nur als Grünland hohe und sichere Erträge) erbrachte vor allem aufgrund der ungünstigen bodenphysikalischen Zustandsänderungen der Torfe unterschiedliche und im allgemeinen unsichere Erträge, die 25 dt/ha nur in seltenen Fällen überschreiten konnten.

Die Ertragsleistung der Deutschen Sandmischkulturen liegt dagegen deutlich höher. BADEN (1960) berichtet von "50 dz/ha Getreidewerten", die im Emsland schon in den ersten Jahren nach der Melioration erzielt wurden. Die von anderen Autoren ermittelten Erträge liegen auch nach längerer Nutzungsdauer ebenfalls in dieser Größenordnung (BADEN, EGGELSMANN und JANNER 1960, LAUENSTEIN 1960, KUNTZE 1971).

WOJAHN (1960) spricht von einer deutlichen "Ertragsüberlegenheit" der Tiefpflugsanddeckkultur gegenüber der Niedermoorschwarzkultur und KUNTZE (1974) gibt den Getreidemehrertrag eines Tiefkulturversuches mit + 10 dt/ha im Vergleich zur Schwarzkultur an.

2.3.2 Erweiterung des Anbauspektrums

Feldfrüchte, die auf Deutscher Hochmoorkultur relativ sicher angebaut werden können sind Kartoffeln, Roggen und Hafer, eine Niedermoor-schwarzkultur liefert zusätzlich nur bei Sommerweizen und Hafer vertretbare Erträge.

Durch ein bei den Tiefkulturen geregeltes Wasserangebot, ausreichende Nährstoffversorgung und die verringerte Spätfrostgefahr (siehe 2.3.4) erweitert sich die Anzahl der anbauwürdigen Ackerfrüchte recht erheblich. Anspruchsvolle Pflanzen wie Wintergerste, Weizen, Mais und sogar Zuckerrüben können ohne großes Risiko in die Anbauplanung mit einbezogen werden (KUNTZE 1971).

2.3.3 Gefügestabilisierung

Mit zunehmendem Mineralbodenanteil in der Krume von Sandmischkulturen nimmt das Substanzvolumen zu, der Anteil an Mikroporen (Haftwasser führend) nimmt dagegen im gleichen Sinne ab (BADEN, EGGELESMANN und JANNER 1960, BURGHARDT 1977). Dennoch reagieren auch diese Böden empfindlich wie Schwarzkulturen auf den Druck schwerer Geräte, wenn in Zeiten mit reichlichen Niederschlägen ihr Porenraum weitgehend mit Wasser gefüllt ist. Diese Gefahr wird umso größer, je feiner der Mineralbodenanteil gekörnt ist (BADEN 1960). Die Frage der Körnung ist bei der Anlage von Sanddeckkulturen von noch größerer Bedeutung, da sich bei höheren Schluff- und Tonanteilen infolge des anfangs fehlenden Humusanteils Verschlämmungen und nachfolgende Verdichtungen in der Krume ausbilden können, die die risikolosen Bearbeitungszeiträume ganz erheblich einschränken können.

2.3.4 Verbesserung des Mikroklimas

Organische Böden sind als Schwarzkulturen aufgrund der größeren Wärmekapazität (bei hohem Wassergehalt) und der geringeren Wärmeleitfähigkeit (bei geringem Wassergehalt) Pflanzenstandorte mit ungünstigem Mikro- und Mesoklima.

In Tabelle 2 sind zum Vergleich die thermischen Eigenschaften einiger Bodenbestandteile aufgeführt.

Tabelle 2: Thermische Eigenschaften von Bodenbestandteilen
(n. G.H. BOLT aus SCHEFFER - SCHACHTSCHABEL 1976)

Bodenkomponente	Wärmeleitfähigkeit (cal/(cm . sec . °C))	Wärmekapazität (cal/(cm ³ . °C))
Quarz	2,1 . 10 ⁻²	4,8 . 10 ⁻¹
Tonminerale	7,0 . 10 ⁻³	4,8 . 10 ⁻¹
organ. Substanz	6,0 . 10 ⁻⁴	6,0 . 10 ⁻¹
Wasser	1,37 . 10 ⁻³	1,0
Luft	6,0 . 10 ⁻⁵	3,0 . 10 ⁻⁴

In der trocknen und dunklen Krume eines Moores können daher aufgrund ihres größeren Porenvolumens bei Strahlungswetterlagen Temperaturen von über 60° C erreicht werden (MIESS 1968), so daß im Oberboden ein Wärmestau entsteht und sehr viel überschüssige Energie an die Luft abgegeben wird. Dieser Energieverlust zieht wiederum eine umso stärkere Abkühlung in der Nacht nach sich, so daß selbst noch im Sommer Strahlungsfröste auftreten können (BADEN und EGGELSMANN 1958).

Durch die Sandmischkultur oder die Sanddeckkultur wird die Wärmekapazität einerseits verringert und die Wärmeleitfähigkeit andererseits erhöht. Damit erreicht man eine tiefer reichende Erwärmung, wodurch die Spät- oder Frühfrostgefahr erheblich herabgesetzt wird. Diese für das Mikroklima geltenden Gesichtspunkte zeigen aber ebenso auch mesoklimatische Auswirkungen, wie folgende Beispiele belegen mögen:

Auf einer Deutschen Hochmoorkultur in Königsmoor taute der erste Schnee im November schneller wieder ab als auf der benachbarten Deutschen Sandmischkultur. Die im April 1976 auftretenden Nachtfroste führten bei den frisch aufgelaufenen Zuckerrüben auf der Niedermoor-Tiefpflugsanddeckkultur in Bortfeld zu keinerlei Beeinträchtigungen im Pflanzenwachstum, während sowohl auf der Niedermoor-Sandmischkultur wie auch auf der Schwarzkultur nachhaltige Schädigungen auftraten, die ein erneutes Drillen notwendig machten. Aus diesen Gründen wird auch im Frühjahr die schwere Walze

auf Moorböden verstärkt eingesetzt.

Die mit der Tiefkultur einhergehende Klimamelioration bewirkt,

- daß früher bestellt werden kann,
- daß sich die Pflanzen schneller entwickeln,
- daß damit rascheres Ausreifen zu früheren Ernten führt,
- daß insgesamt die Wachstumszeit verlängert wird

und somit ein Zwischenfruchtanbau nach der Getreideernte mit eingeplant werden kann (BADEN, EGGELSMANN und JANNER 1960).

3 Praktischer Teil

3.1 Material und Methoden

3.1.1 Beschreibung der untersuchten Böden

Für die Untersuchungen standen folgende Versuchsflächen des Außeninstituts für Moorforschung und angewandte Bodenkunde im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung zur Verfügung (siehe auch BARTELS 1977a):

a) Königsmoor/Nordheide, TK 25, Nr. 2723

Deutsche Sandmischkultur (S/Hh) - FV 57 -

Anlage: 1959

Ackernutzung seit 1972 (Grünlandumbruch - 1972-1977 Getreideanbau, 1978 Kartoffeln)

Zur Beantwortung der Frage, inwieweit Mächtigkeit, Homogenität und Humusgehalt den Wert einer Deutschen Sandmischkultur beeinflussen, wurden folgende Varianten in 4facher Wiederholung angelegt:

Variante 1 - herkömmliche Bodenbearbeitung

" 2 - 45 cm tief pflügen

" 3 - 45 cm tief mischen mit dem Spatenpflug

" 4 - allmähliche Krumenvertiefung, ausgehend von 20 cm jedes Jahr 3 cm tiefer pflügen.

Der Versuchsstandort Königsmoor liegt etwa 70 km von Bremen entfernt an der Bundesbahnstrecke Bremen - Hamburg.

Das ca. 1 300 ha große Königsmoor befindet sich am Fuße einer Endmoräne aus der Saaleeiszeit (Warthestadium). Die Vermoorung setzte über Gley in den Tälern zwischen den aus den Sandern aufgewehten Flußdünen ein (Niedermoorbildung). Bei weiterer Ausdehnung wuchsen die Moore über dem Mittelsand der Flußdünen als wurzelechte Hochmoore auf.

Bei dem Hochmoortorf Königsmoor handelt es sich um Sphagnumtorf der Acutifolia-Sektion mit Resten von *Calluna vulgaris* und *Eriophorum vaginatum*.

b) Overlahe/Edewechterdamm, TK 25, Nr. 2913

Leegmoor, maschinell besandet (14 cm) ($\frac{S}{Hh}$) - FV 24 -

Anlage: 1954

seitdem in Ackernutzung, vorwiegend Getreideanbau

Overlahe liegt am Küstenkanal, im Bereich der Oldenburger Moore, etwa 30 km westlich von Oldenburg.

Es handelt sich auch hier um ein wurzelechtes Hochmoor über fossilen Verdichtungshorizonten (Podsol-Gley).

Der Hochmoortorf Overlahe ist als Sphagnumtorf der Cymbifolia-Sektion mit Resten von Eriophorum vaginatum und wenigen Sphagnum der Cuspidata-Sektion angesprochen worden.*)

c) Bortfeld bei Braunschweig, TK 25, Nr. 3728

Niedermoorschwarzkultur, (Hn), Niedermoorsandmischkultur (S/Hn),
Niedermoortiefpflugsanddeckkultur ($\frac{S}{Hn}$) - FV 9 -

Anlage: 1969/70 mit Landwirtschaftskammer Hannover, LBA Braunschweig und Kali-Chemie Hannover

Vergleich zweier Tiefkulturverfahren für flachgründige Niedermoore:

1. 100 cm tiefgepflügt nach Art der Deutschen Sandmischkultur, Vermischen von Sand und Torf in der Krume
2. Tiefpflugsanddeckkultur -
der Niedermoortorf verbleibt in Schrägschichtung
abwechselnd mit Sandbalken unter einer 20 cm mächtigen Mineralbodendecke.

Bortfeld liegt etwa 5 km westlich von Braunschweig am Mittel-landkanal.

Das Versuchsfeld befindet sich im Übergangsbereich Geest/Vorlößzone. Die Vermoorung setzte ein über schluffreichen Grundmoränenmaterial, das unterschiedlich stark von Löß überweht worden ist.

d) als Vergleichsfläche für a) und b):

Königsmoor/Nordheide, TK 25, Nr. 2723

Fehnkultur (S/Hh)

Anlage: 1937

seitdem in Ackernutzung

*) Herrn Dr. J. SCHWAAR danke ich für die Ansprache der Torfe

3.1.2 Beschreibung der angewandten Methoden

3.1.2.1 Chemische Untersuchungsmethoden

- a) pH-Wert (0,1 m KCl bzw. 0,01 m CaCl_2): elektrometrisch
(zit. in SCHLICHTING & BLUME 1966);
- b) P- und K-Bestimmung: Doppellaktat-Methode nach EGNER-RIEHM
(zit. in SCHLICHTING & BLUME 1966);
- c) C-Bestimmung: gasanalytisch mit Woesthoff-Apparatur
(zit. in SCHLICHTING & BLUME 1966);
- d) Gesamt-N-Bestimmung: nach KJELDAHL
(zit. in FIEDLER 1965) (zit. in SCHLICHTING & BLUME 1966);
- e) Asche-Bestimmung: durch Glühverlust bei 550°C ;
- f) CO_2 -Freisetzung: Bebrütung nach ISERMEYER (1952);
- g) N-Fraktionierung: 1. nach BREMNER (zit. in FLEIGE 1971 und BAUM 1975);
2. Trennung der Aminosäuren nach dem Prinzip der Ionenaustausch-Chromatographie am automatischen Aminosäuren-Analysator (ALDAG et al. 1977).

3.1.2.2 Physikalische Untersuchungsmethoden

- a) Korngrößenverteilung: nach Vorbehandlung mit H_2O_2 und $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ nach KÖHN (zit. in HARTGE 1971);
- b) Porenraumgliederung (pF): bis pF 2,0 nach SEKARA (hängende Wassersäule),
pF 2,5 - 4,2 nach RICHARDS (Überdruck-apparatur) (zit. in BADEN et al. 1969);
- c) Bodenfeuchtemessungen: mit Stand-Tensiometern;
- d) Wasserdurchlässigkeit: mit Haubenpermeameter nach HARTGE (1966);
- e) Bodenwiderstand: mit der Rammsonde (zit. in BOGUSLAWSKI & LENZ 1958).

Die statistischen Verrechnungen der Ergebnisse erfolgten an einem Rechner der Firma WANG, Typ 2200.

3.2 Chemische Untersuchungen

3.2.1 Allgemeine Nährstoffcharakteristik

Organogene Böden sind von Natur aus nährstoffarm, ihre Nährstoffverfügbarkeit ist dafür um so günstiger; zudem sorgt eine ausreichende Wasserzufuhr für eine vorteilhafte Nährstoffdynamik (BADEN 1964).

Einige wichtige Gesichtspunkte der Nährstoffdynamik von Mischkulturen wurden bereits unter 2.2.2 erläutert.

An dieser Stelle sollen die Analysenergebnisse aus den jährlichen Routineuntersuchungen der in 3.1 vorgestellten Versuchsflächen in den Tabellen 3 - 6 aufgeführt werden, um die allgemeine Beschreibung der Böden abzurunden.

Für die Hochmoorstandorte Königsmoor und Overlahe sind die Analysendaten in Tab. 3 und 4 zusammengestellt; zum Vergleich sind in Tab. 4 die Ausgangstorfe beider Standorte mit aufgeführt.

Aus Tab. 3 ist zu entnehmen, daß die Nährstoffversorgung der Sandmischkultur Königsmoor relativ ausgewogen ist. Auffällige Veränderungen der Nährstoffgehalte sind in den untersuchten Jahren nicht festzustellen.

Eine geringfügige Zunahme des Gesamt-Stickstoffgehaltes und eine damit verbundene leichte Verringerung des ungünstig hohen C/N-Verhältnisses deuten Veränderungen in der organischen Substanz an. Die doppelaktatlöslichen Nährstoffe Phosphor und Kalium entsprechen den in der Literatur empfohlenen Mengen (BADEN 1960, FEIGE 1977). Die geringen pH-Werte sind bedingt durch die Ca^{++} -Selektivität der organischen Austauscher. Außerdem sollen niedrigere pH-Werte einer verstärkten Torfmineralisation entgegenwirken (FRERCKS und KOSEGARTEN 1956).

Tabelle 3 Ergebnisse der Bodenuntersuchungen 1974 - 1977
Sandmischkultur - Königsmoor - FV 57

Jahr	Variante	pH	P	DL K	N _t	C	C/N
		CaCl ₂	mg/ 100 cm ³	mg/ 100 cm ³	%	%	
1974	20 cm gepflügt	4,7	4,4	11,5	0,20	5,8	29
	45 cm "	4,6	3,6	7,4	0,19	6,4	33
	45 cm gespatet	4,7	4,0	10,9	0,24	8,8	36
	allm.Krum.vert.	4,8	4,2	11,0	0,20	6,5	32
1975	20 cm gepflügt	4,8	4,6	14,5	0,17	4,9	29
	45 cm "	4,5	3,4	13,3	0,18	6,5	36
	45 cm gespatet	4,6	3,1	11,9	0,27	8,2	30
	allm.Krum.vert.	4,7	4,1	15,2	0,19	5,9	31
1976	20 cm gepflügt	4,7	5,0	15,3	0,16	4,9	30
	45 cm "	4,5	3,4	13,7	0,20	6,8	34
	45 cm gespatet	4,7	4,8	15,1	0,26	8,6	33
	allm.Krum.vert.	4,6	3,7	14,0	0,18	6,6	36
1977	20 cm gepflügt	4,7	5,8	18,4	0,17	5,0	29
	45 cm "	4,4	3,5	14,3	0,20	6,3	31
	45 cm gespatet	4,5	3,8	15,7	0,27	8,7	32
	allm.Krumvert.	4,4	4,1	15,5	0,21	6,7	32

Bemerkenswert sind dagegen die hohen DL-P und -K-Gehalte des besandeten Hochmoores (Tab. 4).

Tabelle 4 Ergebnisse der Bodenuntersuchungen besandetes Hochmoor Oberlahe - FV 24 - 1974 - 1977

Jahr	pH	DL		N _t %	C %	C/N
	KCl	P mg/100	K cm ³			
1974	4,7	12,6	30,1	0,28	9,1	32
1975	4,9	13,5	31,7	0,19	5,8	30
1976	4,8	13,2	33,0	0,21	5,8	28
1977	4,7	12,8	29,4	0,31	8,7	28

Sie weisen doppelt so hohe Werte auf wie die Sandmischkultur in Königsmoor. Die Versuchsfläche Overlahe gehört zu einem sehr intensiv bewirtschafteten Schweinezuchtbetrieb, der die ständig anfallende Gülle auf der eigenen Ackerfläche verwerten muß. Zudem lag auf dieser Parzelle vor einigen Jahren ein P-Steigerungsversuch. Seine Auswirkungen machen sich ebenfalls noch heute bemerkbar. Daher sind auch die vergleichsweise hohen DL-P und -K-Gehalte der Torfprobe aus Overlahe zu erklären (Tab. 5).

Tabelle 5 Nährstoffgehalte der Ausgangstorfe Königsmoor und Overlahe

	pH	DL		N _t %	C %
	KCl	P mg/100	K cm ³		
Königsmoor	3,2	0,1	0,5	0,87	53,2
Overlahe	3,8	0,8	7,5	1,13	55,3

Der höhere Stickstoffgehalt dürfte ebenfalls auf die Verlagerung von Nährstoffen zurückzuführen sein.

Die Nährstoffgehalte der Niedermoorkulturen sind in Tab. 6 zusammengestellt.

Tabelle 6 Ergebnisse der Bodenuntersuchungen
Bortfeld
Niedermoortiefpflugkulturen - FV 9 - 1972 - 1977

Jahr	Variante	pH	DL		N _t %	C %	C/N
		KCl	P mg/100	K cm ³			
1972	Hn	4,7	3	14	1,5	28,3	19
	S/Hn	4,7	10	23	0,40	5,9	15
	$\frac{S}{Hn}$	4,8	5	13	0,06	1,3	22
1973	Hn	4,9	13	37	0,96	13,4	14
	S/Hn	5,0	9	21	0,57	8,7	15
	$\frac{S}{Hn}$	5,6	9	12	0,13	1,4	11
1974	Hn	5,2	7,4	22,8	0,90	15,1	17
	S/Hn	5,3	5,7	13,2	0,40	6,9	17
	$\frac{S}{Hn}$	5,8	6,5	14,0	0,09	1,5	17
1975	Hn	5,2	7,7	29,3	0,83	13,6	16
	S/Hn	5,2	5,8	14,2	0,53	5,5	10
	$\frac{S}{Hn}$	5,8	6,1	12,6	0,11	1,8	16
1976	Hn	4,9	11,9	32,6	0,94	15,7	17
	S/Hn	5,1	7,5	13,8	0,53	9,3	18
	$\frac{S}{Hn}$	5,5	11,7	12,6	0,11	1,7	15
1977	Hn	5,1	9,7	27,4	0,77	10,8	14
	S/Hn	5,3	8,0	15,0	0,44	7,6	17
	$\frac{S}{Hn}$	5,8	9,4	11,8	0,11	1,9	17

Die hohen DL-P und -K-Werte der Niedermoor-Schwarzkultur sind mit Nährstoffanreicherungen aus der ehemaligen Grünlandnarbe zu erklären. Die Gehalte für die beiden Tiefkulturen liegen im Normalbereich. Der höhere pH-Wert der Sanddeckkultur läßt sich durch das Fehlen der organischen Substanz in diesem Mineralboden begründen.

Der Gesamt-Stickstoffgehalt der Schwarzkultur scheint im Verlauf der Nutzung allmählich abzunehmen, während er bei den beiden Tiefkulturen weder eine Zunahme (Sanddeckkultur) noch eine Abnahme (Sandmischkultur) erkennen läßt.

Die geringfügigen Schwankungen des C/N-Verhältnisses weisen ebenfalls auf langsam fortschreitende Auf- und Umbauprozesse der organischen Substanz hin.

Allgemein ist für alle Versuchsstandorte eine als ausgeglichen zu bezeichnende Nährstoffversorgung zu bestimmen.

3.2.2 Gehalt an organischer Substanz

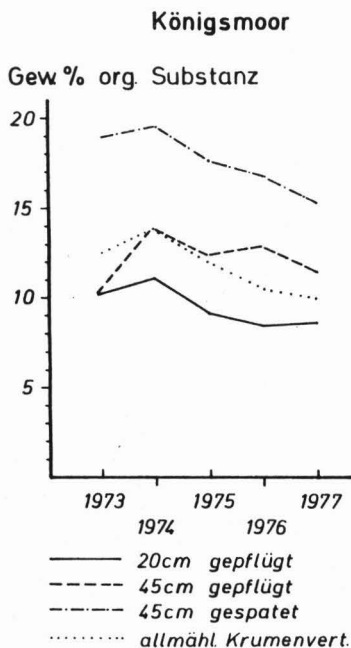
Eine wichtige Bezugsgröße zur Beurteilung meliorierter Moorböden ist ihr Gehalt an organischer Substanz.

Für Sandmischkulturen wird im weiteren Verlauf ihrer Entwicklung ein Humusgehalt von 6 - 8 Gew.% [±] stabilisierter und humifizierter organischer Substanz in der Krume angestrebt (KUNTZE 1972). In den Niederlanden wird bei der Rekultivierung von gealterten Fehnkulturen dagegen ein Humusgehalt von 12 - 16% empfohlen (WIND und POT 1976). Untersuchungen auch an älteren Sandmischkulturen zeigen jedoch, daß selbst diese Gehalte oft überschritten werden. So schwanken auch bei der Versuchsfläche in Königs-moor diese Werte zwischen 6 und 18%.

Für tiefgepflügte Niedermoore dagegen wird aufgrund der für eine Aekernutzung ungünstigen chemischen und physikalischen Eigenschaften dieser N- und Ca-reichen Torfe durch Anlage einer Deckkultur auf einen primär höheren Humusgehalt in der Krume aus den Torfen bewußt verzichtet (siehe 2.1.2). Für diese Standorte erwartet man eine geringe sekundäre Zunahme des Gehaltes an organischer Substanz allein durch Wurzelrückstände und organische Düngung.

Die Veränderungen der Humusgehalte im Verlaufe der untersuchten Jahre sind in der folgenden Abb. 3 zusammenfassend dargestellt.

Abb. 3 Entwicklung der mittleren Gehalte an organischer Substanz (Gew.%)
Dt. Sandmischkultur - Königsmoor - FV 57 - 1973-1977



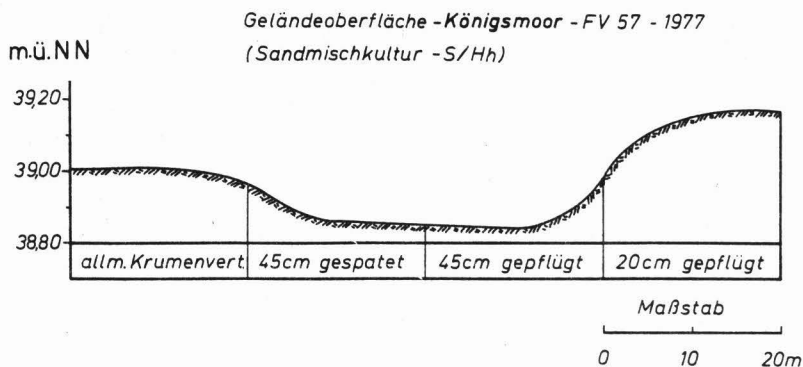
Deutlich ist aus Abb. 3 zu erkennen, daß außer der gleichmäßig flachgepflügten ältesten Variante in Königsmoor bei allen anderen Varianten der Sandmischkultur ihr Gehalt an organischer Substanz das geforderte Maß von 6 - 8% zum Teil noch recht erheblich übersteigt.

Auffallend ist ferner, daß sich der Humusgehalt der seit 1972 ackerbaulich genutzten Sandmischkultur in Königsmoor auf den beiden gleichmäßig tiefgepflügten Varianten (20 cm und 45 cm) nur sehr allmählich verringert (im Durchschnitt der Jahre ca. 2,0 Gew.%), dagegen liegt der Verlust an organischer Substanz durch Humifizierung und Mineralisation der Torfe bei der gespateten und der allmählich tiefer gepflügten Variante mit ca. 4,0 Gew.% doppelt so hoch.

Bezogen auf 20 cm Krumentiefe (Vol.-Gew.: 950 g/dm^3 für die gespatete, 1050 g/dm^3 für die Varianten mit allmählicher Krumenvertiefung) bedeutet das einen Verlust von über 80 t organischer Substanz/ha innerhalb von 4 Jahren (1974 mit den jeweils höchsten Gehalten bis 1977) für jede dieser beiden letztgenannten Varianten.

Diese Daten werden auch durch die Bebrütungsversuche nach ISER-MEYER bestätigt, nach denen für diese Varianten die deutlich höchste biologische Aktivität bestimmt werden konnte (siehe 3.2.3). Der durch die größere mikrobielle Aktivität verursachte relativ stärkere Torfschwund drückt sich auch durch zum Teil recht deutliche, visuell wahrnehmbare Höhenunterschiede zwischen den einzelnen Varianten aus (Abb. 4).

Abb. 4 Höhenunterschiede durch unterschiedlichen Torfschwund nach mehrjähriger Ackernutzung bei unterschiedlichen Bearbeitungstiefen
Dt. Sandmischkultur - Königsmoor - FV 57 - 1977



In Zeiten mit häufigen Niederschlägen fließt das Oberflächenwasser in die Senken ab und bildet dort mehr oder weniger große "Seen" (Abb. 5).

Abb. 5 Oberflächenvernässung einer Sandmischkultur mit unterschiedlichen Bearbeitungstiefen infolge Sackung und Setzung



Feinste Bodenteilchen (organisch) und Nährstoffe werden daher von den höher gelegenen in die tieferen Stellen abgespült. Die Winter-
saat leidet unter Luftmangel und Ertragseinbußen sind die Folge.
Aufhalten läßt sich dieser Vorgang nur sehr schwer, da bei einer
regelmäßigen Bearbeitungstiefe von 45 cm weiterhin relativ fri-
sche Torfsubstanzen aus dem Unterboden mit eingepflügt werden.
In derart auffallender Form treten diese Erscheinungen jedoch nur
auf dem genannten Versuchsfeld auf, wo sich unterschiedliche Be-
arbeitungsformen und -tiefen auf engstem Raum abwechseln. Um bei
weiterem Fortschreiten der hohen Torfabbaurrate und den damit ver-
bundenen Nachteilen das Versuchsziel - Krumenvertiefung auf

Sandmischkultur - nicht in Frage stellen zu müssen, sollte die Bearbeitungstiefe der beiden 45 cm tief bearbeiteten Varianten für einige Jahre auf 20 - 30 cm beschränkt werden.

Die Humusgehalte des besandeten Hochmoores und der Fehnkultur unterliegen in den untersuchten Jahren kaum einer Veränderung.

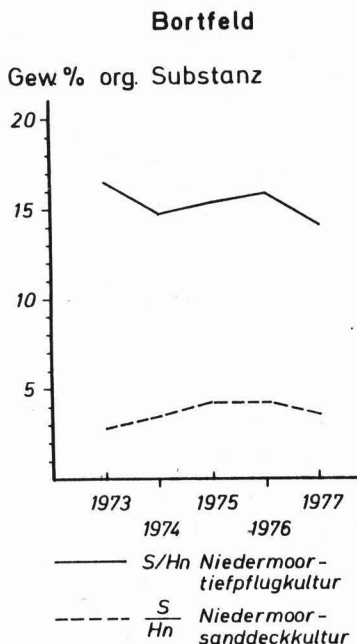
Die ungleichmäßig mächtige Sandauflage und eine Bearbeitungstiefe über die Sanddecke hinaus sind hier die Ursachen für einen zwischen 12,0 und 14,0 Gew.% schwankenden Gehalt an organischer Substanz der Fläche Overlahe.

Die Fehnkultur in Königsmoor weist nach 40jähriger Ackernutzung einen konstanten Humusgehalt von 5,5 - 6,0 Gew.% auf.

Die Niedermoorschwarzkultur ist mit einem durchschnittlichen Gehalt an organischer Substanz von 28 - 29 Gew.% laut Definition nur als Anmoor anzusprechen. Aufgrund der Nähe zum Moor und den damit verbundenen sichtbaren Nachteilen wird die Bezeichnung Niedermoor für diese Fläche dennoch aufrechterhalten.

Die beiden Niedermoortiefpflugkulturen in Bortfeld zeigen ein sehr unterschiedliches Verhalten (Abb. 6).

Abb. 6 Entwicklung der mittleren Gehalte an organischer Substanz (Gew.%) verschiedener Niedermooortiefpflugkulturen
Bortfeld - FV 9 - 1973 - 1977



Während der Humusgehalt der Sandmischkultur auf Niedermoor auch nach 5 Jahren kaum eine Verminderung zeigt, ist bei der Tiefpflug-Sanddeckkultur ein sehr langsames Anwachsen des Humusgehaltes zu verzeichnen. Dieser Zuwachs dürfte nur zum Teil auf organische Düngung und auf die Umsetzung rezenter Pflanzenteile zurückzuführen sein, da sich ein - vom Landwirt gewünschtes - Anpflügen des Niedermooortorfes aus dem Untergrund wohl nicht vollständig vermeiden läßt.

Es drängt sich nun die Frage auf, welcher Gehalt an organischer Substanz im Zusammenhang mit anderen ertragsbeeinflussenden Faktoren als für Sandmischkulturen optimal angesehen werden kann.

Dies ist besonders auch deshalb von Interesse, weil sich bei einem Vergleich der Erträge von humusreicheren Sandmischkulturen mit denen von humusärmeren die Ertragsunterschiede nicht gleichgerichtet verhielten.

Für das Jahr 1973 (155 mm Niederschlag in der Vegetationsperiode) betrug beispielsweise die Korrelation zwischen organischer Substanz und Roggenertrag $r = -0,63^{**}$, während diese Beziehung für 1976 (113 mm Niederschlag) ebenfalls bei Roggen nur bei $r = -0,1$ lag.

In nassen Jahren scheint sich daher ein zu hoher Gehalt an organischer Substanz auf eine Winterung negativer auszuwirken als in trockenen Jahren.

Für Sommergetreide dagegen ergeben sich genau entgegengesetzte Beziehungen. Sowohl 1974 (128 mm Niederschlag) der Haferertrag ($r = 0,48^*$) als auch 1975 (140 mm Niederschlag) Sommer-Gerste ($r = 0,49^*$) wurden durch höhere Humusgehalte in ihrer Ertragsausbildung positiv beeinflusst, wobei 1975 das regenreichere Frühjahr noch einen längerwirkenden Effekt gezeigt haben kann.

Solange die organische Substanz noch nicht genügend stabilisiert und mit der Mineralkomponente vernetzt ist, besteht akute Winderosionsgefahr bzw. die Möglichkeit der mechanischen Trennung von Torf und Sand. Nicht zuletzt deshalb verlangen niederländische Forscher einen höheren "Humusgehalt".

Beispiel Winderosion Frühjahr 1976 in Königsmoor:

- | | | | |
|---|--------|----------------|---|
| - alte Fehnkultur (keine Winderosion) | 5 - 6% | organ.Substanz | |
| - jüngere Sandmischkultur (Winderosion) | 4 - 5% | " | " |
| - jüngere Sandmischkultur (keine Winderosion) | 13,1% | " | " |

Bei jüngeren Sandmischkulturen kann es daher durchaus ein Vorteil sein, wenn sie einen höheren Gehalt an organischer Substanz besitzen, da humusreichere Krumen langsamer abtrocknen und die leichten Bestandteile der organischen Substanz nicht so schnell mit dem Wind verlagert werden können.

Wie SCHEFFER und HIDDING (1977) zeigen konnten, nimmt mit dem Alter der Sandmischkultur auch der Anteil der spezifisch schwereren Bestandteile in der Krume zu - es bilden sich also Sand-Humus-Komplexe von größerem Durchmesser, die sich einer Winderosion widersetzen können. Aus auch diesem Grund erscheint die Empfehlung, in der Krume älterer Sandmischkulturen einen Humusgehalt von 6 - 8 Gew.% anzustreben, berechtigt.

Die Winderosion kann in der "puffigen" Krume bei Niedermoor-Schwarzkulturen, wie Erfahrungen aus dem Großen Bruch zeigen, zu beträchtlichem Bodenabtrag führen. Daher wird versucht, durch Windschutzpflanzungen und durch Einsatz synthetischer Bodenfestiger diesem Problem entgegenzuwirken.

Ebenso besteht bei noch nicht genügender Vernetzung der organischen mit der mineralischen Komponente die Gefahr der mechanischen Trennung durch das Niederschlagswasser, die, wie bereits gezeigt werden konnte, bei unebener Geländeoberfläche besonders nachteilig in Erscheinung tritt.

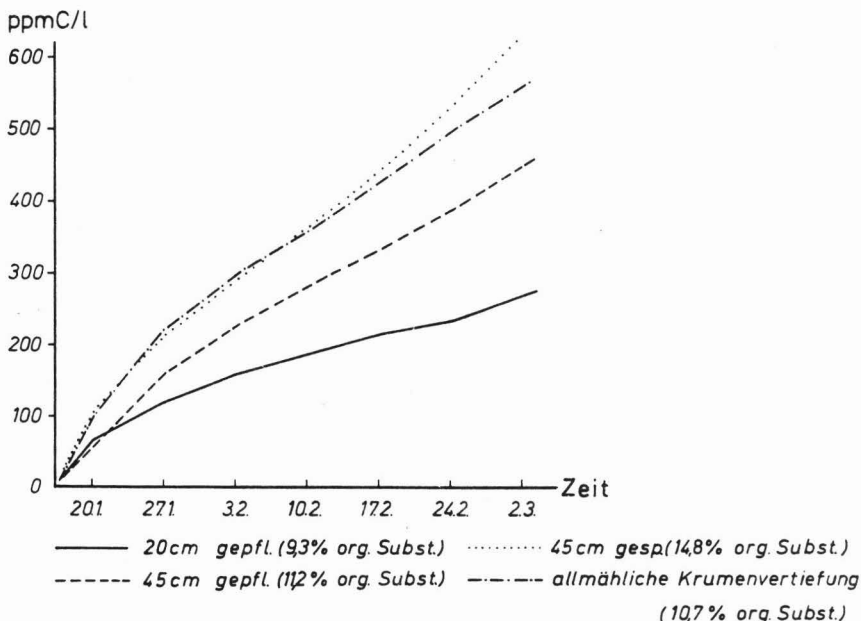
3.2.3 CO₂-Freisetzung

Die Bodenatmung (Aufnahme von O₂, Abgabe von CO₂) ist ein Ausdruck für die mikrobielle Aktivität und dient als Maß für die Umsetzungen der organischen Bodensubstanz (ISERMEYER 1952).

Anthropogene Moorkulturen streben aufgrund zahlreicher Einflüsse hinsichtlich ihres Humusgehaltes einem neuen dynamischen Gleichgewicht zu, was eine vermehrte Mineralisation organischer Substanz zur Folge hat.

Um Fragen der Humusstabilität bzw. Humusdynamik von Sandmisch- und Sanddeckkulturen näher charakterisieren zu können, wurden Bebrütungsversuche nach ISERMEYER über einen Zeitraum von sechs Wochen durchgeführt. Die Ergebnisse für die Hochmoorböden sind in Abb. 7 und 8, die für die Tiefkulturen auf Niedermoor in Abb. 9 dargestellt.

Abb. 7 CO₂-Freisetzung (ppm C/l) nach ISERMEYER
Dt. Sandmischkultur - Königsmoor - FV 57 - 1975



Für die Sandmischkultur in Königsmoor (Abb. 7) zeigte sich nach einem für die einzelnen Varianten unterschiedlich starken Anstieg der CO_2 -Entbindung zu Beginn zunächst ein Nachlassen in der Aktivität bei allen Varianten. Erst gegen Ende des Versuchszeitraumes ist - besonders bei den beiden tief bearbeiteten Varianten (3 und 4) mit relativ frisch eingearbeiteten Torfen - wieder ein stärkerer Anstieg der CO_2 -Entbindung zu verzeichnen. Deutlich wird auf Abb. 7 sichtbar, daß die Varianten mit einem höheren "Humusgehalt" auch insgesamt die mikrobiell aktiveren sind, was auf eine schnellere Zersetzung noch leichter abbaufähiger Substanzen schließen läßt (siehe 3.2.2).

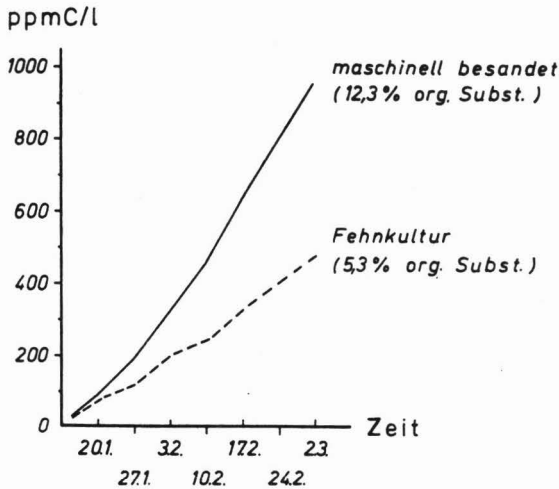
Da auf solchen Böden jedoch die relativ geringeren Erträge erzielt werden, kann eine mikrobielle Stickstoffsperre infolge Torfumsetzung unterstellt werden.

Die Menge des nach sechs Wochen Bebrütungsdauer freigesetzten CO_2 liegt für die Fehnkultur in Königsmoor (Abb. 8) zwischen derjenigen der Variante 2 und 3 der Sandmischkultur und damit deutlich höher als die im Humusgehalt vergleichbare 20 cm gepflügte Variante der Sandmischkultur.

Die Ursachen hierfür dürften weniger in den anhaltenden Zersetzungsprozessen bodenbürtiger organischer Substanz zu suchen sein, als vielmehr in der intensiven Bearbeitung mit reichlich organischer Düngung.

Ähnliche Gründe sind es auch, die zu der aus dem Rahmen fallenden hohen CO_2 -Freisetzung des maschinell besandeten Hochmoores führen (Abb. 8).

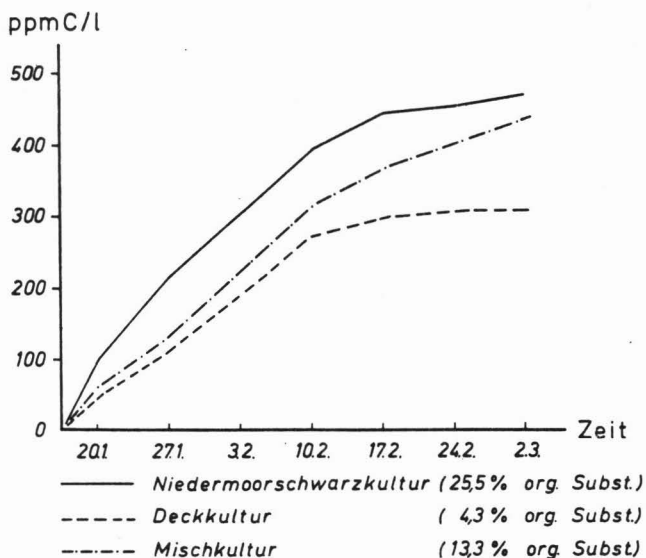
Abb. 8 CO_2 -Freisetzung (ppm C/l) nach ISERMEYER besandetes
Hochmoor - Overlahe - FV 24 - 1975
Fehnkultur - Königsmoor - 1975



Diese Fläche gehört zu einem leistungsstarken Schweinezuchtbetrieb und wird daher jedes Jahr reichlich mit Gülle gedüngt. Hinzu kommt eine gute Mineraldüngung (siehe 3.2.1) und eine Bearbeitungstiefe über die Sanddecke hinaus, so daß auch hier regelmäßig frische Torfsubstanzen mit aufgefällt werden (12,3% organ. Substanz). Hohe Bodenatmungswerte für die Sandmischkulturen fanden auch FRERCKS und PUFFE in Lysimeterversuchen nach der Methode LUNDGARDH (1957). Sie führen die intensiven Zersetzungs Vorgänge dieser Böden auf gegenüber Moorböden günstigere Feuchtigkeits- und Durchlüftungsverhältnisse und auf eine schnellere Erwärmung der Oberflächenschichten zurück. Ebenso sind auch für MÜLLER und RAUHE (1959) der verbesserte Luft-, Wasser- und Nährstoffhaushalt durch Tiefkultur meliorierter leichter Böden in erster Linie für die positive Beeinflussung des mikrobiellen Geschehens verantwortlich zu machen. FRANZ (1976) bestätigt dies auch an Graulehm-Pseudogleyen nach Tieflockerung.

Die CO_2 -Freisetzung aus den Niedermoorböden verhält sich umgekehrt (Abb. 9).

Abb. 9 CO_2 -Freisetzung (ppm C/l) nach ISERMEYER verschiedener Niedermoor-kulturen - Bortfeld - FV 9 - 1975



Bei allen drei Varianten ist ein langsamerer Anstieg bis zu einem, in seiner Höhe allerdings sehr unterschiedlichen Maximum zu registrieren. Ist dieser Punkt jedoch erreicht, dann fallen diese Böden in ihrer mikrobiellen Aktivität ab. Die Varianten 1 (Niedermoorschwarzkultur) und 3 (Mischkultur) scheinen sich bei einer niedrigen, nahe beieinander liegenden Freisetzungsrates, einzupendeln, während die Sanddeckkultur (Variante 2) nach sechs Wochen Versuchsdauer keinerlei Aktivitäten mehr aufweist. Somit ist keine deutliche Veränderung der CO_2 -Entbindungssumme bei der Sandmischkultur gegenüber der Schwarzkultur nachzuweisen.

Da bei Anlage der Tiefpflugsanddeckkultur auf eine Einmischung des nährstoffreichen Niedermoororfes in die Krume bewußt verzichtet wurde, ist die verminderte Aktivität dieser Variante nicht überraschend. Insgesamt fällt auf, daß selbst die ältere Niedermoor-schwarzkultur unter sonst gleichen Bedingungen eine geringere "Humusdynamik" zu erkennen gibt als die jüngere Hochmoor-sandmischkultur. Denkbar ist, daß die andersartigen Niedermoor-torfe diese abnehmende CO_2 -Freisetzung verursachen können.

Die geringere Bodenatmung auf Niedermooeren wird auch nach oben erwähnten Untersuchungen von FRERCKS und PUFFE (1957) bestätigt.

Neuere Untersuchungen von MUNDEL (1976) zeigen ähnliche Ergebnisse. Bei einem Vergleich der Bodenatmung von Sandmisch- und Sanddeckkulturen auf Niedermoor wiederholen sich bei MUNDEL (1976) die für den Versuchsstandort Bortfeld getroffenen Aussagen:

- keine Verminderung der Torfmineralisation durch Niedermoor-Sandmischkultur,
- eine um $1/3$ geringere Torfmineralisation der Tiefpflug-Sanddeckkultur.

3.2.4 Stickstoff-Fraktionierung

Pflanzenverfügbare Stickstoff liegt im Boden in mineralischer Form vor (NO_3^- und NH_4^+). Der größere Anteil des Gesamt-Stickstoffs im Boden ist jedoch organisch gebunden (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 1976). Organische Böden besitzen nur einen sehr geringen Anteil an mineralischem Stickstoff (im Mittel der untersuchten Böden ca. 2,0 mg $\text{NO}_3\text{-N}/100\text{ g}$ Boden und ca. 2,6 mg $\text{NH}_4\text{-N}/100\text{ g}$ Boden). Ein weitaus größerer Teil des von der Pflanze aufgenommenen Stickstoffs muß daher in der Vegetationsperiode aus organischen Bindungen mineralisiert werden.

Mit der Stickstoff-Fraktionierung der untersuchten Böden soll über die Bestimmung der Menge des organisch gebundenen Stickstoffs in erster Linie die Frage beantwortet werden, inwieweit und in welcher Form im Zuge der Alterung anthropogener Mischkulturen die Ab- und Umbauprozesse der organischen Substanz verlaufen.

Für den Niedermoorstandort Bortfeld soll untersucht werden, ob durch Anlage einer Sanddeckkultur die hohe Stickstoffmineralisierung aus den Torfen gebremst werden kann.

Erste orientierende Untersuchungen nach der Methode BREMNER, wie sie bei FLEIGE (1971) bzw. BAUM (1975) beschrieben wird (siehe 3.1.2.1), werden aufgrund zu niedriger α -Amino-N-Gehalte, erhöhter Amid-N-Gehalte und vor allen Dingen wegen unrealistisch hoher, unbestimmbarer Rest-N-Gehalte im Hydrolysat nach längerer Diskussion nicht in die Interpretation mit einbezogen. Die nach dieser Methode ermittelten Werte werden in Tabelle 7 vorgestellt.

Tabelle 7 N-Fractionen verschiedener Moorkulturen
(nach der Methode BREMNER)
in mg N/1 g organische Substanz

N-Frak- tionen	Sandmischkultur						Niedermoor-		
	20 cm gepfl.	45 cm gepfl.	45 cm gesp.	allm. Krum. vert.	besand. Hoch- moor	Fehn- kul- tur	Schw. kult.	Tiefpflug- Sand- deck- kult.	Sand- misch- kult.
hydr.N	13,2	12,9	13,8	15,0	15,3	20,2	28,6	23,5	27,9
n.hy.N	7,4	7,8	9,6	7,4	3,2	11,9	13,4	9,0	12,2
Amid-N	3,2	3,3	3,5	4,1	3,9	4,7	8,6	6,9	8,1
α -Amino- no-N	2,1	1,9	2,8	3,1	4,3	7,2	7,6	5,8	7,8
Amino- Z.	1,1	0,9	0,9	0,9	0,8	1,5	1,2	2,0	1,1
Rest-N i.Hydr.	6,8	6,8	6,6	6,9	6,3	6,8	11,2	8,8	10,9

Nach erneuter Hydrolyse wurde deshalb im Institut für Bodenkunde in Göttingen die N-Fraktionierung mit einem Aminosäuren-Analysator durchgeführt.¹⁾

In Sandböden liegt nur ein äußerst geringer Tonanteil vor, so daß hier auf die Bestimmung des fixierten Ammoniums (NH_4f) verzichtet wurde (SCHACHTSCHABEL 1961).

Abweichend von der in der Literatur üblichen Benennung ($\mu\text{g N/1 g Boden}$) wurde der Stickstoffanteil der einzelnen Fraktionen in Moorkulturböden auf die organische Substanz bezogen ($\text{mg N/1 g organischer Substanz}$), da auf diese Weise einmal mögliche Streuungen durch den mineralischen Anteil gemildert werden können und zum anderen, weil die Stickstoffversorgung dieser stark humosen Böden eine Funktion ihres Gehaltes an organischer Substanz ist.

1) Herrn Dr. R. ALDAG sei an dieser Stelle für die freundliche Hilfe besonders gedankt.

Die Bezeichnung der Fraktionen erfolgt nach ALDAG (siehe 3.1.2.1), dabei bedeuten:

- N_t - Gesamt-Stickstoff
- AD_e - echter Amid-N
- AD_p - Pseudo-Amid-N
- AS - Gesamt-Aminosäuren-N
- AZ - Aminozyucker-N
- RNHY - Rest-N
- ΣN_{HY} - Summe des hydrolysierbaren Stickstoffs
- HZ_{nhy} - nicht hydrolysierbarer, heterozyklisch organisch gebundener Stickstoff.

Zum Vergleich mit anderen Untersuchungsergebnissen sind die organisch gebundenen Stickstoffformen ($\mu g N/1 g$ Boden) der untersuchten Moorkulturen anderen Böden in Tab. 8 gegenübergestellt worden.

Tabelle 8 Organisch gebundene N-Formen ($\mu g N/1 g$ Boden) in den A_p -Horizonten verschiedener Böden * ALDAG 1975
** ALDAG 1977b

N-Frak- tionen	Sandm. Königsmoor 20 cm	Fehn- kult.	Sandboden		Para- braun- erde Rosdorf *	Niedermoor	
			Döhren **	Fuhr- berg *		Sand- deck- kultur Bortfeld	Sand- misch- kultur
AD_e	39	39	40	40	31	30	135
AD_p	155	152	230	226	159	193	543
AS	560	492	518	515	554	358	1476
AZ	51	42	51	51	25	26	119
RNHY	236	302	241	247	301	201	1402
ΣN_{Hy}	1053	1075	1085	1091	1131	845	3710
HZ_{nhy}	503	620	185	179	139	340	1690
N_t	1556	1695	1270	1270	1068	1185	5400

Aus der Tab. 8 lassen sich sehr gut vergleichbare Werte für die beiden Hochmoorkulturen aus Königsmoor und die Sandböden ablesen (Spalte 1-4). Sie unterscheiden sich nur in ihrem höherem Gesamt-Stickstoffgehalt und dem Gehalt an nicht hydrolysierbarem, heterozyklisch organisch gebundenen Stickstoff voneinander. Dies dürfte jedoch in erster Linie auf den höheren Gehalt an humifizierter organischer Substanz zurückzuführen sein.

Ebenso zeigen auch die Parabraunerde und die Niedermoortiefpflug-sanddeckkultur vergleichbare Ergebnisse. Es fällt dabei auf, daß hydrolysierbarer und nicht hydrolysierbarer Stickstoff bei der humusarmen, biologisch nicht sehr aktiven Sanddeckkultur genau entgegengesetzt verteilt sind. Daraus resultieren auch die höheren Aminosäuregehalte bei der Parabraunerde.

Die Ergebnisse der zweiten Hydrolyse zur Stickstofffraktionierung verschiedener Hochmoorkulturen sind in Abb. 10 dargestellt. Auf der Abszisse wurden die Standorte etwa entsprechend ihrer Alterung von links nach rechts aufgetragen.

Es fällt zunächst auf, daß mit längerer Nutzungsdauer der an die organische Substanz gebundene Stickstoff (N_t) deutlich ansteigt von 5 mg N/1 g organische Substanz in den Ausgangstorfen über etwa 18 - 19 mg N in der Sandmischkultur Königsmoor auf 32 mg N in der dortigen älteren Fehnkultur.

Für die höhere Menge des organischen Stickstoffs in der Torfprobe aus Overlahe dürften zwei Gründe verantwortlich sein.

Die Probe wurde am Rand der Fläche aus etwa 40 - 50 cm Tiefe entnommen. Es handelt sich dabei um die nach der Abtorfung wieder ausgebreitete Bunkerde. Außerdem ist die sehr intensive Bewirtschaftungsweise sicherlich nicht ohne Einfluß auf den Nährstoffgehalt dieses Torfes geblieben. Unterstützt wird diese Vermutung zudem durch den mit 16 mg N gegenüber 11,6 mg N im Torf nicht sehr viel höheren Gesamt-N-Gehalt der besandeten Fläche.

Zur besseren Interpretation der Ergebnisse sind zusätzlich die prozentualen Anteile der einzelnen Fraktionen am Gesamt-Stickstoffgehalt in Tab. 9 aufgeführt.

Abb. 10: N-Fractionen ($Hh, S/Hh, \frac{S}{Hh}$)

mgN/g org. Substanz

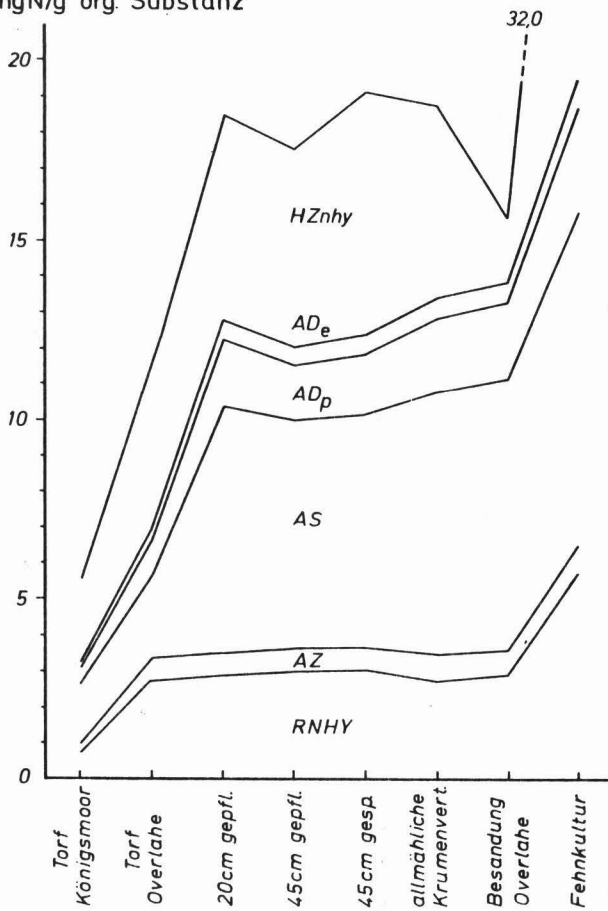


Tabelle 9 Anteile der N-Fractionen in % von N_t für verschiedene Hochmoorkulturen

	V a r i a n t e n							
	Torf Königs- moor	Torf Over- lahe	20 cm gepf.	45 cm gepf.	45 cm gesp.	allm. Krum- vert.	besand. Hoch- moor	Fehn- kul- tur
AD _e	1,8	1,5	2,5	2,5	2,6	2,7	3,4	2,3
AD _p	7,2	8,0	10,5	8,5	8,3	9,8	13,0	9,0
AS	30,2	20,1	36,8	35,8	33,6	37,7	46,7	29,0
AZ	3,3	5,1	3,3	3,3	3,2	3,4	4,8	2,5
RNHY	12,8	23,6	15,5	17,2	15,9	13,7	18,1	17,9
Σ N HY	57,0	59,7	68,8	69,0	65,1	72,4	87,5	63,4
HZ nhy	43,0	40,3	31,2	31,0	34,9	27,6	12,5	36,6

Der Gehalt des heterozyklisch organisch gebundenen, nicht hydrolysierbaren Stickstoffs (HZ nhy) ist bei der Sandmischkultur Königsmoor mit 5,5 - 6,5 mg N (entsprechend 31 - 35% von N_t) bei allen Varianten ziemlich gleichmäßig verteilt. Die Unterschiede zwischen den Varianten sind so gering, daß sie sich einer weiteren Interpretation entziehen.

Es zeigt sich bereits hier, daß durch Kultivierung und Nutzung eines Moores HZ nhy abnimmt, Σ N HY dagegen deutlich zunimmt.

Erstaunlich ist der sehr niedrige Anteil der HZ nhy-Fraktion bei dem besandeten Hochmoor in Overlahe (12,5% von N_t). Ein vermutter Zusammenhang mit der hohen biologischen Aktivität dieser Fläche wird noch später zu diskutieren sein.

Die große Menge an HZ nhy-Stickstoff der Fehnkultur ist in erster Linie auf den höheren N_t -Gehalt zurückzuführen, außerdem ist diese Fraktion mit 37% von N_t , gegenüber durchschnittlich 31% bei den Sandmischkulturvarianten, stärker vertreten. Eine Zunahme höhermolekularer Stickstoffverbindungen im Verlaufe längerer Nutzung könnte als Ursache für die Zunahme des heterozyklisch gebundenen Stickstoffs angesehen werden.

Der Stickstoff aus den Amid- der sauren Aminosäuren Asparaginsäure und Glutaminsäure (AD_e-N) und der in der Stickstofffraktion Pseudo-Amid-N (AD_p-N) zusammengefaßte Stickstoff zeigt in Abhängigkeit von N_t bei allen Mischkulturen - ausgenommen die Hochmoorbesandung Overlahe - eine vergleichbare Verteilung (0,5 - 0,8 mg AD_e-N , 2,5 - 3,5 mg AD_p-N). Wiederum ist der prozentuale Anteil dieser beiden organischen Bindungsformen, aus denen durch enzymatische Hydrolyse ($\hat{=}$ Hydrolyse mit 6N - HCl) NH_4^+ freigesetzt werden kann, bei der besandeten Fläche mit 16% von N_t am höchsten.

Gleichermaßen ist auch der Verlauf der Kurve für den Gesamt-Aminosäuren-Stickstoff (AS-N) zu charakterisieren.

Keinen gesicherten Unterschied zeigen die einzelnen Varianten in Königsmoor (35 - 37% von N_t bzw. 6,5 - 7,3 mg N/1 g organische Substanz). Das gleiche gilt für die Fehnkultur, wenn auch ihr absoluter Anteil noch höher liegt.

Erneut fällt das gekühlte Hochmoor mit 7,5 mg AS-N aus dem Rahmen. Immerhin liegen hier fast 50% des gesamten Stickstoffs als Eiweiß oder in Peptidbindung vor.

Die Aufschlüsselung dieser Fraktion nach den im einzelnen bestimmten Aminosäuren ist in Abb. 11 zusammengestellt.

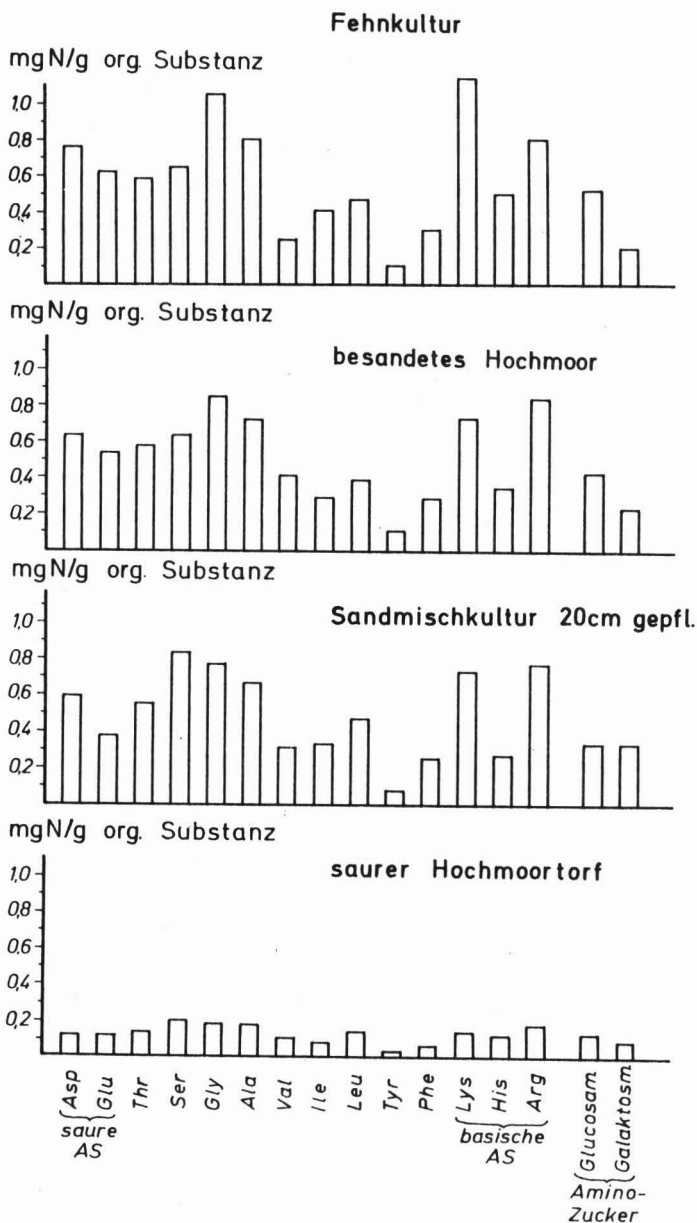
Als Beispiele wurden miteinander verglichen: der saure Hochmoortorf, die flachgepflügte Variante der Sandmischkultur, das besandete Hochmoor und die Fehnkultur in Königsmoor.

Im Hochmoortorf (Abb.11, unteres Diagramm) sind entsprechend den geringen Gesamtstickstoffgehalten nur sehr kleine Mengen der verschiedenen Aminosäuren eingebaut (0,1 - 0,2 mg N/1 g organische Substanz).

Ein charakteristisches Verteilungsmuster ist daher nur sehr schwer zu beschreiben.

Mit der landwirtschaftlichen Nutzung ändert sich das sichtbar. Zunächst ist eine deutliche Zunahme aller analysierten Aminosäuren in der organischen Substanz festzustellen.

Abb. 11: AS Sequenz ($\frac{S}{Hh}, S/Hh, Hh$)



Außerdem tritt das für den Hochmoortorf nur in Ansätzen zu erkennende Spektrum der Aminosäuren bei der Sandmischkultur (Abb. 11, zweites Diagramm von unten) eindeutiger hervor.

Danach ist die größte Zunahme bei den neutralen Aminosäuren Serin, Glycin, Alanin und bei den basischen Aminosäuren Lysin und Arginin zu verzeichnen.

Auch mit zunehmend intensiver (besandetes Hochmoor) bzw. längerer Nutzung (Fehnkultur) ändert sich diese Aminosäuresequenz nur geringfügig (Abb. 11, obere Hälfte).

Lediglich die absolute Menge der einzelnen Aminosäuren in der organischen Substanz nimmt beträchtlich zu.

Der Aminozyucker-Stickstoff (AZ-N) liegt dagegen bei allen landwirtschaftlich genutzten Moorkulturen in gleicher Menge vor (0,6 - 0,7 mg N/1 g organische Substanz $\hat{=}$ 3 - 5% von N_t).

Der Rest-Stickstoff im Hydrolysat (RNHY) ist in den Feldversuchen in Königsmoor wieder sehr gleichmäßig verteilt (2,8 - 3,0 mg N/1 g organische Substanz), was einem Anteil von 8,5 - 10% am Gesamt-Stickstoff entspricht.

In der Krume des besandeten Hochmoores ist zwar die absolute Menge (2,9 mg N) des RNHY mit den anderen vergleichbar, jedoch ist sein Anteil am gesamten Stickstoff mit 18,1% abermals sehr hoch.

In deutlich größerem Ausmaß (5,7 mg N) ist diese Fraktion in der Fehnkultur zu finden. Der Anteil am Gesamt-Stickstoff ist mit 18% für den Rest-Stickstoff im Hydrolysat bei diesem - vergleichsweise ältesten - Boden höher als bei den Sandmischkulturvarianten aus Königsmoor.

ALDAG et al. (1977 a) wiesen nach, daß die beiden Stickstofffraktionen RNHY und HZ nhy miteinander in enger Beziehung stehen, da sie beide heterozyklische Bindungsformen enthalten. Sie unterscheiden sich lediglich durch verschieden feste Verknüpfungen dieser heterozyklischen Verbindungen mit der organischen Substanz.

Die in der gleichen Arbeit festgestellte negative Beziehung zwischen der N-Fraktion HZ nhy und der N-Fraktion RNHY konnte mit den vorliegenden Untersuchungen ebenfalls in Ansätzen bestätigt werden.

Insgesamt läßt sich für die verschiedenen Hochmoorkulturen (mit Ausnahme der besandeten Fläche, siehe unten) mit zunehmender Alterung eine Zunahme des Gesamt-Stickstoffgehaltes in der organischen Substanz nachweisen.

Mit diesem Stickstoffzuwachs ist auch ein absoluter Anstieg der einzelnen Fraktionen verbunden.

Aus ihrem prozentualen Anteil am Gesamt-Stickstoff ist jedoch ein deutlicher Unterschied in ihrer Unterteilung bei den landwirtschaftlich genutzten Mischkulturen zu bestimmen (siehe Tab. 9).

Der ΣN_{HY} steigt von 68,8% auf 72,0% von N_t bei den unterschiedlich bearbeiteten Sandmischkulturen, nimmt aber mit längerer Nutzungsdauer wieder ab (63,4%). Entsprechend steigt die HZ nhy-Fraktion mit zunehmendem Alter.

Die Umverteilung des hydrolysierbaren Stickstoffs in höher molekulare, nicht hydrolysierbare Bindungsformen geht vor allem zu Lasten des Aminosäurenstickstoffs. Ein geringfügiger Anstieg ist auch für den RNHY-Anteil festzustellen.

Damit dürfte der Nachweis erbracht sein, daß bei älteren Sandmischkulturen infolge der Humifizierung der organischen Substanz der Stickstoff-Pool im Boden (mit den mikrobiell leichter zugänglichen Fraktionen) geringer wird, und sich damit Werten nähert, die ALDAG (1977 b) für die Stickstofffraktionen von Huminsäuren fand.

Nimmt aber gleichzeitig der Stickstoffgehalt der organischen Substanz insgesamt zu, so dürfte dieser nachteilige Umverteilungsprozeß wieder ausgeglichen werden.

Das besandete Hochmoor muß aufgrund seiner andersartigen Aufgliederung der Stickstofffraktionen von dieser allgemeinen Betrachtung ausgeschlossen werden.

Eine Erklärung dafür muß in der schon mehrfach angesprochenen sehr intensiven Bewirtschaftungsweise dieser Fläche gesucht werden. Es ist denkbar, daß durch die großen Mengen an Gülle, die seit mehreren Jahren auf diese Fläche regelmäßig ausgebracht werden, sich die Mikroorganismenpopulation verändert hat und somit auch der auffallend geringe Anteil an heterozyklisch gebundenem Stickstoff erklärt werden kann.

Aus der außerordentlich hohen biologischen Aktivität (siehe 3.2.3) und dem sehr großen Aminosäurenanteil (Mikroorganismen-Eiweiß) kann zudem geschlossen werden, daß in diesem Boden recht stürmische Ab- und Umbauprozesse ablaufen.

Die Stickstofffraktionen der Niedermoorkulturen sind in Abb. 12 dargestellt.

Der Gesamt-Stickstoffgehalt in der organischen Substanz liegt bei allen Varianten in ähnlicher Größenordnung vor ($\sim 3\%$ von $N_t/1$ g organischer Substanz).

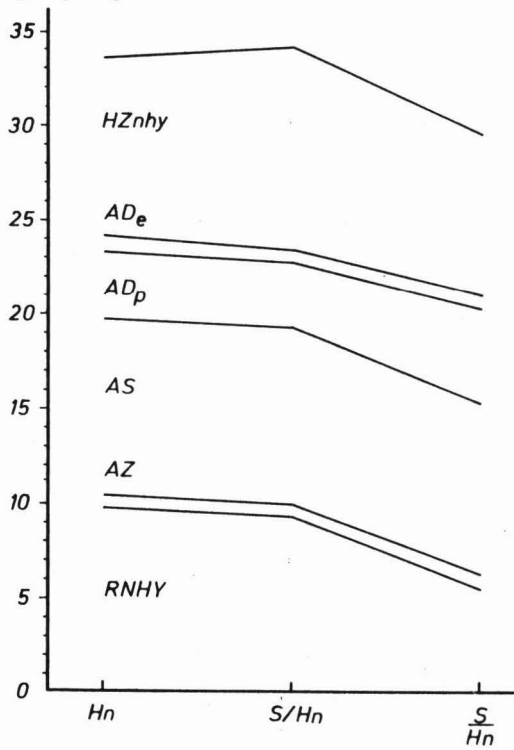
Durch den nahezu parallelen Verlauf der Kurven der einzelnen Fraktionen ist angedeutet, daß es sich bei der bisherigen Bearbeitung dieses Standortes nicht hat vermeiden lassen, Niedermoor- und Sandtorf aus dem Untergrund mit in die Krume der Sanddeckkultur einzupflügen, da die Stickstoffformen der organischen Substanz dieser Variante das gleiche Verteilungsmuster aufweisen wie die Sandmisch- und die Schwarzkultur.

Ein Aufbau eigener organischer Substanz aus rezentem Pflanzenmaterial und organischer Düngung scheint in diesem Boden noch nicht vorzuliegen.

Es fällt lediglich der geringe Gehalt an Rest-Stickstoff auf; diese Tatsache kann als weiterer Beweis für den geringen Humifizierungsgrad und die biologische Inaktivität dieser Mineralbodenbedecke gelten.

Da der Stickstoffgehalt der organischen Substanz der Niedermoor- und Sandtorfkulturen ähnlich hohe Werte erreicht wie der der Fehnkultur, sind, um mögliche Unterschiede der Ausgangstorfe miteinander ver-

Abb. 12: N-Fractionen ($H_n, S/H_n, \frac{S}{H_n}$)
mgN/g org. Substanz



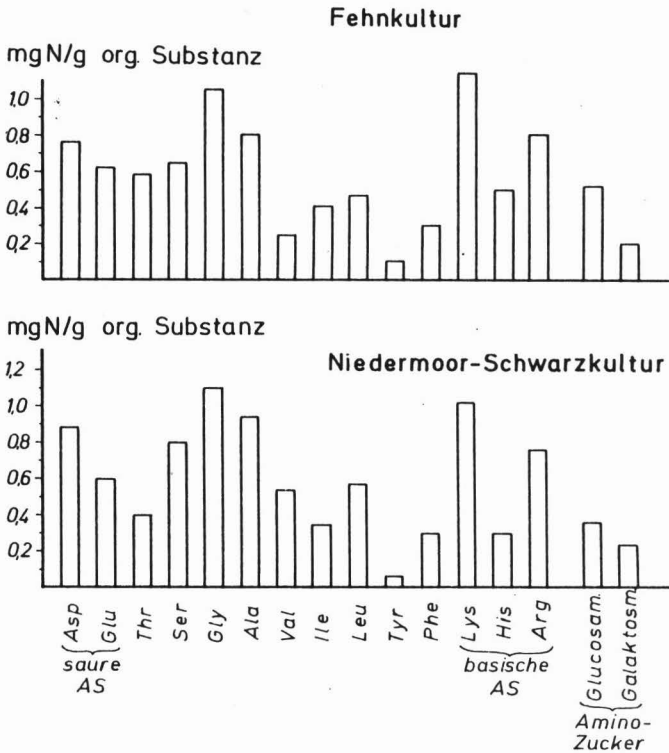
gleichen zu können, die jeweiligen Anteile der gesondert aus dem Hydrolysat bestimmten Aminosäuren in Abb. 13 für diese beiden Moorkulturen einzeln aufgetragen.

Daraus läßt sich eine nahezu identische Verteilung der einzelnen Aminosäuren in der organischen Substanz, sowohl für die Niedermoor-Schwarzkultur als auch für die Fehnkultur, ablesen.

Aufgrund dieses Vergleiches ist eine Veränderung der organischen Substanz mit zunehmender Alterung von Sandmischkulturen angedeutet, sie kann schließlich niedermoorartigen Charakter annehmen.

Damit sind Vor- und Nachteile verbunden. Zunächst speichern diese Böden mit Umbau der Hochmoortorfe zu Huminstoffen viel Stickstoff, der sonst verloren ginge. Mit der Stickstoffbevorratung dürfte ihre "Bodenfruchtbarkeit" gefördert werden. Allerdings ist der dann auch zunehmende Unkrautdruck (nitrophile Pflanzen wie z.B. *Stellaria media*, *Galeopsis tetrahit*, *Urtica dioica*) zu bedenken.

Abb. 13: AS-Sequenz (S/Hh,Hn)



3.3 Physikalische Untersuchungen

Neben der Kenntnis des Nährstoffstatus gehört die Ermittlung bodenphysikalischer Parameter ebenso zur allgemeinen Charakteristik eines Bodens. Dabei sollen in erster Linie Daten des Wasser- und Lufthaushalts ermittelt werden. Dieses ist in besonderem Maße für grundwassernahe, organogene Böden von Wichtigkeit, da die Dynamik des Bodenwassers weitgehend von der organischen Substanz geprägt wird.

3.3.1 Korngrößenverteilung

Die Bestimmung der mineralischen Anteile eines Bodens gehört zu den grundlegenden Untersuchungsmethoden, da durch die Korngrößenzusammensetzung wichtige physikalische und chemische Bodeneigenschaften geprägt werden.

Zahlreiche Untersuchungen bestätigen diesen Sachverhalt auch für Sandmischkulturen (z.B. SEGEBERG 1955, KUNTZE 1968, KUNTZE und DJAKOVIC 1970 und EGGELESMANN 1973, siehe auch 2.2.1).

Die Körnung der Mineralbodenkomponente der untersuchten Hochmoorkulturen besteht im Mittel aus über 95 Gew.% Fein- und Mittelsand und enthält nur sehr geringe Anteile an Schluff und Ton. Als Beispiel sei die Korngrößenverteilung des Sandes aus Königs-
moor angeführt (Tab. 10).

Tabelle 10 Korngrößenverteilung des mineralischen Untergrundes in Königs-
moor
Anteile in Gew.% (EGGELESMANN 1970)

Sand		Schluff		Ton	Bodenart
(2 - 0,2 mm)		(0,06 - 0,002 mm)		0,002 mm	
g-m	f	g	m-f		
43	55	1	0,5	0,5	mS

Diese Einkörnigkeit aus Fein- und Mittelsand ist bei Flußdünen aus Sandern häufig zu finden.

Niedermoore sind aus geologischen Gründen dagegen oft von sehr viel bindigerem (schluffigerem) Material unterlagert (Talsande, Beckentone, Mudden).

Die in Tab. 11 aufgeführte mittlere Korngrößenverteilung in der Krume der Sanddeckkultur (= ehemaliges Unterbodenmaterial) des Versuches Bortfeld ist ein gutes Beispiel dafür.

Tabelle 11 Mittlere Korngrößenverteilung in der Krume einer Niedermoor-Tiefpflugsanddeckkultur in Gew. %
Bortfeld - FV 9 - 1977

gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	Bodenart
4,4	14,6	19,7	6,5	30,7	12,6	11,5	uLS

Insgesamt sind die Fraktionen jedoch nicht gleichmäßig verteilt anzutreffen, sondern sie weisen - analog zu den Feldbeobachtungen - relativ starke Schwankungen auf.

Das Versuchsfeld Bortfeld liegt im Übergangsbereich Geest/Vorlösszone. Deshalb sind hier wechselnde Anteile von Grundmoränenmaterial unterschiedlich mit $\pm$ geringen Lössdecken überweht worden, ehe die Vermoorung einsetzte.

Die Bereiche mit Oberflächenvernässung (siehe 3.3.2) und den unter 3.3.4 beschriebenen Reduktionszonen in der Krume besitzen mit 54% Schluff und 13% Ton einen erkennbar höheren Gehalt an Abschlämbaren als Stellen mit einer besseren Wasserzügigkeit (40% U und 10% T). Die ermittelten Korngrößengruppen zeigen damit eine zum Teil anders gelagerte Verteilung als die vor der Rekultivierungsmaßnahme aus Profiluntersuchungen gefundene (Tab. 12).

Tabelle 12 Bodenmechanische Analyse des mineralischen Untergrundes 55 - 90 cm in Gew. %
Bortfeld - 1969 (KUNTZE 1974)

Kies	gmS	fS	gU	mfU	T
>2	26	25	27	11	9

Der hohe Schluffanteil (besonders mU) bedingt die noch aufzuzeigenden schlechten physikalischen Eigenschaften (Porenraumverteilung, Durchlässigkeit) und die bisher unbefriedigend verlaufende Bodenentwicklung.

3.3.2 Porenraumgliederung

Zwischen dem Anteil des Porenraumvolumens organischer Böden und ihrem Gehalt an Mineralischem besteht ein enger Zusammenhang (SEGEBERG 1955). Mit steigendem Anteil organischer Substanz vermindert sich jedoch die Zunahme an Gesamt-Porenraumvolumen, so daß diese Größe hauptsächlich durch das Verhältnis beider Komponenten zueinander bestimmt wird (BURGHARDT 1977).

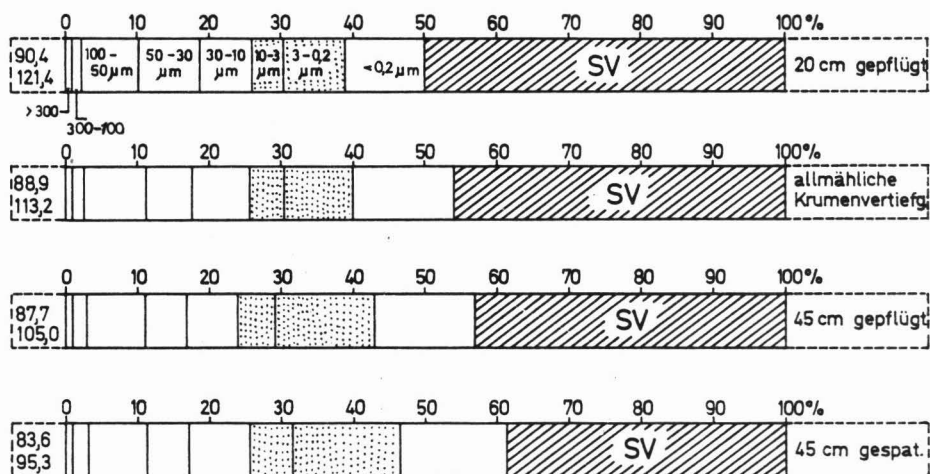
Bei weiterer Aufteilung des Porenvolumens in einzelne Porengrößenklassen bestimmen außerdem noch eine Vielzahl anderer Einflüsse den wechselnden Volumenanteil der jeweiligen Klassen.

Art und Zersetzungsgrad der beteiligten Torfe, Korngrößen des mineralischen Anteils und der Aschegehalt ergeben eine Fülle von Kombinationsmöglichkeiten.

Die Porenraumgliederung der untersuchten Böden verdeutlicht die angesprochenen Beziehungen sehr anschaulich (Abb. 14, 21, 23).

Abb. 14 Porenraumverteilung (10 - 15 cm)

Dt. Sandmischkultur - Königsmoor - FV 57 - 1976



Asche: Gew %

Rohdichte: g/dm³

Für die Sandmischkultur (Abb. 14) ist zunächst mit Zunahme der Bearbeitungstiefe eine Abnahme des Substanzvolumens festzustellen. Dies steht im engen Zusammenhang mit den höheren Gehalten an organischer Substanz.

Die einzelnen Porengrößenklassen zeigen jedoch recht unterschiedliche Verteilungsmuster für die verschiedenen Varianten.

Nahezu gleichbleibend verhält sich der Volumenanteil der schnell dränenden Poren (300 - 50 μm Äquivalentdurchmesser) mit 10 - 11 Vol. %.

Die langsam dränenden Poren (50 - 10 μm) nehmen von der 20 cm gepflügten Variante (16 Vol. %) mit zunehmender Bearbeitungstiefe geringfügig ab (allmähliche Krumenvertiefung : 14,5 Vol. %, 45 cm gepflügt : 12,5 Vol. %). Die gespatete Variante erreicht mit 14,5 Vol. % wieder einen höheren Anteil.

Insgesamt zeigt sich also für die Grobporenanteile ($\hat{=}$ pF 0 - 2,5 $\hat{=}$ 0 - 300 mbar) bei Sandmischkulturen mit zunehmender Krumenvertiefung eine leichte Abnahme dieses Porengrößenbereiches.

Nicht beeinflusst wird er dagegen durch 45 cm tiefes Mischen mit dem Spatenpflug, was auf eine lockere Schichtung durch diese Bearbeitungsmaßnahme schließen läßt.

Während sich bisher aufgrund der noch nicht abgeschlossenen Bodenentwicklung und der weitgehenden Inhomogenität der Mischungskomponenten - besonders bei den tiefer bearbeiteten Varianten - allenfalls Tendenzen aufzeigen lassen, weisen die Mittelporen bereits deutlich interpretierbare Unterschiede auf.

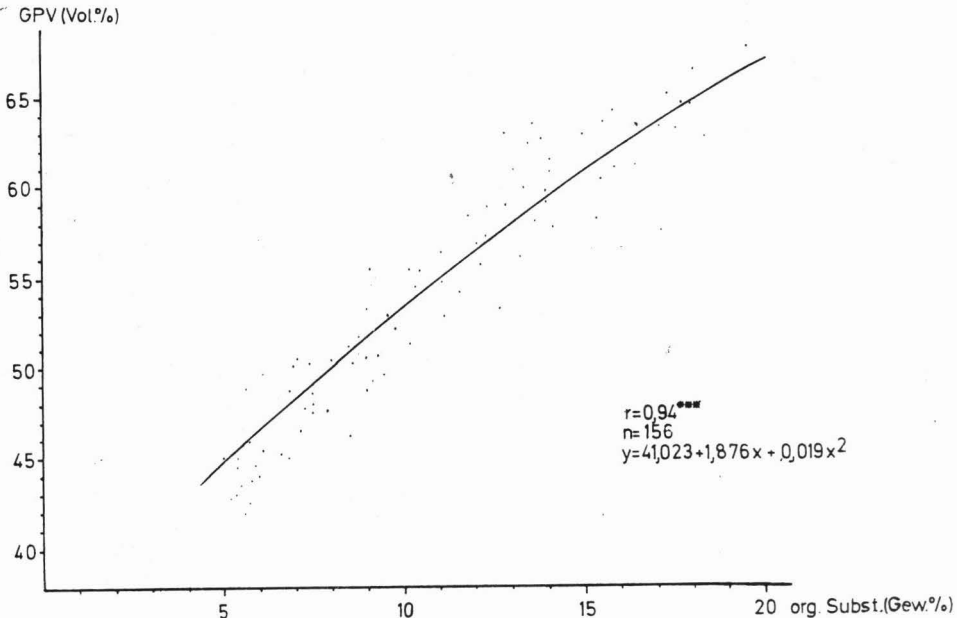
Die Porengrößen, die weitgehend das pflanzenverfügbare Wasser enthalten, nehmen mit zunehmender Pflugtiefe signifikant zu (20 cm gepflügt : 12,5 Vol. %, allmähliche Krumenvertiefung : 14,3 Vol. %, 45 cm gepflügt : 18,8 Vol. %) und erreichen bei der gespateten Variante mit 21 Vol. % ihren höchsten Wert.

Der Totwasseranteil (Poren $\leq$ 0,2 μm) ist wiederum bei der flach gepflügten Variante am niedrigsten (11,5 Vol. %), er erhöht sich mit zunehmendem Gehalt an organischer Substanz, zeigt aber weiterhin keine sichtbare Beeinflussung durch unterschiedliche Bearbeitungstiefen und -formen.

Um die Abhängigkeiten, die zwischen Aschegehalt und Porenvolumen im organogenen Boden bestehen (KUNTZE 1968), zu verdeutlichen, wurden beide Größen miteinander in Beziehung gesetzt. Zunächst wird die gesamte Menge der Stechzylinderproben berücksichtigt, später wird differenziert in die drei Hauptporengrößenklassen (weite Grobporen 300 - 50 μm , enge Grobporen 50 - 10 μm und Mittelporen 10 - 0,2 μm , nach SCHEFFER - SCHACHTSCHABEL 1976) für die gesamte Fläche und innerhalb der Varianten, wobei die beiden Extreme, 20 cm gepflügt und 45 cm gepflügt, miteinander verglichen werden.

Die Beziehung zwischen organischer Substanz und Gesamtporenvolumen ist in Abb. 15 dargestellt. Die bestehende, sehr hoch signifikante Abhängigkeit des Porenvolumens vom Gehalt an organischer Substanz wird auch an diesem Probenmaterial verdeutlicht ($r = 0,94^{***}$).

Abb. 15 Beziehung zwischen Gesamtporenvolumen (GPV Vol.%) und Gehalt an organischer Substanz (Gew.%)
Dt. Sandmischkultur - Königsmoor - FV 57 - 1976
alle Varianten



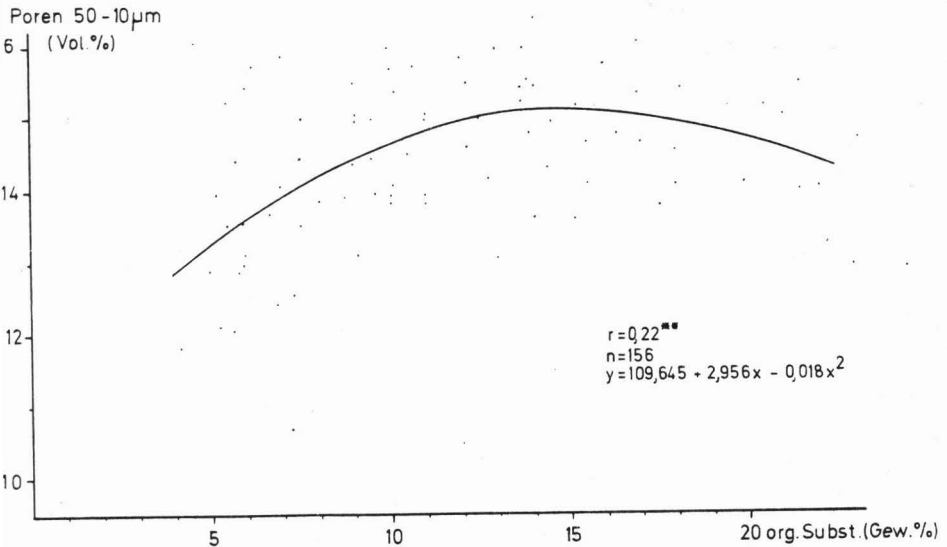
Bei der weiteren Differenzierung in die drei Porengrößenklassen weite Grobporen, enge Grobporen und Mittelporen ergeben sich anders gelagerte, aber ebenso deutliche Abhängigkeiten.

Auf die Darstellung der Beziehung organische Substanz / weite Grobporen wurde an dieser Stelle verzichtet, da sich nur nicht-signifikante Tendenzen aufzeigen lassen - eine Erhöhung der Luftkapazität tritt mit zunehmenden Gehalten an organischer Substanz nur in ganz geringem Maße ein. Immerhin ist die Luftkapazität dieser Böden nach der Kartieranleitung mit "mittel" einzustufen.

Für die engen Grobporen (50 - 10 μm) zeigt sich in Abhängigkeit vom Gehalt an organischer Substanz ein anders gearteter Verlauf der Kurve (Abb. 16).

Abb. 16 Beziehung zwischen Porenanteil 50 - 10 μm (Vol.%) und Gehalt an organischer Substanz (Gew.%)

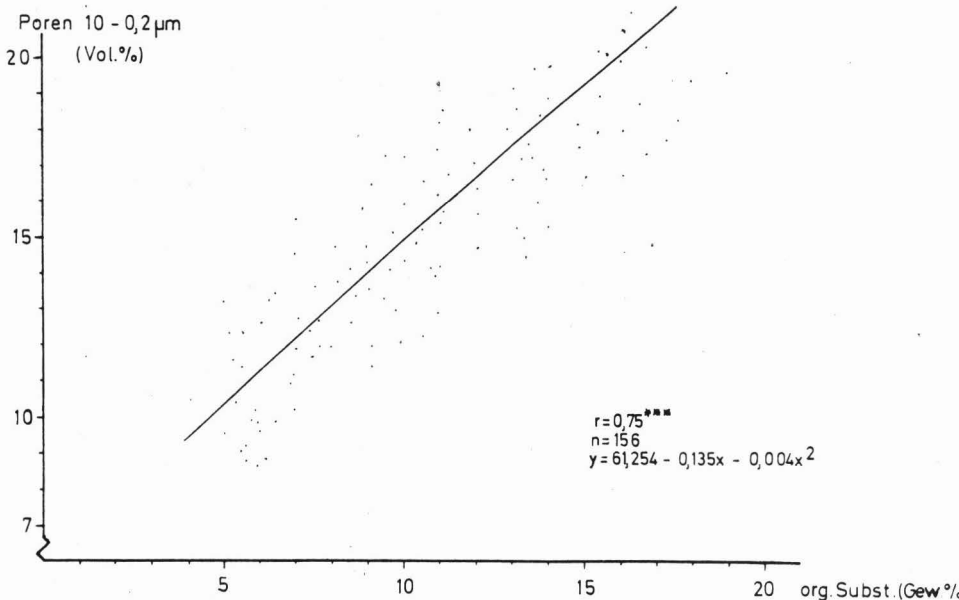
Dt. Sandmischkultur - Königsmoor - FV 57 - 1976
alle Varianten



Bei einem Gehalt an organischer Substanz von ~ 15 Gew.% liegt für diese Porengröße das Maximum. Mit zunehmendem Aschegehalt, aber auch mit zunehmendem Gehalt an organischer Substanz ($\Rightarrow$ anmooriger Bereich) zeigt sich eine signifikante Abnahme des Anteils der bei 60 - 300 mbar entwässerten Poren ($r = 0,22^{**}$).

Sehr viel deutlicher ist wiederum die Zunahme der nächsten Porengrößenklasse (10 - $0,2 \mu\text{m}$) in Relation zum Gehalt an organischer Substanz (Abb. 17).

Abb. 17 Beziehung zwischen Porenanteil 10 - $0,2 \mu\text{m}$ (Vol.%) und Gehalt an organischer Substanz (Gew.%)
Dt. Sandmischkultur - Königsmoor - FV 57 - 1976
alle Varianten



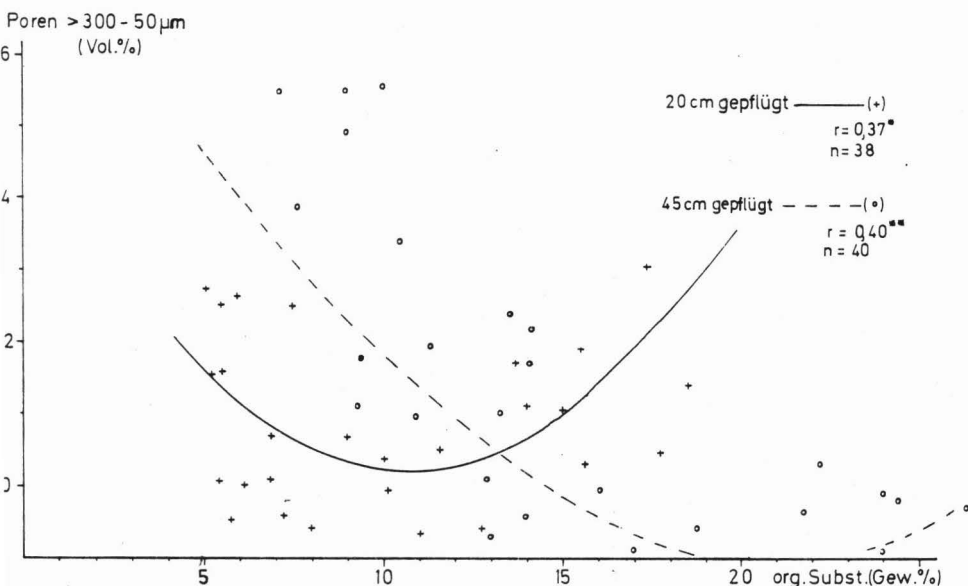
Auch diese Beziehung ist mit $r = 0,75^{***}$ hoch signifikant. Ein geringerer Gehalt an organischer Substanz bedeutet auch gleichzeitig eine Verminderung der der nutzbaren Feldkapazität entsprechenden Porengrößenklassen. Das Verhältnis der Steigerung mit zunehmendem Humusgehalt beträgt etwa 1 : 1 (d.h. 1% Zunahme an organi-

scher Substanz $\hat{=}$ 1% Zunahme an nutzbarer Feldkapazität).

Diese für die Gesamtheit der Sandmischkulturen gezeigten Verhältnisse sollen im folgenden für die beiden Extreme der Sandmischkultur in Königsmoor (für die 20 cm und die 45 cm gepflügte Variante) noch einmal verdeutlicht werden.

Läßt sich für die Gesamtheit aller Stechzylinderproben kein gesicherter Einfluß des Gehaltes an organischer Substanz auf den Anteil der weiten Grobporen ableiten, so wird diese Beziehung beim Vergleich der Varianten untereinander transparenter. Beide Varianten zeigen für die schnell dränenden Poren ein deutliches Minimum in Abhängigkeit vom Humusgehalt (Abb. 18).

Abb. 18 Beziehung zwischen Porenanteil $>300 - 50 \mu\text{m}$ (Vol.%) und Gehalt an organischer Substanz (Gew.%)
Dt. Sandmischkultur - Königsmoor - FV 57 - 1976



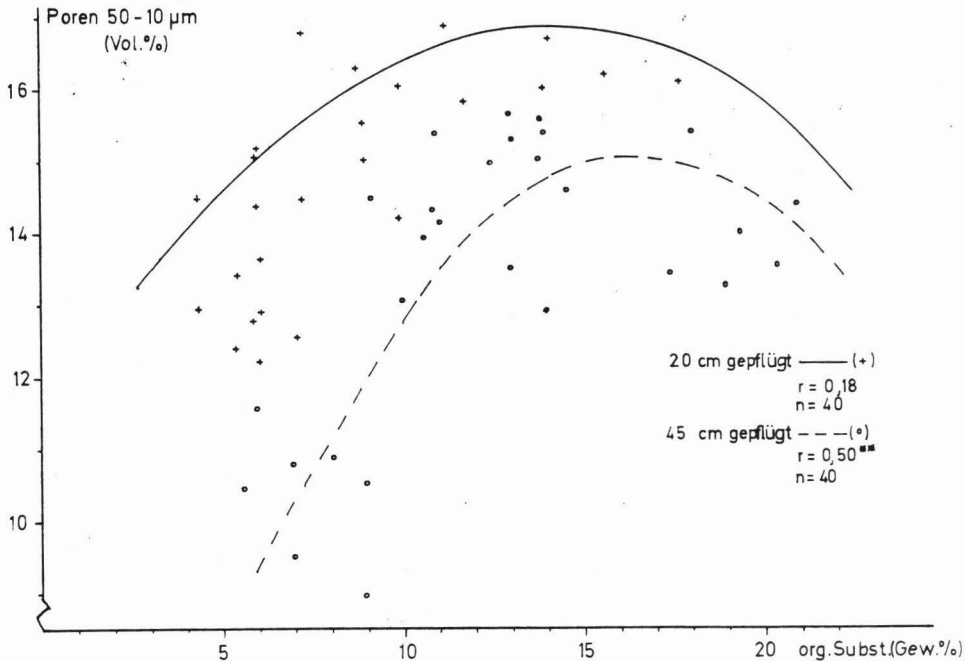
Es liegt für die Variante 20 cm gepflügt bei ca. 10 Gew.% ($r = 0,37^*$), für die Variante 45 cm gepflügt bei ca. 20 Gew.% ($r = 0,40^{**}$).

Bei höheren bzw. niedrigeren Humusgehalten ist dann bei beiden Varianten wieder eine Zunahme des Anteils an schnell dränenden Poren festzustellen.

Die Porengrößen, die den Saugspannungen bei Feldkapazität entsprechen ($50 - 10 \mu\text{m}$) zeigen, bedingt durch zunehmenden Gehalt an organischer Substanz, eine genau entgegengesetzte Verteilung (Abb. 19).

Abb. 19 Beziehung zwischen Porenanteil $50 - 10 \mu\text{m}$ (Vol.%) und Gehalt an organischer Substanz (Gew.%)

Dt. Sandmischkultur - Königsmoor - FV 57 - 1976



Das Maximum liegt für beide Varianten zwischen 10 und 15 Gew.% organischer Substanz. Mit zunehmendem Torfanteil (über 15%), aber ebenso mit zunehmendem Sandanteil (unterhalb 10 bis 15%) in der Krume, ist eine Abnahme des Anteils dieser Poren festzustellen.

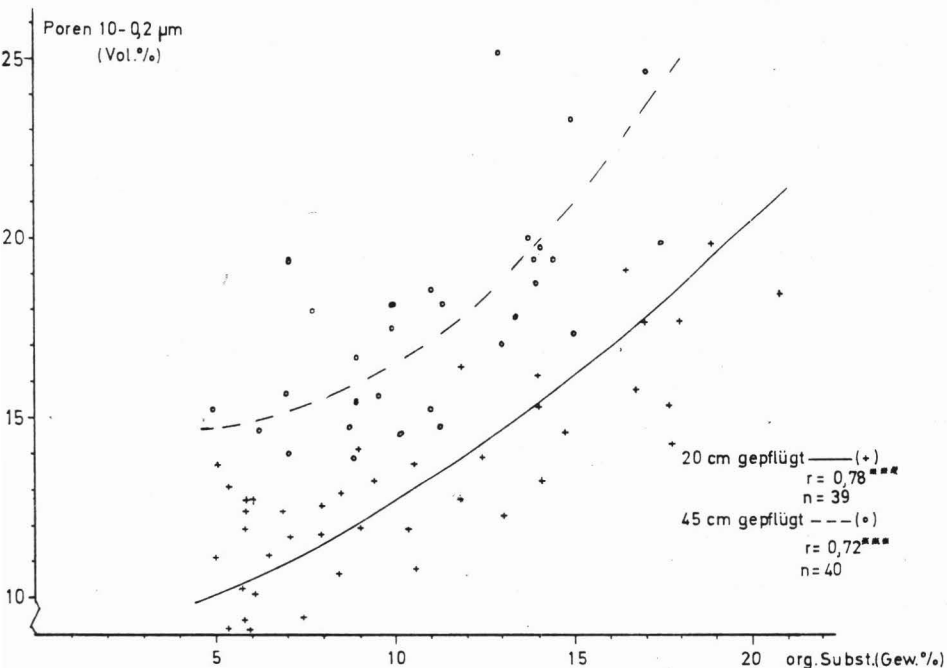
Die Verminderung verläuft bei der 45 cm gepflügten Variante stärker, während die flachgepflügte Variante nur eine relativ geringfügige Abnahme auch bei geringeren Gehalten an organischer Substanz erkennen läßt. Auffallend ist ferner, daß die tiefer bearbeitete Variante einen - insgesamt - niedrigeren Gehalt dieser Porengröße aufweist.

In Abb. 17 wurde bereits auf die hoch signifikante Abhängigkeit der Porengrößen 10 - 0,2 μm vom Gehalt an organischer Substanz hingewiesen.

Aus Abb. 20 ist zu entnehmen, daß diese Beziehung in gleich hohem Maße für die beiden untersuchten Varianten gilt.

Abb. 20 Beziehung zwischen Porenanteil 10 - 0,2 μm (Vol.%) und Gehalt an organischer Substanz (Gew.%)

Dt. Sandmischkultur - Königsmoor - FV 57 - 1976



Hier wurden folgende Korrelationen gefunden:

Für die Variante 20 cm gepflügt $r = 0,78^{***}$, für die Variante 45 cm gepflügt $r = 0,72^{***}$.

Bemerkenswert ist der um 3 - 5 Vol.% höhere absolute Anteil der nutzbaren Feldkapazität bei der 45 cm gepflügten Variante.

Hinsichtlich der Porenraumverteilung für Sandmischkulturen können aus den vorher beschriebenen Ergebnissen verallgemeinernd folgende Gesichtspunkte herausgestellt werden:

- mit steigenden Gehalten an organischer Substanz nehmen die Porengrößen 50 - 10 μm und 10 - 0,2 μm - also die Poren, die den leichter und schwerer pflanzenverfügbaren Wasseranteil enthalten - zu;
- die schnell dränenden Poren ($\hat{=}$ Luftkapazität) zeigen dagegen mit zunehmenden Humusgehalten eine abnehmende Tendenz.

Die von KUNTZE (1968) sowie KUNTZE und DJACOVIC (1970) gefundenen Porenraumverteilungen bei Modellmischungen verschiedener Mineralbodenarten mit wachsenden Torfanteilen können hier - außer für die weiten Grobporen - auch für die Sandmischkultur nach fast 20jähriger landwirtschaftlicher Nutzung (davon die ersten 12 Jahre als Grünland) bestätigt werden.

Die erst bei differenzierter Betrachtungsweise erscheinende Verringerung der schnell dränenden Poren mit ansteigenden Gehalten an organischer Substanz dürfte auf die verstärkte Mineralisierung und Humifizierung organischer Substanz in diesen humusreicheren Teilen einer Sandmischkultur zurückzuführen sein (siehe auch 3.2.2 und 3.2.3). Die Aggregierung organischer und mineralischer Bodenbestandteile bewirkt damit gleichzeitig eine stärkere Erhöhung des Anteils an langsam dränenden Poren.

Bei geringen Humusgehalten (5 Gew.%) überwiegt eine dem Sand ähnliche Porenraumverteilung.

In bezug auf die Bearbeitungstiefe unterscheiden sich die beiden Varianten vor allem in dem absoluten Anteil der drei Porengrößenklassen.

Durch regelmäßiges tieferes Pflügen werden fortwährend weniger zersetzte Torfsubstanzen in die Krume eingearbeitet. Sie verursachen neben einer Erhöhung des Gesamtporenvolumens vor allem eine Steigerung der nutzbaren Feldkapazität.

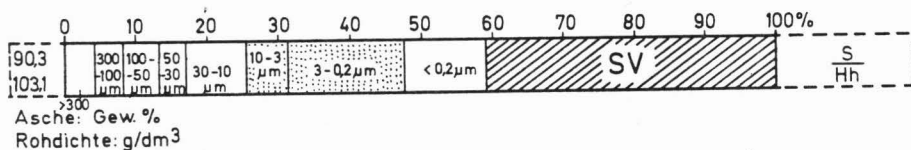
Der geringere Anteil an Poren 50 - 10 μm gegenüber der flach

gepflügten Variante könnte möglicherweise durch vermehrte Sackung und Setzung infolge der stärkeren Torfabbauprozesse begründet werden.

Es muß weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben, den sich hier abzeichnenden Verlauf der Porenraumumverteilung im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium (= bei weiter abnehmenden Humusgehalten) dieses anthropogenen Bodens zu bestätigen.

Die Krume des maschinell besandeten Hochmoores in Overlahe weist aufgrund des wiederholt in die Krume eingemischten relativ schwach zersetzten Torfes eine ähnliche Porenraumverteilung auf wie die 45 cm gepflügte Variante in Königsmoor (Abb. 21).

Abb. 21 Porenraumverteilung (10 - 15 cm)
besandetes Hochmoor - Overlahe - FV 24 - 1976

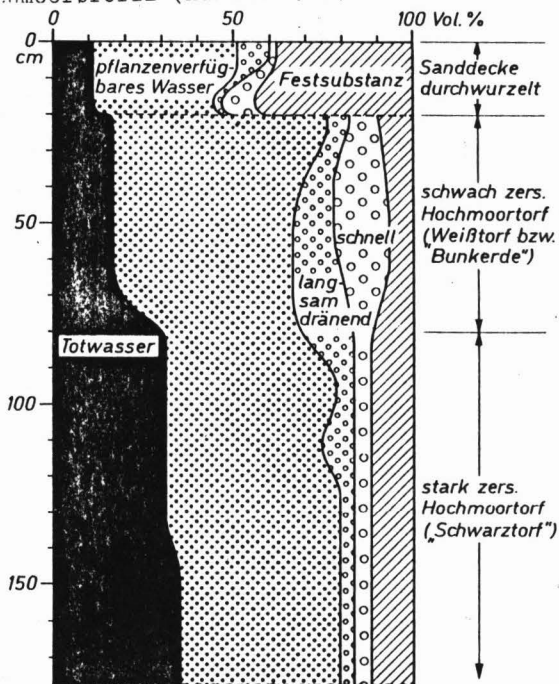


Auffallend ist der mit 22 Vol.% noch höhere Anteil der nutzbaren Feldkapazität (10 - 0,2 µm). Dieser Tatbestand kann ebenfalls zur Untermauerung der vorher getroffenen Mutmaßung herangezogen werden. Höhere Gehalte an organischer Substanz in der Krume steigern zusammen mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung (im vorliegenden Fall Luxusdüngung mit P und K und wiederholt hohe Güllegaben) die biologische Aktivität. Dadurch entstehen feine und feinste Humusbestandteile. Diese verlagern sich möglicherweise mit dem Niederschlagswasser und könnten somit den Anteil der Grobporen zugunsten eines höheren Mittelporenanteils verringern.

Der geringe Anteil dränender Poren ist für diesen Standort auch deswegen ein Nachteil, weil sich im Untergrund schwach zersetzte über stärker zersetzten Torfen befinden. Je nach Gehalt an organischer Substanz wird der Porensprung zwischen der Mischkrume

und dem ihn unterlagernden Torf so groß, daß es zu einem Wasserstau kommt (Abb. 22).

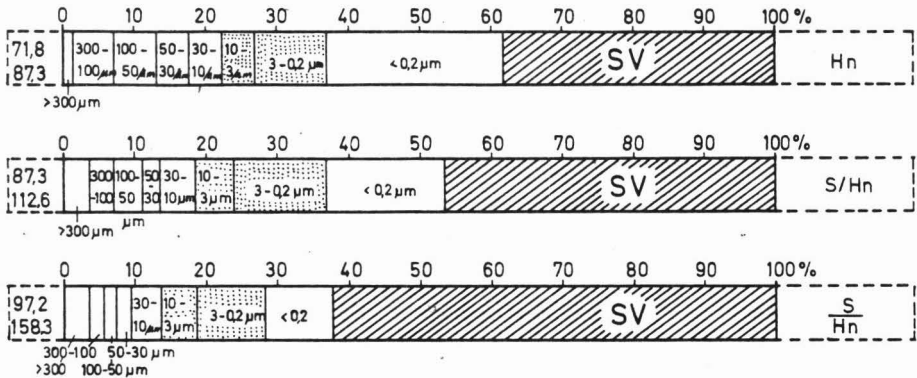
Abb. 22 Porenraumverteilung in einem 20 cm besandeten Hochmoorprofil (KUNTZE 1973)



KUNTZE (1973) berichtet über ein Verfahren zur Verbesserung staunasser, besandeter Hochmoore, daß auf dieser Fläche zur Anwendung gekommen ist. In den anschließend untersuchten (trockenen) Jahren kann jedoch über den weiteren Erfolg dieses Verfahrens nicht berichtet werden.

Die Porenraumverteilung der drei untersuchten Niedermoorkulturen ist in Abb. 23 dargestellt.

Abb. 23 Porenraumverteilung (10 - 15 cm) Niedermoor-schwarzkultur,
-Tiefpflugsandmischkultur, -Tiefpflugsanddeckkultur
Bortfeld - FV 9 - 1976



Asche: Gew %
Rohdichte: g/dm³

Sichtbar werden die zu erwartende Erhöhung des Substanzvolumens und Abnahme des Gesamtporenvolumens mit steigendem Anteil der mineralischen Komponente.

Bei der Tiefpflugsanddeckkultur beträgt der Anteil des Gesamtporenvolumens (GPV) nur noch 38,5 Vol.%. Die Sandmischkultur liegt mit einem GPV-Wert von 54,3 Vol.% nicht wesentlich niedriger als die Schwarzkultur mit 61,8 Vol.%, aber erkennbar höher als die Sanddeckkultur.

Der Totwasseranteil (> pF 4,2) nimmt in gleicher Richtung kontinuierlich ab, von 25,5 Vol.% (Niedermoor-Schwarzkultur) auf 9,7 Vol.% bei der Sanddeckkultur.

Der Anteil der Porengrößen 3 - 0,2 µm ist bei der Sandmischkultur mit 13 Vol.% größer als bei den anderen zwei Varianten. Hierin macht sich der Einfluß der schluffreichen Mineralbodenteile positiv bemerkbar.

Die Poren der Größenklasse 10 - 3 μm sind mit einem Prozentanteil von 4,9 - 5,1 Vol.% bei allen drei Varianten gleichmäßig verteilt anzufinden.

Ausgehend von der bedeckenden Mineralbodenschicht nimmt der Anteil der Grobporen ($>10 \mu\text{m}$) mit steigenden Mengen eingepflügter Niedermoor torfe in charakteristischer Weise zu (von 12 Vol.% auf fast 25 Vol.%).

Bei der Anlage der Niedermoor-Sandmischkultur sind jedoch aufgrund der wechselnden Torfmächtigkeiten unterschiedliche Mengen der organischen und mineralischen Komponenten in der Krume miteinander vermischt worden, die noch heute eine relativ große Streuung der Aschegehalte dieser Variante bedingen.

Bei Entnahme der Stechzylinderproben zur pF-Wertbestimmung wurden diese Schwankungen von 84 - 92 Gew.% im Aschegehalt mit erfaßt. Es darf daher angenommen werden, daß sich für diese Fläche ähnlich klare Einflüsse des Gehaltes an organischer Substanz auf das Porenvolumen der einzelnen Porengrößenklassen nachweisen lassen.

Um die beträchtliche Abhängigkeit der Porenraumverteilung von der Mineralbodenkomponente sichtbar zu machen, wurden in Abb. 24 bis 26 auf der Abszisse die Aschegehalte aufgetragen.

Die schon in den Mittelwertdarstellungen (Abb. 23) auffälligen Verhältnisse werden für die Beziehung GPV / Aschegehalt mit einer Signifikanz von $r = 0,86^{***}$ in Abb. 24 unterstrichen. Die absolute Zunahme des Porenvolumens fällt mit steigenden Gehalten an organischer Substanz allmählich geringer aus.

Ebenso klar und hoch signifikant sind die Abhängigkeiten für die schnell und langsam dränenden Poren ($r = 0,61^{***}$, Abb. 25 bzw. $r = 0,75^{***}$, Abb. 26).

Die nutzbare Feldkapazität (Poren 10 - 0,2 μm) nimmt mit abnehmendem Aschegehalt nur noch geringfügig zu ($r = 0,33^*$), dagegen erhöht sich um so stärker der Anteil des nicht pflanzenverfügbaren Wassers ($r = 0,89^{***}$).

Abb.24 Beziehung zwischen Aschegehalt(Gew.%)und
Gesamtporenvolumen Bortfeld - FV9 - 1976

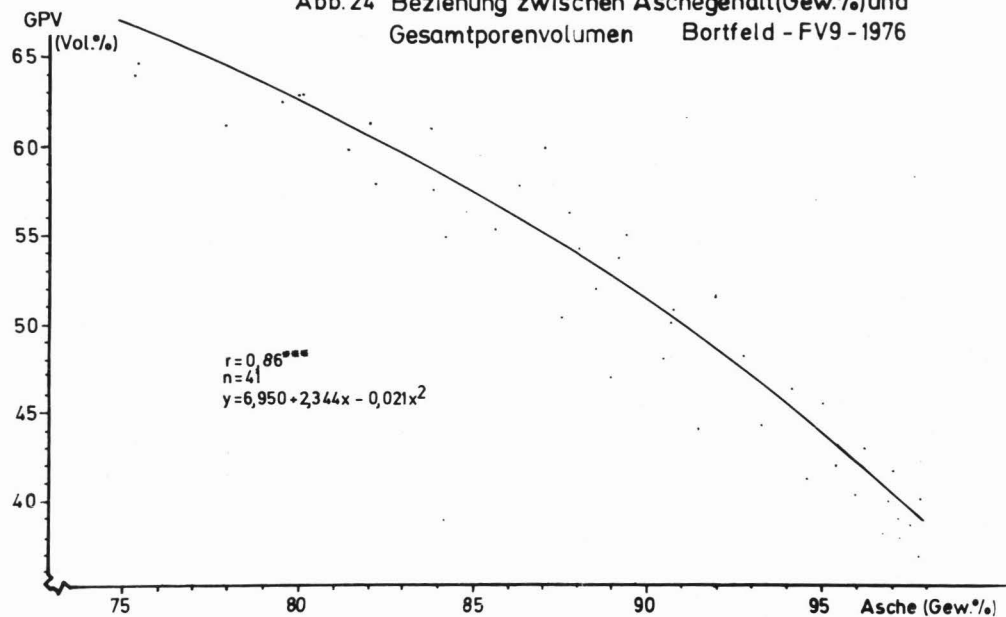
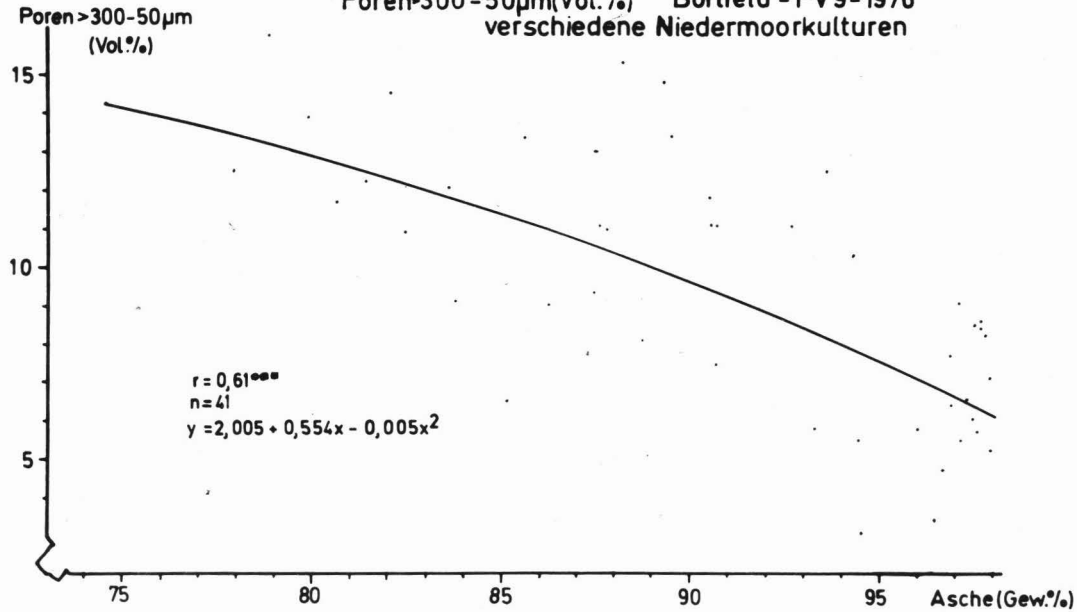
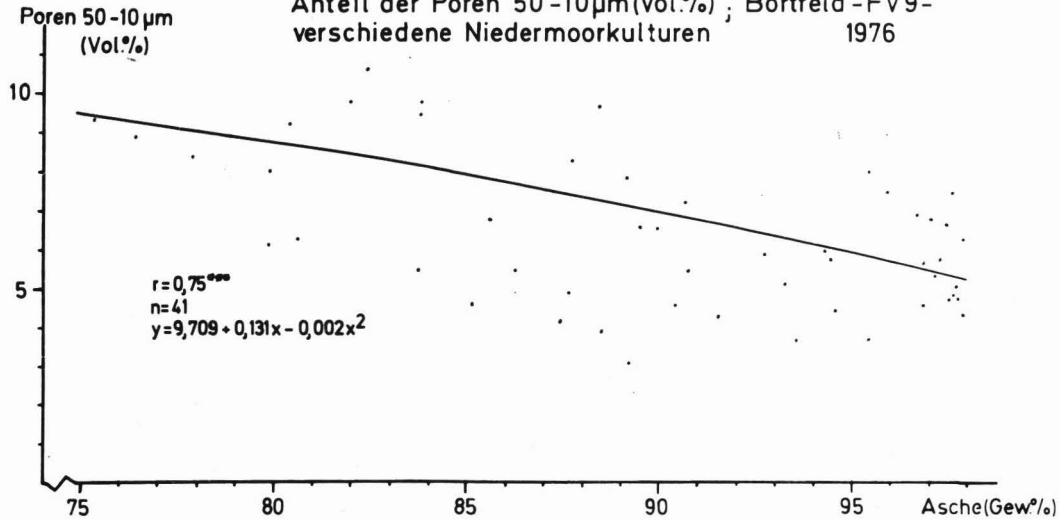


Abb.25 Beziehung zwischen Aschegehalt(Gew.%) und
 Poren-300-50µm(Vol.%) Bortfeld - FV9-1976
 verschiedene Niedermoorkulturen



- 44 -

Abb. 26 Beziehung zwischen Aschegehalt(Gew.%) und
Anteil der Poren 50-10µm(Vol.%) ; Bortfeld-FV9-
verschiedene Niedermoorkulturen 1976



Höhere Gehalte an organischer Substanz aus Niedermoortorfen verursachen nicht nur eine Steigerung des Poren-volumens insgesamt, sondern fördern in gleichem Maße die Grobporosität.

In regenreichen Perioden sind auf der Sanddeckkultur wiederholt mehr oder weniger großflächige Bereiche festzustellen, auf denen das Niederschlagswasser nur äußerst zögernd versickert.

Wie Abb. 27 zeigt, entwickeln sich aus dieser Übernässung auffallende Fehlstellen im Bestand.

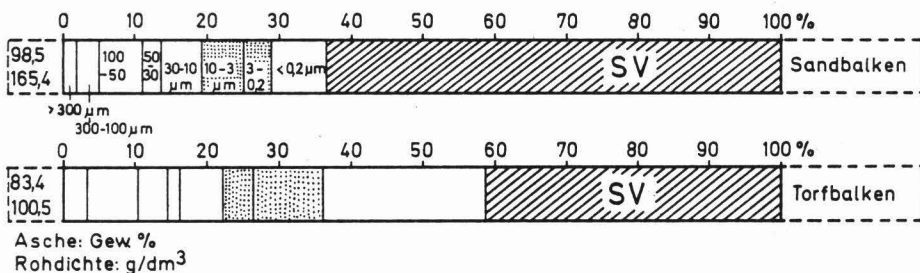


Abb. 27 Fehlstellen auf einer Niedermoor-Tiefpflugsanddeckkultur nach Oberflächenvernässung
Bortfeld - FV 9 - 1975

Neben Untersuchungen zur Durchlässigkeit wurden daher, um den Staubereich möglichst eng eingrenzen zu können, Stechzylinderproben aus den schräggeschichteten Sand- und Torfbalken der Tiefpflugsanddeckkultur entnommen.

Die Auswertung ergab die in Abb. 28 gezeigte Porenraumverteilung.

Abb. 28 Porenraumverteilung in Sand- und Torfbalken einer Niedermoor-Tiefpflugsanddeckkultur
Bortfeld - FV 9 - 1976



Die einzelnen Porengrößen lassen sich mit denen der Schwarzkultur (Torfbalken) und der Sanddeckkultur (Sandbalken) vergleichen.

Auffallend ist der höhere Aschegehalt des Torfbalkens (83,4 Gew.%). Hierfür dürften mit dem Sickerwasser erodierte mineralische Partikel des an Abschlämbbarem reichen Bodens verantwortlich sein. Dadurch erklärt sich auch der geringere Totwasseranteil im Torfbalken gegenüber der Schwarzkultur.

Die im Torf- wie Sandbalken mit 16 - 18 Vol.% relativ hohen Anteile dränender Poren machen beide im Gegensatz zur Deutschen Sandmischkultur aus Hochmooren für die Wasserleitung gut geeignet. Ebenso ist in dem schluffhaltigen Material die nutzbare Feldkapazität der des Torfes ähnlich.

Die wechselnden Porenraumverteilungen im Profil einer Sanddeckkultur sind in Abb. 29 (Torfbalken) und Abb. 30 (Sandbalken) anschaulich demonstriert.

Abb.29 Porenraumgliederung

$\frac{S}{H_n}$ Bortfeld - FV9-1976

- Torfbalken-

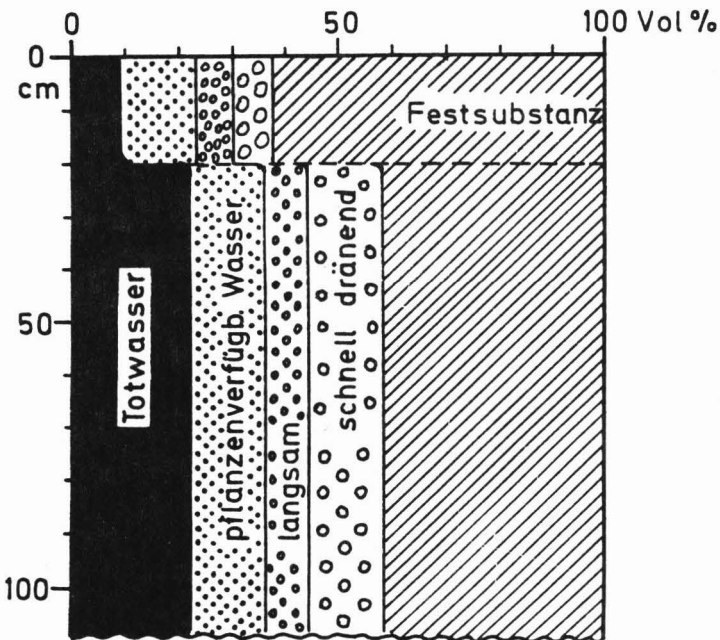
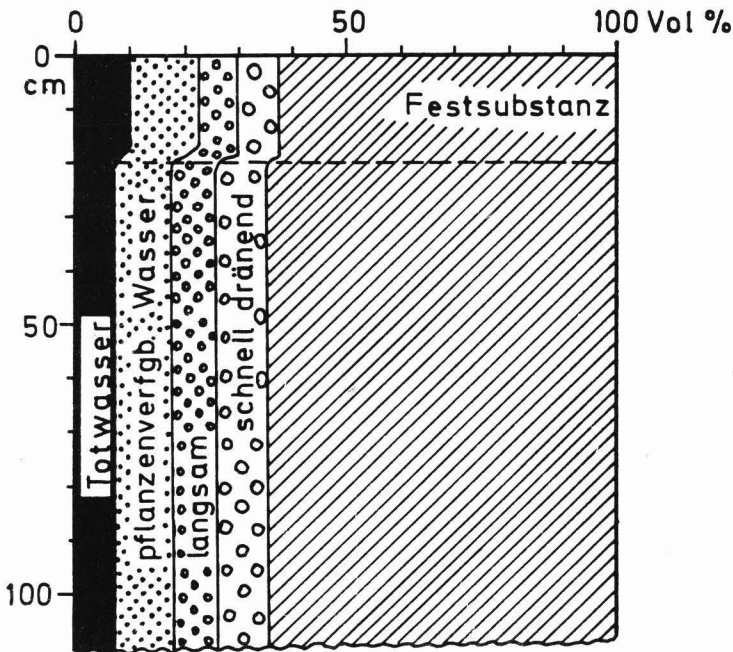


Abb. 29 zeigt an der Grenze zwischen Krume und Torfbalken einen deutlichen Porensprung, der einen Wasserstau bedingt.

Bezieht man zusätzlich die möglicherweise mit dem Sickerwasser verlagerten Schluff- und Tonteilchen in die Betrachtung mit ein, so dürften hohe Durchlässigkeit (siehe 3.3.3 und BARTELS und HAGEMANN 1977) und graue Reduktionszonen in der Krume nicht unerwartet auftreten (siehe 3.3.4).

Die Konsequenzen, die für die weitere Behandlung dieses Standortes auch aufgrund dieser vorliegenden Ergebnisse gezogen werden müssen, sollen an anderer Stelle (Punkt 4) diskutiert werden.

Abb.30 Porenraumgliederung
 $\frac{S}{H_n}$ Bortfeld - FV9 - 1976
- Sandbalken -



3.3.3 Wasserbewegung in einer Sandmischkultur

Bei Sandmischkulturen treten innerhalb derselben Fläche mitunter recht beträchtliche Ertragsunterschiede auf. So war auf der Sandmischkultur in Königsmoor auch im Sommer 1976 wiederholt ein streifiger Bestand parallel zur Tiefpflugrichtung zu erkennen. Noch kurz vor der Getreideernte waren dunkle Streifen mit einem - auch nach extremen Trockenperioden - noch kräftigen Haferbestand von hellen Partien abzugrenzen, die deutliche Spuren von Wassermangel aufwiesen.

Als Ertragsunterschiede zwischen hellen und dunklen Streifen haben wir ca. 10 dt/ha gemessen (Abb. 31).

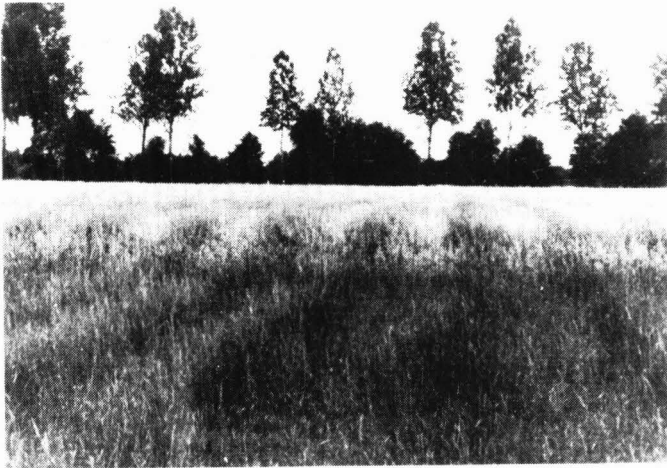


Abb. 31 Unterschiedlicher Pflanzenbestand einer
Dt. Sandmischkultur - Königsmoor - 1976

Bei der Aufgrabung des Profils an einer solchen Stelle konnte zunächst festgestellt werden, daß es sich hier nicht um den

Idealtyp einer Sandmischkultur mit gleichmäßig schräg geschichteten Torf- und Sandbalken handelte. Die Torf-Sandbalken zeigen nicht die sonst übliche Form eines Parallelogramms, sondern sie sind in Form eines nach unten spitz zulaufenden Dreiecks angeordnet (Abb. 32).

Abb. 32 Profil einer schlecht gepflügten Deutschen Sandmischkultur - Königsmoor - 1976



Anhand der Unterschiede im Pflanzenbewuchs läßt sich ein Einfluß des in seiner Zusammensetzung wechselnden Unterbodens vermuten. Die unterschiedlich starke Durchwurzelung scheint diese Vermutung noch zu bestätigen. Die Durchwurzelungstiefe reichte von 30 bis 60 cm.

Sehr schwach durchwurzelt waren die nährstoff- und wasserarmen Sandbalken, aber auch die Torfbalken an Stellen mit stärker zersetztem Torf.

Gut durchwurzelt bis in Tiefen von 60 cm waren die Torfbalken nur in den Bereichen, die vorwiegend schwächer zersetzten, nährstoffreichen Torf (der alten Krume) aufwiesen.

Projeziert man das Wurzelbild auf den Pflanzenbestand, dann befinden sich die gut gewachsenen dunklen Streifen in einem Trockenjahr nur über dem Weißtorf (gut durchwurzelt), dagegen sind die helleren Streifen mit schlechterem Bestand über den Sandbalken und über den Schwarztorfteilen zu finden (schlecht durchwurzelt). In Nässejahren ist ein entgegengesetztes Verhalten beobachtet worden. Die Erklärung des schlechten und guten Pflanzenbestandes kann auf zwei Wegen erfolgen:

- a) chemisch: die Bereiche, in denen schwächer zersetzter Torf vorherrscht, sind Teile der ehemaligen Krume einer gealterten Deutschen Hochmoorkultur, die beim Tiefumbruch hierin verlagert worden sind; sie sind nährstoffreicher und scheinen für eine tiefere Durchwurzelung besser geeignet zu sein als die übrigen Mischungspartner.

Die unterschiedlichen pH-Werte der drei Bereiche mögen dies erläutern.

Unterbodenbereich: Weißtorf	pH 4,3 - 4,5
Schwarztorf	pH 3,2 - 3,5
Sand	pH 3,1 - 3,3

- b) physikalisch:

aufgrund des größeren Porenvolumens im schwachzersetzten Torf scheint in diesem Teil der Sandmischkultur mehr pflanzenverfügbares Wasser neben genügend Luftvolumen vorhanden zu sein, so daß sich die Wurzeln besser ausbreiten können.

Zur Absicherung unserer Annahme, daß die wechselnde Zusammensetzung des Unterbodens einer Sandmischkultur auch die kapillare Wasserbewegung beeinflußt, wurde in Königsmoor folgender Versuch unternommen:

Im erwähnten Profil wurden in drei Tiefen Tensiometer eingebaut. Beim Einbau fanden die Grenzbereiche zwischen Torf- und Sandbalken eine besondere Beachtung, da aufgrund des sich ändernden

Substanz- und Porenvolumens in Sand und Torf auch Unterschiede in der kapillaren Wasserbewegung vorhanden sind (RENGER et al. 1976).

Die Anordnung der Tensiometer ist aus Abb. 33 zu erkennen.

Nach dem hohen Niederschlagsdefizit im Sommer 1976 (-33 mm klimat. Wasserbilanz), das auch zu Beginn des Versuches Ende Oktober noch nicht wieder ausgeglichen war, traten noch in dieser Zeit für Sandmischkulturen recht erheblich hohe Saugspannungen auf (Abb. 34).

Besonders hohe Saugspannungen (bis zu 400 mbar) waren in den Bereichen zu finden, in denen die Wurzeln bis in Tiefen von 60 cm vorgedrungen sind.

Zum genaueren Studium der Wasserbewegung wurde die Fläche, auf der die Tensiometer eingebaut waren, über einen längeren Zeitraum berechnet.

Die Beregnungshöhe und -dichte wurden laufend gemessen, Veränderungen der Saugspannungen und damit Wassergehaltsänderungen im Boden wurden täglich mehrmals aufgezeichnet und ausgewertet. Um Richtung und Stärke der horizontalen und vertikalen Wasserbewegung charakterisieren zu können, wurden zusätzlich an bestimmten Zeitpunkten die hydraulischen Gradienten berechnet.

Zu Beginn des Versuchs läßt sich die Situation wie folgt beschreiben (Abb. 35).

Während einer Trockenperiode konzentriert sich die Wasserbewegung offenbar auf den Grenzbereich zwischen Sandbalken und schwächer zersetztem Torf, hier sind in vertikaler wie in horizontaler Richtung die höchsten Gradienten festzustellen. Ebenso findet eine deutliche Wasserbewegung in die stärker ausgetrockneten Bereiche der Krume statt.

Nach einer ersten Beregnungsgabe von 22 mm innerhalb 3 1/2 h stellt sich die Situation nicht grundlegend verändert dar.

Stark ist die Zunahme des Wassergehaltes in der Krume, unterhalb der Pflugsohle zeigen sich jedoch noch keine durchgreifenden Veränderungen. Auch die Gradienten weisen zu diesem Zeitpunkt noch die gleiche Richtung und Stärke auf. Lediglich im Sandbalken

Abb. 33: Sandmischkulturprofile und Anordnung
der Tensiometer

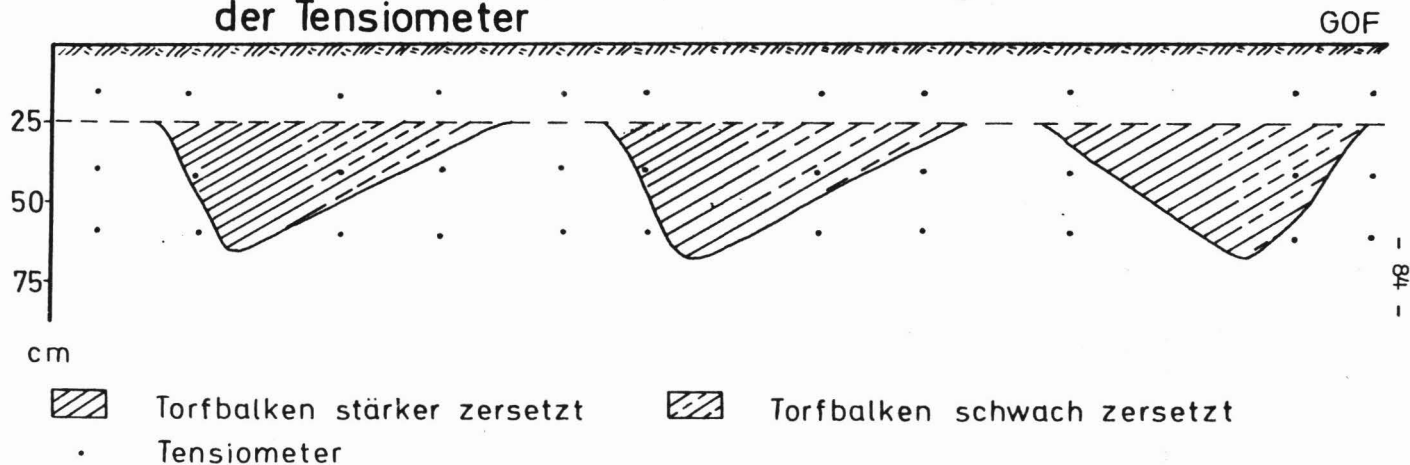


Abb. 34: Saugspannungen (mbar) vor der Beregnung

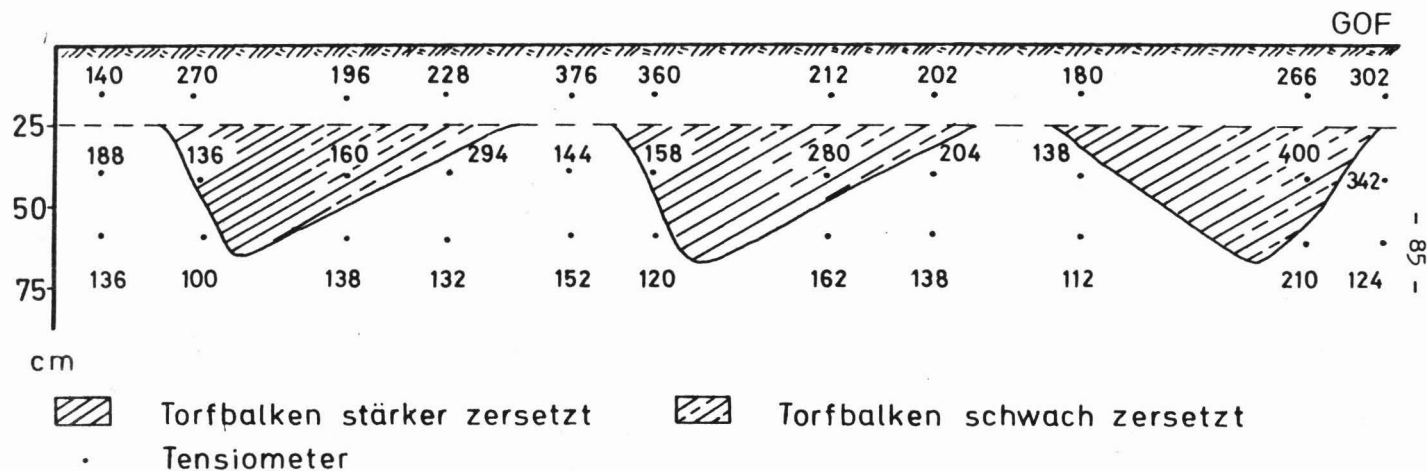
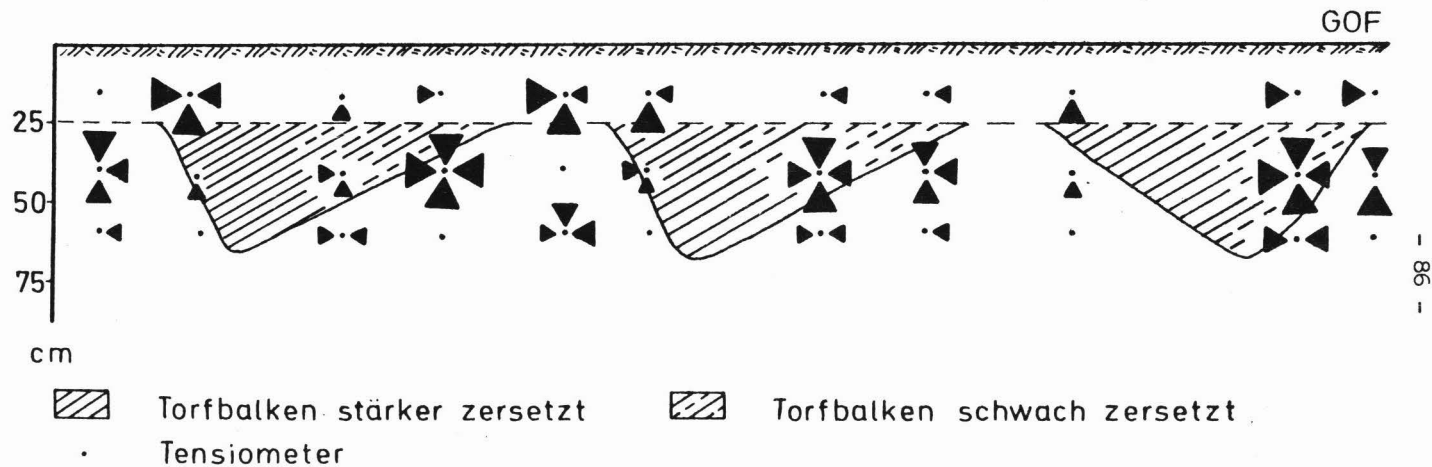


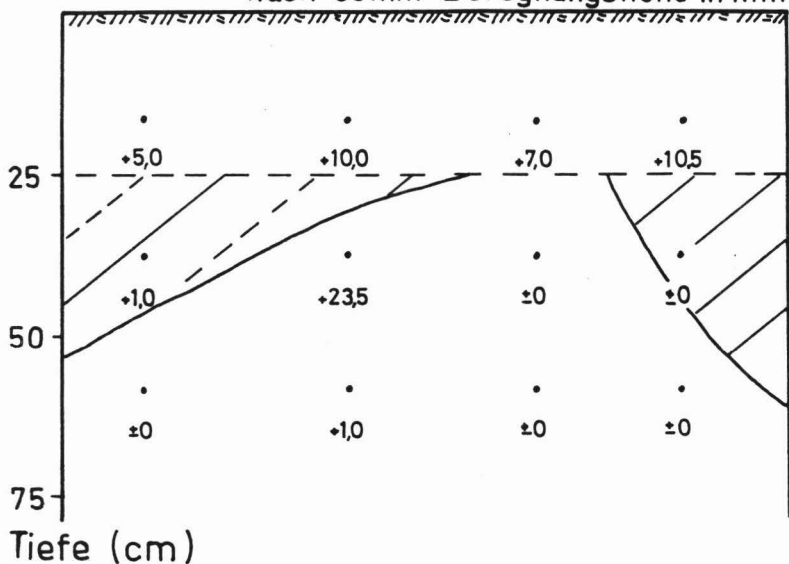
Abb. 35: Hydraulische Gradienten vor der Beregnung



hat sich zwischen 15 und 35 cm Tiefe die Richtung des Gradienten umgekehrt, so daß in diesem Bereich mit einer beginnenden Versickerung zu rechnen ist.

Deutliche Veränderungen ergeben sich erst nach einer Beregnungshöhe von insgesamt 35 mm (Abb. 36).

**Abb. 36: Wassergehaltsänderungen
nach 35mm Beregnungshöhe in mm³**

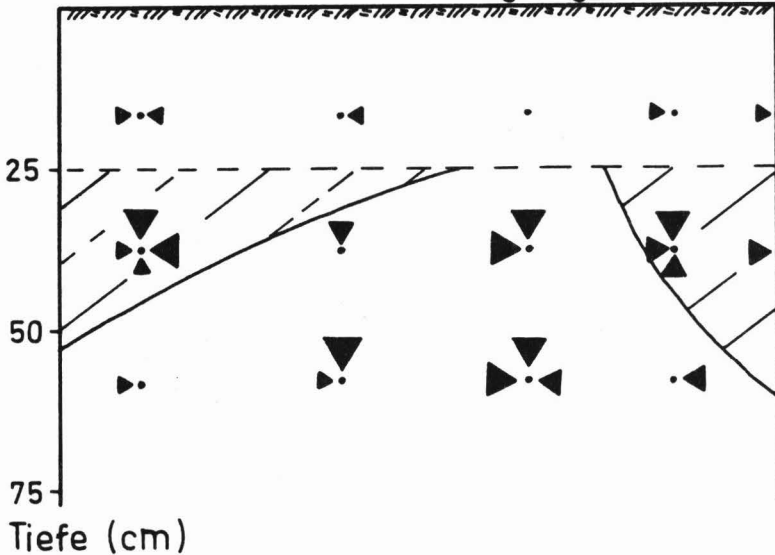


In dem Grenzbereich Torf-/Sandbalken, der aufgrund seiner hohen hydraulischen Gradienten einen starken Sog auf den kapillaren Wasserfluß ausübt, findet sich nun eine Zunahme des Wassergehaltes um über 20 mm, während sich sowohl im benachbarten Torfbalken (Weißtorf) als auch auf der anderen Seite im Sandbalken der Wassergehalt nicht geändert hat. Es liegt die Vermutung nahe, daß nicht nur in vertikaler Richtung Wasser in diesen Bereich versickert ist, sondern daß die Wassernachlieferung auch aus anderen Teilen der Krume - beispielsweise in diagonalen Richtung entlang des Torfbalkens - erfolgte.

In Tiefen von 55 - 60 cm ist zu diesem Zeitpunkt noch keine Zunahme des Wassergehaltes auszumachen.

Bei der Berechnung des Gradienten für diese Situation (Abb. 37) ist zunächst festzustellen, daß insgesamt eine mehr oder weniger starke Versickerung stattfindet.

**Abb. 37: Änderung der hydr. Gradienten
nach 35 mm Beregnungshöhe**



In dem Grenzbereich zwischen Sand- und Torfbalken, der den kräftigsten Wasserzulauf erhalten hat, sind nun nach der Auffüllung die horizontalen Gradienten einerseits in den Sandbalken aber auch in gleicher Stärke in den benachbarten Torfbalken hinein gerichtet.

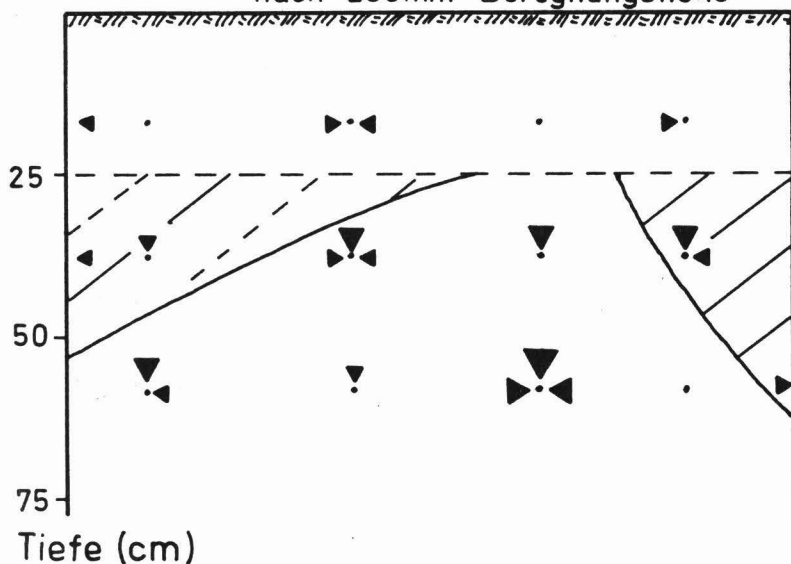
Nachdem anfangs in einer Phase der Trockenheit der kapillare Wasserzufluß aus dem Torfbalken heraus in den Sandbalken bestand, scheint sich in einer feuchten Phase diese Bewegungsrichtung umzukehren und aus dem Sandbalken heraus wird zu Zeiten des Überangebotes Wasser nicht nur in tiefere Schichten abgegeben, sondern ebenso in horizontaler Richtung in den Torfbalken.

Diese Bewegungsrichtung des kapillaren Wassers hält jedoch nicht an. Nach weiteren beträchtlichen Beregnungsgaben (insgesamt 50 mm) und einer damit verbundenen gleichmäßigen Durchfeuchtung des Bodens in allen Tiefen bleibt die gleichmäßige Versickerung des Wassers - besonders in den Sandbalken - erhalten.

Ist der Torfbalken im Bereich des schwächer zersetzten Torfes jedoch einmal genügend durchfeuchtet, so ist nicht nur eine Versickerung in tiefere Schichten festzustellen, sondern es werden ebenso die schneller entwässerten Grenzbereiche des benachbarten Sandbalkens mit versorgt.

Sehr deutlich wird dies am Ende des Versuches nach einer Beregnungshöhe von insgesamt 250 mm (Abb. 38).

**Abb. 38: Hydraulische Gradienten
nach 250mm Beregnungshöhe**

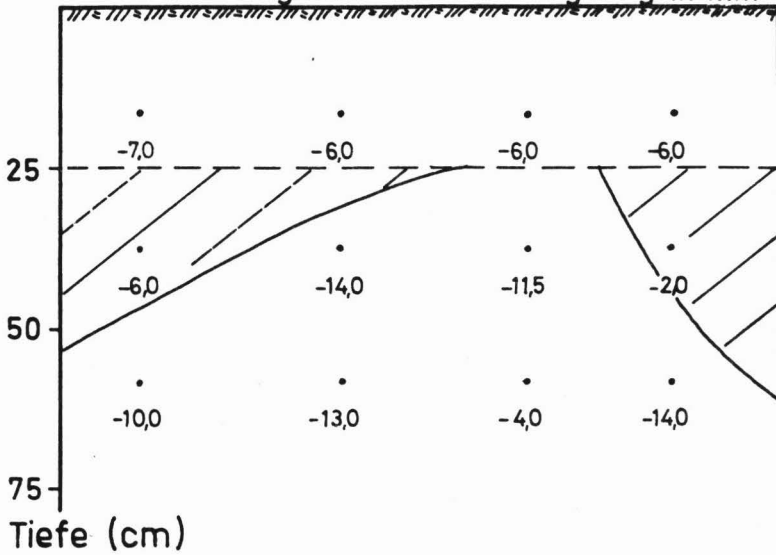


Die letzte Situationsaufnahme erfolgte 6 Tage nach der letzten Beregnung. Die Abnahme des Wassergehaltes ist in den Sandbalken

in allen Tiefen relativ stärker als im Weißtorf und vor allem im Schwarztorf (Abb. 39),

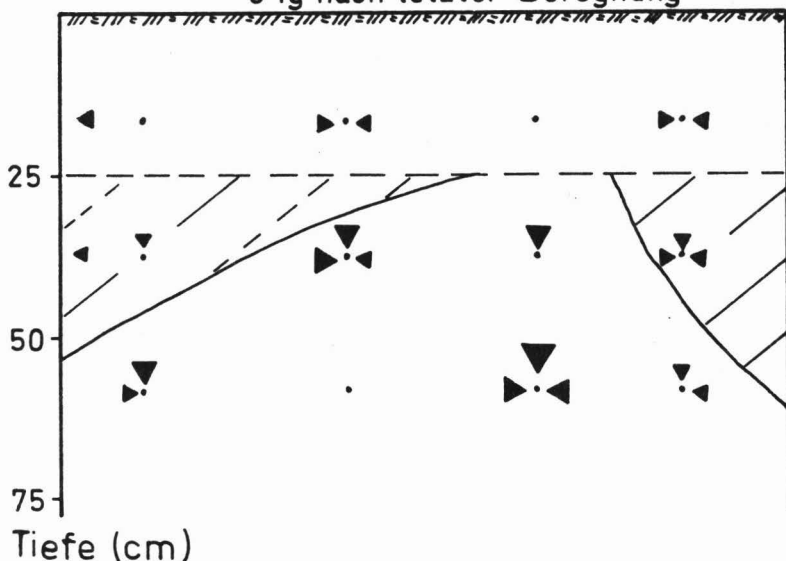
Abb. 39: Wassergehaltsänderungen

6 Tg. nach letzter Beregnung in mm^3



Die Berechnung der Gradienten ergibt, daß sich die Wasserbewegung im vorrangig betrachteten Grenzbereich Torf-/Sandbalken, wie oben bereits angedeutet, aus dem Torfbalken heraus in den Sandbalken verstärkt hat (Abb. 40).

Abb. 40: Hydraulische Gradienten
6 Tg nach letzter Beregnung



Dieser Versuch brachte zusammengefaßt folgende erste Ergebnisse:

1. Die Wasserbewegung in den Torfbalken zwischen stärker zersetztem und schwächer zersetztem Torf ist relativ gering; sie nimmt mit zunehmender Durchfeuchtung weiter ab.
2. Erst nach intensiver Beregnung wird die gute dränende Wirkung der Sandbalken einer Sandmischkultur bestätigt.
3. Eine sehr intensive kapillare Wasserbewegung ist festzustellen im Grenzbereich zwischen schwach zersetztem, gut durchwurzelten Torf und den angrenzenden Partien des Sandbalkens. Hier findet nicht nur eine vertikale, sondern auch in verstärktem Maße eine horizontale Wasserbewegung statt. Man

könnte hier auch von einem gewissen "Schaukeleffekt" sprechen:

- schnelle Befeuchtung des Sandbalkens bis zur Sättigung,
- Abgabe des überschüssigen Wassers auch in horizontaler Richtung an den in dieser Zeit noch trockeneren Torfbalken bei hoher Saugspannung,
- nach dessen weiterer Durchfeuchtung umgekehrt Wassernachlieferung aus den Torfbalken heraus in den benachbarten, inzwischen gedrännten Sandbalken.

Zieht man aus diesen Ergebnissen Rückschlüsse auf den anfangs erwähnten streifigen Pflanzenbestand, so müßte die Forderung lauten, daß bei derartig schlecht angelegten Sandmischkulturen ein für alle Pflanzen gleichmäßig gut durchwurzelbarer Raum zu schaffen ist.

Dies läßt sich am ehesten durch eine tiefere Mischung von Sand und Torf erreichen, wie sie beispielsweise auf dem Krumenvertiefungsversuch in Königsmoor (FV 57) in drei Varianten vorgenommen wird.

Zur Unterstützung dieser Überlegungen wurden im Mai 1977 auf den Varianten mit herkömmlicher Bearbeitungstiefe (20 cm gepflügt) und mit tiefer Bodenbearbeitung (45 cm gepflügt) Tensiometer eingebaut.

Sie wurden in zwei Wiederholungen auf jeder der beiden Varianten so verteilt, daß wiederum die Saugspannungen in den Sand- und Torfbalken gemessen werden konnten.

Die Saugspannungskurven in Abhängigkeit von anderen Klimadaten (klimatische Wasserbilanz und Grundwasserabstand unter Flur) sind in Abb. 41a und 41b für die 20 cm gepflügte Variante und in den Abb. 42a und 42b für die 45 cm gepflügte Variante aufgezeichnet, jeweils unterteilt für Torf- (a) und Sandbalken (b).

Die Krumenbereiche beider Varianten zeichnen sich in der Hauptwachstumsperiode bei geringen Niederschlägen durch einen vergleichbar hohen Austrocknungsgrad aus (bis zu 600 - 650 mbar).

Unterschiedlich ist jedoch der Verlauf bis zum Erreichen der maximalen Saugspannungswerte.

Abb. 41a Wasserhaushalt (S/Hh) Königsmoor-FV 57-1977
20cm gepflügt - Torfbalken

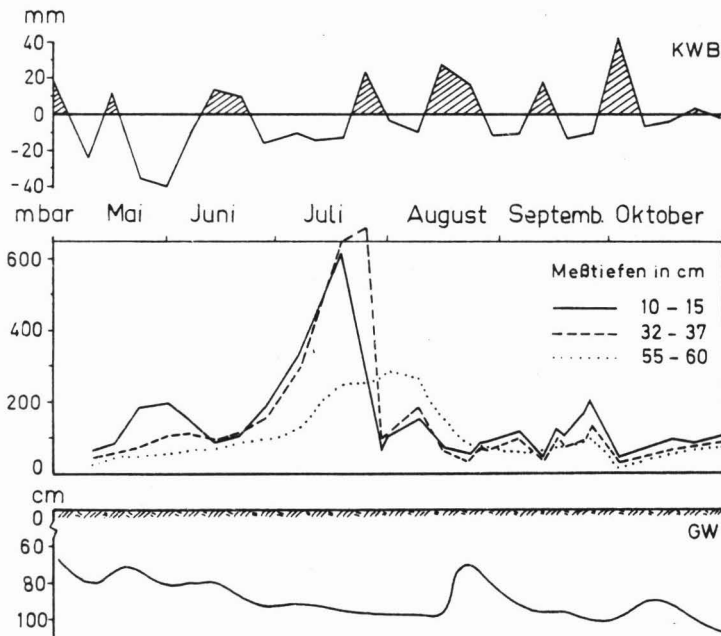


Abb.41b: Wasserhaushalt (S/Hh) Königsmoor-FV 57-1977
20cm gepflügt – Sandbalken

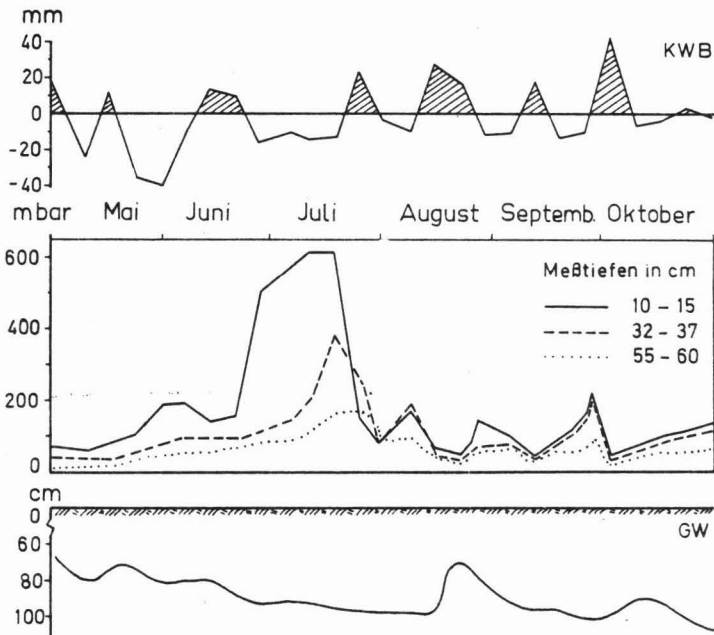


Abb.42a: Wasserhaushalt (S/Hh) Königsmoor-FV 57-1977
45 cm gepflügt – Torfbalken

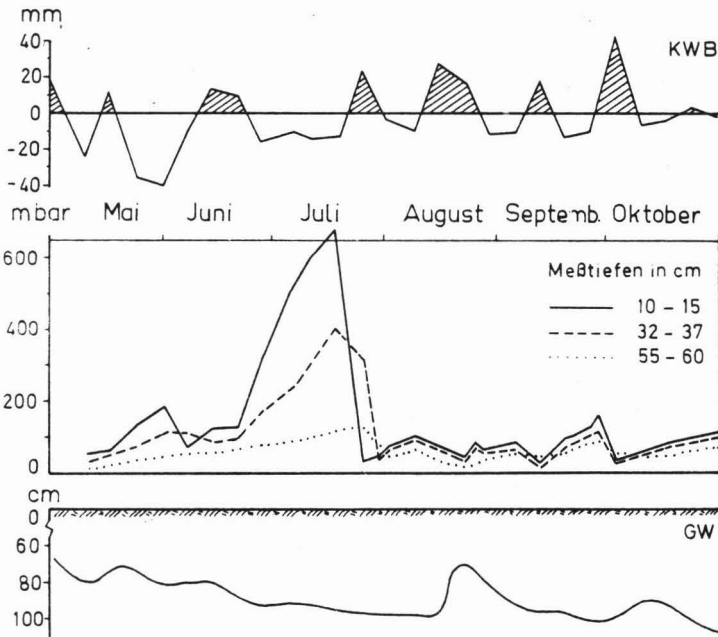
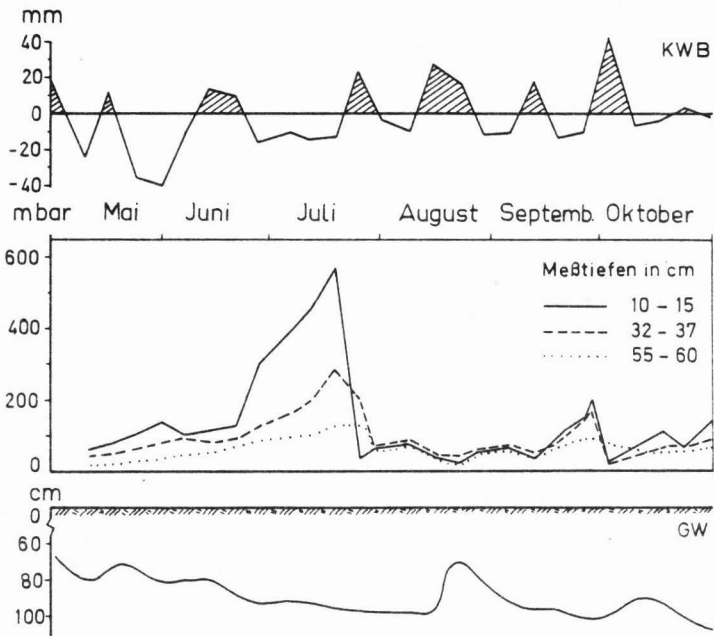


Abb. 42b: Wasserhaushalt (S/Hh) Königsmoor-FV 57-1977
45 cm gepflügt - Sandbalken



Die pF-Werte in der Krume beider Varianten über den Torfbalken steigen allmählich von Mitte Juni bis Mitte Juli fast linear an. Im Gegensatz dazu zeigt sich bei der 20 cm gepflügten Variante über dem Sandbalken bereits Ende Juni, relativ kurzfristig, ein deutlich ausgeprägter Wassermangel (Abb. 41b). Danach verlangsamt sich der Anstieg der Saugspannung über dem Sandbalken wieder und zeigt nach Erreichen eines Spitzenwertes keine weitere Erhöhung mehr; während in der Krume der 45 cm gepflügten Variante über dem Sandbalken die Saugspannung kontinuierlich ansteigt. Bis zu einer Tiefe von 40 cm ist dieser Verlauf phasenverschoben und über dem Torfbalken ebenfalls festzustellen.

Nach heftigen Regenfällen Ende Juli (in wenigen Tagen fast 40 mm) wurden die Schichten in 10 - 15 cm Tiefe wieder schnell und gleichmäßig durchfeuchtet.

Die Saugspannungen sanken bis auf Werte der Feldkapazität ab.

Lediglich über dem Torf ist eine weitere Austrocknung in größerer Tiefe (Hauptwurzelraum in dieser Zeit) festzustellen.

Nach diesem Zeitpunkt macht sich der größere Anteil pflanzenverfügbaren Wassers der tiefer gepflügten Variante recht augenfällig bemerkbar. Bis zum Ende der Meßperiode treten nur Saugspannungen zwischen 50 und 100 mbar in der Krume auf, die allerdings einmal, in der zweiten Septemberhälfte nach einer längeren Trockenperiode, wieder 200 mbar erreichen. Dieser Anstieg ist ebenfalls bedingt durch die Pflanzendecke (Zwischenfruchtbau - Raps) (Abb. 42b).

Im weiteren Verlauf der Saugspannungskurve in der Krume der flachgepflügten Variante treten sehr augenfällige kurzfristige Schwankungen, in Abhängigkeit von den Niederschlägen, zutage.

Sehr viel markanter stellt sich dagegen der Saugspannungsgang in den Meßtiefen 32 - 37 cm und 55 - 60 cm dieser Fläche dar (Abb. 41a,b). Gleichzeitig bestätigt er während des Beregnungsversuches gewonnene Erkenntnisse.

Bis Mitte Juni ist eine gleiche Entwässerung in Torf- und Sandbalken in der mittleren Meßtiefe auszumachen. Danach steigen die pF-Werte in der Krume und im darunterliegenden Torfbalken gleichzeitig stark an, während auch die zeitigere "Austrocknung" der Krume über dem Sandbalken die Saugspannungen in demselben nur

sehr zögernd erhöht, und sie erst nach einer längeren Zeit einen Spitzenwert erreichen läßt, der analog zu den Niederschlägen sehr schnell wieder absinkt.

Im Torfbalken werden dagegen in trockenen Perioden höhere Werte als in der Krume gemessen, die auch nach heftigen Regenfällen zeitlich verschoben zurückgehen.

In 55 - 60 cm Tiefe werden im Torfbalken ebenfalls deutlich höhere Saugspannungen als im Sandbalken gemessen. Das Sickerwasser der Ende Juli gefallenen Niederschläge scheint nicht in die unteren Zonen des Torfbalkens vorzudringen, da die konstant hohen pF-Werte hier erst nach weiteren Regenfällen im August wieder abfallen.

Dagegen stellt sich die Wasserspannung im Sandbalken infolge der schnellen Versickerung recht zügig wieder auf niedrigere Werte ein.

Die 45 cm gepflügte Variante (Abb. 42a, b) zeigt in den beiden unteren Meßtiefen einen sehr viel ausgeglicheneren Verlauf ihrer Saugspannungskurven. Über dem Torfbalken sind in der - tiefdurchmischten - Krume etwas höhere Werte registriert worden, die jedoch - nach einer zeitlichen Verzögerung durch die Versickerung - schnell bis zur Feldkapazität absinken und sich dann nur noch einmal, Ende September, geringfügig erhöhen.

Auf die Ursachen dieses Saugspannungsanstieges wurde bereits vorher hingewiesen.

Aus dem Gang der Saugspannungskurven der beiden Varianten lassen sich folgende Schlüsse für die kapillare Wasserbewegung einer Sandmischkultur ableiten:

a) für die flach bearbeitete Variante:

der obere Teil des Torfbalkens mit schwächer zersetztem Torf war auch in diesem Jahr wieder kräftiger durchwurzelt als die benachbarten Partien des Sandbalkens. Daher zeigen sich unterhalb der Krume in Zeiten des höchsten Wasserbedarfes der Pflanze dort wesentlich höhere Saugspannungen als im Sandbalken. Schwächer zersetzter Torf weist nur bei niedrigen pF-Werten eine befriedigende ungesättigte Leitfähigkeit auf (BURGHARDT 1977), stärker zersetzter Torf ist dagegen in

Bereichen ab 300 mbar in seiner kapillaren Wassernachlieferung meistens günstiger zu beurteilen (BARTELS und KUNTZE 1973).

Daraus lassen sich auch die länger anhaltenden, höheren Saugspannungen im unteren Teil des Torfbalkens erklären, die zur Aufrechterhaltung der Versorgung der Pflanzen mit Wasser notwendig sind.

BARTELS und KUNTZE (1973) weisen auf die größere hydraulische Leitfähigkeit der Torfe in horizontaler Richtung hin. Durch die Umschichtung des Profils nach dem Tiefpflügen wurden die Torfe in eine nahezu vertikale Lage befördert. Eine daraus folgende positive Auswirkung auf die kapillare Wassernachlieferung kann vermutet werden (siehe streifiger Pflanzenbestand im Sommer 1976).

Die Wasserleitfähigkeit der Sande (GIESEL et al. 1972) ist um etwa eine Zehnerpotenz besser als die der stärker zersetzten Torfe, daher treten im Sandbalken in beiden Tiefen auch nicht so hohe Saugspannungen auf wie im Torfbalken.

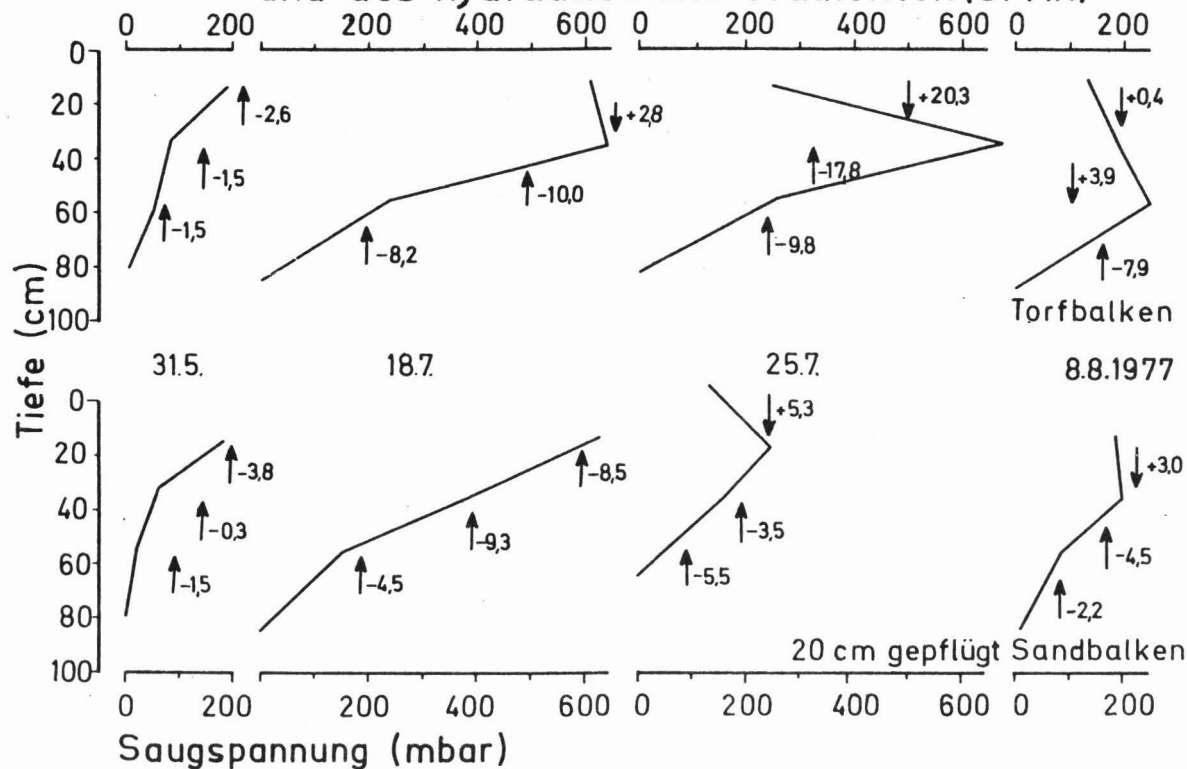
Es muß allerdings darauf hingewiesen werden, daß diese Aussagen im Zusammenhang mit der Grundwassernähe dieses Bodens zu sehen sind.

Ferner bestätigte sich, wie schon der Beregnungsversuch andeutete, daß nach Niederschlägen die Durchfeuchtung der Krume relativ rasch erfolgt, die Torfbalken nach einem stärkeren Wasserentzug sich einer schnelleren Wiederbefeuchtung zunächst widersetzen und somit das Niederschlagswasser über die Sandbalken abgeführt wird.

Zur Verdeutlichung dieser Überlegung sind die hydraulischen Gradienten für markante Zeitpunkte berechnet und in Abb. 43 dargestellt worden.

Auf der linken Seite für den Torfbalken zeigen sich klar ersichtlich die zum Wassertransport wirksamen Kräfte. Sie liegen wesentlich höher als im Sandbalken (Abb. 43, rechte Seite). Besonders offensichtlich wird dies nach den Regenfällen (25.7.).

Abb. 43: Richtung der kapillaren Wasserbewegung
und des hydraulischen Gradienten (S/Hh)



b) für die 45 cm tief gepflügte Variante:

in den Zeiten, in denen die Pflanze an die Wasserversorgung höchste Ansprüche stellt, ist lediglich die Krume dieser Variante bis ca. 20 cm Tiefe stärker ausgetrocknet.

Aufgrund der schlechteren Kapillarität stärker zersetzter Torfe bei niedrigen pF-Werten sind in 40 cm Tiefe über dem Torfbalken wiederum höhere Saugspannungen gemessen worden, die aber wesentlich niedriger liegen als bei der flach bearbeiteten.

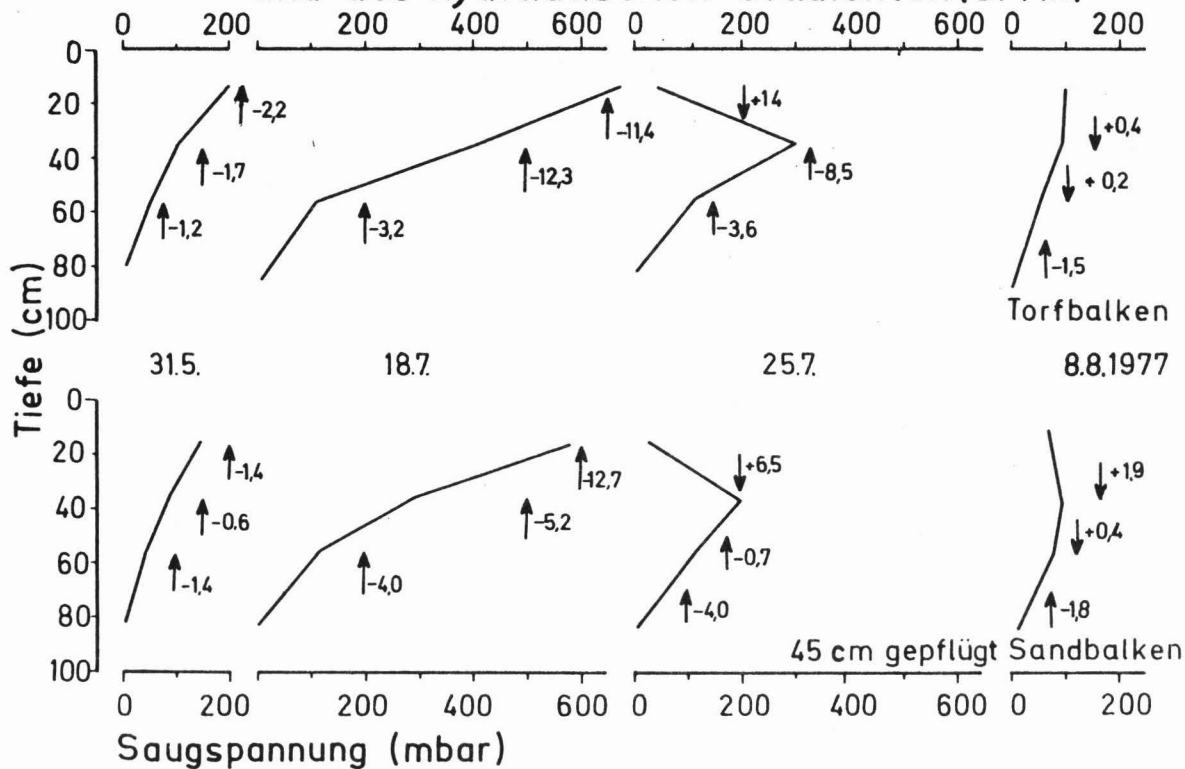
Auch hier wurden zu den gleichen Zeitpunkten die hydraulischen Gradienten berechnet (Abb. 44).

Insgesamt läßt sich in Anbetracht der niedrigeren Gradientenwerte auf eine ausgeglichene Wasserbewegung sowohl über Sand- als auch über dem Torfbalken in diesem tiefer bearbeiteten Boden schließen.

In erster Linie findet ein Ausgleich der Wassermengen zwischen der oberen und mittleren Meßtiefe - mithin nur in der tiefer gemischten Krume - statt, das ist aber der entscheidende Wurzelraum.

Die oben geäußerte Annahme hinsichtlich der günstigen Auswirkung einer tieferen Durchmischung der Krume einer Sandmischkultur auf ihren Wasserhaushalt kann daher auch nach diesen Ergebnissen bekräftigt werden.

Abb. 44: Richtung der kapillaren Wasserbewegung
und des hydraulischen Gradienten (S/Hh)



3.3.4 Wasserdurchlässigkeit

Die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden liefert ein Maß für die Gefügeentwicklung (HARTGE und BAILLY 1967) und beschreibt damit den Einfluß des Bodens (Porendurchmesser, -form und -verteilung) auf die Wasserbewegung (BADEN et al. 1969).

Zur weiteren Beschreibung des Wasserhaushaltes von Sandmischkulturen und Sanddeckkulturen wird diese physikalische Kenngröße mit in die Untersuchungen einbezogen.

Die Kf-Messungen werden durchgeführt mit dem Haubenpermeameter nach HARTGE (1966).

Die vier Varianten der Sandmischkultur in Königsmoor zeichnen sich in der Krume durch relativ große Porenvolumina und insgesamt gute Porenraumverteilung mit einer ausreichenden Luftkapazität aus (siehe auch 3.3.2). Daher sind im gesättigten Bereich auch keine niedrigen Durchlässigkeitswerte zu erwarten.

Das gilt im gleichen Maße für das besandete Hochmoor in Overlahe.

Die gemessenen Kf-Werte sind in Tab. 13 zusammengestellt.

Tabelle 13 Wasserdurchlässigkeit in der Krume verschiedener Hochmoorkulturen (10 - 17 cm unt. GOF)

Sand-	Variante	$\frac{\text{cm}}{\text{d}}$ $\bar{x}$	s	n
misch- kultur Königs- moor	20 cm gepflügt	54,7	$\pm 22,3$	18
	45 cm gepflügt	64,3	$\pm 27,8$	18
	45 cm gespatet	89,8	$\pm 33,5$	15
	allm.Krum.vert.	62,1	$\pm 23,4$	15
besandetes Hochmoor				
Overlahe		92,6	39,9	20

Danach zeichnen sich diese Mischböden in der Krume insgesamt gesehen durch eine hohe Wasserleitfähigkeit (Klasse IV) im gesättigten Boden aus.

Die Streuung ist für alle Varianten relativ groß.

Besonders hohe Werte ergeben sich bei den Flächen, die einen höheren Humusgehalt in der Krume aufwiesen, also an sich schon eine bessere Durchlässigkeit besitzen.

Die Ursache dafür dürfte in relativ frisch eingepflügten, noch wenig zersetzten Torfsubstanzen einerseits, und andererseits in dem durch die organische Substanz vergrößerten Porenvolumen zu suchen sein.

Die Durchlässigkeitswerte für die Niedermoorkulturen sind bereits bei BARTELS und HAGEMANN (1977) vorgestellt worden (Tab. 14).

Tabelle 14 Wasserdurchlässigkeit in der Krume verschiedener Niedermoorkulturen (10 - 17 cm un~~t~~ GOF)

	$\frac{\text{cm/d}}{\bar{x}}$	s	n
Niedermoor-Schwarzkultur	113	$\pm 53,4$	11
Niedermoor-Tiefpflugsand-deckkultur	26 (1,5*)	$\pm 19,8$	14
Niedermoor-Tiefpflugsand-mischkultur	48	$\pm 31,3$	11

* Fehlstellen

Die gesättigte Wasserleitfähigkeit der Niedermoortorfe wird durch Einmischungen des Mineralbodens um etwa die Hälfte verringert.

Dagegen werden aufgrund dieser Ergebnisse aus mehrfachen Feldbeobachtungen abgeleitete Vermutungen für die Sanddeckkultur nachgewiesen.

Zeigen Messungen in der mineralischen Deckschicht schon geringere Kf-Werte, so werden zusätzlich vereinzelt Stellen sichtbar, die keinen Wasserabfluß im gesättigten Boden mehr zulassen ($\Rightarrow$ Oberflächenvernässung - Fehlstellen im Bestand).

Über die daraus resultierende Verschlechterung des Bodenwiderstandes wird noch zu berichten sein (siehe 3.3.5).

Dieser Boden setzt nicht nur der Ausbreitung der Pflanzenwurzeln einen beträchtlichen Widerstand entgegen; durch eine dichtere Packung der Schluffteilchen erhöht sich ebenso der Fließwiderstand für das Wasser.

Eine weitere Erscheinung, die auf einen Wasserstau im Krumenbereich hinweist, soll hier kurz beschrieben werden.

Nach Aufgrabungen im Mai 1977 fanden sich auf der Fläche mit ausschließlich Mineralboden in der Krume nur in den oberen 8 cm Oxidationszeichen (braungefleckt), darunter lag dichtlagerndes, ausnahmslos graues Material. In den Fahrspuren hatte das Wasser offensichtlich wieder länger gestanden.

Untersuchungen von EHLERS (1977) an erodierten Schluffdecken einer Parabraunerde zeigen ähnliche Ergebnisse.

EHLERS führt die Behinderung einer zügigen Wasserinfiltration ebenso auf die geringe gesättigte Leitfähigkeit des Schluffs zurück. Daß zudem noch Verlagerungen des Schluffs bei verschiedenen Strömungsdrücken ihren Einfluß auf die Durchlässigkeit ausüben, weisen HORN und HARTGE (1977) nach.

Bei hohen Niederschlägen kann daher die Infiltrationskapazität des Schluffs schnell begrenzt sein (EHLERS 1977).

Für die Sanddeckkultur in Bortfeld ist anzunehmen, daß Verdichtungen (Bodenbearbeitung bei zu feuchtem Boden) und Verlagerungen der Schlufffraktion mit dem Sickerwasser, diese teilweise bedenklichen Durchlässigkeitswerte mit bedingen.

Entmischungen bei zu trockenem Boden sind in gleichem Maße als Ursache für die niedrigen Kf-Werte denkbar.

Es ist verständlich, daß der Pflanzenbewuchs auf diese Situation sehr unterschiedlich reagierte - sehr "magerer" Bestand auf der Sanddeckkultur; relativ ausgeglichen tiefgrüngefärbte Pflanzen auf der Niedermoor-Sandmischkultur.

Letztere zeichnete sich auch durch gute Einmischung der organischen Substanz und eine entsprechend bessere Durchwurzelung aus.

3.3.5 Bodenwiderstand

In zahlreichen Untersuchungen hat sich die Rammsondierung zur Beurteilung des physikalischen Bodenwiderstandes als aussagekräftiges Untersuchungsverfahren herausgestellt (BOGUSLAWSKI und LENZ 1958, 1959).

Lagerungsdichte, Porenraumverteilung, Wassergehalte und Menge und Zersetzungsgrad der organischen Substanz haben einen Einfluß auf das Meßergebnis.

Der Eindringwiderstand wurde als zusätzliche Untersuchungsmethode gewählt, weil mit seiner Hilfe bei Kenntnis der Porenraumverteilung, der Körnung und des Wassergehaltes Aussagen über mögliche Wiederverdichtungen der meliorierten Böden getroffen werden können.

Mechanisch gelockerte Böden mit geringer oder gar fehlender Gefügestabilität neigen zu Wiederverdichtungen durch Setzung, besonders bei rüttelnden Geräten und Bearbeitung bei zu hoher Bodenfeuchte (SCHULTE - KARRING 1973).

Gemessen wurde der Eindringwiderstand im Juni 1977 auf der Sandmischkultur in Königsmoor und dem Tiefpflugversuch in Bortfeld.

Dabei kam es vor allem darauf an, bei gleichen Ausgangsbedingungen (Wassergehalt)

- die Einwirkung der unterschiedlichen Bearbeitungsformen der Sandmischkultur in Königsmoor auf den Bodenwiderstand zu prüfen,
- Sandmisch- und Tiefpflugsanddeckkultur auf Niedermoorstandorten miteinander zu vergleichen.

Gemessen wurde lediglich die jeweilige Bearbeitungstiefe, da der Bodenwiderstand in tieferen Schichten aufgrund der wechselnden Zusammensetzung auf engstem Raum (Torf- und Sandbalken) sehr stark schwankt und somit keine Aussage liefern kann.

Die Ergebnisse sind in den folgenden Abbildungen 45 - 48 dargestellt.

Insgesamt zeigen die drei gepflügten Varianten einen vergleichbaren Verlauf (Abb. 45, 46, 48).

Abb. 45 Bodenwiderstand (kg/cm^2)
S/Hh - Königsmoor - FV 57-1977

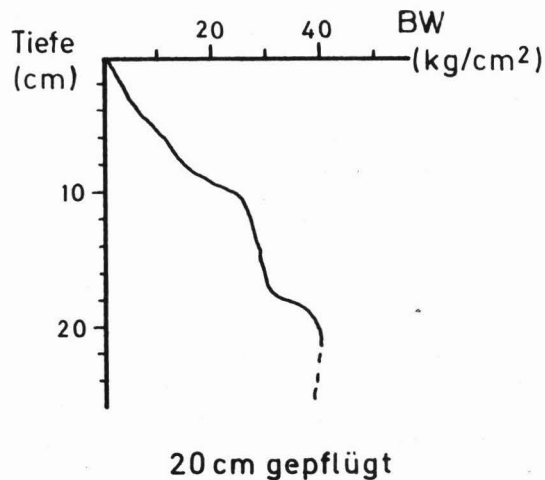


Abb. 46 Bodenwiderstand (kg/cm^2)
S/Hh - Königsmoor - FV 57-1977

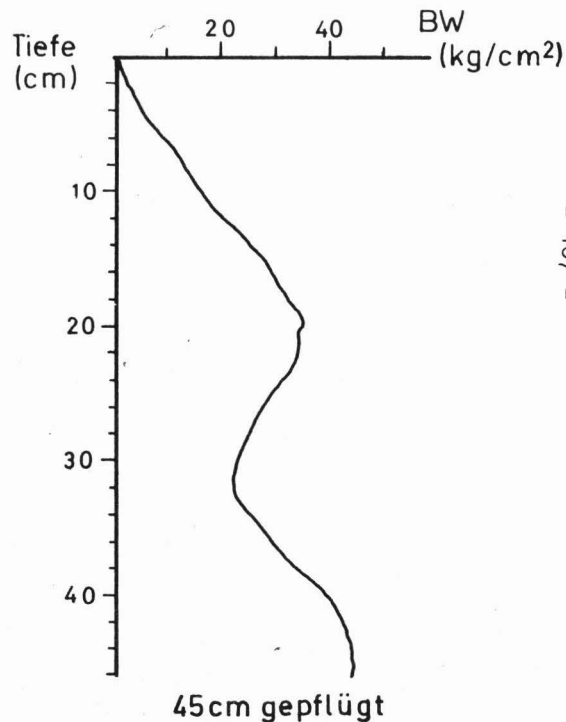
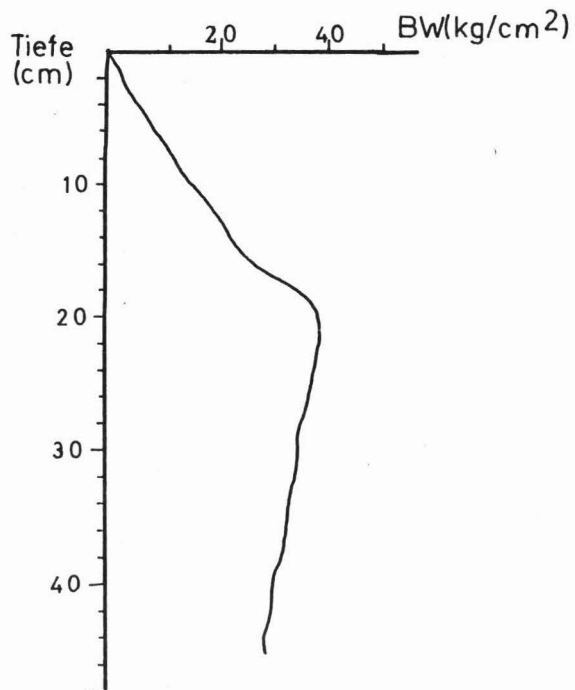
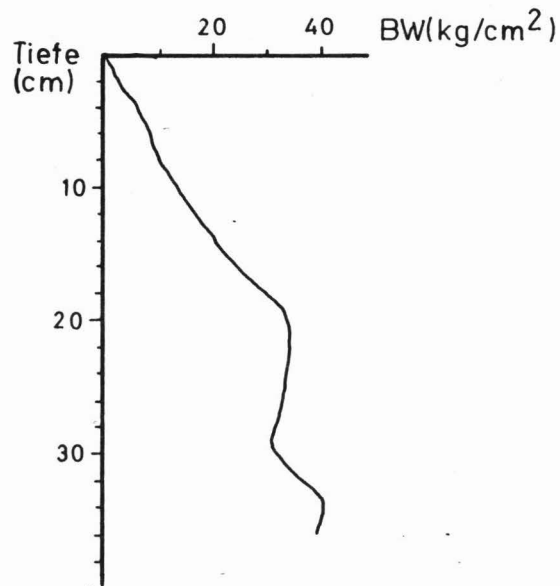


Abb. 47 Bodenwiderstand(kg/cm^2)
S/Hh - Königsmoor - FV 57-1977



45 cm gespatet

Abb. 48 Bodenwiderstand(kg/cm^2)
S/Hh - Königsmoor - FV 57-1977



allm. Krumenvert.

Nach einem ersten Maximum - entsprechend der Bearbeitungstiefe in verschiedener Tiefe - ist ein gleichbleibender (20 cm gepflügt) bzw. ein zunächst wieder abnehmender Bodenwiderstand festzustellen (45 cm gepflügt und allmähliche Krumenvertiefung), der nach einer unterschiedlich starken Verringerung in Höhe der maximalen Bearbeitungstiefe seinen absoluten Höchstwert erreicht (Verdichtung in Höhe der Pflugsohle).

Die mit dem Spatenpflug tief gemischte Variante (Abb. 47) erreicht ihr Maximum bereits bei 16 - 18 cm, ab 20 cm Tiefe zeichnet sich ein indifferenter - im Ganzen aber abnehmender - Verlauf ab.

Eine Verdichtungszone in Höhe der Bearbeitungstiefe ist hier nicht festzustellen.

Betrachtet man nur den Maximalwert, so ist trotz eines unterschiedlichen Porenvolumens (siehe 3.3.2) bei vergleichbarem Wassergehalt (25 - 28 Gew.%) hinsichtlich des Bodenwiderstandes kein Unterschied zu verzeichnen.

Dennoch können die drei tiefer bearbeiteten Varianten aufgrund dieser Ergebnisse als Pflanzenstandort günstiger beurteilt werden, da sich der Bodenwiderstand unterhalb 20 cm verringert und somit für das Eindringen der Wurzeln vorteilhaftere Bedingungen geschaffen werden können.

Der Bodenwiderstand der Niedermoortiefpflugsandmischkultur (Abb. 49) verläuft ähnlich wie bei den gepflügten Sandmischkulturen aus Königsmoor.

Ein deutlich schlechteres Bild zeigt dagegen die Tiefpflugsanddeckkultur (Abb. 50).

Hier wurden fünfmal höhere Eindringwiderstände gemessen als in der Mischkultur.

Die Ergebnisse der Durchlässigkeitsmessungen (siehe 3.3.4) und die Texturanalysen (siehe 3.3.1) ließen - unterstützt von zahlreichen Feldbeobachtungen - einen derart ungünstigen Bodenwiderstand bereits erwarten.

Wie negativ sich der hohe Bodenwiderstand auf das Pflanzenwachstum auswirkt, zeigt Abb. 51 aus dem Jahr 1976 für die in

Abb. 49 Bodenwiderstand(kg/cm²)
S/Hn Borteld-FV9-1977

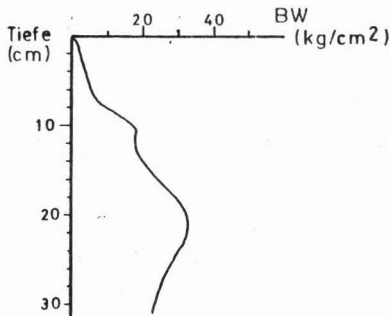
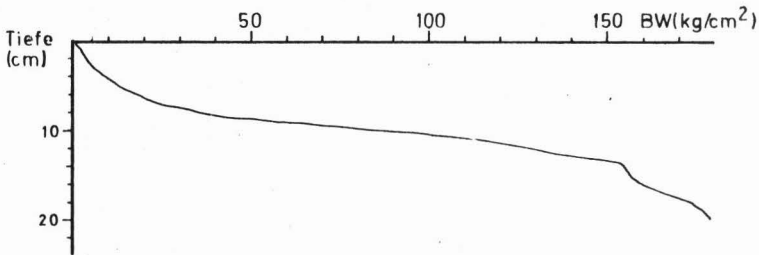


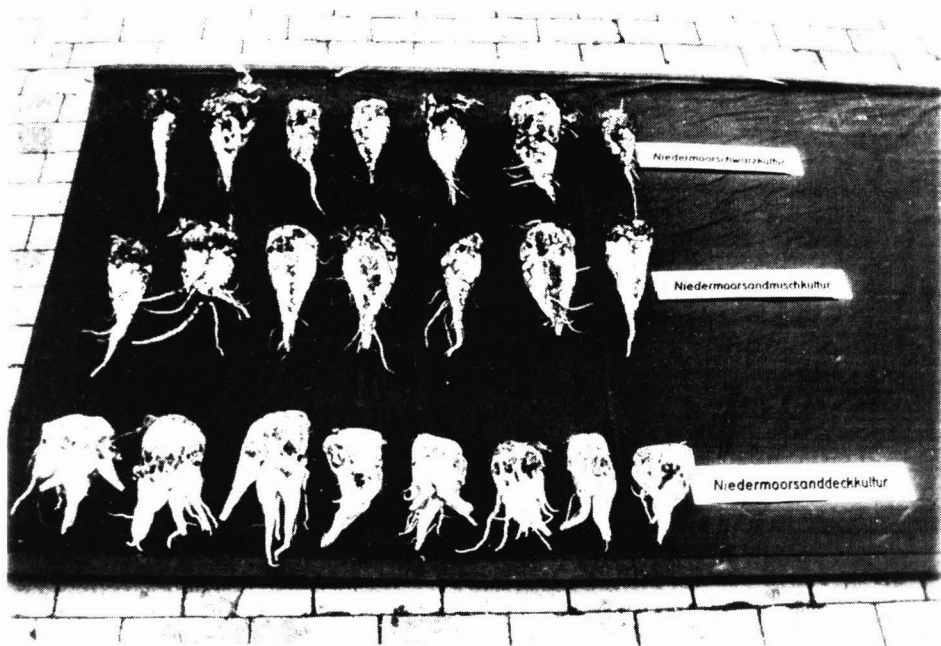
Abb.50 Bodenwiderstand(kg/cm²)
 $\frac{S}{Hn}$ Bortfeld -FV9-1977



Bortfeld gewachsenen Zuckerrüben.

Abb. 51 Auswirkungen des Bodenwiderstandes auf das Wurzelwachstum bei Zuckerrüben verschiedener Niedermoorkulturen

Bortfeld - FV 9 - 1976



Auf der Schwarzkultur und der Niedermoor-Sandmischkultur gedeihen gut ausgebildete Rübenkörper, deren Wurzeln ausreichend tief in den unteren Krumenbereich hineingewachsen sind.

Die Rübenkörper der Niedermoor-Sanddeckkultur sind dagegen stark beinig, ihre Wurzeln können kaum bis in 10 cm Tiefe vordringen.

Bei Beurteilung der Größe der Rübenkörper ist die optische Verzerrung dieser Aufnahme zu berücksichtigen.

3.4 Erträge

Der Erfolg einer Meliorationsmaßnahme läßt sich über den nachhaltig verbesserten Ertrag am besten abschätzen.

Das Ertragsverhalten über 5 Jahre für die Sandmischkultur Königsmoor und über 7 Jahre für das besandete Hochmoor sind in Abb. 52 dargestellt.

Es fällt dabei auf, daß in witterungsbedingt "ertragreichen" Jahren (1973, '74, '76) alle Varianten der Sandmischkultur mit etwa 35 dt/ha ein fast gleiches Ertragsniveau aufweisen. Dabei scheint die Variante mit allmählicher Krumenvertiefung in diesen Jahren allen anderen leicht überlegen zu sein.

Deutlichere Unterschiede treten dagegen in den "schlechteren" Jahren 1972 und '75 zutage, die sich vor allem bei der flachgepflügten Variante auswirken (1975 : 18 dt/ha Sommer-Gerste).

Die relative Vorzüglichkeit eines der drei anders gearteten Bearbeitungsverfahren ist dann klarer zu erkennen, wenn man die ermittelten Erträge der tiefer bearbeiteten Varianten zu der herkömmlich mit 20 cm gepflügten in Beziehung setzt. Dieser Ertragsvergleich ist auf Abb. 53 abgetragen.

Abb. 53 Ertragsvergleich der Sandmischkulturvarianten Königsmoor

Abb. 53 Ertragsvergleich (S/Hh)
20 cm gepflügt = 100

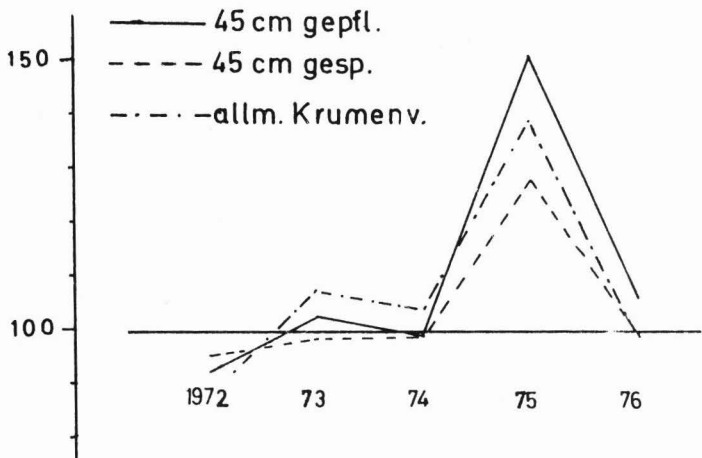
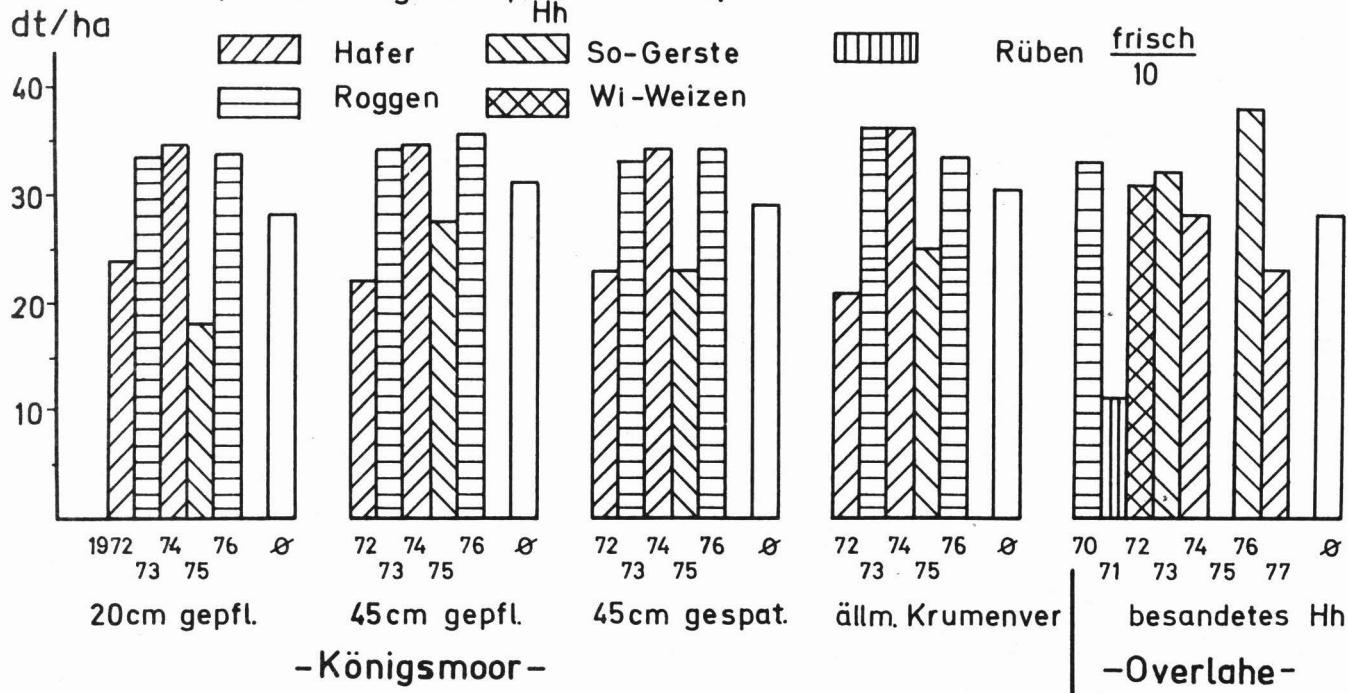


Abb.52 Erträge verschiedener Hochmoorkulturen

(S/Hh-Königsmoor, $\frac{S}{Hh}$ Overlahe)



Nachdem im ersten Jahr alle Varianten schlechter abschnitten als die flachgepflügte, zeigen die gepflügten Varianten in den Folgejahren ein deutlich besseres Ertragsverhalten.

Die gespatete Variante ist in ihrer verbesserten Ertragsentwicklung sichtbar verlangsamt und zeigt nur 1975 eine höhere Ertragsleistung als die Vergleichsvariante. 1977 konnte der Ertrag wegen Nematodenbefalls leider nicht ermittelt werden.

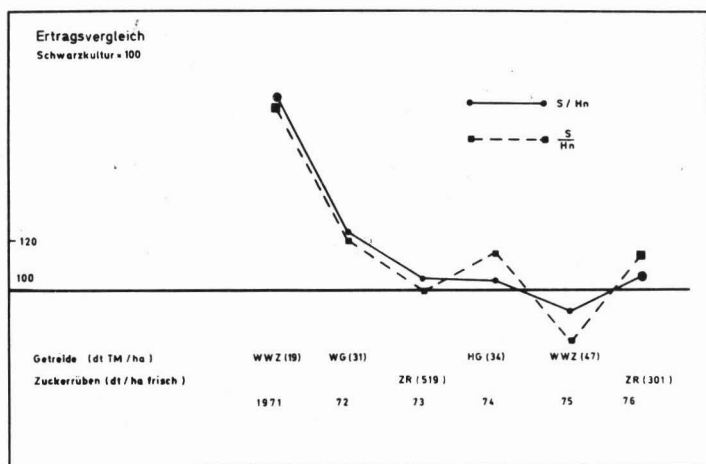
Für die Sandmischkultur in Königsmoor ist anzumerken, daß zwischen Tiefpflügen 1959/60 und Anlage des Krumenvertiefungsversuches 1971 einige Jahre der Grünlandnutzung lagen. Die Setzung ist hier abgeschlossen. Möglicherweise deuten hier die Ertragsanstiege den Homogenisierungs- und Humifizierungsprozeß leicht an. Auch diese Aussage bleibt jedoch vom weiteren Versuchsverlauf abhängig.

Die Erträge des besandeten Hochmoores sind insgesamt unausgeglichener und übersteigen auch nur einmal (1975) das Niveau der Sandmischkultur in Königsmoor (Abb. 52, rechtes Diagramm).

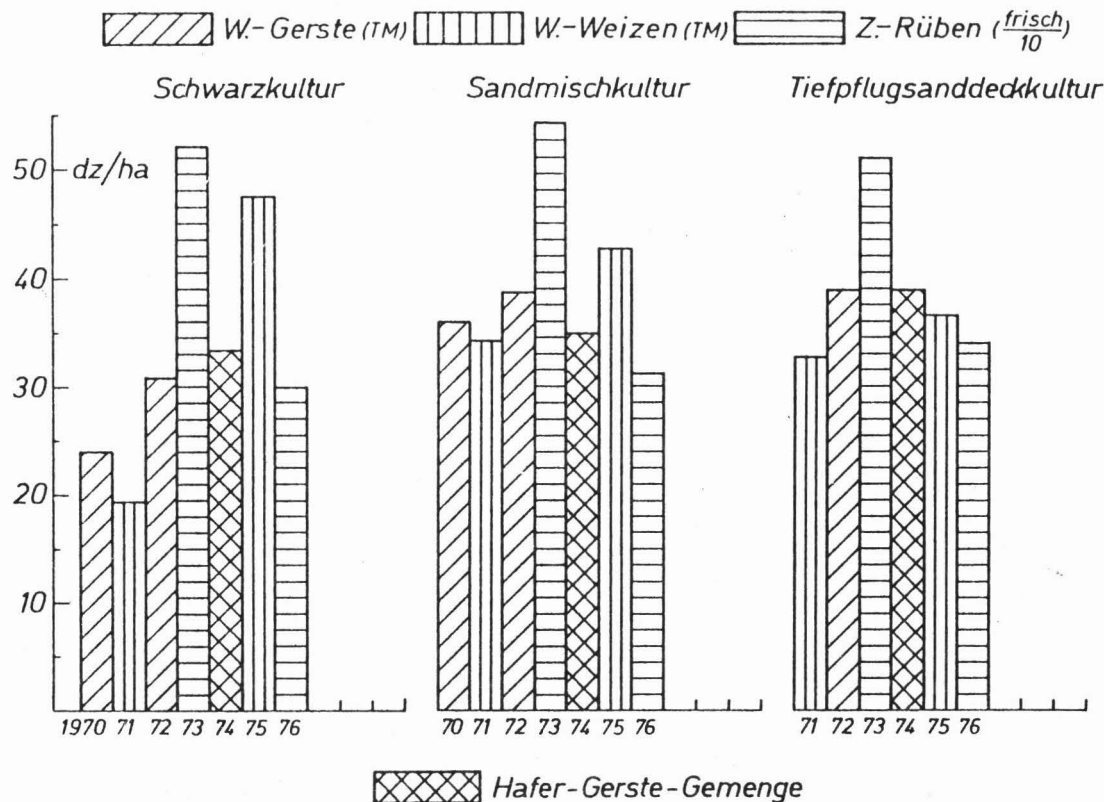
Für die Niedermoorkulturen (Abb. 54) zeigen die beiden tiefgepflügten Varianten insgesamt ein besseres Bild.

Nur im Trockenjahr 1975 ist die Sanddeckkultur deutlich schlechter zu beurteilen als die Sandmischkultur.

Abb. 55 Ertragsvergleich verschiedener Niedermoorkulturen Bortfeld



Erträge verschiedener Niedermoorkulturen (FV 9 Bortfeld)



Der Ertragsvergleich (Abb. 55) zeigt nach anfänglicher sichtbarer Überlegenheit der tiefgepflügten Varianten eine allmähliche Annäherung an das Ertragsniveau der Schwarzkultur. Es bleibt abzuwarten, ob nach 1976 wieder ein Ansteigen der Erträge dieser beiden Varianten festzustellen sein wird.

Insgesamt zeigen die Ertragskurven den von KUNTZE (1972a) dargestellten Rhythmus. Unmittelbar nach der Rekultivierungsmaßnahme stellten sich höhere Erträge ein. Dann folgt mit Setzung des tief gelockerten, gepflügten Bodens eine mehrjährige Phase nachlassen-der Erträge. Erst mit beginnender Homogenisierung und Humifizierung ist ein Wiederanstieg festzustellen.

1977 konnte leider wegen Hagelschadens der Ertrag nicht gewertet werden. Es bleibt abzuwarten, ob der weitere Ertragsverlauf dieser Flächen dem aufgezeigten Prozeß folgt.

3.4.1 Statistische Verrechnung der Ertragsdaten

Die zusammengefaßte Prüfung des langfristigen Erfolges einer Meliorationsmaßnahme ist der Ertrag über einen längeren Zeitraum.

Die Entwicklung der Erträge der Sandmischkultur ist jedoch nicht gleichmäßig. Es fällt auf, daß die beiden tiefer gepflügten Varianten im Schnitt der Jahre die höheren Erträge aufweisen, während die gespatete Variante nur im Jahr 1975 der Variante mit herkömmlicher Bodenbearbeitung überlegen ist (siehe Abb. 52).

Der statistische Ertragsvergleich mit Hilfe der Varianzanalyse zeigte keinerlei gesicherte Ergebnisse und somit auch keinen gesicherten Einfluß der unterschiedlichen Bearbeitungsmaßnahmen.

Es muß daher nach bodenkundlichen Parametern gesucht werden, die zur Deutung dieses unterschiedlichen Ertragsverhaltens herangezogen werden können.

Für stark humose Sandböden steht dabei der Gehalt an organischer Substanz als Bezugsgröße im Vordergrund.

Die Korrelation zwischen Humusgehalt und Ertragsleistung schwankte in den bisher untersuchten Jahren zwischen $r = -0,6$ und $r = +0,5$ (siehe 3.2.2), so daß eine deutliche Ertragsabhängigkeit nicht abgeleitet werden konnte.

Daher wurden zusätzlich mit der Ertragsleistung zusammenhängende Daten des Witterungsablaufes der vergangenen Jahre in die Berechnung mit einbezogen. Zur Prüfung dieser Beziehungen wurden zunächst die Erträge mit der Wasserbilanzsumme für die Monate Januar bis Juni miteinander korreliert.

Die Beziehung zwischen Ertrag und Wasserbilanzsumme ist mit $r = 0,84^{***}$ signifikant.

Daraus läßt sich mit zunehmend ausgeglichener Wasserbilanz in der für den Getreidebau nutzbaren Zeit Januar bis Juni ein Ertragszuwachs feststellen.

Aufgrund der vorher errechneten wechselnden Korrelationen zwischen organischer Substanz und Ertragshöhe wurde zur weiteren Einengung der Abhängigkeiten des Ertrages von bodenkundlichen sowie klimatischen Parametern - Gehalt an organischer Substanz und klimatische Wasserbilanz- mit Hilfe einer multiplen linearen Korrelation der Einfluß beider Größen zu bestimmen versucht. Die sich daraus ergebende Regressionsebene ist in Abb. 56 dargestellt.

Es bestätigen sich hier bereits erwähnte Vermutungen:

- a) unabhängig von der klimatischen Wasserbilanz scheint - im Durchschnitt aller Jahre - der Gehalt an organischer Substanz nur in vergleichsweise unbedeutendem Maße für die Ertragsausbildung verantwortlich zu sein ($0,13 x_1$);
- b) deutlicher ausgeprägt ist dagegen der Einfluß der klimatischen Gegebenheiten auf die Ertragshöhe ($0,57 x_2$).

Der multiple Regressionskoeffizient beträgt $r = 0,84$,
das Bestimmtheitsmaß $B = 71\%$.

Aus diesem Ergebnis könnte gefolgert werden, daß 71% der Ertragsunterschiede der Sandmischkultur in Königsmoor allein durch eine Zunahme des Humusgehaltes und durch Veränderungen der klimatischen Wasserbilanz erklärt werden können.

Die in Abb. 56 festgestellten Beziehungen ändern sich jedoch, wenn statt der Durchschnittserträge für alle Varianten der Jahre 1973 - 1976 jede Variante getrennt verrechnet wird.

Als Beispiel werden in den Abb. 57 und 58 die flachgepflügte und die 45 cm gepflügte Variante miteinander verglichen.

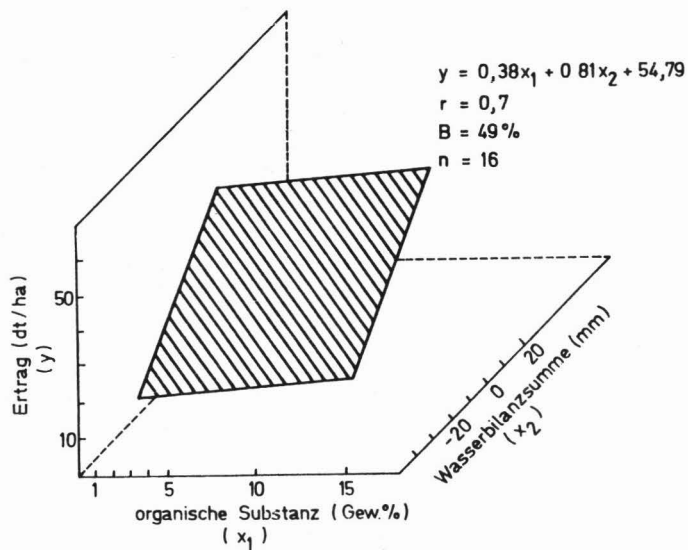


Abb.57 Abhängigkeit des Ertrages (y) vom Gehalt an organischer Substanz (x_1) und der Wasserbilanzsumme (x_2); S/Hh- Königsmoor 20cm gepflügt

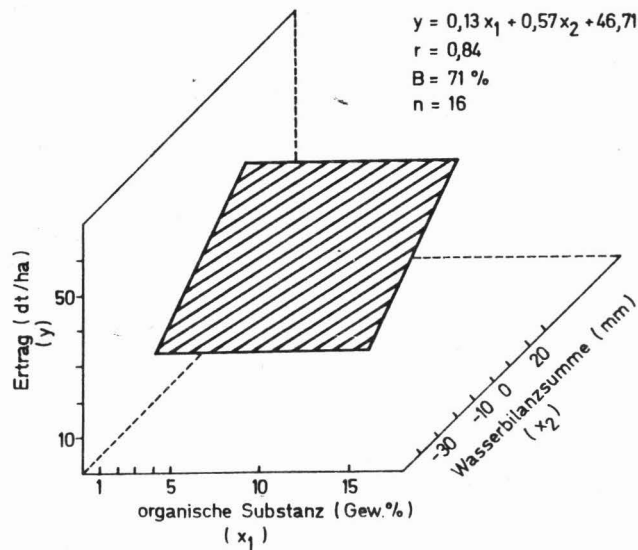


Abb.56 Abhängigkeit des Ertrages (y) vom Gehalt an organischer Substanz (x_1) und der Wasserbilanzsumme (x_2); Sandmischkultur (S/Hh)- Königsmoor, Durchschnitt aller Varianten 1973 - 1976

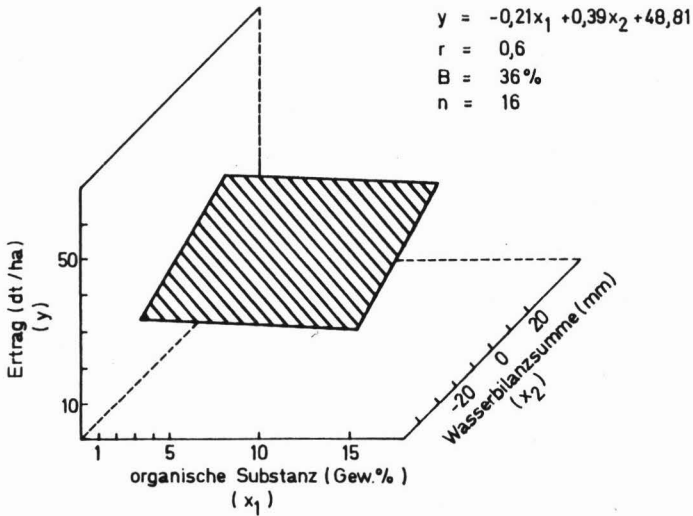


Abb.58 Abhängigkeit des Ertrages(y) vom Gehalt an organischer Substanz (x_1) und der Wasserbilanzsumme (x_2); S/Hr-Königsmoor 45 cm gepflügt

Aus der Regressionsebene der Abb. 57 für die flachgepflügte Variante wird wiederum ein verstärkter Einfluß des Humusgehaltes auf die Ertragsleistung deutlich ($0,38x_1$); noch ausgeprägter macht sich jedoch die Abhängigkeit von der ausgeglichenen Wasserbilanz bemerkbar ($0,81 x_2$).

Das Bestimmtheitsmaß liegt allerdings nur bei $B = 49\%$.

Dagegen lassen sich für die 45 cm gepflügte Variante sehr veränderte Beziehungen feststellen (Abb. 58).

Die Ertragsbeeinflussung durch die Wasserbilanzsumme ist wesentlich geringer ($0,39 x_2$) und zudem wirkt sich bei bereits hohen Durchschnittsgehalten an organischer Substanz ($12,5 - 14,0$ Gew.%) eine weitere Zunahme auf die Ertragsausbildung negativ aus ($- 0,21 x_1$).

(Teile der oben aufgeführten Berechnungen sind bereits bei HAGEMANN und BARTELS 1977 beschrieben worden).

Diese Ergebnisse stehen offensichtlich in Einklang mit den unter 3.3.2 (Porenraumverteilung) aufgezeigten Beziehungen zwischen dem Gehalt an organischer Substanz und den einzelnen Porengrößenklassen.

Geringe Humusgehalte bedingen eine geringe nutzbare Feldkapazität und eine erhöhte Luftkapazität, die Pflanzen reagieren daher dankbarer auf ein erhöhtes Wasserangebot während der Vegetationsperiode (siehe Abb. 57).

Umgekehrt sind bei hohen Humusgehalten (= geringere Luftkapazität, größere nutzbare Feldkapazität) und positiver klimatischer Wasserbilanz geringere Erträge denkbar.

Diese Vermutungen konnten Berechnungen für das Jahr 1976 mit einem relativ ausgeglichenen Ertragsbild jedoch nicht bestätigen.

Ebenso konnte der Einfluß zusätzlicher Parameter (biologische Aktivität, Stickstoff-Fraktionen, Porengrößen) auf die Ertragshöhe nicht signifikant nachgewiesen werden.

Es bleibt daher weiteren Untersuchungen vorbehalten, diese Ergebnisse zu bestätigen.

4 Diskussion

Moorböden werden mit dem Ziel melioriert, einen nachhaltig sicheren, vielseitig nutzbaren und jederzeit zugänglichen Pflanzenstandort zu schaffen. Durch ältere Kulturverfahren (holländische Fehnkultur, Deutsche Hochmoorkultur) geschaffene Moorböden sind jedoch mit zunehmend rationeller landwirtschaftlicher Bodennutzung der erhöhten Beanspruchung im Verlaufe ihrer Alterung nicht mehr gewachsen.

Sie unterliegen damit dem Zwang der Rekultivierung.

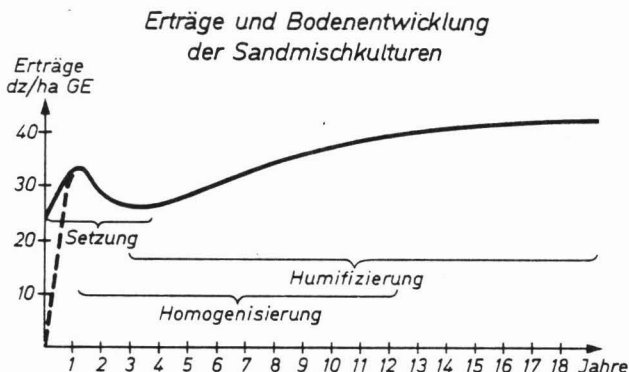
Ein Rekultivierungsverfahren für gealterte Moorkulturen, das vor allem als Kultivierungsverfahren geringmächtiger, wurzelechter Hochmoore seine Verbreitung fand, ist der Tiefumbruch nach Art der Deutschen Sandmischkultur (maximale Pflugtiefe z.Zt. 2,40 m, Torf-/Sandverhältnis je nach Lagerungsdichte 1 : 2 bis 2 : 1 (KUNTZE 1974a), Entwässerungstiefe 0,2 m unter Pflugsohle).

Die anschließende Mischung aus Sand und Torf in der Krume tiefgepflügter Hochmoore ist anfangs roh und inhomogen. Durch bodenbildende Prozesse im Oberboden (Nährstoffakkumulation, Mischung und vor allem Zersetzung der organischen Substanz) wird ein Lebensraum für Bodenlebewesen und Kulturpflanzen geschaffen und somit die Entwicklung zum Boden i.e.S. eingeleitet (BADEN 1968a).

Daran schließt sich die Frage an, welche weiteren Prozesse (Torfschwund, Setzung, Verdichtung) während der fortlaufenden landwirtschaftlichen Nutzung die Bodenentwicklung beeinflussen. Zusammenfassender Ausdruck jeder Bodenentwicklung ist der pflanzliche Ertrag. Welches Ertragspotential langfristig für diese anthropogenen Böden zugrunde gelegt werden kann, ist für die endgültige Beurteilung dieser aufwendigen Bodenmelioration (Nachhaltigkeit) von ausschlaggebender Bedeutung.

KUNTZE (1972a) leitet aus Ertragsdaten und ersten chemischen Untersuchungen den in Abb. 59 dargestellten Bodenbildungsprozeß für Sandmischkulturen ab.

Abb. 59(nach KUNTZE 1972)



Danach wird die zeitliche Entwicklung dieser Böden in drei sich überlagernde Phasen aufgeteilt: 1. Setzung

2. Homogenisierung

3. Humifizierung.

Nach anfangs deutlichen Mehrerträgen (bedingt durch Düngung und Lockerung) ist in den Folgejahren zunächst für kurze Zeit ein Absinken der Erträge zu beobachten.

Ursache hierfür sind physikalische Zustandsänderungen.

Sackung und Setzung bedingen eine zunehmende Dichtlagerung des Tiefpflugprofils, die bis zu 10% der Pflugtiefe betragen kann (KUNTZE 1974a). Etwa nach 4 bis 5 Jahren steigen die Erträge wieder an. Homogenisierung und Humifizierung haben inzwischen eingesetzt und bedingen sich gegenseitig. Eine Stabilisierung der Entwicklung wird frühestens nach etwa 15 Jahren angenommen, da die Erträge später nur noch geringfügig steigen.

Deutsche Sandmischkulturen erreichen dann ein Ertragspotential von ca. 40 dt/ha GE. Sie eignen sich nun auch zum Anbau anspruchsvollerer Kulturpflanzen (Weizen, Zuckerrüben, Mais) und werden sicherer für Winterfrüchte.

Bis zum Ende der 60er Jahre lag ein Schwergewicht der Untersuchungen der Bremer Moorversuchsstation auf der Beschreibung des Nährstoff- und Wasserhaushaltes dieser anthropogenen Böden (BADEN 1960, 1964; BADEN und EGGELSMANN 1958, 1963, 1964; BADEN, EGGELSMANN und JANNER 1960; BADEN und STEINFATT 1958; EGGELSMANN 1960, 1968, 1973; HOFFMANN und FRERCKS 1952, 1955, 1955a; LAUNSTEIN 1960, SEGEBERG 1957).

Nach ersten orientierenden Untersuchungen zum Torfverzehr von FRERCKS und KOSEGARTEN (1956) sowie FRERCKS und PUFFE (1957, 1958) verlagerte sich dieser Schwerpunkt in neuerer Zeit zunehmend auf physikalische und biologische Gesichtspunkte der Bodenreifung. Dabei stand im Vordergrund des Forschungsinteresses der Einfluß der organischen Substanz als wesentliches Charakteristikum dieser stark humosen Böden in ihrem Entwicklungsprozeß.

In steigendem Maße werden auch Niedermoorstandorte in die Untersuchungen mit einbezogen, da die Erfolge der Deutschen Sandmischkultur die Praxis zunehmend zur Ausdehnung dieses Rekultivierungsverfahrens auf marginale Standorte veranlaßte. Die Moorforschung steht bis heute diesem verständlichen Wunsche sehr skeptisch gegenüber.

Man wollte vor allem Vorstellungen darüber gewinnen

- wie sich Homogenisierung und Humifizierung der verschiedenen Torfe (Hh, Hü Hn) mit fortschreitender Alterung dieser Tiefkulturen auf bodenkundliche Parameter auswirken;
- inwieweit daraus ein Bodenbildungsprozeß und damit eine Bodenbewertung abgeleitet werden können;
- ob sich dieser Prozeß lenken und die den Moorböden pflanzenbaulich wie bodentechnologisch nachgesagte Labilität in eine Stabilität umbilden läßt.

Unter dem übergeordneten Aspekt der Qualität und Quantität der organischen Substanz sollen die Ergebnisse dieser Arbeit im Folgenden zuerst für die Hochmoorstandorte und dann für den Niedermoorstandort kommentiert werden.

Wie schon vorausgegangene Untersuchungen (KUNTZE 1972a) zeigen konnten, ändert sich die Qualität der organischen Substanz mit zunehmender Nutzungsdauer. Ausdruck dieses Verhaltens ist u.a. der veränderte Kalkbedarf (FEIGE 1973) ursprünglich sehr stark

humoser bis anmooriger Böden, die ihr physikalisches Optimum nach KUNTZE und DJAKOVIC (1970) bei ca. 8 Gew.% organischer Substanz haben.

Mit fortschreitender Humifizierung der organischen Substanz steigt die Kationenaustauschkapazität für schwach saure phenolische OH-Gruppen bei pH 7, nimmt aber für die stärker sauren COOH-Gruppen bei pH 5,5 ab (KUNTZE 1972a). Aus dieser Umschichtung ionenaktiver Gruppen wird daher eine zunehmende Polymerisation zu Huminstoffen abgeleitet.

Durch Lockerung, Nährstoffzufuhr und Belüftung bei weiterhin ausreichender Bodenfeuchte wird ein für Mikroorganismen günstiger Lebensraum geschaffen. Diesem Zusammenwirken wird auch durch Bebrütungsversuche nach ISERMEYER nachgegangen. In den verschiedenen Hochmoorböden werden recht unterschiedliche mikrobielle Aktivitäten gemessen.

Dabei weisen die Varianten der Deutschen Sandmischkultur in Königsmoor mit tieferer Bearbeitung (45 cm gespatet, allmähliche Krumenvertiefung) die höhere biologische Aktivität in den oberen 20 cm der Krume auf.

Mit der erhöhten Mikroorganismen-tätigkeit geht auch eine zunehmende Zersetzung der organischen Substanz einher, die für diese Varianten in einer erhöhten Torfabbaurate sichtbar wird (mehr als 80 t/ha in 4 Jahren gegenüber 56 t/ha bei flacher Bearbeitung). Die nachteiligen Auswirkungen, die dieser relativ hohe Torfverzehr mit sich bringt, werden in Abb. 5 aufgezeigt.

Die 20 cm gepflügte Variante, die innerhalb dieser Sandmischkultur als die vergleichsweise ältere bezeichnet werden muß - da bei flacher Beackerungstiefe keine rohen Torfe mehr mit eingepflügt werden - liegt in ihrer biologischen Aktivität bereits deutlich niedriger, ebenso zeigt die 1938 angelegte Fehnkultur nicht so hohe CO₂-Freisetzungssummen wie die vorher beschriebenen zwei Varianten.

Es ist daher anzunehmen, daß der schnelle Ab- und Umbau der organischen Substanz mit Beendigung der Krumenvertiefung nachläßt und sich die Mikroorganismen-tätigkeit mit zunehmender Humifizierung der jährlich maßvoll eingepflügten, unzersetzten Torfe bei geringeren Werten einpendelt.

Seit 1969 laufen Zelluloseabbauversuche nach der Methode UNGER. Wie nach neuesten Ergebnissen (BARTELS, unveröffentlicht) festgestellt werden konnte, ist auch nach dieser Methode anfänglich eine hohe Abbaurate zu bestimmen; inzwischen ist jedoch ein niedrigerer Zelluloseabbau eingetreten.

Wie sehr die mikrobielle Aktivität durch intensive Bewirtschaftung gesteigert werden kann, zeigt das Beispiel des besandeten Hochmoores in Overlahe. Dennoch ist auf dieser Fläche zunächst kein wägbarer Verlust an organischer Substanz festzustellen, da aufgrund der ungleichmäßigen Sandabdeckung und einer Bearbeitungstiefe von 25 - 30 cm jedes Jahr erneut rohe Torfe in die Krume eingemischt werden. Somit wird hier ein unwirtschaftlicher Raubbau an wertvoller organischer Substanz betrieben.

Die alten Empfehlungen der Bodennutzung von Fehnkulturen besagen, daß jährlich etwa 1 cm unzersetzter Torf mit eingearbeitet werden sollte. Das ist jedoch mit zusätzlichen Torfverlusten verbunden, die mit zunehmender Näherung zum Grundwasser hydrologische Nachteile aufkommen lassen. Der Abstand zum schlecht durchlässigen, stärker zersetzten Hochmoortorf wird geringer und die Gefahr der Staunässe nimmt zu, wenn zwischen der Sandmischkrume und dem älteren, grobporenarmen Hochmoortorf weniger als 6 dm physikalisch günstiger Weißtorf bzw. Bunkerde verbleiben (KUNTZE 1973).

Die wiederholt angeführten Zweifel über Alterung und Lebensdauer dieses Moorkulturtyps erscheinen daher berechtigt (BADEN, EGGELSMANN und JANNER 1960).

Korrespondierend zur biologischen Aktivität wird eine andere qualitative Eigenschaft der organischen Substanz mit beeinflußt. Wie KUNTZE (1972a) nachweisen konnte, steigt mit zunehmender Humifizierung der Hochmoortorfe der Stickstoff-Anteil in der organischen Substanz von Sandmischkulturen.

Gleiche Ergebnisse wurden auch bei den vorliegenden Untersuchungen gefunden (5,5 mg N/1 g organische Substanz bei rohen Hochmoortorfen und 32 mg N/1 g organische Substanz bei einer seit 1938 genutzten Fehnkultur).

Bei weiterer Fraktionierung des organisch gebundenen Stickstoffs zeigt sich, daß zunächst bei relativ frischen Mischungen aus Hochmoortorf und Sand (= Variante mit allmählicher Krumenvertie-

fung) der Gehalt an hydrolysierbarem Stickstoff (NHY) sehr hoch liegt, und das Verhältnis $NHY : HZ_{nh}$ (heterozyklisch gebundener, nicht hydrolysierbarer Stickstoff) mit 3 : 1 dem der Schwarzerde (FLEIGE et al. 1971) und älterer stark humoser Sandböden (z.B. Plaggenesch (SCHEFFER, persönliche Mitteilung)) sehr nahe kommt.

Der Extremfall ist wiederum mit 88% NHY vom Gesamt-Stickstoff (N_t) bei der Hochmoorbesandung in Overlahe zu finden.

Mögliche positive Zusammenhänge zwischen der Höhe der biologischen Aktivität (CO_2 -Freisetzung) und dem Anteil an hydrolysierbarem Stickstoff sind daher denkbar. Bei der Beurteilung der extremen Werte für den Versuchsstandort Overlahe ist außer der intensiven Bewirtschaftungsweise zu berücksichtigen, daß mit dem tieferen Pflügen bereits belebte und durchwurzelte Bunkerde erfaßt und in die Krume mit eingemischt wird.

Eine gleichmäßige Bearbeitungstiefe bzw. längere Nutzungsdauer, bewirkt dagegen eine Abnahme des hydrolysierbaren Stickstoff-Anteils. Der absolute Stickstoff-Anteil in der organischen Substanz nimmt zwar mit Fortschreiten der Humifizierung zu, jedoch verringern sich seine dem mikrobiellen Abbau zugänglichen Fraktionen.

Die Stickstoffmengen im Boden erhöhen sich von ca. 2 500 kg N/ha . 20 cm Tiefe für den Hochmoortorf aus Königsmoor (r_t 135 g/dm³) auf 3 500 - 5 000 kg N/ha . 20 cm Tiefe - je nach Humusgehalten - für die Sandmischkulturvarianten (r_t 800 - 1 200 g/dm³). In die Fehnkultur (5,3 Gew.% organischer Substanz, r_t 1 380 g/dm³) sind nach 40jähriger Nutzung 4 700 kg N/ha . 20 cm Tiefe eingebaut worden.

Die Stickstoff-Zufuhr über die Düngung ist mit durchschnittlich 80 - 100 kg N/ha Jahr anzusetzen.

Aus dem Vergleich der Aminosäuren-Spektren verschieden alter Mischkulturen läßt sich außer einer absoluten Zunahme der einzelnen Aminosäuren keine Veränderung in ihrer Sequenz ablesen. Offenbar kann daher die organische Substanz aus Hochmoortorfen im Verlaufe ihrer Nutzung hinsichtlich ihrer Stickstoff-Fraktionen und ihres Aminosäuren-Verteilungsmusters niedermoorartigen Charakter annehmen, wie der Vergleich der Fehnkultur mit der Niedermoor-Schwarzkultur beweist (Abb. 13).

Inwieweit der geringe NHY-Anteil älterer Mischkulturen durch organische Düngung wieder erhöht werden kann, muß weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Ebenso besteht keine Klarheit darüber, wie sich der Anteil der Fraktionen während einer Vegetationsperiode verändert.

ALDAG et al. (1977) konnten recht erhebliche Schwankungen der verschiedenen Fraktionen bei einer Löß-Parabraunerde innerhalb eines längeren Untersuchungszeitraumes nachweisen. Es müssen somit auch Aussagen über qualitative und quantitative Veränderungen und Bilanzierungen des Stickstoff-Pools unterbleiben.

Eine weitere denkbare Erklärung für die gesteigerte biologische Aktivität und den daraus möglicherweise resultierenden höheren NHY-Anteilen "jüngerer" Mischböden bietet DUTZLER-FRANZ (1977) an: Dort werden mehrere Autoren zitiert, die erhöhte Enzymaktivitäten (vor allem proteolytische Enzyme) "in einigen Mooren" feststellen.

Es geht aus der Arbeit allerdings nicht hervor, ob es sich um Hochmoor- oder Niedermoorböden handelt.

Allgemein findet DUTZLER-FRANZ (1977) in Humushorizonten höhere Enzymgehalte, deren Aktivitäten aber wiederum von der Bodenreaktion abhängen.

Eine weitere qualitative Veränderung der organischen Substanz mit zunehmender Alterung konnten SCHEFFER und HIDDING (1977) nachweisen.

Aufgrund von Schweretrennungen mit CCl_4 stellten sie fest, daß mit fortschreitendem Alter einer Deutschen Sandmischkultur die spezifisch schwerere Fraktion ($d < 1,59 \text{ g/cm}^3$) zunimmt (von 90 auf ca. 100%) und in dieser Fraktion sich gleichzeitig ihr Stickstoff-Anteil erhöht (von 0,8 auf 2,3% N). Es muß daher angenommen werden, daß sich auch innerhalb der spezifisch leichteren und schwereren Fraktion der Anteil der organischen Stickstoff-Bindungsformen ändert.

Eine Stickstoff-Fraktionierung des spezifisch leichteren und des schwereren Anteils könnte beispielsweise Aufschluß über das Vorhandensein und die Menge des heterozyklisch gebundenen Stickstoffs in der spezifisch schwereren Fraktion geben.

Mit Zunahme des spezifisch schwereren Anteils verbessern sich auch die physikalischen Eigenschaften dieser anthropogenen Böden.

Die vor allem bei jüngeren Sandmischkulturen beobachtete mechanische Trennung von Sand und Torf durch Wind oder Wasser und die Erosion der spezifisch leichteren organischen Substanz kann bei älteren Böden nicht mehr festgestellt werden, wie folgendes Beispiel aus Königsmoor belegt.

Beispiel Winderosion Frühjahr 1976 in Königsmoor:

- alte Fehnkultur (keine Winderosion)	5 - 6%	organische Substanz
- jüngere Sandmischkultur (Winderosion)	4 - 5%	" "
- jüngere Sandmischkultur (keine Winderosion)	13,1%	" "

SCHEFFER und HIDDING (1977) ziehen daraus den Schluß, daß sich mit zunehmender Humifizierung der organischen Substanz relativ stabile Sand-Humus-Komplexe bilden.

ROCHUS (1977) unterstellt dagegen aufgrund seiner schonenden Fraktionierung des Humuskomplexes auch Ton-Schluff-Humus-Komplexe in Sandmischkulturen.

Es kann weiter vermutet werden, daß diese stabileren organo-mineralischen Verbindungen die Gefügebildung und Porenraumkontinuität verbessern, da eine vorstellbare Verlagerung feinsten organischer Bestandteile in die gröberen Poren unterbleibt.

Der Einfluß der organischen Substanz auf Kenngrößen des Wasserhaushaltes ist in vielen Untersuchungen nachgewiesen worden (z.B. SEGEBERG 1957, SCHEFFER und ULRICH 1960, BOEKEL 1963, MENGE 1965, KUNTZE 1965, 1968; KUNTZE und DJAKOVIC 1970, RENGGER 1973, zit. bei KUNTZE 1974a).

Daraus ist abzuleiten, daß neben der Qualität (Torfart, Zersetzungs- bzw. Humifizierungsgrad) in erster Linie die Quantität der organischen Substanz bodenphysikalische Parameter beeinflusst.

So zeigen auch die pF-Bestimmungen der untersuchten Sandmischkulturböden in der Krume zum Teil hoch signifikante Abhängigkeiten vom Gehalt an organischer Substanz.

Hochsignifikant ist die Zunahme des Gesamt-Porenvolumens (GPV) ($r = 0,94^{***}$) und des Porenbereiches der nutzbaren Feldkapazität $10 - 0,2 \mu\text{m}$ ($r = 0,75^{***}$) mit steigenden Gehalten an organischer

Substanz. Dagegen ergaben sich für schnell und langsam dränende Poren ($> 50 \mu\text{m}$ und $50 - 10 \mu\text{m}$) unterschiedliche Abhängigkeiten. Mit steigenden Gehalten an organischer Substanz nimmt die Luftkapazität ($> 50 \mu\text{m}$) bis zu einem Minimalwert bei $10 - 15 \text{ Gew.}\%$ organische Substanz ab, während die Porengrößen $50 - 10 \mu\text{m}$ gerade in diesem Bereich ihrem Maximum zustreben.

Die Umwandlung der beiden dränenden Porengrößenklassen bei steigendem Gehalt an organischer Substanz wird auf die kombinierte Wirkung qualitativer und quantitativer Veränderungen der Torfkomponente zurückgeführt.

Die bei hohem Humusgehalt verstärkte Mineralisierung und Humifizierung führen vermutlich zu einer Aggregation organischer und mineralischer Bodenbestandteile (Bildung von Sand-Humus-Komplexen), die bei dichter Lagerung den abnehmenden Anteil der schnell dränenden Poren hervorrufen.

Die mit der Alterung von Sandmischkulturen zunehmend dichte Lagerung beweisen die in Tab. 15 aufgeführten Rohdichten.

Tabelle 15 Rohdichte (g/dm^3) verschiedener Hochmoorkulturen

Hochmoortorf	:	135 (gTM/dm^3)	
masch. Besandung	:	900	"
Dt. Sandmischkultur			
allm.Krumenvertief.	:	1 060	"
20 cm gepflügt	:	1 210	"
Fehnkultur	:	1 380	"

Die Verringerung des luftführenden Porenraumes könnte besonders in niederschlagsreichen Frühjahren ein Nachteil sein.

Deutlich verbessert wird mit dem Anstieg des Gehaltes an organischer Substanz jedoch der Anteil der Poren mit pflanzenverfügbarem Wasser, so daß Trockenzeiten von den Pflanzen besser toleriert werden können.

Mit dem Alter nimmt der Humusgehalt von Sandmischkulturen bekanntlich ab (KUNTZE 1972a). Unter der Voraussetzung, daß die für einen Zeitpunkt bestimmten Beziehungen zwischen dem Gehalt an organischer Substanz und den Porengrößenklassen langfristig ihre Gültigkeit behalten, läßt sich daraus ableiten, daß mit zunehmender

Alterung das Gesamtporenvolumen und die nutzbare Feldkapazität abnehmen, die Luftkapazität dagegen steigt - Sandmischkulturen also trockenempfindlicher werden.

Das unterschiedliche Ertragsverhalten in Abhängigkeit vom Witterungsablauf (siehe 3.4.1) scheint diese Vermutung noch zu bekräftigen.

Deshalb ist die Zufuhr "frischer" Torfsubstanz in Fehnkulturen und bei allmählicher Krumenvertiefung von Sandmischkulturen dem Bestreben gleichzusetzen, die optimale Porenraumgliederung wieder herzustellen bzw. zu erhalten.

Bei tieferer Bodenbearbeitung sind außerdem Veränderungen der Porenraumgliederung durch Sackung und Setzung infolge der gestiegenen Torfabbaurate zu bedenken, die zu wiederholter Vertiefung der Vorflut zwingen.

Mit zunehmender Humifizierung der organischen Substanz von Sandmischkulturböden ist eine Umverteilung ihrer Porengrößenklassen festzustellen, die sich nur bei geringerem (maximal 6 - 8 Gew.%) Humusgehalt als günstig beurteilen läßt (KUNTZE und DJAKOVIC 1970). Messungen zur Wasserbewegung in einer Sandmischkultur (Beregnungsversuch und Tensiometermessungen 1977) machen Unterschiede in Abhängigkeit von der Bearbeitungstiefe sichtbar.

In Trockenzeiten treten in der Krume flach bearbeiteter Sandmischkulturen recht hohe Saugspannungen auf, die einen starken Sog auf die kapillare Wasserbewegung bis in größere Tiefen, sowohl im Torfbalken als auch im Grenzbereich zwischen Sand- und Torfbalken, ausüben.

Der erhebliche Austrocknungsgrad in diesem Bereich wird zurückgeführt auf die sehr gute und kräftige Durchwurzelung in den schwächer zersetzten Schichten des Torfbalkens (ehemalige Grünlandnarbe), die zudem im Pflanzenbestand durch unterschiedliche Streifung ihren Niederschlag findet.

Ferner wurde bei der Wiederbefeuchtung nach einer Trockenphase (1976) eine sehr abwechslungsreiche Wasserbewegung zwischen Sand- und Torfbalken festgestellt.

Je nach Sättigungsgrad des Sandbalkens wird überschüssiges Wasser in die Torfbalken abgegeben bzw. von dort wieder aufgenommen und über den Sandbalken infolge seiner guten dränenden Wirkung in den Untergrund abgeführt.

Bisher wurde die Bedeutung der Torf/Sand-Schrägschichtung im Unterbodenbereich von Sandmischkulturen allein auf die Wasserspeicherung im Torf- und die Dränung im Sandbalken zurückgeführt.

Jetzt können auch für den ungesättigten Bereich wesentliche Vorzüge dieser Profilgestaltung hervorgehoben werden.

Es wird daraus die Überlegung abgeleitet, durch eine Krumenvertiefung kritische Phasen des Wasserangebotes für die Pflanze zu verbessern.

Tensiometermessungen im Sommer 1977 auf einer flachbearbeiteten und einer 45 cm tiefgepflügten Sandmischkultur-Variante konnten den oben beschriebenen Befund bestätigen.

Eine deutlich höhere Austrocknung wird in der Krume ebenso wie in größeren Schichttiefen der flach gepflügten Variante ermittelt. Besonders dem Torfbalken ist in 45 cm Tiefe sehr viel Wasser entzogen worden.

Gradientenberechnungen deuten auf den starken kapillaren Sog hin, der von diesem durchwurzelten Bereich des Sandmischkulturprofils ausgeht.

Wesentlich ausgeglichener verlaufen dagegen die Saugspannungskurven in der 45 cm gepflügten Variante. Sowohl in 20 cm Tiefe als auch im unteren Bereich der tiefgemischten Krume liegen die gemessenen Saugspannungen und die berechneten Gradienten zu vergleichbaren Zeitpunkten sehr viel niedriger und damit für ein ausgeglichenes Pflanzenwachstum günstiger als bei konventioneller flacher Bearbeitung.

In der unteren Meßtiefe werden - im Gegensatz zur flachgepflügten Variante - nur ganz geringe Saugspannungen gemessen. Die Berechnung der Gradienten zeigt hier, daß im Verlaufe eines vom Witterungsablauf her "normalen" Jahres, für diese Variante eine erheblich geringere Wassernachlieferung nötig war.

Durchlässigkeit und Bodenwiderstand werden bei den untersuchten Mischkulturen offensichtlich kaum durch den Gehalt an organischer Substanz beeinflusst, wie die folgende Tabelle zeigt (Tab. 16).

Tabelle 16 Wasserdurchlässigkeit verschiedener Hochmoorkulturen (cm/d)

Sandmisch-	20 cm gepflügt	55
kultur	45 cm gepflügt	64
Königsmoor	45 cm gespatet	90
	allm.Krumenvertief.	62
besandetes Hochmoor Overlahe		93

Für die Varianten mit vertiefter Krume ist jedoch anzumerken, daß bis zur Bearbeitungstiefe ein insgesamt homogenerer, für die Pflanzenwurzeln besser zugänglicher Raum geschaffen wird.

Für die zusammenfassende Bewertung einer Meliorationsmaßnahme muß der Ertrag mit berücksichtigt werden. Die durchschnittlichen Erträge nach 5jähriger Ackernutzung sind in Tabelle 17 aufgeführt.

Tabelle 17 Durchschnittliche Erträge verschiedener Hochmoorkulturen 1972 - 1976 (dt/ha)

Sandmisch-	20 cm gepflügt	28,8
kultur	45 cm gepflügt	30,8
Königsmoor	45 cm gespatet	29,2
	allm.Krumenvertief.	30,2
besandetes Hochmoor Overlahe		28,7

Danach wäre dem 45 cm tiefen Pflügen neben der allmählichen Krumenvertiefung gegenüber der herkömmlich bearbeiteten Variante mit einem durchschnittlichen Mehrertrag von 1,5 - 2,0 dt/ha bereits von vornherein der Vorzug zu geben.

Bezieht man die bisher erläuterten qualitativen und quantitativen Einflüsse der organischen Substanz in die Betrachtung mit ein, so muß abschließend folgende Wertung vorgenommen werden:

Die gesteigerte biologische Bodenaktivität, mehr organisch gebundene Stickstoffformen, günstigere Porenraumverteilung (= höhere nutzbare Feldkapazität), ausgeglichene kapillare Wasserbewegung und durchschnittlich höhere Erträge sind Beweise für die relative Vorzüglichkeit der tiefer gepflügten Varianten.

Für die Variante mit allmählicher Krumenvertiefung muß allerdings einschränkend hinzugefügt werden, daß sie hier nicht endgültig beurteilt werden kann, da die vorgesehene Bearbeitungstiefe von 45 cm noch nicht erreicht ist.

Dennoch scheint diese Variante langfristig sichereren Meliorationserfolg zu versprechen, da schon jetzt gegenüber der 45 cm tiefgepflügten Fläche eine größere Stabilität unterstellt werden kann. Das dosierte Zuführen der organischen Substanz mit allmählicher Krumenvertiefung wird offensichtlich besser "verkräftet" als die einmalige, tiefgreifende und intensive Einmischung größerer Mengen roher, unzersetzter Torfe, die vorübergehend sogar anmoorige Stadien mit Staunäassenmerkmalen zur Folge haben können. Eine in längeren Zeitabständen vorgenommene allmähliche Vertiefung der Krume (beispielsweise alle 2 bis 3 Jahre) könnte den humusschonenden Effekt verstärken.

Daher kann abschließend folgende Aussage formuliert werden:

Der Bodenbildungsprozeß einer Sandmischkultur kann aktivierend beeinflusst werden, solange eine maßvolle Krumenvertiefung oberstes Gebot bleibt.

Deckkulturen auf Niedermooren (Moordammkulturen nach von RIMPAU 1887) sind in ihrer unzureichenden Nachhaltigkeit schon länger bekannt.

Ein bisher wenig angewandtes Meliorationsverfahren für flachgründige Niedermoore ist die Tiefpflugsanddeckkultur. Mit Hilfe des Stufenpfluges ist es dabei möglich, soviel Material aus dem Liegenden aufzupflügen, daß es als 20 - 30 cm mächtige Deckschicht über den ähnlich wie bei der Deutschen Sandmischkultur im Untergrund schräg geschichteten Torf- und Sandbalken verbleibt. Die nachfolgende Bearbeitung erfaßt zur Schonung der wertvollen Niedermoortorfe nur die mineralische Deckschicht.

Dieses Verfahren bleibt bisher auf maximal 80 cm mächtige, ausreichend entwässerte Niedermoore beschränkt (KUNTZE 1974a).

Erste Versuche der Rekultivierung flachgründiger Niedermoore über Talsanden werden von WOJAHN (1960) vorgestellt. KUNTZE (1974) berichtet ebenfalls über Ergebnisse einer derartigen, 1969 angelegten Beispielfläche und erwartet eine Bodenentwicklung mit zunehmender Nutzungsdauer in der mineralischen Auflage sowie eine Konservierung guter Eigenschaften des sonst vom schnellen Abbau bedrohten Niedermoortorfes.

Dieser angesprochene Versuchsstandort - Bortfeld bei Braunschweig - ist Bestandteil des Untersuchungsprogramms.

Das Hauptaugenmerk richtet sich dabei auf den Vergleich der Niedermoorschwarzkultur mit den beiden Tiefpflugverfahren Niedermoor-Tiefpflugsanddeckkultur und Niedermoor-Tiefpflugsandmischkultur hinsichtlich ihrer Ertragsleistung und ihrer Bodenentwicklung.

Nach 7jähriger Nutzung lassen sich folgende Ergebnisse mitteilen:

Der Gehalt an organischer Substanz und die biologische Aktivität zeigen bei der Tiefpflugsanddeckkultur sehr geringe Werte. Eine Humusanreicherung in der mineralischen Deckschicht ist bisher kaum festzustellen, entsprechend niedrig liegt auch die CO_2 -Entbindung bei der Bebrütung nach ISERMEYER.

Die Schwarzkultur und die Niedermoor-Sandmischkultur weisen dagegen vergleichbar hohe CO_2 -Freisetzungen auf. Dieser Vergleich kann als weiterer Beweis für die geringfügigen Veränderungen der Niedermoorbodeneigenschaften durch Vermischen der Torfe mit Mineralboden gewertet werden. Die CO_2 -Entbindung liegt jedoch niedriger als bei der Sandmischkultur.

Die Stickstofffraktionierung ergibt für alle drei Versuchsvarianten ein etwa gleichwertiges Verteilungsmuster. Daraus wird geschlossen, daß die geringen Mengen organischer Substanz der Sanddeckkultur nicht bodenbürtig sind, sondern weitgehend aus teilweise heraufgepflügten Niedermoortorfen bestehen.

Es ist anzunehmen, daß die bisher zögernd einsetzende Bodenentwicklung auf den chemisch und physikalisch inaktiven Schluffanteil (ca. 50%) dieses Bodens zurückzuführen ist.

Die Körnung der Sanddeckkultur ist zudem verantwortlich für eine Reihe von ungünstigen physikalischen Eigenschaften.

Bei der pF-Wert Bestimmung kann nur ein geringes Makroporenvolumen festgestellt werden (6,5 Vol.%), ebenso ist die Möglichkeit der Wasserspeicherung dieses Bodens im Vergleich zur Sandmischkultur sehr beschränkt (15 Vol.% nFK = nutzbare Feldkapazität). Die nutzbare Feldkapazität anderer Böden ist in Tab. 18 aufgeführt.

Tabelle 18 nFK verschiedener Böden in Vol.%
(SCHEFFER - SCHACHTSCHABEL 1976)

Sandböden	7 $\pm$ 5
Tonböden	10 $\pm$ 5
Hochmoor	50

Korrelationsberechnungen belegen auch hier einen hoch signifikanten Einfluß schon geringer Mengen organischer Substanz auf das Gesamt-Porenvolumen und vor allem auf die nutzbare Feldkapazität. Günstigere Porenraumverteilungen werden dem entsprechend bei der Tiefpflugsandmischkultur gefunden (10,5 Vol.% LK; 18,5 Vol.% nFK). In der Literatur dargestellte Verschlechterungen des Porenvolumens durch Vermischen von Niedermoor torfen mit sehr feinkörnigen Mineralböden (SCHMID 1969, KUNTZE 1974a) können mit den vorliegenden Ergebnissen nicht belegt werden.

Hier könnten ebenfalls begonnene Schweretrennungen (HIDDING und SCHEFFER, unveröffentlicht) zur Klärung der Bildung organo-mineralischer Komplexe bei zunehmendem Alter beitragen.

Kf-Messungen ergeben für die Schwarz- und Sandmischkultur sehr hohe bis hohe Durchlässigkeiten. Eine deutlich geringere Wasserdurchlässigkeit wird dagegen in der schluffreichen Krume der Sanddeckkultur gemessen. An einigen Stellen werden vorübergehend völlig undurchlässige Schichten festgestellt (BARTELS und HAGEMANN 1977).

Im Einklang mit diesen Meßergebnissen stehen zahlreiche Feldbeobachtungen (Reduktionszonen in der Krume, Beinigkeits von Zuckerrüben) und Bodenwiderstandsmessungen.

Während die humusreiche Tiefpflugsandmischkultur der Sandmischkultur in Königsmoor vergleichbare Eindringwiderstände zeigte, war für die

Tiefpflugsanddeckkultur in Höhe der Bearbeitungstiefe eine eindeutige Verdichtung zu lokalisieren.

Alle geschilderten physikalischen Nachteile der Tiefpflugsanddeckkultur müssen in erster Linie auf die ungünstige Körnung und die damit verbundene Gefügelosigkeit dieses Bodens zurückgeführt werden.

Staunässe schon nach kurzen heftigen Niederschlägen tritt nicht - wie zu erwarten gewesen wäre (KUNTZE 1974) - in der Niedermoor-Sandmischkultur auf, sondern vorwiegend in der humusarmen Sanddeckkultur. Eine mögliche Anreicherung erodierter Schluffteilchen an die Pflugsohle könnte als Ursache dafür angenommen werden.

In diesem Zusammenhang muß jedoch die Frage diskutiert werden, ob es sich hier - wie angenommen - um Stauwasser handelt oder ob eher ein haftnasser Boden vorliegt. Vorstellbar wäre sogar ein ständiger Wechsel zwischen Stau und Haftnässe auf engstem Raum im Bereich der Pflugsohle der Sanddeckkultur.

Der Porensprung zwischen Mineralbodendecke und Torfbalken (siehe Abb.29) läßt eine zeitweilige Stauwasserbildung vermuten, während das ungünstige Porenvolumen des bindigen Mineralbodens, das sich im Sandbalken fortsetzt, die Ausbildung von Haftnässe fördert.

Die Ertragsleistung beider Tiefkulturen nimmt nach anfänglichen hohen Steigerungsraten kontinuierlich ab. Es bleibt abzuwarten, ob sich die Bodenbildung auch für diesen Standort dem von KUNTZE (1972a) aufgezeigten zeitlichen Entwicklungsablauf anpaßt und in den folgenden Jahren wieder mit steigenden Erträgen zu rechnen ist.

Tabelle 19 Ertragsdurchschnitt verschiedener Niedermoor-kulturen (dt/ha) 1971 - 1976

Niedermoorschwarzkultur	35,5
Niedermoorsandmischkultur	39,3
Niedermoor-Tiefpflugsanddeckkultur	38,6

Die für diesen Tiefkulturversuch bisher gesammelten ungünstigen Erfahrungen sollten jedoch nicht dazu führen, daß auch für Niedermoor die Deutsche Sandmischkultur als Meliorationsverfahren empfohlen wird; denn nach wie vor bleiben sowohl für die Schwarzkultur als auch für die Sandmischkultur die bekannten Nachteile

bei der ackerbaulichen Nutzung nährstoffreicher Niedermoore bestehen (Nachtfrostgefahr, Unkrautdruck, Winderosion).

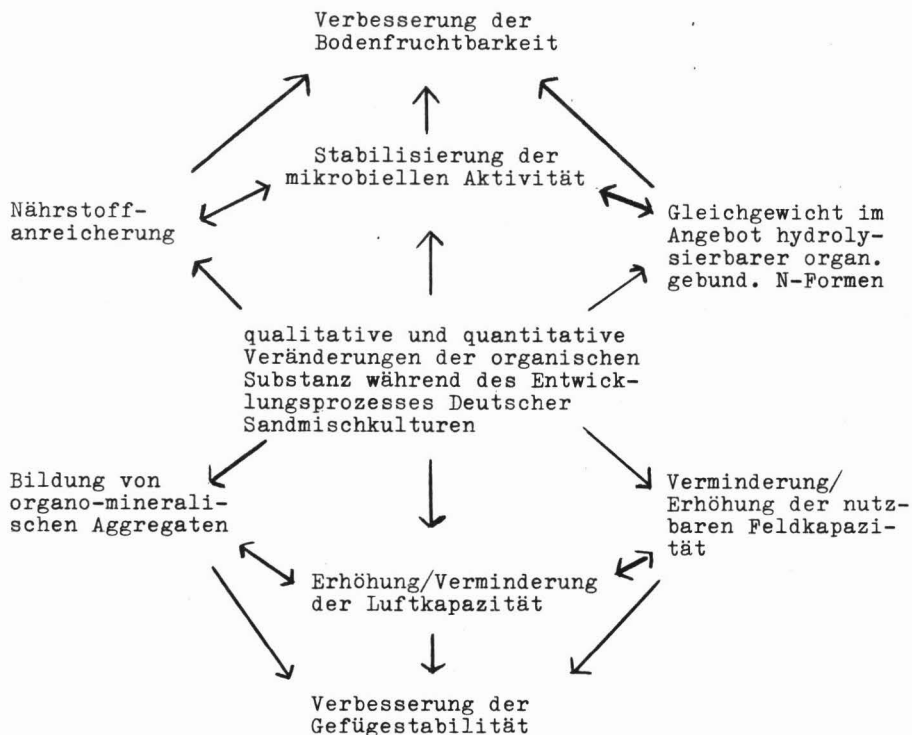
Wenn man sich entschließt, die Niedermoor-Tiefpflugsanddeckkultur erneut zu rekultivieren, bieten sich zwei Möglichkeiten an:

- Vertiefung der Krume
- tiefes Lockern.

Beiden Verfahren ist die Humusanreicherung in der Krume (als "Initialzündung" für die Bodenbildung) gemeinsam; die tiefe Lockerung bietet zudem den Vorteil, daß mögliche Dichtlagerungen an der Pflugsohle und in den schräggeschichteten Sandbalken durchbrochen werden können.

Die in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Untersuchungsergebnisse können zunächst nur als weitere "Momentaufnahme" zur Beschreibung des Entwicklungsprozesses von Sandmischkulturen und Sanddeckkulturen gewertet werden.

Es wird deutlich, daß vor allem der qualitativen Veränderung der organischen Substanz dabei eine hervorragende Bedeutung beigemessen werden muß, da durch sie wesentliche bodenkundliche Parameter beeinflußt werden. Sie sind in dem folgenden Schema verallgemeinernd dargestellt.



Es muß fortführenden Untersuchungen vorbehalten bleiben, bisherigen Erkenntnissen über die bei der Entwicklung von Sandmischkulturen ablaufenden Auf- und Umlaufprozesse der organischen Substanz, weitere Daten hinzuzufügen.

Erfolgversprechende Forschungsrichtungen scheinen durch neueste Ergebnisse vorgezeichnet zu sein:

- Schweretrennungen (SCHEFFER und HIDDING 1977) in Verbindung mit Stickstoff-Fraktionierung,
- Schonende Fraktionierungen der organischen Substanz (ROCHUS 1977) ebenfalls in Verbindung mit Stickstoff-Fraktionierungen,
- Bestimmung der Enzymaktivitäten (proteolytische Enzyme, Urease, alkalische Phosphatase) organogener Böden (DUTZLER-FRANZ 1977).

5 Zusammenfassung

Die Deutsche Sandmischkultur hat sich als ein Meliorationsverfahren von nachhaltig landeskulturellem Wert erwiesen, da auf diese Weise bis heute ca. 200 000 ha (EGGELSMANN, persönliche Mitteilung) durch Tiefumbruch in vielseitig nutzbare Ackerstandorte verwandelt werden konnten.

Flachgründige Niedermoore werden mittels einer Tiefpflugsand-deckkultur melioriert, wobei in der Mineralbodendecke eine Bodenentwicklung allein aus pflanzlichen Rückständen und organischer Düngung angestrebt wird.

Der Entwicklungsprozeß dieser anthropogenen Böden wird geprägt durch qualitative und quantitative Veränderungen der organischen Substanz, sowie von der Mächtigkeit und Homogenität der Krume.

Die Auswirkungen dieser Gesichtspunkte auf bodenkundliche Parameter werden an einem Krumenvertiefungsversuch auf einer Deutschen Sandmischkultur in Königsmoor und einem Tiefpflugversuch auf Niedermoor in Bortfeld untersucht.

In Abhängigkeit vom Humusgehalt in der Krume und der Nutzungsintensität können bei den Sandmischkulturen zum Teil recht beträchtliche Torfabbauraten und entsprechend hohe mikrobielle Aktivitäten festgestellt werden.

Herkömmliche Bodenbearbeitung (ca. 20 cm Pflügen) läßt diese Böden biologisch träger werden.

Die Niedermoorkulturen weisen dagegen deutlich geringere biologische Aktivitäten auf.

Sandmischkulturen werden mit fortschreitender landwirtschaftlicher Nutzung stickstoffreicher, Niedermoore lassen abnehmende Stickstoffgehalte erkennen.

Analog zu den älteren, vergleichsweise inaktiveren Varianten, können jedoch höhere Anteile an heterozyklisch gebundenen Stickstoffformen analysiert werden. Die Verteilung der Stickstofffraktionen in der organischen Substanz kann mit zunehmender Alterung der Mischkulturen schließlich niedermoorähnlich werden, wie im Vergleich zu den Niedermoor-Tiefkulturflächen aus Bortfeld nachgewiesen werden kann.

Höhere Gehalte an organischer Substanz (>8 Gew.%) führen bei Sandmischkulturen zu einer Verschlechterung der Luftkapazität (Poren > 50 μm) bei gleichzeitiger Zunahme der nutzbaren Feldkapazität (Poren 10 - 0,2 μm).

Aufgrund des feinkörnigeren Mineralbodenanteils bei den Niedermoorflächen erhöhen sich mit steigenden Gehalten an organischer Substanz die Anteile aller Porengrößenklassen.

Die Bedeutung der Sand- und Torfbalken einer Sandmischkultur für den gesättigten wie auch für den ungesättigten Wasserfluß und daraus resultierende Unterschiede im Pflanzenbestand werden herausgestellt.

Bodenfeuchtemessungen während einer Vegetationsperiode lassen eine wesentlich ausgeglichene kapillare Wasserbewegung bei gleichmäßigerer Durchwurzelung in einer auf 45 cm vertieften Krume der Sandmischkultur erkennen.

Gleichzeitig verbessert eine vertiefte Krume auch die biologische Aktivität und erhöht das Angebot der mikrobiell schneller zugänglichen Stickstoff-Fraktionen.

Gesteigerte Durchschnittserträge (+ 2 dt/ha/Jahr) zeichnen derartige Flächen aus, so daß eine maßvolle Krumenvertiefung zur Belebung und Ertragssteigerung gealteter Sandmischkulturen daraufhin empfohlen wird.

Der hohe Schluffanteil in der Krume der Tiefpflugsanddeckkultur bedingt ungünstige bodenphysikalische Verhältnisse (geringe nutzbare Feldkapazität, verminderte Durchlässigkeit, hoher Bodenwiderstand).

Ein sich abzeichnender Bodenentwicklungsprozeß in der Mineralbodenbedecke kann nach 7jähriger Nutzung noch nicht nachgewiesen werden.

Daher wird für diese Fläche eine Tieflockerung empfohlen, um die Bodenbildung anzuregen.

6 Literaturverzeichnis

- ALDAG, R. 1974: Zur Bestimmung und Zuordnung des echten Amidstickstoffs in Proteinen, Böden, Huminsäuren und Klärschlämmen. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges., 20 : 393-399, Göttingen
- ALDAG, R. 1975: Verfügbarkeit des Stickstoffs in Ackerböden. Bestimmungsprobleme aus der Sicht der Umverteilung der Stickstoff-Bindungsformen durch Bebrütung. - Landw. Forsch., 32/ I. Sonderh.: 91-99, Frankfurt/M.
- ALDAG, R. 1977: Relations between Pseudo-Amine-Nitrogen (AD) and humic acid nitrogen released under different hydrolytic conditions. "Soil organic matter studies". - Intern. Atomic Energy Agency, Vienna 1977, 293-299
- ALDAG, R., IBRAHIM, S.A. und MEYER, B. 1977: Vorausdüngung von Sommerweizen durch N-Gaben zur Vor- und Zwischenfrucht Raps. Zweijährige Freilandversuche auf mitteldeutscher Löss-Parabraunerde mit Nitrat und Ammonium - Dünger - N. Mitteilung II: Mengen - Zeitgang der N-Fraktionen im Boden (Vergleich: Bewuchs/Brache) Göttinger bodenkdl. Ber.: 48, 77-235, Göttingen
- ALDAG, R. & KICKUTH, R. 1973: Stickstoffverbindungen in Böden und ihre Beziehung zur Humusdynamik. 1. Mitteilung. - Zur Pflanzenernähr. u. Bodenkd., 136: 193-201, Weinheim
- ALDAG, R. & KICKUTH, R. 1974: Stickstoffverbindungen in Böden und ihre Beziehung zur Humusdynamik. 2. Mitteilung. - Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkd., 136 : 141-149, Weinheim
- ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENKUNDE 1971: Kartieranleitung. - 2. Auflage Hannover 1971
- BADEN, W. 1955: Einige Besonderheiten der Pflanzenernährung und Düngung auf nordwestdeutschen Moorkulturen. Landw. Forsch., 7 : 103-104, Frankfurt/M.
- BADEN, W. 1958: "Deutsche Sandmischkultur" (Tiefpflugkulturen nur unter entsprechenden Voraussetzungen). Wasser u. Boden, 10 : 349-353, Hamburg
- BADEN, W. 1960: Wandel und Wirren um "arme und schlechte", "reiche und gute" Böden. - Mitt. Arb. Moor-Versuchsstation Bremen, 8 : 30-53, Hamburg, Berlin

- BADEN, W. 1964: Sorption und Wanderung von Ca, P, K und N in Moorböden. - Assoc. intern. Hydrol. sci., 65 : 80-92, Gentbrugge
- BADEN, W. 1965: Die Kalkung und Düngung von Moor und Anmoor. In: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung, 3 : 1445-1516, Berlin, Wien, New York (Springer Verlag)
- BADEN, W. 1968: "Rekultivierung" von Moor- und Anmoorkulturen.- Z. Kulturtechn. u. Flurberein., 9 : 353-363, Berlin, Hamburg
- BADEN, W. 1968a: Stellung von Moor und Anmoor in einer Systematik der Böden Deutschlands und ihre zeitgemäße Nutzung. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges., 8 : 201-221, Göttingen
- BADEN, W. & EGGELSMANN, R. 1958:
Über das Bodenklima verschiedener Hochmoorkulturen und sein Einfluß auf den Pflanzenwuchs.- Z. Acker- u. Pflanzenbau, 106 : 127-152, Berlin, Hamburg
- BADEN, W. & EGGELSMANN, R. 1964:
Der Wasserkreislauf eines nordwestdeutschen Hochmoores. - Schr.-R., Kuratorium f. Kulturbauwesen, 12, Hamburg (Verlag Wasser und Boden)
- BADEN, W., EGGELSMANN, R. & JANNER, A. 1960:
Wachstumsvoraussetzungen und Leistung verschiedener Moorkulturtypen Nordwestdeutschlands während ihres ersten Jahrhunderts.- Mitt. Arb. Moor-Versuchsstation Bremen, 8 : 54-98, Hamburg
- BADEN, W. & GROSSE-BRAUCKMANN, G. 1964:
Einige für den Wasserwirt und Landwirt wichtige moorkundliche Begriffe.- Wasser u. Boden, 5 : 155-159, Hamburg
- BADEN, W., KUNTZE, H., NIEMANN, J., SCHWERDTFEGGER, G. & VOLLMER, F.J. 1969:
Bodenkunde. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- BADEN, W. & STEINFATT, K. 1958:
Zur Dynamik der heute in den nordwestdeutschen Moor- und Heidegebieten vorherrschenden Kulturprofile. - Kali-Briefe, Fachgeb. 7, 1. Folge : 1-37, Hannover
- BARTELS, R. 1977: Die landwirtschaftliche Nutzung von Moorböden.- Geol. Jb., Reihe F: 141-174, Hannover
- BARTELS, R. 1977a: Führer zu den Feldversuchen.- 3. Aufl., Bremen

- BARTELS, R. & HAGEMANN, P.-C. 1977:
Tiefpflugverfahren für flachgründige Nieder-
moore. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges., 25 : 709-
714, Göttingen
- BARTELS, R. & KUNTZE, H. 1968:
Ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit von
Moorböden. - Göttinger bodenkdl. Ber., 1 :
155-161, Göttingen
- BARTELS, R. & KUNTZE, H. 1973:
Torfeigenschaften und ungesättigte hydraulische
Leitfähigkeit von Moorböden.- Z. Pflanzener-
nähr., Düng., Bodenkde., 134 : 125-135, Weinheim
- BAUM, U. 1975: Stickstoff-Mineralisation und Stickstoff-Frak-
tionen von Humusformen unterschiedlicher Wald-
Ökosysteme. - Göttinger bodenkdl. Ber., 38 :
1-96, Göttingen
- BLUME, H.P. 1968: Stauwasserböden. - Arb. Univ. Hohenheim, 42 :
1-242, Stuttgart (Ulmer)
- BLUME, H.P. 1968a: Die natürliche Entstehung von Bodenverdichtun-
gen. - Landw. Forsch., 22, Sonderheft: 44-49,
Frankfurt/M.
- BOGUSLAWSKI, E. von 1975:
Die pflanzenphysiologischen und ackerbaulichen
Grundlagen der Düngerbedarfsermittlung. -
Landw. Forsch., 31, Sonderheft : 270-289,
Frankfurt/Main
- BOGUSLAWSKI, E. von & LENZ, K.O. 1958:
Untersuchungen über mechanische Widerstandsmes-
sungen mit einer Rammsonde. - 1. Mitt., Z.
Acker- u. Pflanzenbau, 106 : 245-256, Berlin,
Hamburg
- BOGUSLAWSKI, E. von & LENZ, K.O. 1959:
Untersuchungen über mechanische Widerstandsmes-
sungen mit einer Rammsonde auf Ackerböden.- Z.
Acker- u. Pflanzenbau, 109 : 33-48, Berlin,
Hamburg
- BREMNER, J.M. 1965: Organic forms of nitrogen. In: Methods of Soil
Analysis. - Agronomy, 9, part 2 : 1238-1255
- BRÜNE, F. 1931: Die Kultur der Hochmoore. In: Die neuzeitliche
Moorkultur in Einzeldarstellungen. - Heft 2,
Berlin (Paul Parey Verlag)
- BRÜNE, F. 1948: Die Praxis der Moor- und Heidekultur. - Berlin,
Hamburg (Verlag Paul Parey)

- BRÜNE, F. 1950: Fortschritte in der Bewirtschaftung von Hochmoor- und Heidesandböden. - Landbuch-Verlag, Hannover
- BURGHARDT, W. 1974:
Einige Merkmale des Wasserhaushaltes von Niedermoorböden bei tief abgesenktem Grundwasser.- ADL der DDR, Tagungsber. intern. Symposium IMTG, Eberswalde : 19-35, Berlin
- BURGHARDT, W. 1976:
Einflüsse von Moorbodeneigenschaften auf die kapillare Wassernachlieferung. - Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkde., 3 : 343-355, Weinheim
- BURGHARDT, W. 1977:
Das Wasser in Niedrungsböden. - Geol. Jb., Reihe F : 79-103, Hannover
- BURGHARDT, W. 1977a:
Untersuchungen zur Lagerungsdichte von Sandmischkulturen. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges., 25 : 715-725, Göttingen
- DIJK, H.van 1972: Der Aussagewert der verschiedenen Analysemethoden für potentiell verfügbaren Stickstoff in Ackerböden. - Landw. Forsch., 27/ II Sonderheft: 138-145, Frankfurt/M.
- DUTZLER-FRANZ, G. 1977:
Der Einfluß einiger chemischer und physikalischer Bodenmerkmale auf die Enzymaktivitäten verschiedener Bodentypen. - Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkde., 140 : 329-350, Weinheim
- DUTZLER-FRANZ, G. 1977a:
Beziehung zwischen der Enzymaktivität verschiedener Bodentypen, der mikrobiellen Aktivität, der Wurzelmasse und einiger Klimafaktoren. - Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkde., 140 : 351-374, Weinheim
- EGGELSMANN, R. 1968:
Grundregeln für den Tiefpflugeinsatz, Beiträge zur Standortverbesserung. - 2. Jg., 1, 4, Bremen
- EGGELSMANN, R. 1970:
Durchlässigkeit als bodenkundlicher Grenzwert der Tiefpflugkulturen in Moor und Anmoor. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein., 11 : 18-27, Berlin, Hamburg
- EGGELSMANN, R. 1973:
Zur Hydrologie der "Deutschen Sandmischkulturen" (Tiefpflugkulturen). - Z. Kulturtechn. u. Flurberein., 14 : 168-177, Berlin, Hamburg

- EGGELSMANN, R. 1974: Bodenphysikalische Auswirkungen sekundärer Entwässerungsphasen in Moorböden. - Mitt. dt. bodenkdl.Ges., 19 : 27-35, Göttingen
- EGGELSMANN, R. 1976: Peat consumption under influence of climate, soil condition and utilization. - Proc. 5th intern. Peat Congress, Poznan
- EGGELSMANN, R. & RENGGER, M. 1977:
Zur Erweiterung der Durchlässigkeitsklassen für Niederungsböden.- Z.Kulturtechn. u.Flurberein., 18 : 35-40, Berlin, Hamburg
- EHLERS, W. 1977: Physikalische Eigenschaften von Schluffdecken. - Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkd., 140 : 79-90, Weinheim
- EHLERS, W., GEBHARDT, H. & MEYER, B. 1968:
Untersuchungen über die positionsspezifische Bindung des Kaliums an Illit, Kaolinit, Montmorillonit und Humus (Beiträge zum K-Austausch des Bodens IV). Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkd., 119 : 173-186, Weinheim
- EIMERN, J. van 1964: Zum Begriff und zur Messung der potentiellen Evapotranspiration. - Meteor. Rdsch., 17 : 33-42, Berlin
- FEIGE, W. 1969: Bestimmung der Kationenaustauschkapazität und austauschbarer Kationen von carbonatfreien Moorböden. - Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkd., 123 : 101-105, Weinheim
- FEIGE, W. 1970: Die selektive Kationensorption von Moor- und humosen Sandböden. - Landw. Forsch., 26 : 141-152, Frankfurt/M.
- FEIGE, W. 1974: Zum Ertragspotential von Sandmischkulturen in Abhängigkeit von Alter, Humusgehalt und Kalkversorgung. - Landw. Forsch., 27, 30/II. Sonderh. : 178-185, Frankfurt/M.
- FEIGE, W. 1975: Die Ertragsbemessung der Niedermoore - über Kalkmudde tiefpflügen?. - Kali-Briefe, 3 : Fachgeb. 7 : 1-8, Hannover
- FEIGE, W. 1976: Phosphat-Bedarf von Hochmoorböden und anmoorigen Sanden. - Landw. Forsch., Sonderheft 33/I : 52-58, Frankfurt/M.
- FEIGE, W. 1977: Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen in organischen Böden - Geol.Jb. Reihe F, 175-201, Hannover
- FEIGE, W. & BARTELS, R. 1976:
Melioration saurer Hochmoorböden durch Ammoniakbegasung. - Telma, 6 : 145-167, Hannover

- FEIGE, W. & LEISEN, E. 1973:
Der Kalkbedarf schwefelhaltiger Böden.- Z.Kultur-
techn. u. Flurberein., 14 : 190-196, Hamburg,
Berlin
- FIEDLER, H.J. 1965: Die Untersuchung der Böden.- Bd. 2
Verlag Th. Steinkopf, Dresden u. Leipzig
- FLAIG, W. 1964: Gedanken zur Nomenklatur der im Boden vorhandenen
organischen Stoffe.- 8. Intern. Bodenkde. Kon-
greß, Ber. III, Burckarest 1964 : 389 ff.
- FLEIGE, H., MEYER, B. & SCHOLZ, H. 1971:
Fraktionierung des Boden-Stickstoffs für N-Haus-
halts-Bilanzen.- Göttinger Bodenkdl. Ber., 18 :
1-37, Göttingen
- FRANZ, G. 1976: Der Einfluß der Tieflockerung von Pseudogleyen
auf die Bodenmikroorganismen und die Beständig-
keit dieser Meliorationsmaßnahmen.- Landw.
Forsch., 29 : 77-87, Frankfurt/M.
- FRERCKMANN, W. 1921:
Erschließung und Bewirtschaftung des Niedermoores.
Berlin (Verlag Paul Parey)
- FRERCKS, W. 1954:
Die Bodenatmung als Mittel zur Erfassung der
Mikroorganismen-tätigkeit in Moor- und Heidesand-
böden, ein neues Verfahren zu ihrer Bestimmung
und erste Ergebnisse.- Z. Pflanzenernähr.,
Düng., Bodenkde., 66, 111 : 39-54, Weinheim
- FRERCKS, W. & KOSEGARTEN, E. 1956:
Die Bodenatmung von Moorböden, Heidesandböden und
Sandmischkulturen in Abhängigkeit vom Kalkzustand.
Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde., 75, 120 :
33-47, Weinheim
- FRERCKS, W. & PUFFE, D. 1957:
Der Einfluß der Bodentemperaturen und -feuchten
auf den Verlauf der Bodenatmung bei Moor- und
Heidesandböden sowie Dampf- und Fehnkulturen.-
Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde., 78, 123 :
107-121, Weinheim
- FRERCKS, W. & PUFFE, D. 1958:
Über ergänzende Untersuchungen zu Stoffgruppen-
analysen an Moorböden und Sandmischkulturen unter-
schiedlicher Aufkalkung.- Z. Pflanzenernähr.,
Düng., Bodenkde., 83, 128 : 42-54, Weinheim
- FRERCKS, W. & PUFFE, D. 1961:
Eiweißabbauvermögen in Moorböden.- Z. Pflanzener-
nähr., Düng., Bodenkde., 92, 137 : 126-133,
Weinheim

- GEBHARDT, E. 1974: Untersuchungen zum Wasser- und Lufthaushalt tiefgründiger Niedermoorstandorte. - ADL der DDR, Tagungsber. intern. Symp. IMTG, Eberswalde: 71-87, Berlin
- GEISLER, G. 1968: Bodenluft und Pflanzenwachstum. - Arb. Univ. Hohenheim, 40 : 1-119, Stuttgart (Ulmer)
- GIESEL, W., RENGGER, M. & STREBEL, O. 1972: Berechnung des kapillaren Aufstieges aus dem Grundwasser in den Wurzelraum unter stationären Bedingungen. - Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkde., 132 : 17-30, Weinheim
- GÖTTLICH, KH. & MENGE, L. 1967: Wasserbindungsintensität und Bodenfeuchtegang einiger Anmoor- und Moorböden. - Bayer. landw. Jb., 44, Sonderh. 3 : 233-244, München
- HAGEMANN, P.-C. & BARTELS, R. 1977: Die Ertragsleistung einer Deutschen Sandmischkultur in Abhängigkeit von bodenkundlichen Kennwerten. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges., 25 : 727-736, Göttingen
- HANUS, H. 1967: Wechselbeziehung zwischen Wasser- und Luftdurchlässigkeit. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein., 8 : 85-90, Berlin
- HARTGE, K.H. 1963: Versuche mit Tensiometern. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein., 4 : 115 - 123, Berlin, Hamburg
- HARTGE, K.H. 1965: Die Bestimmung von Porenvolumen und Porengrößenverteilung. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein., 6 : 193-206, Berlin, Hamburg
- HARTGE, K.H. 1966: Ein Haubenpermeameter zum schnellen Durchmessen zahlreicher Stechzylinderproben. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein., 7 : 155-163, Berlin, Hamburg
- HARTGE, K.H. 1971: Die physikalische Untersuchung von Böden. - Ferd. Enke Verlag, Stuttgart
- HARTGE, K.H. 1975: Die Strukturstabilität in Böden. - Mitt. Eidgenöss. Anstalt für das frostl. Versuchswesen, 51 : 225 - 231
- HARTGE, K.H. & BAILLY, F. 1967: Durchlässigkeit und Stauvermögen. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein., 8 : 175-179, Berlin
- HARTGE, K.H. & BENECKE, P. 1968: Wasserspannungsgradienten in einem Schluff- und einem Sandboden, - Wasser u. Boden, 20 : 18 - 21, Hamburg

- HARTGE, K.H. & HORN, R. 1977:
Der Verlauf von Wasserspannungs-
isochromen in Sand-, Löß- und Tonböden - eine Auswertung
mehrfähriger Tensiometermessungen. - Z. Kul-
turtechn. u. Flurberein., 18 : 213-222, Berlin,
Hamburg
- HAUDE, W. 1954: Zur Bestimmung der aktuellen und potentiellen
Evapotranspiration. - Mitt. dt. Wetterd.,
8, Bad Kissingen
- HERZOG, H. et al. 1975:
Einfluß verschiedener Bodenbearbeitungsverfah-
ren auf physikalische Bodeneigenschaften und
Erträge. - Arch. Acker- u. Pflanzenbau u.
Bodenkde., 19 : 173-189, Berlin
- HOFFMANN, W. & FRERCKS, W. 1952:
Vergleichende Laboratoriumsuntersuchungen über
die Acidität und den Kalkbedarf starker saurer
Moor-, anmooriger Boden und Sandmischkulturen
unter Einbeziehung von Gefäß- und Feldversu-
chen. - Mitt. Arb. Moor-Versuchsstation Bre-
men, 7. Ber. : 123-150, Bremen (Schünemann)
- HOFFMANN, W. & FRERCKS, W. 1955:
Aufkalkungs-pH-Werte von Moorböden, anmoorigen
und stark humosen Sandböden. - Z. Pflanzen-
ernähr., Düng., Bodenkde., 113 : 37-44,
Weinheim, Berlin (Chemie-Verlag)
- HOFFMANN, W. & FRERCKS, W. 1955a:
Vergleichende Untersuchungen über die Anwen-
dungsmöglichkeit verschiedener Verfahren zur
Bestimmung des Kalkbedarfs in Moorböden, an-
moorigen und stark humosen Böden. - Z. Pflan-
zenernähr. Düng.- Bodenkde., 113 : 27-36,
Weinheim, Berlin (Chemie-Verlag)
- HORN, P. & HARTGE, K.H. 1976:
Verlagerung organischer Substanz in gelöster
Form im Boden in Abhängigkeit von der hydro-
logischen Situation und der Bodenart - ein
Modellversuch. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges.,
23 : 143-149, Göttingen
- HORN, P. & HARTGE, K.H. 1977:
Die Veränderung der gesättigten Wasserleitfä-
higkeit, künstlicher Sand- Schluffgemische
in Abhängigkeit vom hydraulischen Gradienten. -
Mitt. dt. bodenkdl. Ges., 25 : 45-54, Göttingen
- HUSEMANN, G. 1947: Die landwirtschaftliche Bewertung der Moorbö-
den. - Lüneburg (Metta Kinan Verlag Nachf.)

- ISERMEYER, H. 1952: Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. - Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde., 101 : 26-38, Weinheim, Berlin (Chemie-Verlag)
- JÄGGI, W. 1976: Die Bestimmung der CO₂-Bildung als Maß der bodenbiologischen Aktivität. - Schw. landw. Forsch., 15 : 371-380
- KANNENBERG, H. 1939: Fortschritte in der Moorkultur (Niederungsmoor). - Reichsnährstandsverlag GmbH, Berlin
- KIRCHNER, A. 1975: Einfluß der mineralischen Umgebung auf die geohydrologischen Verhältnisse in Niedermoorstandorten. - Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkde., 19 : 605-611, Berlin
- KLAMMROTH, B. 1954: Beitrag zur Charakterisierung der Huminsäuren des Bodens. - Diss. Göttingen
- KLEIN, B. & FRIELINGHAUS, M. 1975: Beeinflussung der Erträge der physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften durch Unterbodenverbesserung. - Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkde., 19 : 191-203, Berlin
- KMOCH, H.-G. 1966: Vergleichsmessungen der Luftdurchlässigkeit des Bodens im Freiland und Labor. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein., 7 : 321-332, Berlin
- KORTE, W. 1961: Die klimatische Wasserbilanz als Charakteristik der Witterung. - Landbauforsch. Völkenrode, 11 : 9-11, Braunschweig - FAL
- KUNTZE, H. 1965: Physikalische Untersuchungsmethoden für Moor- und Anmoorböden. - Landw. Forsch., 18 : 178-191, Frankfurt/M.
- KUNTZE, H. 1968: Der Einfluß der organischen Substanz auf Kenngrößen des Wasserhaushaltes von Mineralböden. - Landw. Forsch., 21 : 128-138, Frankfurt/M.
- KUNTZE, H. 1969: Die Moornutzung im Wandel der Zeiten. - Jb. Naturschutz u. Landschaftspflege, 18 : 3-15, Bonn - Bad Godesberg
- KUNTZE, H. 1971: Moorböden Norddeutschlands. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges., 13 : 107-150, Göttingen
- KUNTZE, H. 1971a: Bodenkriterien zur Beurteilung der zweckmäßigen Bodennutzung. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein., 12 : 221-233, Berlin, Hamburg
- KUNTZE, H. 1972: Rekultivierung gealteter Moorkulturen, - Telma, 8 : 109-118, Hannover

- KUNTZE, H. 1972a: Die Torfkomponente in der Bodenbildung auf Sandmischkulturen. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges., 15, 155-162, Göttingen
- KUNTZE, H. 1972b: Landeskultur im Funktionswandel der Kulturlandschaft - aus der Sicht der Bodenkunde.- Wasser u. Boden, 24 : 105-109, Hamburg
- KUNTZE, H. 1973: Ein neues Verfahren zur Verbesserung stau-nasser, besandeter Hochmoore. - Z.Kulturtechn. u. Flurberein., 14 : 160-167, Hamburg, Berlin
- KUNTZE, H. 1973a: Moore im Stoffhaushalt der Natur-Konsequenzen ihrer Nutzung. - Landschaft u. Stadt, 5 : 88-96, Stuttgart (Verlag E. Ulmer)
- KUNTZE, H. 1974: Boden- und moorkundliche Kriterien der Tiefkultur. - ADL der DDR, intern. Symp. IMTG Eberswalde : 154-176, Berlin
- KUNTZE, H. 1974a: Meliorationsbeispiel Sandmischkultur. - Landbauforsch. Völkenrode, Sonderh., 24 : 31-46, Braunschweig-Völkenrode (FAL)
- KUNTZE, H. 1974b: Der Boden als Umweltfaktor. - Jb. Wittheit Bremen, 28 : 188-214, Bremen
- KUNTZE, H. 1975: Die Entwicklung meliorierter Böden. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges., 22 : 207-214, Göttingen
- KUNTZE, H. 1975a: Neuorientierung der Meliorationsziele. - Mitt. Wasser u. Boden, 35 : 3-12, Hannover
- KUNTZE, H. 1976: Soil conservation on cultivated peatlands. - Proc. 5th intern. Peat Cong., Poznan
- KUNTZE, H. 1978: Bodenbewirtschaftung - Bodenverbesserung - in Natur - und Umweltschutz in der BRD. - hg. von F. Olschowy : 124-133, Hamburg, Berlin, Verlag Paul Parey
- KUNTZE, H. & BURGHARDT, W. 1977:
Die Entwicklung der Bodenfeuchte deutscher Hochmoorkultur in einem Trockenjahr. - Telma, 7 : 55-64, Hannover
- KUNTZE, H. & DJAKOVIC, D. 1970:
Einfluß mechanischer und organischer Komponenten auf physikalische Eigenschaften von Sandmischkulturen. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein., 11 : 72-87, Berlin, Hamburg
- LAUNSTEIN, H.-J. 1960:
Untersuchungen von Boden- und Nährstoffdynamik der neuartigen Deutschen Sandmischkulturen. - Mitt. Arb. Moor-Versuchsstation Bremen, 8 : 135-183, Berlin, Hamburg

- MACIAK, F. & LIWSKI, S. 1969:
Dynamik der Nährstoffe (NPK) in kultivierten Moorböden. - Landw. Zentralbl., Abt. II, Ref.-Nr. 2-70/12-0404; Berlin (Akad.-Verlag)
- MENGE, L. 1965: Untersuchung über das Gefüge und die Wasserbindungsintensität einiger Anmoor- und Moorböden. - Diss. Hohenheim 1965
- MIESS, M. 1968: Vergleichende Darstellung von meteorologischen Meßergebnissen und Wärmehaushaltsuntersuchungen an drei unterschiedlichen Standorten in Norddeutschland. - Ber. Inst. Meteorologie u. Klimatologie d. Techn. Univ. Hannover, Eigenverlag
- MÜLLER, G. & RAUHE, K. 1959:
Zur Tiefkultur auf leichten Böden im besonderen Hinblick auf die Bodenbiologie. II. Bodenbiologischer Teil. - Z. Acker- u. Pflanzenbau, 109 : 309-332, Berlin, Hamburg
- MÜLLER, W., RENGGER, M. & BENEKE, P. 1970:
Bodenphysikalische Kennwerte wichtiger Böden. Erfassungsmethodik, Klasseneinteilung und Kartographische Darstellung. - Beih. geol. Jb., bodenkdl. Beitr., 99 : 13-70, Hannover
- MUNDEL, G. 1976: Untersuchung zur Torfmineralisation in Niedermooren. - Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkde., 20 : 669-679, Berlin
- PEREVERZEV, V.N. & ALEKSEEVA, N.S. 1969:
Die Prozesse der Ammonifikation und Nitrifikation in Torfböden der Halbinsel Kola. - Landw. Zentralbl., Abt. II. Ref.-Nr. LZB 2-70/11-0172; Berlin (Akad. Verlag)
- PUFFE, D. 1965: Gefügeuntersuchungen an Torfen. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein., 6 : 301-312, Hamburg, Berlin
- RAUHE, K. & MÜLLER, G. 1954:
Zur Tiefkultur auf leichten Böden im besonderen Hinblick auf die Bodenbiologie. I. Ackerbaulicher Teil. - Z. Acker- u. Pflanzenbau, 109 : 291-308, Berlin, Hamburg
- REITH, J.W.S., ROBERTSON, R.A. & INKSON, R.H.E. 1973:
The nutrient requirement of herbage on deep acid peat. - J. agr. Sci., 80 : 425-434, Aberdeen
- RENGER, M. 1973: Über den Wasserhaushalt stau- und grundwasserbeeinflusster Böden. - Pseudogley u. Gley : 503-515, Weinheim (Chemie-Verlag)

- RENGER, M., BARTELS, R., STREBEL, O. & GIESEL, W. 1976:
Kapillarer Aufstieg und Infiltration bei
Moorböden. - Geol. Jb., F 3 : 9-51, Hannover
- RENGER, M., STREBEL, O. & GIESEL, W. 1974:
Beurteilung bodenkundlicher, kulturtechni-
scher und hydrologischer Fragen mit Hilfe von
klimatischer Wasserbilanz und bodenphysikali-
schen Kennwerten. 1. Bericht: Berechnungsbe-
dürftigkeit. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein.,
15 : 148-160, Hamburg, Berlin
- RENGER, M., STREBEL, O. & GIESEL, W. 1974a:
Beurteilung bodenkundlicher, kulturtechnischer
und hydrologischer Fragen mit Hilfe von kli-
matischer Wasserbilanz und bodenphysikali-
schen Kennwerten. 3. Bericht: Tiefenbearbeit-
barkeit. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein.,
15 : 263-271, Hamburg, Berlin
- RENGER, M., STREBEL, O. & GIESEL, W. 1974b:
Beurteilung bodenkundlicher, kulturtechnischer
und hydrologischer Fragen mit Hilfe von kli-
matischer Wasserbilanz und bodenphysikali-
schen Kennwerten. 4. Bericht: Grundwasserneu-
bildung. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein.,
15 : 353-366, Hamburg, Berlin
- RENGER, M., VOGT, H., STREBEL, O. & GIESEL, W. 1974:
Beurteilung bodenkundlicher, kulturtechnischer
und hydrologischer Fragen mit Hilfe von kli-
matischer Wasserbilanz und bodenphysikali-
schen Kennwerten. 2. Bericht: Einfluß des
Grundwassers auf die Wasserversorgung der
Pflanze. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein.,
15 : 206-221, Hamburg, Berlin
- RIMPAU, H. von 1887: Die Bewirtschaftung des Rittergutes Cunsau
insbesondere des Niedermoores durch Damm-
kultur. Paul Parey-Verlag Berlin
- ROCHUS, W. 1977: Der Stickstoffgehalt von Huminstofffraktionen
verschieden alter und unterschiedlich kultu-
rierter Moorböden der Moorversuchswirtschaft
Königsmoor. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges.,
25 : 233-244, Göttingen
- SALFELD, J. Chr. & SÖCHTIG, H. 1977:
Jahreszeitliche Änderung der Humuszusammen-
setzung in einem Ackerboden. - Mitt. dt.
bodenkd. Ges., 25 : 265-270, Göttingen
- SAUERBECK, D. 1966: Über den Abbau ¹⁴C-markierter organischer
Substanzen in Böden und ihren Einfluß auf
den Humushaushalt. - Habil.-Schrift, Bonn

- SCHACHTSCHABEL, P. 1961:
Bestimmung des fixierten Ammoniums im Boden.-
Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde., 93 :
125-136, Weinheim
- SCHAFFER, G. & COLLINS, H.J. 1966:
Methode zur Messung der Infiltrationsrate im
Felde. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein.,
7 : 193-199, Berlin
- SCHEFFER, B. 1974: Kritische Sichtung der konventionellen Me-
thoden der Humusuntersuchung in der Moor- und
Bodenkunde.- Telma, 4 : 175-181, Hannover
- SCHEFFER, B. 1977: Zur Frage der Stickstoffumsetzungen in Nie-
dermoorböden.- Landw. Forsch.,
Frankfurt/M.
- SCHEFFER, B. 1977a: Stickstoff- und Phosphorverlagerung und Ge-
wässerbelastung in nordwestdeutschen Nieder-
ungsböden. - Geol.Jb., Reihe F 4, 203-243,
Hannover
- SCHEFFER, B. 1977b: Stabilization of organic matter in sand
mixed cultures. - "Soil of organic matter
studies". - Intern. Atomic Energy Agency,
Vienna 1977, 359-363
- SCHEFFER, B. & BARTELS, R. 1974:
Die N-Dynamik eines Niedermoorbodens und sei-
ne Beeinflussung. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges.,
20 : 425-434, Göttingen
- SCHEFFER, B. & HIDDING, H. 1977:
Schwereretrennung an verschieden alten Sand-
mischkulturböden zur Darstellung bodenbildenden
Prozesse. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges.,
25 : 597-604, Göttingen
- SCHEFFER, F. & ULRICH, B. 1960:
Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde.
III. Teil: Humus und Humusdüngung, Ferd.
Enke-Verlag Stuttgart
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. 1976:
Lehrbuch der Bodenkunde. - 9. Aufl.,
Stuttgart (Enke)
- SCHIRMER, M. 1934: 70 Jahre Rimpause Moordammkulturen. -
Der Kulturtechniker, 37 : 241-245, Breslau
- SCHMIDT, G. 1969: Grundsatzfragen zur Sanierung des Donau-
mooses. - Bayer. Landw. Jb., 46 : 224-245,
München

- SCHMIDT, G. & WEIGELT, H. 1974:
Sanddeck- und Mischkulturen auf Niedermoor
des Donaumooses. - Intern. Symp. der Intern.
Moor- u. Torf-Ges. (IMTG) zu Problemen der
Wasserregulierung auf Niedermoor, S. 264
- SCHMIDT, W. 1966: Über die Scherfestigkeit der Torfe und Mudden.-
Z. Landeskultur, 7 : 179-201, Berlin
- SCHOTHORST, C.J. 1967:
Bepaling van de componenten van de zakking
na grondwaterstandsvaling. - Landbouwk.
Tijdschr., 79 : 402-411
- SCHRÖDER, D. & GEWEHR, H. 1977:
Stroh- und Zelluloseabbau in verschiedenen
Bodentypen. - Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkde.,
140 : 273-284, Weinheim
- SCHULTE-KARRING, H. 1972:
Bisherige Erkenntnisse und neue Versuchs-
fragen auf dem Gebiet der Melioration stau-
nasser Böden. - Zweijahresber. der Landes-
Lehr- und Versuchsanstalt Ahrweiler, 107-153
- SCHWAAR, J. 1973: Wurzeluntersuchungen auf Moorböden. - Telma,
3 : 119-136, Hannover
- SEGEBERG, H. 1955: Zur Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Ver-
dichtung, Humusmengen und Porenvolumen in
Moorböden. - Wasser u. Boden, 7 : 15-18,
Hamburg
- SEGEBERG, H. 1955a: Zur Methodik der Bestimmung des spezifischen
Gewichtes von Torfen. - Z. Pflanzenernähr.,
Düng., Bodenkde., 68 : 113 : 233-237,
Weinheim
- SEGEBERG, H. 1956: Über die Größe der Porenvolumen von Hoch- und
Niedermoortorfen. - Z. Pflanzenernähr., Düng.,
Bodenkde., 74 : 10-17, Weinheim
- SEGEBERG, H. 1957: Bodenphysikalische Untersuchungen über den
Wasserhaushalt einiger Sandmischkulturen.-
Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde., 79 :
50-62, Weinheim
- SEGEBERG, H. 1964: Zur Bestimmung der Lagerungsdichte (Vol.%
der festen Substanz) von Moor- und Anmoor-
böden.- Z. Kulturtechn. u. Flurberein., 5 :
40-54, Berlin, Hamburg
- STEINBRENNER, K. & MUNDSTOCK, I. 1975:
Untersuchungen zum Huminstoffabbau durch
Nokardien. - Arch. Acker- u. Pflanzenbau u.
Bodenkde., 19 : 243-255, Berlin

- STREBEL, O. 1971: Untersuchung über Wasserbewegung in einem Hang-Pseudo-Gley unter Grünland und unter Wald. - Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkde., 127 : 31-40, Weinheim
- TACKE, B. 1929: Die naturwissenschaftlichen Grundlagen der Moorkultur. - In: Die neuzeitliche Moorkultur in Einzeldarstellungen, 1, Berlin
- TACKE, B. & KEPPLER, G. 1941:
Die niedersächsischen Moore und ihre Nutzung.-
Schriften der wirtschaftswiss. Ges., 2. Studium Niedersachsens, Reihe AI, Bd. 16,
Verlag G. Stalling, Oldenburg
- TOLWINSKA, M. et al. 1969:
Einige chemische Eigenschaften von hydro-
morphen Böden. - Roczniki gleboznawcze, 20, 2:
435-445, Landw. Zentralbl., Abt. II, Ref.-
Nr. 2-71/03-0113; Berlin (Akad. Verlag)
- WIND, G.P. & POT, R.A. 1976:
Bodenverbesserung in holländischen Veenkolonien. - Z. Kulturtechn. u. Flurberein., 17, : 193-206, Berlin, Hamburg
- WOJAHN, E. 1960: Über Standortverbesserung flachgründiger sandunterlagerter Niedermoore durch Anlage von Pflugsanddeckkulturen. - Z. Landesd., 1 : 31-71, Berlin

Deutsche Normen

- DIN 1185: Dränung - Regelung des Bodenwasserhaushaltes durch Rohrdränung, Rohrlose Dränung und Unterbodenmelioration
- DIN 4220: Richtlinien zur Untersuchung meliorationsbedürftiger Standorte (Vornorm)
- DIN 19680: Bodenuntersuchungen im landwirtschaftlichen Wasserbau; Bodenaufschlüsse und Grundwasserbeobachtungen
- DIN 19681: Bodenuntersuchungen im landwirtschaftlichen Wasserbau; Entnahme von Bodenproben
- DIN 19682: Bodenuntersuchungsverfahren im landwirtschaftlichen Wasserbau; Felduntersuchungen
- DIN 19683: Bodenuntersuchungsverfahren im landwirtschaftlichen Wasserbau; Physikalische Laboruntersuchungen
- DIN 19684: Bodenuntersuchungsverfahren im landwirtschaftlichen Wasserbau; Chemische Laboruntersuchungen

Abkürzungen

Aminosäuren (AS):

Asparaginsäure	Asp
Threonin	Thr
Serin	Ser
Glutaminsäure	Glu
Glycin	Gly
Alanin	Ala
Valin	Val
Isoleucin	Ile
Leucin	Leu
Tyrosin	Tyr
Phenylalanin	Phe
Lysin	Lys
Histidin	His
Arginin	Arg

Bönecke-Druck 3392-Clausthal-Z. 29