

TELMA	Band 17	Seite 41—49	5 Abb., 1 Tab.	Hannover, Dezember 1987
-------	---------	-------------	----------------	-------------------------

Prozesse der Bodenentwicklung auf Sandmischkulturen*)

Soil-Forming Processes on German Sand-Mix-Cultures

HERBERT KUNTZE**)

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird über 5 Jahrzehnte Erfahrungen mit deutschem Sandmischkulturboden - einem anthropogenen Bodentyp - berichtet. Aus dem Ertragsverlauf werden die bodenbildenden Prozesse - Setzung, Homogenisierung, Humifizierung - deutlich.

Der jeweilige Grad der Bodenentwicklung - von der rohen Mischung aus Torf und Sand zum + humosen Sand - kann durch bodenchemische Untersuchungen z.B. Schwereretrennung in CCl_4 , C/N-Verhältnis, N-Fraktionierung, aktuelle/poten-
tielle KAK dargestellt werden. Solche Untersuchungen können der objektiven Bewertung von Neukulturen und zur Steuerung ihrer Bodenentwicklung dienen.

SUMMARY

It is reported on experiences with German sand-mix-culture soils within 50 years. The soil-forming processes - subsidence, homogenization, humification - are correlated with the development of the yields.

The corresponding degrees of soil development - from a rough mixture of peat and sand to a + humic sandy soil - can be shown by soil-chemical analyses like separation of particles with different densities in CCl_4 , C/N-ratio, N-fractionation, actual/potential CEC. Such investigations can be useful for the actual estimation of new cultures and the control of their development.

*) Vortrag gehalten auf der Arbeitstagung der Sektion IV (Chemie, Physik u. Biologie) der DGMT am 7.10.1986 in Meppen

***) Anschrift des Verfassers: Prof.Dr.H.KUNTZE, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Bodentechnologisches Institut, Friedrich-Mißler-Str. 46/50, 2800 Bremen 1

INHALT

1. Fünf Jahrzehnte Deutsche Sandmischkultur
2. Zur Ertragsentwicklung auf Sandmischkultur
3. Beurteilung des Bodenentwicklungszustandes durch bodenchemische Untersuchungen
 - 3.1 Grad der Homogenisierung
 - 3.2 Grad der Humifizierung
4. Schlußbetrachtung
5. Literatur

1. FÜNF JAHRZEHNTE DEUTSCHE SANDMISCHKULTUR

Der erste Feldversuch zur Kultivierung eines flachgründigen, wurzelechten Hochmoores über fossilem Podsol wurde 1936 in Königsmoor angelegt (BRÜNE, 1950). In seither fünf Jahrzehnten wurde die aus der Heidekultur weiterentwickelte Deutsche Sandmischkultur zu dem bodentechnologischen Verfahren der Re-kultivierung gealterter deutscher Hochmoorkulturen und teilabgetorfte Hochmoore (Leegmoore), weil nur sie eine ertrags-sichere, vielseitigere land- und forstwirtschaftliche Folge-nutzung ermöglicht. Fünf Jahrzehnte sind zwar pedogenetisch ein relativ kurzer Zeitraum, erlauben aber bereits im Vergleich verschieden alter Sandmischkulturen unter gleichen Standorts- und Bewirtschaftungsbedingungen Hinweise auf bodenbildende Pro-zesse und Prognosen der Weiterentwicklung dieser anthropogenen Böden. Die bodentechnologischen Parameter der Erstellung einer optimalen Sandmischkultur sind an anderer Stelle bereits ausführlich dargestellt (KUNTZE, 1974).

Über bisherige Ergebnisse bodenchemischer Unter-suchungen zur Beurteilung ihrer weiteren Entwicklung an ver-schieden alten Sandmischkulturen in Königsmoor im Vergleich zu einem aus ähnlichen Material aufgebauten Plaggenesch aus dem Raum Lauenbrück wird nachstehend berichtet.

2. ZUR ERTRAGSENTWICKLUNG AUF SANDMISCHKULTUR

Der Erfolg einer Melioration wird vorrangig an der Höhe und Sicherheit der Erträge beurteilt. Die unmittelbar nach dem Tiefpflügen, Planieren und Einmischen der Meliorationsdüngung in die Krume erzielbaren Erträge sind überraschend hoch, fallen jedoch nach wenigen Jahren vorübergehend ab (Abb. 1). Die mit dem Tiefpflug stark aufgelockerten, schräggestellten Torf- und Sandbalken unterliegen je nach Witterung und mechanischer Be-lastung mit schweren, rüttelnden Maschinen einer Setzung, die bis zu 10% der Pflugtiefe erreichte (BADELL et al., 1960). Dabei geht vor allem Makroporenraum, also Luftvolumen, wieder verloren.

Nach kurzfristiger Ertragsdepression in dieser Phase kommt es mit zunehmender Mischung, Krumenvertiefung und Humifizie-rung zu einem allmählichen Wiederanstieg der Erträge mit immer geringerer Witterungsabhängigkeit, die sich nach 15-20 Jahren auf einem Niveau von 45-50 dt/ha GE zu stabilisieren scheinen. Anfangs sind die Bestände im Wachstum und vor allem in der Ab-reife noch streifig: in trockenen Jahren prägen sich die mehr

pflanzenverfügbares Wasser speichernden Torfbalken des Unterbodens durch, in nassen Jahren sind die besser dränenden Sandbalken als wachstumsfördernd zu erkennen. Ertragsunterschiede von 40% sind möglich.

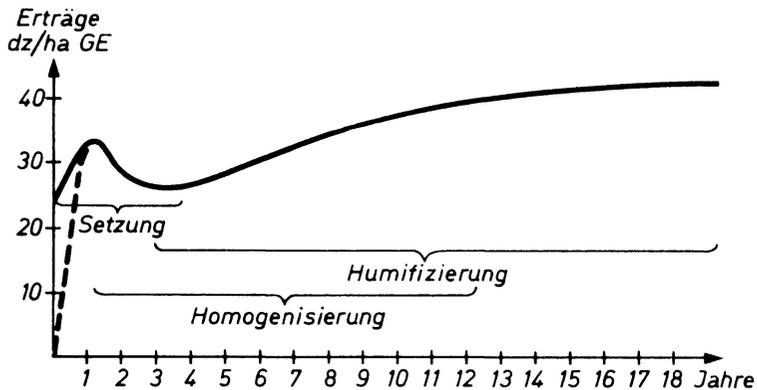


Abb. 1

Ertragsverlauf in Abhängigkeit bodenbildender Prozesse in Sandmischkulturen
Yield progress depending on soil development in sand-mix-cultures

Der durch das Verhältnis Pflugtiefe zu Pflugbreite mit 12-14 Gew.% Torf physikalisch optimal eingestellte Mischboden wird durch allmähliche Krümenvertiefung auf 6-7 Gew.% humifizierte Bodensubstanz homogenisiert (KUNTZE, 1972 u. 1974). Dabei kommt es zu einer immer besseren Vernetzung und Umhüllung der Quarzkörner mit humifizierter Substanz. Ihre anfänglich leichte Trennung durch Wasser und Wind läßt nach. Diese dritte Phase der Anthropogenese nach Setzung und Homogenisierung wird durch die Humifizierung beherrscht. Sie wird durch Richtung und Intensität der Nutzung (Fruchtfolge, Wurzelrückstände, organische Düngung und Kalkung) wesentlich beeinflußt und ist als ein mehr langfristiger Prozeß anzusehen.

3. BEURTEILUNG DES BODENENTWICKLUNGSZUSTANDES DURCH BIOCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

Meliorationen, insbesondere solche mit staatlicher Förderung, führen zwangsläufig zu einer Neubewertung der Böden nach dem Bodenschätzungsgesetz. Neben feldbodenkundlichen Kriterien, wie z.B. Mächtigkeit des Ap-Horizontes, Form, Gehalt und Verteilung der organischen Substanz im Ap-Horizont, Lagerungsart und Mächtigkeit der Sand- bzw. Torfbalken im Unterboden, können auch biochemische Kriterien herangezogen werden, um Zeitpunkt und Höhe der Neubewertung zu objektivieren bzw. die Prozesse der Bodenentwicklung gegebenenfalls bodentechnologisch weiter zu lenken.

3.1 GRAD DER HOMOGENISIERUNG

Vergleicht man einen aus ähnlichem Bodenmaterial durch Flächenkompostierung aufgebauten Plaggenesch mit einer relativ jungen Sandmischkultur, so ist die unterschiedliche Erodierbarkeit beider Böden offensichtlich. Diese läßt mit zunehmendem Alter der Sandmischkultur nach, bei gleichzeitiger Abnahme des Gehaltes an organischer Substanz. Dazu müssen also die Quarzkörner zunehmend mit humifizierter Substanz vernetzt werden. Dies festzustellen, bietet sich das Verfahren der Schwereretrennung an.

Wenn man eine Bodenprobe mit einer Flüssigkeit schüttelt, die in ihrer Dichte derjenigen der organischen Substanz entspricht und diese zugleich chemisch nicht angreift, kann man die nicht mit den mineralischen Bestandteilen vernetzten organischen Anteile geringerer Dichte von letzteren abtrennen. Dazu ist z.B. Tetrachlorkohlenstoff (CCl₄) mit einer Dichte von 1,59 g/cm³ als apolares Lösungsmittel geeignet.

In Abbildung 2 sind entsprechende Untersuchungen von SCHEFFER u. HIDDING (1977) dargestellt. Mit zunehmendem Alter nimmt der spezifisch schwere, d.h. aschereiche, mit mineralischer Bodensubstanz vernetzte organische Anteil von < 90% auf > 98% zu.

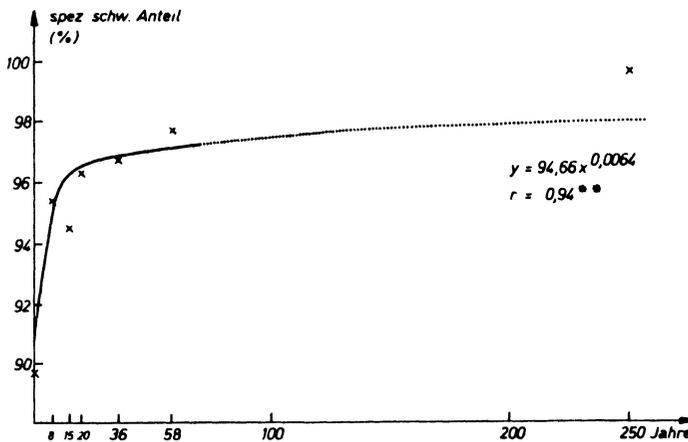


Abb. 2
Anreicherung spezifisch schwerer organischer Substanzen mit zunehmendem Alter
Enrichment of specific heavy organic substances with increasing age

In einem ca. 250 Jahre alten Plaggenesch gehören > 99% der organischen Bodensubstanz zur spezifisch schweren Substanz. Daß es sich bei dieser spezifisch schweren organischen Substanz um besonders wertvolle, d.h. stickstoffreiche und somit stärker humifizierte organische Bodensubstanz handelt, zeigt Abbildung 3.

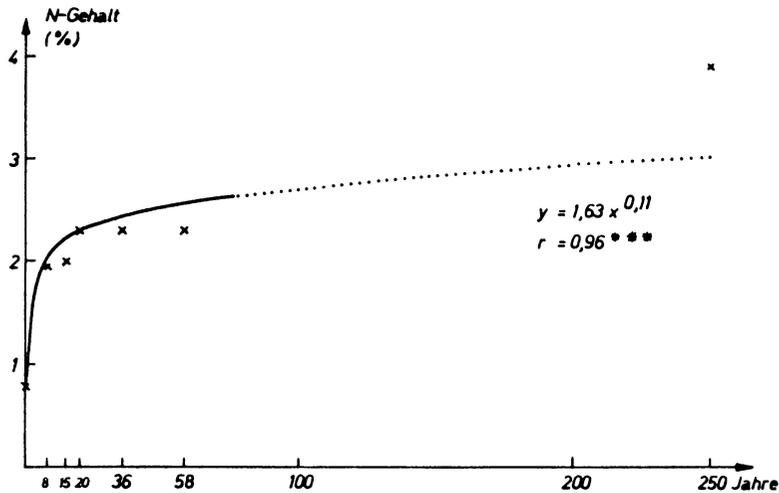


Abb. 3

N-Gehalt der organischen Substanz in der spezifisch schweren Fraktion
N-content of organic substances in the specific heavy fraction

3.2 GRAD DER HUMIFIZIERUNG

Zur Beurteilung des Humifizierungsgrades bietet sich vor allem der Stickstoffgehalt der organischen Substanz an. Mit zunehmender Bodenentwicklung nimmt der Gehalt an organischer Bodensubstanz im Ap-Horizont einer Sandmischkultur ab und stabilisiert sich bei etwa 6 Gew.%, wenn nicht durch wiederholtes tieferes Bearbeiten des Bodens immer wieder frische torfige, organische Substanz aus dem Unterboden aufgepflügt wird. Das widerspricht auch dem Sinn dieser Kultivierung, nämlich unter einer ausreichend mächtigen, stark humosen Krume im Unterboden Torf zu konservieren mit primären, gut wasserspeichernden Eigenschaften. Der von 15 auf 6 Gew.% abnehmende Gehalt an organischer Substanz ist mit einem zunehmenden Stickstoffgehalt verbunden, der sich mehr als verdoppelt (Tabelle 1.)

Tabelle 1: Chemische Kenndaten der Versuchsböden Chemical characteristics of the test soils					
Boden	Alter (Jahre)	pH (CaCl ₂)	org.Subst. %TM	C % org.	N TM
Sandmischkultur	0	3,0	35,5	55,3	0,59
"	8	4,0	7,7	50,1	1,44
"	15	4,5	8,3	52,6	1,68
"	20	4,6	9,7	50,0	1,65
"	36	4,7	5,4	47,2	2,03
tiefgepflügter Ericapodsol	58	4,2	6,8	45,6	2,00
Plaggenesch	250	4,9	2,3	53,0	4,35

Wenn man die gleichzeitig von 1.100 auf 1.300 g/l zunehmende effektive Lagerungsdichte und die mit zunehmendem Alter von 20 auf 30 cm vertiefte Krume einer Sandmischkultur berücksichtigt, nimmt der Stickstoffvorrat im Ap-Horizont von 1.940 kg/ha

in einer jungen Sandmischkultur auf 5.040 kg/ha in einer alten Sandmischkultur zu. Bei mit 1% gleich hoch angesetzter Stickstoffmineralisation sind also unter einer jungen Sandmischkultur nur ca. 20 kg/ha bodenbürtiger Stickstoff, auf einer älteren, stabilisierten dagegen 50 kg Stickstoff/ha jährlich zu erwarten.

Die Mineralisierbarkeit des in der organischen Bodensubstanz gebundenen Stickstoffs ist als langsam fließende Stickstoffquelle ein wichtiges Kriterium der Bodenfruchtbarkeit und in der Bemessung der Stickstoffdüngungshöhe zu berücksichtigen.

Im Laufe ihrer Bodenentwicklung akkumulieren Sandmischkulturen anfangs also große Stickstoffdüngermengen, die sie später in geringerem Umfang dosiert wieder freigeben. HAGEMANN (1978) hat in seiner Dissertation unter anderem auch die verschiedenen Stickstofffraktionen von unterschiedlich alten Sandmischkulturböden untersucht. Mit dem Alter der Sandmischkultur und ihrer Humifizierung nimmt - bezogen auf den zunehmenden Gesamt-N-Gehalt - der Anteil nicht hydrolisierbaren, vorwiegend heterocyklisch organisch gebundenen Stickstoffs zu. Entsprechend geringer wird der Anteil hydrolisierbaren Stickstoffs. Die einzelnen N-Fraktionen nähern sich dem Muster isolierter Huminsäuren von Mineralböden. Die absoluten Gehalte an Aminosäure-N und Amid -N in der organischen Bodensubstanz nimmt mit dem Alter der Sandmischkulturen zu (Abb. 4). Eine typische Veränderung im Verteilungsmuster der einzelnen Aminosäuren war noch nicht zu erkennen (ALDAG et al., 1980).

Es ist unter anderem aus Untersuchungen von PUUSTJÄRVI (1982) bekannt, daß mit zunehmendem Zersetzungsgrad der Torfe ihre Kationenaustauschkapazität (KAK) zunimmt. Damit steigt die Möglichkeit der vorübergehenden Kationenspeicherung selektiv besonders hochwertiger Kationen. Mit zunehmendem Alter der Sandmischkultur wurde ebenfalls eine Zunahme der KAK trotz abnehmenden Gehaltes an organischer Substanz festgestellt (s. Abb. 5). Organische Substanzen sind durch einen hohen Anteil variabler, d.h. pH-abhängiger Ladungen ausgezeichnet. Bei verschiedenem pH werden unterschiedliche funktionelle Gruppen zum Ladungsaustausch aktiviert und gemessen. Bei pH 5,5 sind vor allem die Carboxylgruppen (-COOH) am Kationenaustausch beteiligt bei pH 7 werden auch phenolische Carbonylgruppen (-OH) aktiviert. Mit zunehmendem Alter der Sandmischkultur verschiebt sich das Verhältnis von Carboxyl- und Carbonylgruppen. Analog zu SCHNITZER u. DESJARDIN (1965) ist der Anstieg der phenolischen OH-Gruppen mit zunehmendem Alter (Zersetzung) deutlich. Dagegen wird bei pH 5,5 eine leicht abnehmende Tendenz der KAK mit zunehmendem Alter gemessen.

In Gefäßversuchen konnte FEIGE (1974) einen steigenden Kalkbedarf mit zunehmendem Alter der Sandmischkultur feststellen. Auch dies ist Ausdruck zunehmender Kationenaustauschkapazität mit Aktivierung von Protonen liefernden Ladungsstellen. Junge anmoorige bis sehr stark humose Sandmischkulturen werden deshalb durch Meliorationskalkung auf pH 4,5-4,7 eingestellt.

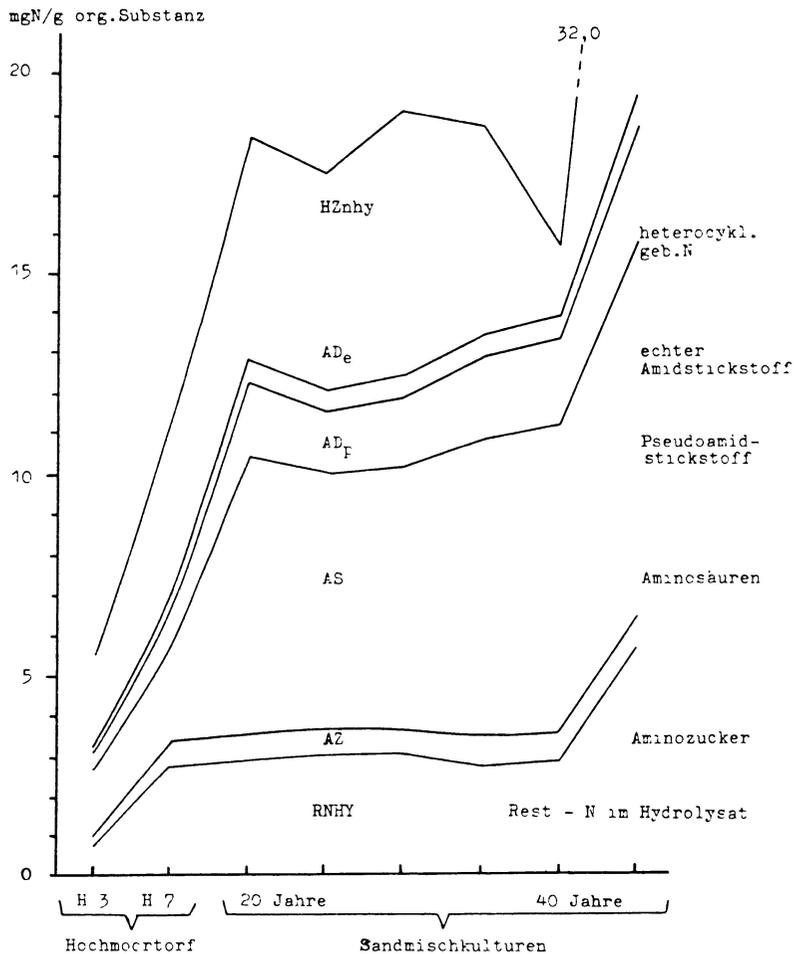


Abb. 4

Stickstoff-Fractionen im Hochmoortorf unterschiedlichen Zersetzungsgrades und in Sandmischkulturen unterschiedlichen Alters

Nitrogen fractions in raised-bog peat of different degree of decomposition and in sand-mix-cultures of different age

Höhere Kalkungen bzw. pH-Ziele würden den Humifizierungsprozess sehr stark beschleunigen. Ältere, nur noch stark bis mittel humose Sandmischkulturen benötigen ähnlich dem Plaggenesch einen pH-Wert von 5,0-5,5. Es muß also mit der Bodenentwicklung wiederholt nachgekalkt werden.

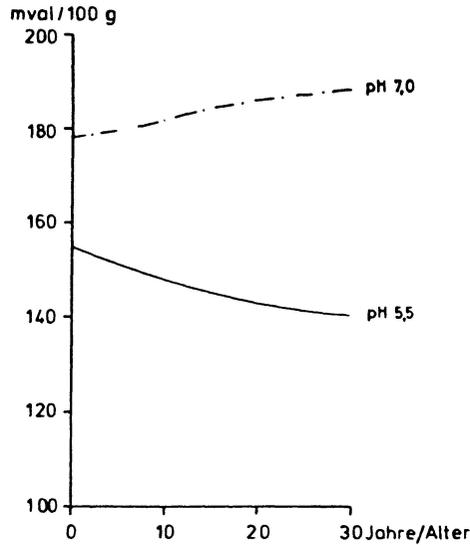


Abb. 5

Potentielle (bei pH 7) und aktuelle (bei pH 5,5) Kationenaustauschkapazität (KAK) in Sandmischkulturen unterschiedlichen Alters (Bodenentwicklung)
 Potential (at pH 7) and actual (at pH 5,5) Cation-Exchange-Capacity (CEC) in sand-mix-cultures of different age (soil development)

4. SCHLUSSBETRACHTUNG

Die Anthropogenese der Sandmischkulturen kann in ihren Anfangsstadien durch vergleichende Untersuchungen unterschiedlich alter Krumböden dieses Moorkulturtyps in den wichtigen Teilprozessen der Setzung, Homogenisierung und Humifizierung deutlich gemacht werden. Zur Absicherung feldbodenkundlicher, eher subjektiver Beurteilungen von Menge und Form der organischen Substanz des Ap-Horizonts und seiner Mächtigkeit können bodenchemische Untersuchungen zur Objektivierung herangezogen werden. Zur Beurteilung der Homogenisierung kann die Schwere-trennung in Tetrachlorkohlenstoff empfohlen werden. Mit dem Alter einer Sandmischkultur nimmt die Vernetzung bzw. Bindung der organischen mit der mineralisierten Substanz zu.

Zur Beurteilung der Humifizierung reichen Humusgehalt und C/N-Verhältnis der organischen Substanz nicht aus. Mehr Einblick in die komplexen Vorgänge der Humifizierung bieten die Stickstoff-Fraktionierung, das Verhältnis der aktuellen KAK bei pH 5,5 zur potentiellen KAK bei pH 7 sowie weitere Stoffgruppenanalysen, z.B. nach ROCHUS (1977).

Diese Untersuchungen sind nicht nur erforderlich, um den jeweiligen Grad der Bodenentwicklung nach dem Tiefpflügen festzustellen, sondern auch um gegebenenfalls die weitere Bodenentwicklung, z.B. durch Nutzung und Düngung, zu lenken. Nach derzeitigem Stand der Erkenntnisse erreichen Sandmischkulturen

bereits 20 Jahre nach dem Tiefpflügen ihr Klimaxstadium. Es ist notwendig, die weitere Entwicklung dieses mit inzwischen rd. 200.000 ha weit verbreiteten anthropogenen Bodentyps zu verfolgen. Auch diese Frage ist ein wichtiger Beitrag zum Bodenschutz.

5. LITERATUR

- ALDAG, R., HAGEMANN, P.C. u. KUNTZE, H. (1980): Die Umverteilung des organisch gebundenen Stickstoffs in Sandmischkulturen als Indikator der Bodenentwicklung.- TELMA, 10, 97-107, Hannover.
- BADEN, W., EGGELSMANN, R. u. JANNER, A. (1960): Wachstumsvoraussetzungen und Leistung verschiedener Moorkulturtypen Nordwestdeutschlands während ihres ersten Jahrzehntes.- Mitt.Arb.Staatl. Moorversuchsstation in Bremen, 8.Bericht, 55-98, Verlag P.Parey, Hamburg-Berlin.
- BRÜNE, Fr. (1950): Fortschritte in der Bewirtschaftung von Hochmoor- und Heidesandböden.- Landbuchverlag GmbH, Hannover.
- FEIGE, W. (1974): Zum Ertragspotential von Sandmischkulturböden in Abhängigkeit von Alter, Humusgehalt und Kalkversorgung.- Landw. Forsch., 30/II. Sonderheft, 178-185, Frankfurt/M.
- HAGEMANN, P.C. (1978): Bodentechnologische und moorkundliche Faktoren zur nachhaltigen Entwicklung von Sanddeck- und Sandmischkulturen.- Göttinger Bodenkundl.Berichte, 53, 1-153, Göttingen.
- KUNTZE, H. (1972): Die Torfkomponente in der Bodenbildung auf Sandmischkulturen.- Mitt.Dtsch.Bodenkundl.Ges., 15, 155-162, Göttingen.
- "- (1974): Meliorationsbeispiel Sandmischkultur.- Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 24, 31-46, Braunschweig.
- PUUSTJÄRVI, B. (1982): Nature of Changes in Peat Properties During Decomposition.- Peat & Plant Yearbook 1981/82, 5-20, Helsinki.
- ROCHUS, W. (1977): The Organic Nitrogen Content of Peat Soils Combined with Different Fractions of Humic Substances.- Soil Organic Matter Studies, Vol. III, 365-370, JAEA Wien.
- SCHEFFER, B. u. HIDDING, H. (1977): Schwereretrennung an verschiedenen alten Sandmischkulturböden zur Darstellung bodenbildender Prozesse.- Mitt.Dtsch.Bodenkundl.Gesellschaft, 25, 597-604, Göttingen.
- SCHNITZER, M. u. DESJARDIN, J.G. (1965): Carboxyl- und phenolische Hydroxylgruppen in organischen Böden und ihre Beziehung zum Humifizierungsgrad.- Canad.J.Soil Sci., 45, 217, Ottawa.

Manuskript eingegangen am 6.Dezember 1986