

Spezielle Probleme bei der Düngung und Bewirtschaftung organischer Böden

Autor(en): **Siegenthaler, Albrecht**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Annuaire de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative**

Band (Jahr): **162 (1982)**

PDF erstellt am: **18.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-90866>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Spezielle Probleme bei der Düngung und Bewirtschaftung organischer Böden

Albrecht Siegenthaler

Zusammenfassung

Bei der Düngung und Bewirtschaftung organischer Böden (in der Praxis mehr als 20% Humus) stehen unter anderem die Versorgung der Böden mit Pflanzennährstoffen, die Ernährung der Kulturpflanzen, sowie der Einfluss der Bodenreaktion zur Diskussion. Anhand einer Anzahl untersuchter organischer Böden aus dem Tätigkeitsgebiet unserer Forschungsanstalt und einer ausgewählten Untersuchung, wird das Problem der Versorgung mit Pflanzennährstoffen dargestellt. In einem abgeschlossenen Gebiet mit teils organischen Böden wurde die absolute Höhe der ausgewaschenen Nährelemente gezeigt. Neben Stickstoff (Nitrat-N) sind dabei die hohen Mengen an Kalzium und Magnesium auffallend. In der Arbeit werden die aktuellen Düngungsprobleme bei landwirtschaftlich genutzten Böden sowie Verbesserungsvorschläge zur Nutzung dargelegt.

Résumé

La fertilisation et la culture des sols organiques – dont la teneur en humus dépasse pratiquement 20% – soulèvent, entre autres, des problèmes de fertilisation des cultures, comme aussi de l'influence de la réaction des sols.

A l'exemple d'une série de sols organiques prélevés dans le rayon d'activité de notre station de recherches ainsi que d'une analyse sélectionnée, le problème de l'approvisionnement des cultures en éléments fertilisants est mis en lumière. Les valeurs absolues des quantités d'éléments fertilisants lessivés pour une région délimitée donnée, comportant partiellement des sols organiques, sont rapportés. A côté de l'azote (azote nitrique), on peut signaler les quantités importantes de calcium et de magnésium qui sont lessivées. Les problèmes actuels de fertilisation pour des sols exploités à des fins agrico-

les sont présentés et des propositions d'amélioration des techniques culturales sont proposées.

Einleitung

Böden, deren Humusgehalt 20% übersteigt, werden in der landwirtschaftlichen Praxis als Humusböden oder organische Böden bezeichnet (vgl. Düngungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau). Nach Scheffer (1960) macht in ausgesprochenen Moorbildungen der Humusgehalt – auf den trockenen Boden bezogen – definitionsgemäss wenigstens 30, im Anmoor 30 bis wenigstens 15 Gew.- % aus.

Ähnlich werden organische Böden im englischen Sprachgebiet definiert. Buckmann und Brady (1965) sprechen Böden mit Gehalten über 20% organischer Substanz als organische Böden an. Im Gegensatz dazu geben Thompson und Troeh (1978) als grundsätzliches Kriterium das Dominieren der organischen Substanz über die übrigen Bodeneigenschaften an. Die beiden Autoren sprechen von «organischen Böden», wenn der organische C-Gehalt 12% bei Fehlen von Ton übersteigt. Für jedes % mehr Ton wird der Mindest-C-Gehalt um $\frac{1}{10}$ % erhöht.

Vielfach wird zwischen organischer Substanz und Humus unterschieden. Scheffer und Schachtschabel (1970) bezeichnen als Humus alle abgestorbenen organischen Stoffe, die sich in und auf dem Boden befinden und einem stetigen Ab-, Um- und Aufbauprozess unterliegen oder unterlegen haben.

In den folgenden Ausführungen werden wir uns von der Praxis gesehen, an die erste Definition halten.

Bei der Düngung und Bewirtschaftung organischer Böden ist das Ziel aller pflanzenbaulichen Massnahmen, hohe Pflanzenerträge von einwandfreier Qualität zu erreichen unter möglichst geringen Nährstoffverlusten und der Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit.

Demgegenüber stehen folgende Probleme von Bedeutung im Vordergrund:

- Versorgung der organischen Böden mit Pflanzennährstoffen
- Ernährung der Kulturpflanzen, Einfluss der Bodenreaktion
- Humusabbau und seine Folgen
- geringe Tragfähigkeit des Bodens
- Frostgefährdung

Als Folge dieser Probleme resultiert eine Ertragsunsicherheit, die agronomisch von wesentlicher Bedeutung ist. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die *landwirtschaftlich genutzten Flächen* im Einzugsgebiet unserer Forschungsanstalt und auf die beiden ersten Problemkreise. Wir erwähnen die restlichen nur dort, wo dies unbedingt erforderlich ist.

Untersuchte organische Böden

An unserer Anstalt wurden in den Jahren 1976 bis 1980 insgesamt etwas über 43 000 Bodenproben aus Praxisbetrieben auf pH-Wert und auf die Nährstoffbedürftigkeit untersucht. Die Probenahme erfolgte in der Regel durch den Betriebsleiter. Bei Ackerland und Kunstwiese wurden aus der Bodenschicht 0–20 und bei Naturwiesen aus 0–10 cm Proben gezogen. Diese Proben wurden bei 40 °C luftgetrocknet. Die Bestimmung des pH-Wertes erfolgte in Aufschwemmung des Bodens mit destilliertem Wasser (1:2,5). Phosphat und Kali wurden mit den an den Forschungsanstalten üblichen Methoden nach Dircks und Scheffer modifiziert gemessen, das heisst, die Extraktion erfolgte mit CO₂-gesättigtem Wasser bei einem Bodenzu-Wasser-Verhältnis von 1:2,5. Nach dem Filtrieren wurde eine mögliche Störung des Phosphates durch Nitrit mit Sulfaminsäure unterdrückt und der blaue Phosphormolybdänkomplex mit Ascorbinsäure entwickelt und anschliessend fotometrisch gemessen. Die Bestimmung des Magnesiums erfolgte nach der Methode von Schachtschabel: Das austauschbare Mg wurde mit Kalziumchlorid ausgeschüttelt und mit dem Atomabsorptionsgerät gemessen. Von der eingangs erwähnten grossen Anzahl Böden wurden mittels Handtaxierung 265 als Humusböden (Gehalt an organischer Substanz > 20%) festgestellt. Nach Abzug von Böden aus Obst-, Wein- und Gartenbau und denjenigen aus Forstgärten und Versuchen verblieben

146 Böden, deren Gehalte in der Tabelle 1 dargestellt sind. Auffallend ist, dass im stark sauren Bereich der Anteil untersuchter Böden gering ist. Der Hauptanteil der Böden unter Naturwiesen ist schwach sauer bis neutral. Kunstwiesenböden und diejenigen des offenen Ackerlandes liegen im schwach sauren bzw. sauren Bereich. Eine mögliche Erklärung für den Umstand, dass hier mehr Böden zwischen pH-Werten 5,3–5,8 liegen, könnte sich aus der erhöhten Auswaschung und dem höheren Pflanzenentzug von Natrium, Kalium und Kalzium-Ionen ergeben. Rund die Hälfte der obersten Schicht aller Böden war frei von Kalziumcarbonat. Bei der Phosphatversorgung (P-Test) fällt der hohe Anteil an phosphatarmen und mässig mit Phosphat versorgten Böden auf. Für das offene Ackerland übersteigt dieser Anteil 80%. Ein Grossteil der Böden ist genügend mit Kalium versorgt oder zeigt Vorräte. 11–24% der Böden sind mit Kalium angereichert.

Die Gegenüberstellung der Phosphat- und Kaliversorgung der gleichen Böden (Abbildung 1) zeigt, dass schliesslich nur ein sehr kleiner Teil

Tabelle 1: Ergebnisse der Bodenuntersuchung von Humusböden (0–20 cm) aus den Jahren 1976–80 bezüglich pH-Wert, sowie Phosphat- und Kaliversorgung unterteilt nach verschiedenen Kulturen (Anteil in %)

	Kulturen		
	Naturwiesen < 1000 m.ü.M.	Kunstwiesen	Offenes Ackerland
Anzahl Proben	44	17	85
<i>Bodenreaktion (pH in H₂O)</i>			
stark sauer (unter 5,3)	4,5	0	2,4
sauer (5,3–5,8)	9,1	29,4	37,6
schwach sauer (5,9–6,7)	54,6	58,8	41,2
neutral (6,8–7,2)	22,7	5,9	15,2
schw. alkalisch (7,3–7,6)	6,8	5,9	3,6
alkalisch (über 7,6)	2,3	0	0
<i>Kalk (CaCO₃)</i>			
kalkfrei	52,3	58,8	50,6
Spuren	2,3	23,5	17,6
> 0,1 %	45,4	17,7	31,8
<i>Phosphatversorgung (P-Test)</i>			
arm (0–7,5)	43,2	17,6	49,3
mässig (8–15,5)	22,7	41,2	34,1
genügend (16–24)	20,5	17,6	7,1
Vorrat (24,5–48)	13,6	23,6	7,1
angereichert (> 48,5)	0	0	2,4
<i>Kaliversorgung (K-Test)</i>			
arm (0–0,9)	2,3	11,8	2,4
mässig (1–1,9)	22,7	17,6	18,8
genügend (2–4)	45,5	17,6	30,6
Vorrat (4,1–8)	18,1	29,4	27,0
angereichert (> 8)	11,4	23,6	21,2

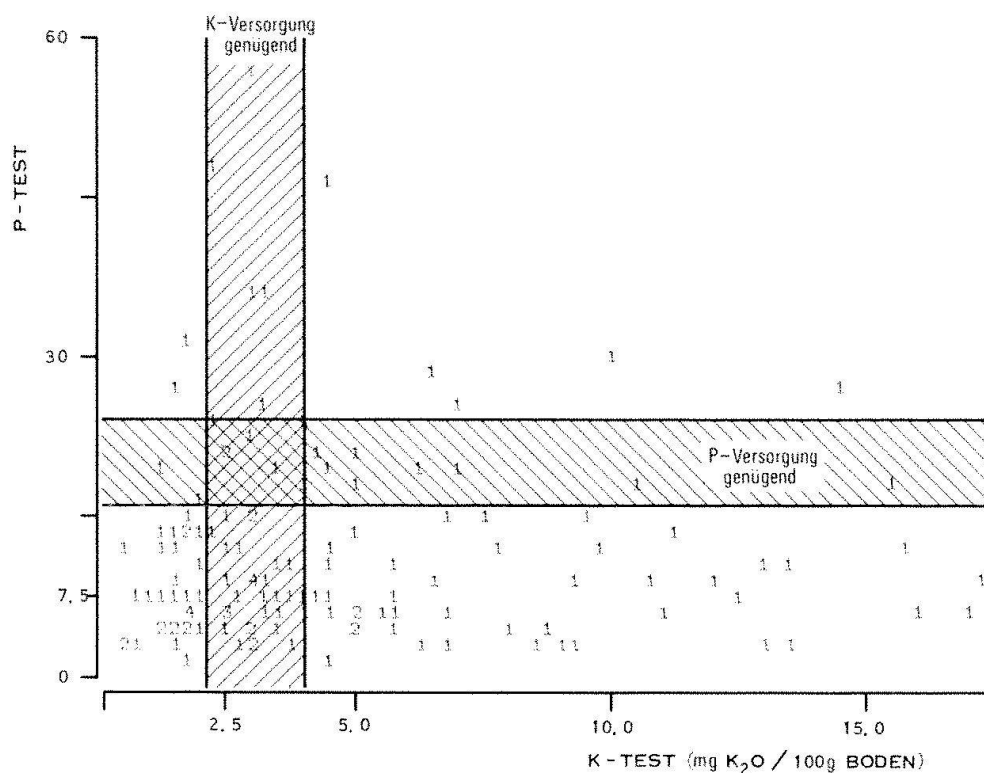


Abbildung 1. Phosphat- und Kaliversorgung organischer Böden (Forschungsanstalt Liebefeld 1976–80, N=140)

(5%) aller Böden bezüglich P und K genügend versorgt ist. Die Phosphatunterversorgung muss durch eine verstärkte P-Düngung korrigiert werden, da sonst der Landwirt das Risiko von Ertragseinbußen bzw. Phosphatmangelsituationen eingeht. Hingegen kann die Kalidüngung auf vielen Parzellen stark reduziert oder sogar weggelassen werden. Es ist allgemein bekannt, dass Moorböden zwar ein schwaches K-Nachlieferungsvermögen haben (Finck, 69). Andererseits können sich extrem hohe K-Gehalte in Futterpflanzen, bedingt durch Luxuskonsum, für Tiere nachteilig auswirken.

Die Untersuchung von 78 Parzellen auf Magnesium ergab die folgenden Werte:

Naturwiesen	132–228 ppm Mg (Ø 158)
Kunstwiesen	113–241 ppm Mg (Ø 179)
Offenes Ackerland	115–231 ppm Mg (Ø 153)

Die Böden sind ausreichend mit Magnesium versorgt. Die Beziehung zwischen der Magnesium- und Kaliversorgung (Abbildung 2) lässt die gute Versorgung mit Magnesium ebenfalls erkennen. Auch hier könnten sich die zum Teil extrem hohen Kaligehalte durch eine Senkung der Aufnahme des Mg bedingt durch Antagonismus, nachteilig auswirken.

Bodenuntersuchung und Nährstoffauswaschung in einem abgeschlossenen Gebiet (natürliches Lysimeter) mit teils organischen Böden

Das Lüscherzmoos, im bernischen Seeland gelegen, wird im Nordwesten vom Bielersee durch Schaltenrain und Feiberg getrennt. Im Nordosten wird es durch den Hagneckkanal (Aare), im Südosten durch den Höhenzug des Grosswaldes und im Südwesten durch eine Wasserscheide der Drainagen begrenzt. Das Gebiet wurde in einer früheren Arbeit durch Geologen untersucht, ist hydrologisch geschlossen und wird einzig vom Moosbach entwässert, welcher durch einen Stollen in den Bielersee führt. Es kann als «grosses Lysimeter» angesehen werden.

Die Gesamtfläche des Gebietes beträgt 694 Hektaren, wobei zirka 33% bewaldet und 6% unproduktive Flächen sind. Die landwirtschaftliche Kulturfläche wird im Nordostteil intensiv acker- und futterbaulich genutzt, während im Südwestteil vorwiegend intensiver Gemüsebau betrieben wird. Charakteristisch für die Betriebe sind der Besitz und die Bewirtschaftung eines Teils mit vorwiegend mineralischen Böden einerseits und organischen Böden andererseits. In der Talsohle, welche knapp die Hälfte ausmacht, herrschen die grundwasserbeeinflussten organischen Nassböden vor. Die Un-

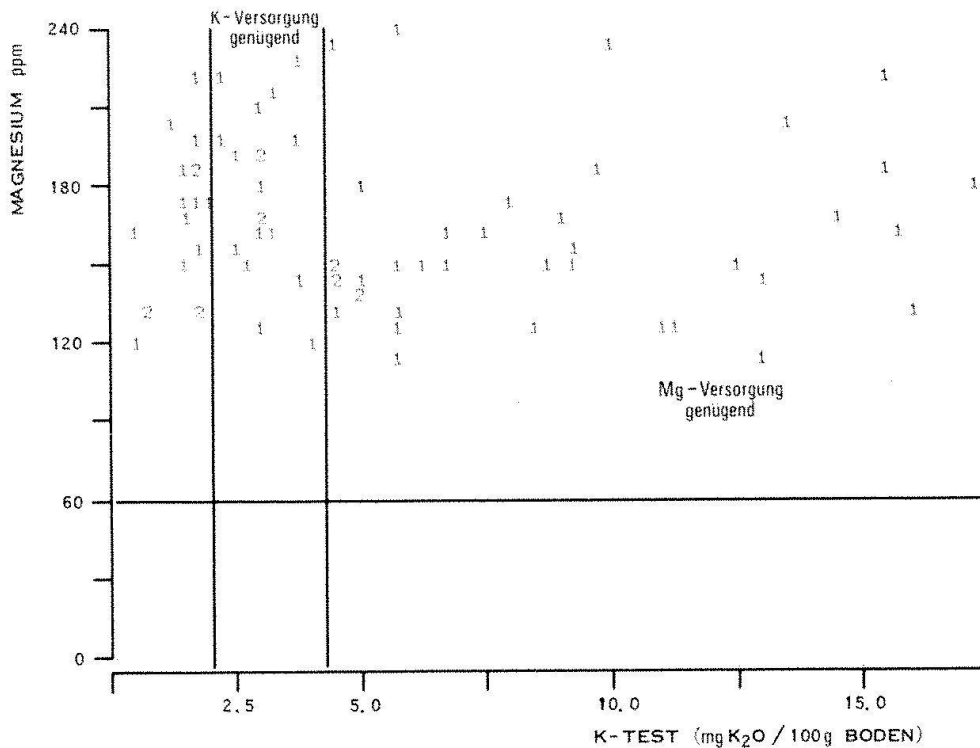


Abbildung 2. Magnesium- und Kaliversorgung organischer Böden (Forschungsanstalt Liebfeld 1976-80, N=78)

terlage der 0,2 bis 5 und mehr Meter mächtigen Torfschicht besteht aus Seekreide und/oder Lehm und Ton. Entlang der meist bewaldeten Hügelzüge geht der Moorboden in mehr oder weniger humose teils sandige Lehmböden über. In 23 ausgewählten Betrieben mit einer Gesamtfläche von 130 Hektaren wurden die in den Abbildungen 3 und 4 zusammengestellten Nährstoffverhältnisse des Obergrundes der Böden gefunden. Der pH-Wert (H_2O) der mineralischen Böden liegt im Bereich 5,4 bis 7,7 und derjenige der Humusböden schwankt von 5,2 bis 7,4. Während mineralische Böden zu einem sehr geringen Teil arm bezüglich Phosphat und Kali sind, fallen mehr als ein Viertel der Humusböden in die Versorgungsstufe «arm». Mehr als die Hälfte der Humusböden sind reich an Kali. Ein Grossteil der Böden ist karbonatfrei oder weist Spuren von Kalziumcarbonat auf. Der höchste Kalkanteil beträgt 5,8%. In dieser lokal begrenzten Untersuchung wurden sehr ähnliche Resultate gefunden, wie für das gesamte Untersuchungsgebiet unserer Anstalt. Auch die Magnesiumversorgung dieser Böden kann hier als gut bezeichnet werden. Es wurden gefunden für

Naturwiesen	132-228 ppm Mg (N = 10)
Kunstpflanzen	113-241 ppm Mg (N = 15)
offenes Ackerland	115-231 ppm Mg (N = 53)

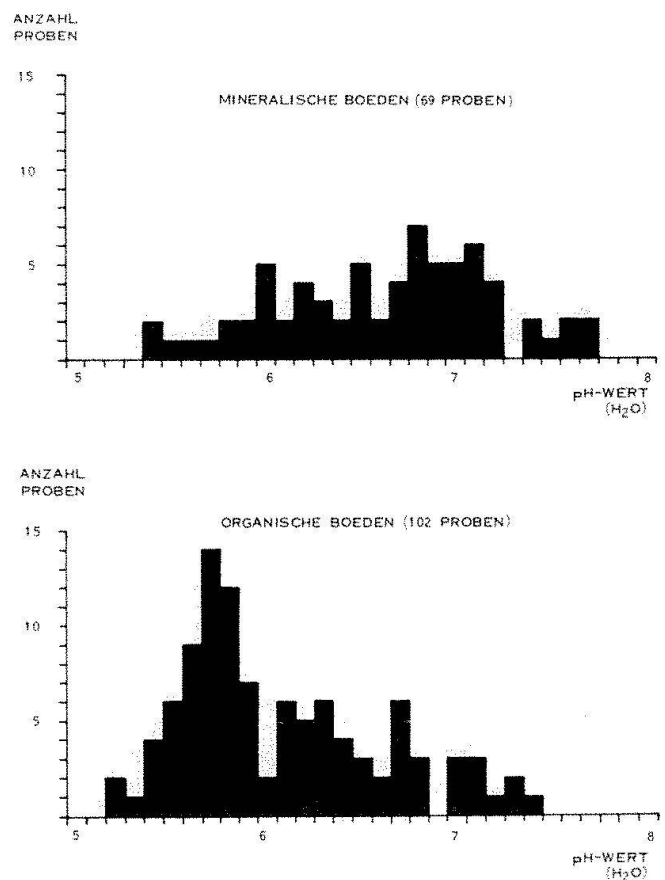


Abbildung 3. pH-Werte der Böden von 23 ausgewählten Betrieben im Lüscherzmoos

Seit Mai 1976 wurden am Ausfluss des Stollens alle 14 Tage (Mitte und Ende des Monats) Wasserproben entnommen. Mit der Probenahme wurde jeweils mittels Pegelstandmessung der Wasserabfluss des Moosbaches bestimmt. Der gesamte Wasserabfluss wurde an der gleichen Stelle kontinuierlich über den ganzen Untersuchungszeitraum gemessen. Die ausgewaschene Menge an Pflanzennährstoffen wurde aus Gehalt und Wasserabfluss errechnet.

Die Messung des Nitrat-Stickstoffs ($\text{NO}_3\text{-N}$) erfolgte mittels ionensensitiver Elektrode. Das Phosphat wurde durch Peroxid-Schwefelsäure-Aufschluss in Ortho-Phosphat übergeführt und als Gesamtphosphat gemessen. Kalium (K) und Natrium (Na) wurden flammenfotometrisch direkt aus der Lösung bestimmt, während Kal-

zium (Ca) und Magnesium (Mg) mittels Atomabsorption gemessen wurden.

In der Abbildung 5 sind die jährlichen Nährstofffrachten des aus dem Gebiet in den Bielersee führenden Moosbaches für die Jahre 1976-79 dargestellt. Die Nährstoffmengen wurden dabei auf das Wasserwirtschaftsjahr (1. Mai-30. April) bezogen und in kg je ha Fläche und Jahr ausgedrückt. Im Durchschnitt der drei Jahre wurden für die einzelnen Nährstoffe die folgenden ausgewaschenen Mengen festgestellt:

45,3 kg/ha Stickstoff	($\text{NO}_3\text{-N}$)
0,33 kg/ha Phosphat	(P)
15,3 kg/ha Kalium	(K)
561,1 kg/ha Kalzium	(Ca)
34,3 kg/ha Natrium	(Na)
79,1 kg/ha Magnesium	(Mg)

Auffallend sind dabei die hohen Mengen Kalzium und Magnesium. Nach Untersuchungen von Czeratzky (1973), Jäggli (1978), Furrer (1981) und anderen Autoren ist bekannt, dass insbesondere während der Zeit, da ein Boden unbewachsen ist, d.h. keine Pflanzendecke trägt, grosse Auswaschungsverluste auftreten. Es ist festzustellen, dass die Winterteilbrachflächen vor allem in Gebieten mit organischen Böden – entsprechend hoher N-Mobilisierung – gross sind. So waren im frühen Frühjahr 1982

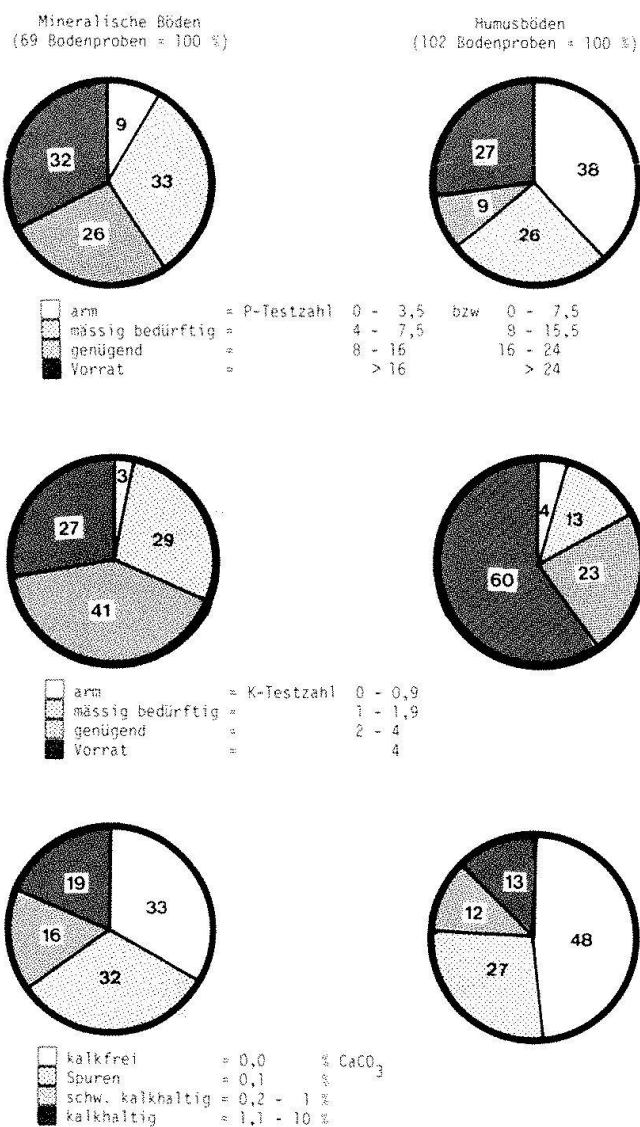


Abbildung 4. Prozentuale Aufteilung der Phosphat-, Kali- und Kalkversorgung in Versorgungsstufen des Bodenobergrundes (0-20 cm) von 23 ausgewählten Betrieben im Lüscherzmoos.

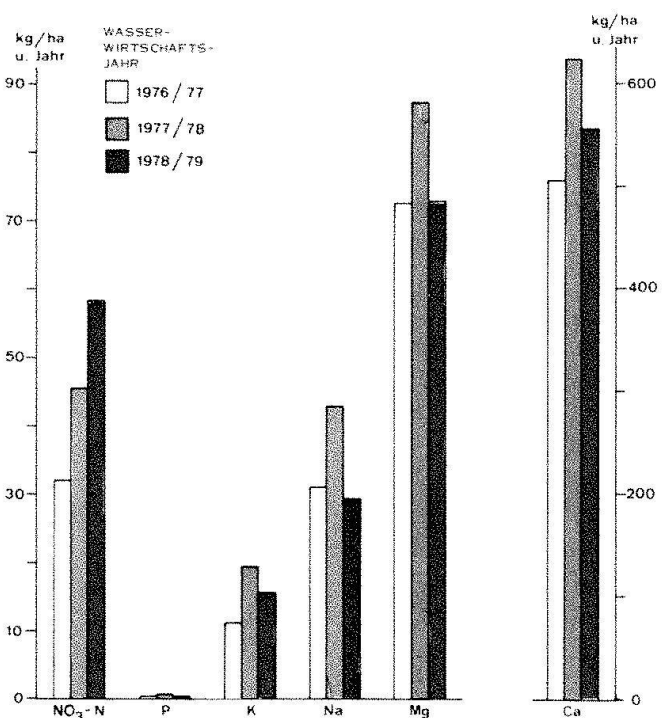


Abbildung 5. Jährliche Nährstofffrachten des Moosbaches 1976-79

im Lüscherzmoos über 60% der gesamten Fläche teilbrach.

Aktuelle Düngungsprobleme bei landwirtschaftlich genutzten organischen Böden

Wie auf mineralischen Böden ist bei dem für Pflanzen optimalen Kalk- und Säurezustand der Stickstoff ebenso grösster Impuls für Quantität und Qualität der Produkte. Im Übermass kann auch hier die vegetative zu ungunsten der fruktativen Entwicklung gefördert und die Güte der Produkte beeinträchtigt werden. Dabei ist es nach Baden (zit. in Linser-Scharrer 1965) einerlei, ob der Stickstoff aus der natürlichen (organischen) Quelle, ob er als Leguminosenstickstoff oder ob er mit Hof- und Handelsdüngern verabfolgt wird. Die grosse Unbekannte ist auch heute noch das natürliche Stickstoffnachlieferungsvermögen in organischen, teilweise auch in mineralischen Böden. Neueste Inkubationsversuche von Stadelmann et. al (1982) zeigten, dass der mobilisierte Stickstoff stark mit dem leicht abbaubaren Stickstoff, mit dem Gesamtstickstoff, dem organischen C- und Tongehalt, nicht aber mit dem pH-Wert und dem Schluffgehalt der Böden korrelierten. Eine praxisreife Methode zur Ermittlung des potentiell mobilisierbaren Stickstoffs fehlt bis heute. Die Gefahr von temporärem N-Überangebot – damit Luxuskonsum und/oder Auswaschung – ist damit höher.

Seit langem bekannt ist die herabgesetzte Löslichkeit und Aufnehmbarkeit des Mangans. Für die ausreichende Versorgung der Pflanzen mit Mangan ist der Gehalt an Gesamt-mangan nicht unbedingt massgebend; dagegen liessen sich auf Moorböden Beziehungen zwischen dem Gehalt an austauschbarem Mangan und dem Auftreten von Mangelerscheinungen (Dörrfleckenkrankheit) feststellen (Gisiger, 1952; Finck, 1969). Die Praxis begegnet dieser Insuffizienz mit Spritzungen von Mangan, insbesondere im Getreidebau.

Bor wird bei borbedürftigen Kulturen (Futter- und Zuckerrüben, Raps usw.) zuge düngt.

Organische Böden werden in der Literatur oft als Kupfermangelstandorte angesprochen (Kuntze und Vetter, 1980; Vetter und Klasink, 1977; Scheffer-Schachtschabel, 1970; Finck, 1970). Von unserer Seite konnte keine Kupfermangelsituation festgestellt werden. Das gleiche gilt für Molybdän, obschon in der Praxis

des Gemüsebaus Molybdändünger eingesetzt werden (Ridly, 1982).

Verbesserungsvorschläge zur landwirtschaftlichen Nutzung organischer Böden

1. Die Betriebsleiter sind bestrebt, auch organische Böden *gezielt* zu düngen. Mittels Analyse der Böden könnte die Zielsetzung des landwirtschaftlichen Pflanzenbaus noch besser erreicht werden. Unbedeckte Flächen (Teilbrachen) sind womöglich immer zu vermeiden und mittels Zwischenfutterbau oder Gründüngung zu überbrücken. Auch organische Böden sind für eine Gründüngung dankbar (Baden 1965). Als Vor- bzw. Zwischenfrucht kann der Gründüngung insbesondere auf erosionsgefährdeten Kulturen eine überragende Bedeutung zukommen.

2. Die Torfübersandung scheint vor allem bei tieftorfigen Flächen ein gangbarer Weg zur vielseitigen Nutzung mit nachhaltiger guter Bodenfruchtbarkeit zu sein (Frey et al., 1972). Die Nährstoffauswaschung könnte – aufgrund von theoretischen Überlegungen – stark reduziert werden. Die mechanische Belastbarkeit wird erhöht und der Landwirt könnte sich eher zu einer Winterzwischenfrucht bzw. Gründüngung entschliessen.

3. Tiefpflügen zeichnet sich als gangbarer Weg ab auf Profilen mit geringer Torfmächtigkeit und einer entsprechenden Qualität des Sandes im Untergrund (Hagemann, 1978; Kuntze und Vetter, 1980). Aus der Tabelle 2 sind die Bodenuntersuchungen auf dem Gutsbetrieb Witzwil ersichtlich. Die alten Untersuchungen wurden in den Jahren 1958 bzw. 1967 gemacht; neuere Untersuchungen stammen von den gleichen Parzellen aus den Jahren 1981 bis 82. Der Humusgehalt sank von rund 40 auf rund 4 bis 9%. Auffallend ist die grosse Menge Kalk, welche an die Oberfläche gebracht wurde. Während früher Spuren von Kalk gefunden wurden, bewegt sich nach dem Tiefpflügen der Kalkgehalt zwischen 10 und 40%. Teile der Parzellen sind nach wie vor als magnesium- und manganarm zu beurteilen.

4. Der alten Forderung, in organischen Böden den Grundwasserstand möglichst knapp an der Bodenoberfläche zu halten und wo möglich Futterbau zu betreiben, ist vermehrt Beachtung zu schenken. Wir wissen zwar sehr wohl, dass dies für private Betriebe mit mehreren Einzelin-

teressen und *einem* Wassermeister sehr oft problematisch ist und zudem der hohe Grundwasserstand im Frühjahr die mechanische Belastbarkeit der Böden stark reduziert, so dass oft Pflegearbeiten nicht termingerecht ausgeführt werden können.

Verdankungen

Für die wertvollen Hinweise sowie die Durchsicht des Manuskriptes danke ich den Herren Dir. Dr. E. Bovay, Dr. H. Häni und Dr. S. K. Gupta. Die Analysen wurden durch Herrn F. Schär und Mitarbeiter durchgeführt. Das Erstellen der Grafiken besorgte Frau I. Knecht, Herrn Dr. P. Lischer verdanken wir die Statistik. Die Herren Ing. agr. P. Käser und Ridly gaben mir wertvolle Hinweise. Herr P. Affolter besorgte die Reinschrift des Manuskriptes.

Literatur

- Baden, W., 1965: Die Kalkung und Düngung von Moor und Anmoor, zit. in Linser-Scharrer: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung, 3, 2, Wien, New York, 1445-1516.
- Bonauer, W., 1976: Untersuchungen über die Bewirtschaftungsweise von landwirtschaftlichen Betrieben im Lüscherzmoos, insbesondere unter Berücksichtigung von Bodenart und Düngeranfall, Diplomarbeit ETHZ.
- Buckmann, H. O., Brady N. C., 1965: The nature and properties of soils, New York, Macmillan, 7th. Ed., 355-377.
- Czeratzky, W., 1973: Die Stickstoffauswaschung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion, Landbauforschung Vökenrode, 23, 1-18.
- Eidg. Landw. Forschungsanstalten, 1977: Düngungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau, Mitt. f.d. Schweiz. Landwirtschaft 18, 2, 72, Nachdruck 33-40.
- Finck, A., 1979: Dünger und Düngung, Weinheim, New York, 263ff.
- Frey, E., Peyer K. und Jäggi F., 1972: Verbesserungsmöglichkeiten der Moorböden des Berner Seelandes, Mitt. f.d. Schweiz. Landwirtschaft, 20, 197-210.
- Furrer, O. J., 1981: Verhinderung der Nitratauswaschung in der Landwirtschaft durch kulturtechnische Massnahmen. Der Gemüsebau 9, 13-15.
- Gisiger, L., 1949: Von den Anbauschwierigkeiten auf Moorböden, Referat SLV.
- Gisiger, L., 1952: Die Manganversorgung des landwirtschaftlich genutzten Bodens der Schweiz. Die Phosphorsäure, 12, 4, 209-218.
- Hagemann, P. C., 1978: Bodentechnologische und moorkundliche Faktoren zur nachhaltigen Entwicklung von Sanddeck- und Sandmischkulturen, Diss., Göttingen.
- Jäggi, F., 1978: Sickerverluste an Mineralstoffen, Mitt. f.d. Schweiz. Landwirtschaft, 26, 130-136.
- Kuntze, H. und Vetter, H., 1980: Bewirtschaftung und Düngung von Sandmischkulturen, Oldenburg, 1980.
- Ridly, P., 1982: Mündliche Mitteilung.
- Scheffer, F. und Schachtschabel P., 1970: Lehrbuch der Bodenkunde, Stuttgart, 64.
- Scheffer, F. und Ulrich B., 1960: Humus, zit. in Scheffer-Schachtschabel, Lehrbuch der Bodenkunde, Stuttgart, 1970, 64-89.
- Stadelmann, F. X., Furrer, O. J., Gupta, S. K. und Lischer, P., 1982: Einfluss von Bodeneigenschaften, Bodennutzung und Bodentemperatur auf das N-Mobilisierungsvermögen von Kulturböden, Giessen (im Druck).
- Thomson, L. M. und Troeh, F. R., 1978: Soils and soil fertility, New York, 132-135.

Adresse des Autors:

Albrecht Siegenthaler
dipl. Ing. agr. ETH
Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und
Umwelthygiene
CH-3097 Liebefeld-Bern