

Originalarbeiten

(Aus dem Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung, Joanneum Research Graz und dem Institut für Pflanzenphysiologie der Karl Franzens Universität Graz)

Einfluß unterschiedlicher Bodenbewirtschaftungsweisen auf die Aggregatstabilität

Von A. WONISCH, P. TRINKAUS und C. WUTZL

(Mit 2 Abbildungen)

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit unternimmt den Versuch, die Auswirkungen verschiedener Bewirtschaftungsweisen auf die Dynamik der Aggregatstabilität von Ackerböden im Zeitraum einer Vegetationsperiode zu eruieren. Der Schwerpunkt der Darstellungen liegt auf einer vergleichenden Interpretation der Stabilitätswerte einer konservierend bearbeiteten vierschlägigen Fruchtfolge und einer herkömmlich bewirtschafteten Monokultur (Körnermais). Ergänzt wird dieser Vergleich durch die Einbeziehung der Versuchsglieder Fruchtfolge mit konventioneller und Maismonokultur mit konservierender Bodenbearbeitung an zwei Untersuchungsterminen.

Untersucht wurden einzelne Parzellen auf der Versuchsfläche der Land- und Forstwirtschaftlichen Fachschule Silberberg in Wagna, wo seit 1987 ein Großparzellen-Exaktversuch durchgeführt wird. Der Untersuchungszeitraum erstreckt sich von März bis Oktober 1992.

Die Stabilitätsbestimmungen von sechs Probenahmen ergaben für die konservierend bearbeitete Variante durchwegs statistisch gesicherte höhere Aggregatstabilitätswerte als für die auf herkömmliche Weise bewirtschaftete Variante.

Dieses Ergebnis wird auch im Vergleich mit den zwei zusätzlich untersuchten Varianten auf der Basis ein und derselben Kulturpflanze aber unterschiedlicher Bodenbearbeitung (wendend bzw. nicht wendend) bestätigt.

Als vorteilhaft für den Aufbau und die Erhaltung eines stabilen Bodengefüges erwies sich neben der konservierenden Bodenbearbeitung das Vorhandensein einer schützenden Pflanzendecke vom Herbst bis zum Frühjahr, während das Brachliegen des Bodens eine destabilisierende Wirkung auf das Bodengefüge zeigte.

Hinsichtlich der vorgenommenen Düngung konnte kein unmittelbarer Einfluß auf die Stabilitätsentwicklung festgestellt werden.

Bezüglich der Aggregatstabilität der separat untersuchten Tiefenstufen (0 bis 10 cm, 10 bis 20 cm) konnten durchwegs positive Korrelationen nachgewiesen werden.

Der zum Zeitpunkt der Probenahmen bestimmte Wassergehalt läßt auf keine Zusammenhänge mit der Höhe der Aggregatstabilität schließen.

Die festgestellten jahreszeitlichen Schwankungen der Gefügestabilität sollen als Argument dafür dienen, daß ein dynamisches System wie die Aggregatstabilität des Bodens nur in einer diachronen Betrachtungsweise adäquat untersucht werden kann.

Schlüsselwörter: Aggregatstabilität, Fruchtfolge, Monokultur, Bodenbearbeitung.

Influence of different soil tillage and cropping systems on aggregate stability

Summary

In this study the influence of different farming systems concerning the dynamics of aggregate stability of arable soil during one growing season was investigated. The main emphasis of the descriptions is based on a comparative interpretation of stability values of a reduced tilled crop rotation changing within a four-years-rhythm and of a conventionally tilled monoculture (*Zea mays* L.). The soil samples were collected from March to October 1992.

The testing of aggregate stability of samples taken at six different points of time shows that the plots with reduced tillage and crop rotation show a significantly higher stability than the conventionally tilled ones.

There are positive correlations in aggregate stability between the separately tested layers (0 to 10 cm, 10 to 20 cm).

The water content tested at the time when the samples were taken can not be connected with the level of the aggregate stability.

The seasonal variation of the stability of soil structure can be used as an argument for adequately investigating a dynamic system such as the aggregate stability of soil only through a diacronic approach.

Key-words: aggregate stability, crop rotation, monoculture, tillage systems.

1. Einleitung

Die Ursachen für die zunehmende Belastung des Bodens liegen in einem seit Ende des Zweiten Weltkrieges einsetzenden tiefgreifenden Strukturwandel in der Landwirtschaft begründet. Die fortschreitende Industrialisierung und Spezialisierung sowie die damit einhergehende Intensivierung in diesem Wirtschaftssektor hatten den extremen Einsatz von Agrarchemikalien, die zunehmende Strukturzerstörung des Bodens bzw. die Bodenverdichtung durch tiefes Pflügen und durch den Einsatz von schweren Zugmaschinen zur Folge. Auch die Verkürzung von Fruchtfolgen und die Konzentration auf Pflanzen, die unter Einsatz von Maschinen kostengünstig und leicht zu bewirtschaften sind, haben die ökologisch keineswegs erwünschte Einengung der agrarischen Produktpalette begünstigt und der Entwicklung von Monokulturen Vorschub geleistet.

Diese Tendenz in der Landwirtschaft bringt eine Reihe von schwerwiegenden ökologischen sowie umwelt- und gesellschaftspolitischen Folgen mit sich, so daß die Sorge um die Produktionsgrundlage Boden immer stärker in den Vordergrund rückt. Die agrarische Nutzung des Bodens kann heute nicht mehr abgehoben von dessen Regenerations-, Schutz- und Ausgleichsfunktion (BLUM und WENZEL 1989), sondern nur mehr im Zusammenhang mit diesen projiziert und praktiziert werden.

Erste Schritte zum Schutz landwirtschaftlich genutzter Böden werden seit mehreren Jahren in der Steiermark im Sinne des Steirischen Landwirtschaftli-

chen Bodenschutzgesetzes unternommen. Die Land- und Forstwirtschaftliche Fachschule Silberberg führt in diesem Zusammenhang seit 1987 einen Großparzellenexaktversuch durch, bei dem unter praxisnahen Bedingungen die Auswirkungen von Fruchtfolgen, Düngung, Pflanzenschutz und Bodenbearbeitung auf den Ertrag sowie auf den Nitrateintrag ins Grundwasser untersucht werden.

Der 1987 angelegte Versuch und der Bau einer Lysimeteranlage (1991) stellen besonders gute Bedingungen für ergänzende Untersuchungen dar. Im Rahmen eines bodenökologischen Untersuchungsprogrammes (BERGHOLD et al. 1993) wurde im Vegetationsjahr 1992 die Bodenfauna, die Wurzelentwicklung (SANTNER 1993), mikrobiologische bzw. enzymatische Untersuchungen des Kohlenstoff- und des Stickstoffkreislaufes (FUCHS 1993, SAUSENG 1993) sowie die Aggregatstabilität (WONISCH 1993) in Form von Diplomarbeiten der Universität Graz, Institut für Pflanzenphysiologie, untersucht.

Aufgrund der spezifischen Versuchsbedingungen (herkömmliche, alternative und konservierende Bodenbearbeitung, Körnermaismonokulturen und Fruchtfolgevarianten) bringt dieser Großparzellenexaktversuch geeignete Rahmenbedingungen für die vorliegende Untersuchung, welche die Auswirkungen verschiedener Bewirtschaftungsweisen auf die Bodenstruktur unter besonderer Berücksichtigung der Aggregatstabilität zu klären versucht.

2. Material und Methoden

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in der Marktgemeinde Wagna im Bereich der würmzeitlichen Niederterrasse des Leibnitzer Feldes in einer Höhenlage von 200 bis 300 Metern. Das Hangende der Niederterrasse stellt eine silikatische Lockersedimentbraunerde aus sandig lehmigem Terrassenmaterial mit einer Mächtigkeit zwischen 0,6 und 1,2 m dar (FANK et al. 1992). Charakteristisch für die Bodenverhältnisse auf der Niederterrasse ist die engräumige Schwankung der Gründigkeit (EISENHUT et al. 1992).

Das Klima wird als schwach kontinentales, sommerwarmes und mäßig winterkaltes Talbodenklima mit einer jährlichen Niederschlagshöhe von 900 bis 1000 mm charakterisiert.

Der mehrfaktorielle Versuch stützt sich auf den Vergleich einer Körnermaismonokultur und einer Fruchtfolge (Körnermais – Körnermais – Winterweizen – Körnermais) mit Zwischenfruchtbau. Beide Systeme sind in den Varianten mit konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung angelegt und durch Düngungsvarianten ergänzt. Die einzelnen Versuchsvarianten liegen in zweifacher Wiederholung vor. Die sich am stärksten unterscheidenden Versuchsglieder, Maismonokultur mit konventioneller Bodenbearbeitung und Fruchtfolge mit konservierender Bodenbearbeitung, sind Grundlage einer intensiven Untersuchung der Stoffverlagerung in der ungesättigten Zone mittels großangelegtem Lysimeterversuch.

Die für diese Arbeit herangezogenen Versuchsglieder sind die zwei Extremvarianten (Maismonokultur mit konventioneller Bodenbearbeitung = V3 und Fruchtfolge mit konservierender Bodenbearbeitung = V1) in zweifacher Wiederholung, welche aufgrund der vorliegenden Großparzellen mit der Größe von 1000 m² in sechs Einzelparzellen aufgeteilt wurden.

Die Düngung der Fruchtfolgevariante erfolgte im Untersuchungsjahr durch eine Kombination von organischer Düngung (Gülle, zwei Gaben) und mineralischer Düngung (April und Mai). Die Maismonokultur wurde ausschließlich mit Gülle gedüngt (zwei Gaben, April und Juni) wobei die Gülle im Juni mit einem Spezialgerät direkt in den Boden eingearbeitet wurde.



An zwei Untersuchungsterminen wurden zusätzlich die Versuchsvarianten Maismonokultur mit konservierender Bodenbearbeitung (pfluglos) und Fruchtfolge mit konventioneller Bodenbearbeitung (wendende Bodenbearbeitung) die Untersuchungen einbezogen. Winterweizen war die Kulturart der Fruchtfolgevariante im relevanten Untersuchungsjahr.

Aufgrund einer genauen Bodenprofilbeschreibung wird der Bodentyp der Maismonokulturvariante als Kalkfreie Braunerde aus feinem Terrassensediment definiert. Die Bodenmächtigkeit liegt bei 110 cm. Ab dieser Tiefe schließt Grobsand mit sehr hohem Kies- und Schotteranteil an. Der Boden besitzt mäßiges Speichervermögen sowie eine hohe Durchlässigkeit und ist gut und ausgeglichen mit Wasser versorgt.

Die Fruchtfolgeparzelle wird durch den Bodentyp der kalkfreien Braunerde aus Terrassensediment über Schotter definiert. Die Bodenmächtigkeit bis zum Schotter beträgt hier nur 70 cm. Der Boden ist mäßig trocken und weist hohe Durchlässigkeit sowie geringes Speichervermögen auf. In Jahren mit durchschnittlichen Niederschlägen herrschen relativ ausgeglichene Wasserverhältnisse vor, in Jahren mit unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen in der Vegetationsperiode treten Trockenklemmen auf (EISENHUT et al. 1992).

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung und der Korngrößenverteilung sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefaßt.

Tabelle 1

Ergebnisse der Bodenuntersuchung

Parameter	V1: Fruchtfolge 0-30 cm konservierende Bodenbearbeitung	V3: Monokultur 0-30 cm herkömmliche Bodenbearbeitung
Sorptionskraft	2*	2*
pH in CaCl ₂	6,9	5,70
Phosphat-CAL/DL mg P ₂ O ₅ /100 g	12 C	14 C
Kalium-CAL/DL mg K ₂ O/100 g	15 C	31 D
Austauschbare Kationen	13,40	7,80
mval/100 g Feinboden: Ca	12,10	6,86
Mg	0,60 E**	0,25 E**
K	0,67	0,68
Na	0,00	0,02
N-gesamt %	0,15	0,13
* Sorptionskraft: 2 gering 3 mittel 4 hoch	** Gehaltsstufen: A sehr niedrig B niedrig D hoch E sehr hoch	

Tabelle 2

Korngrößenverteilung und Humusgehalt

	Variante 1 0-10 cm	Variante 3 10-20 cm
Humus %	2,0	1,8
Kornfraktionen %:		
Sand	50,1	49,3
Schluff	34,9	37,0
Grobschluff	15,8	15,4
Mittelschluff	6,1	6,6
Mittel-/Feinschluff	4,1	4,3
Feinschluff	8,9	10,7
Ton	15,0	13,7

2.1 Probenahme und Aggregatstabilitätsbestimmung

In einmonatigen Abständen wurden von März bis Oktober 1992 pro Parzelle sechs Einzelproben aus zwei Tiefenstufen (0 bis 10 cm, 10 bis 20 cm) entnommen. Die Bodenprobeentnahme erfolgte mit dem Spaten.

Im Labor wurden die Proben in Papierschiffchen bei Zimmertemperatur getrocknet. Durch Siebung der luftgetrockneten Bodenproben erhielt man die gewünschte Fraktion mit einem Durchmesser von 1 bis 2 mm. Die Aggregatstabilität wurde nach KEMPER und KOCH (1966) in Modifikation nach MURER et al. (1993) bestimmt. Die Durchführung erfolgte innerhalb von drei Wochen ab dem Probenahmetermin.

Die Bestimmung des Wassergehaltes erfolgte mit der Trockenschrankmethode nach SCHINNER et al. (1991). Die Humusbestimmung erfolgte durch die Na₂Oxidation mit Kaliumdichromat-Schwefelsäure nach der ÖNORM L 1081-89. Die Korngrößenverteilung wurde laut ÖNORM L 1061-88 bestimmt.

2.2 Auswertung

Der Prozentsatz der Aggregatstabilität berechnet sich nach folgender Formel:

$$\frac{100 \times (\text{Gewicht der stabilen Aggregate und des Sandes}) - (\text{Gewicht des Sandes})}{(\text{Gewicht der Probe}) - (\text{Gewicht des Sandes})}$$

Die Aggregatstabilität in Prozenten der einzelnen Varianten wird mittels U-Tests nach Wilcoxon, Mann & Whitney miteinander verglichen.

Für die statistische Auswertung der unterschiedlichen Tiefenstufen innerhalb der jeweiligen Varianten wurde der Wilcoxon-Rangsummentest herangezogen. Die Durchführung erfolgte nach RAMM und HOFMANN (1987). Um Korrelationen zwischen den jeweiligen Tiefenstufen innerhalb einer bestimmten Variante festzustellen, wurde der Spearman-Test verwendet. Die Durchführung erfolgte nach SACHS (1992).

3. Ergebnisse

Die Abbildungen 1 und 2 stellen die Ergebnisse der Aggregatstabilitätsbestimmung (Mittelwerte aus 12 Einzelbestimmungen) der Varianten 1 und 3 mit Differenzierung in die Tiefenstufen 0 bis 10 cm und 10 bis 20 cm dar. Die Tabelle 3 enthält den statistischen Vergleich der Varianten V1 und V3 mittels U-Test.

Verfolgt man die Dynamik der Aggregatstabilität während der gesamten Vegetationsperiode, so ist ein signifikanter Anstieg der Stabilitätswerte von März

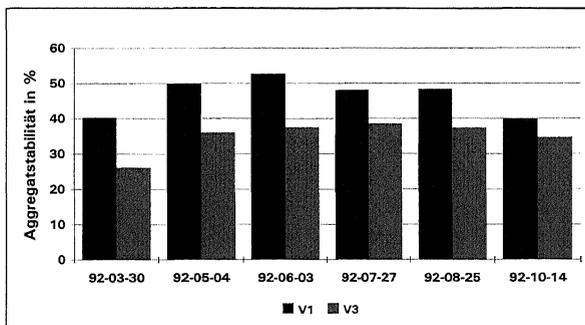


Abb. 1: Aggregatstabilität der Varianten 1 (Fruchtfolge mit konservierender Bodenbearbeitung) und 3 (Maismonokultur mit konventioneller Bodenbearbeitung) in der Bodentiefe von 0 bis 10 cm

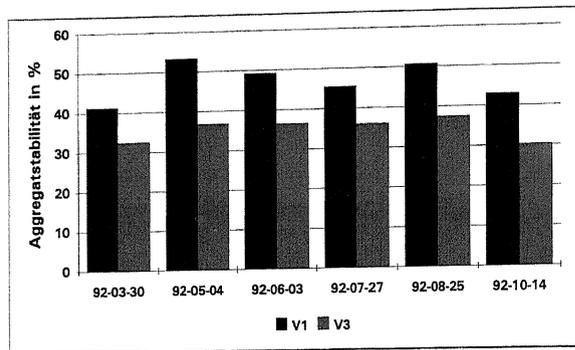


Abb. 2: Aggregatstabilität der Varianten 1 (Fruchtfolge mit konservierender Bodenbearbeitung) und 3 (Maismonokultur mit konventioneller Bodenbearbeitung) in der Bodentiefe von 10 bis 20 cm

bis Mai feststellbar. Bis zur vorletzten Probenahme weisen die Meßdaten dagegen nur geringfügige Schwankungen auf, die allerdings bei der Fruchtfolgevariante deutlicher wahrnehmbar sind als bei der Monokulturvariante. Die letzte Untersuchung im Herbst läßt allgemein einen markanten Rückgang der stabilen Krümel erkennen, die erfolgte Destabilisierung des Bodengefüges läßt sich bei Variante 1 in beiden Tiefenstufen, bei Variante 3 nur in der unteren Krümenschiebt statistisch nachweisen. In Anbetracht der weitgehenden Konstanz der von Mai bis August gewonnenen Meßergebnisse kommt der Ermittlung von Höchstwerten keine besondere Bedeutung zu.

Tabelle 3

Statistische Auswertung (U-Test nach WILCOXON, MANN & WHITNEY)

Datum	Varianten	Tiefenstufen	
		0-10 cm Prüfgröße	10-20 cm Prüfgröße
30. 03. 1992	V1 : V3	7,0*	41,0
04. 05. 1992	V1 : V3	2,0*	15,0*
03. 06. 1992	V1 : V3	16,0*	23,0*
27. 07. 1992	V1 : V3	31,0*	26,0*
25. 08. 1992	V1 : V3	25,0*	14,0*
14. 10. 1992	V1 : V3	42,5	10,0*

* signifikanter Unterschied bei $\alpha=5\%$

Das Verhältnis der Meßdaten der beiden unterschiedlichen Tiefenstufen zueinander kehrt sich im Beobachtungszeitraum zwar wiederholt um, jedoch stimmen mit nur einer Ausnahme die Relationen bei den einzelnen Entnahmetermen für alle Varianten überein. Die Differenzen der Meßwerte der beiden Tiefenstufen erweisen sich mehrheitlich als nicht signifikant. Auch können zwischen den einzelnen Tiefenstufen der verschiedenen Varianten durchwegs positive Korrelationen festgestellt werden. Aus diesem Grund bleiben in der folgenden Diskussion die Ergebnisse der unterschiedlichen Tiefenstufen unberücksichtigt.

Die Bestimmung des Wassergehalts des Bodens zum Zeitpunkt der Probenahme (vgl. Tabelle 4) sowie die Bestimmung des Restwassergehaltes nach der Lufttrocknung brachte keine Korrelationen zwischen dem Wassergehalt und der Aggregatstabilität zutage.

Tabelle 4

Wassergehalt der Varianten 1 und 3 (0 bis 10 cm, 10 bis 20 cm) 1992 in Gewichtsprozent zum Zeitpunkt der Probenahme

	Variante 1 0–10 cm	Variante 1 10–20 cm in Prozent	Variante 3 0–10 cm	Variante 3 10–20 cm
30. 03. 1992	19,0	18,0	17,8	18,5
04. 05. 1992	16,9	17,0	14,8	17,7
03. 06. 1992	10,8	11,8	11,8	14,6
27. 07. 1992	14,9	16,5	10,6	12,6
25. 08. 1992	15,5	14,0	14,2	12,8
14. 10. 1992	16,8	17,9	15,5	17,9

4. Diskussion

Betrachtet man die während des gesamten Untersuchungszeitraums gewonnenen Ergebnisse, so läßt sich daraus eindeutig ein bestimmter Trend ablesen: Die konservierend bearbeitete Fruchtfolgevariante weist deutlich stabilere Aggregate auf als die auf herkömmliche Weise mit Pflug bearbeitete Monokulturvariante. Diese Unterschiede sind als das Resultat von seit fünf Jahren verschiedenen praktizierten Bearbeitungsmaßnahmen zu verstehen und auf bereits vielfach dokumentierte direkte und indirekte Wechselwirkungen zwischen den organischen, biotischen und anorganischen Komponenten im Boden zurückzuführen.

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen zwischen den einzelnen Probenahmeterminen innerhalb der Versuchsvarianten nur geringe Schwankungen der Aggregatstabilität. Dafür sind die sehr trockenen Witterungsverhältnisse im Versuchsjahr 1992 mitverantwortlich.

Dieser Trend der unterschiedlich hohen Aggregatstabilität geht mit den Ergebnissen der Untersuchung der Bodenfauna (Meso- und Makrofauna) konform (BERGHOLD et al. 1993). Die Untersuchung gibt Aufschluß über Abundanz- und Dominanzverhältnisse der erfaßten Tiergruppen. Aus diesen Betrachtungen geht hervor, daß die Individuenzahl pro m² und die Biomasse (g/m²) der Bodentiere in der konservierend bearbeiteten Fruchtfolgevariante deutlich höher sind als in der konventionell bewirtschafteten Maismonokulturvariante (Mai 1992). Gleichzeitig geht ein Einfluß der Bewirtschaftung auf unterschiedlich anspruchsvolle Tiergruppen hervor. Am Beispiel der Collembolen ist dieser Einfluß durch höhere Individuenzahlen in der Fruchtfolgevariante deutlich sichtbar. Der Probentermin im September zeigt aufgrund der unterschiedlichen Erntezeiten der untersuchten Feldfrüchte entsprechend veränderte Verhältnisse.

Überblickt man den Fortgang der Stabilitätsentwicklung während der gesamten Vegetationsperiode, so läßt sich feststellen, daß sich der Unterschied in den Stabilitätswerten, der sich bereits im Frühjahr als Resultat der unterschiedlichen Bearbeitungsweisen und Kulturen einstellt, während der gesamten Vegetationsperiode erhalten bleibt. Bei allen folgenden Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Düngung sowie der mechanischen und chemischen Beikrautbekämpfung läßt sich kein unmittelbarer Einfluß auf die Aggregatstabilität feststellen.

Die mit der modifizierten Naßsiebmethode nach KEMPER und KOCH (1966) ermittelten Aggregatstabilitätswerte können zwar nicht als absolute Werte angesehen werden, jedoch erweist sich diese Methode insofern als praktikabel, als sie Veränderungen anzeigt, die eine Vorstellung von der Einwirkung der durchgeführten Maßnahmen auf das Bodengefüge vermitteln.

Die während des Untersuchungszeitraums bisweilen stark divergierenden Werte machen deutlich, daß bei der Bestimmung der Aggregatstabilität der Zeitpunkt der Probenahme für die Aussage der Ergebnisse von wesentlicher Bedeutung ist. Anstelle von einmalig durchgeführten „Momentaufnahmen“ kann nur eine dynamische Betrachtungsweise die zwischen Bewirtschaftungsmaßnahmen und dem Ausmaß der Gefügestabilität bestehenden Zusammenhänge erhellen.

Literatur

- BERGHOLD, H., R. KATTER, P. TRINKAUS und C. WUTZL, 1993: Entwicklung einer integrierten Bodenbewertungsmethode zur Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Landbewirtschaftungsweisen auf die Bodenökologie. Vorstudie. Joanneum Research, Graz.
- BLUM, W. E. H. und W. W. WENZEL, 1989: Bodenschutzkonzeption. Herausgegeben vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- EISENHUT, M., J. FANK und P. RAMSPACHER, 1992: Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Temperaturverhältnisse in der ungesättigten Zone am Beispiel der Lysimeteranlage Wagner (Steiermark, Österreich). Mitt. Österr. Bodenkundl. Ges. 45, 24-44.
- FANK, J., W. POLTNIK und P. RAMSPACHER, 1992: Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag und Nitratbetrachtung des Sickerwassers im zweiten Halbjahr 1991. In: BAL Bericht über die zweite Lysimetertagung „Praktische Ergebnisse aus der Arbeit mit Lysimetern“ Gumpenstein vom 28. und 29. 4. 1992, 45-58.
- FUCHS, S., 1993: Der Einfluß unterschiedlicher Bewirtschaftungsweisen auf die Bodenökologie unter besonderer Berücksichtigung des Kohlenstoffkreislaufes. Diplomarbeit, Inst. f. Pflanzenphysiologie, Universität Graz.
- KEMPER, W. D. and E. J. KOCH, 1966: Aggregate stability of soils from western United States and Canada. Tech. Bull. 1355, 1-52.
- MURER, E. J., A. BAUMGARTEN, G. EDER, M. H. GERZABEK, E. KANDELER and N. RAMPAZZO, 1993: An improved sieving machine for estimation of soil aggregate stability (SAS). Geoderma 56, 539-547.
- ÖNORM, L 1061, 1988: Bestimmung der Korngrößenverteilung des mineralischen Feinbodens. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ÖNORM, L 1081, 1989: Humusbestimmung durch Na₂SO₄-Oxidation mit Kaliumdichromat-Schwefelsäure. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- RAMM, B. und G. HOFFMANN, 1987: Biomathematik. 3. Aufl., Enke Verlag, Stuttgart.
- SACHS, L. 1992. Angewandte Statistik. 7. Aufl., Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo.
- SANTNER, E., 1993: Die Wurzelentwicklung von Mais und Winterweizen auf Braunerdeböden im Leibnitzerfeld in Zusammenhang mit Menge und Nitratgehalt des Sickerwassers in und unterhalb der durchwurzelten, ungesättigten Zone. Diplomarbeit, Inst. f. Pflanzenphysiologie, Universität Graz.
- SAUSENG, R., 1993: Der Einfluß unterschiedlicher Bewirtschaftungsweisen auf die Bodenökologie unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffkreislaufes. Diplomarbeit, Inst. f. Pflanzenphysiologie, Universität Graz.
- SCHINNER, F., R. ÖHLINGER und E. KANDELER, 1991: Bodenbiologische Arbeitsmethoden. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- WONISCH, A., 1993: Auswirkungen verschiedener Bewirtschaftungsweisen auf die Bodenökologie unter besonderer Berücksichtigung bodenphysikalischer Faktoren. Diplomarbeit, Inst. f. Pflanzenphysiologie, Universität Graz.

(Manuskript eingelangt am 13. Februar 1995, angenommen am 27. März 1995)

Anschrift der Verfasser:

Mag. Astrid WONISCH, Institut für Pflanzenphysiologie, Universität Graz, Schubertstraße 51, 8010 Graz; Mag. Peter TRINKAUS, Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung, Joanneum Research, Elisabethstraße 18/1, 8010 Graz und Dr. Christa WUTZL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Universität für Bodenkultur, Gregor-Mendel-Straße 33, 1180 Wien