

Bodenphysikalische Parameter

Peter WEISSKOPF, Urs ZIHLMANN und Mario WALDBURGER, Eidgenössische Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Reckenholz (FAP), CH-8046 Zürich

In einem vierjährigen Vergleichsversuch mit vier Maisanbauverfahren sind Porosität, Wassereinsickerungsvermögen, Saugspannung und Gefügebau des Bodens untersucht worden. Die verschiedenen Anbauverfahren beeinflussten das Bodengefüge und dessen Eigenschaften in unterschiedlichem Mass. Das Verfahren «Maiswiese» sollte nicht in erster Linie als gefügebessernde, sondern als gefügeschonende Bewirtschaftungsweise betrachtet werden.

Die vier geprüften Anbauverfahren für Silomais (vgl. Artikel von Bigler *et al.* 1995) unterschieden sich bezüglich ihrer Bearbeitungs- und Befahrungintensität in mehrfacher Hinsicht (Tab. 1): Bei den Verfahren «Konventionell» (KO) und «Untersaat» (US) wurde der Boden ganzflächig tief gelockert und gewendet (Pflug), beim «Grünroggen» (GR) nur ganzflächig tief gelockert (Grubber vor Roggen), bei der «Maiswiese» (MW) nur streifenweise unter den Traktorspuren gelockert (Schichtengrubber). Bei KO und US wurde auch die Saatbettbereitung ganzflächig vorgenommen, bei MW nur streifenweise; bei GR kamen beide Saatbettbereitungsverfahren zum Einsatz: Im Herbst ganzflächig für den Grünroggen, im Frühjahr streifenweise für den Mais. Die Unkrautbekämpfung zwischen den Maisreihen erfolgte bei US mit 1 bis 2 Hackdurchgängen. Hinsichtlich der Befahrungintensität unterschieden sich GR und MW von den übrigen Verfahren, weil zusätzliche Mulchschnitte (GR) beziehungsweise Grünfütterernten (MW) stattfanden.

Von den Verfahren US, GR und MW erhoffte man sich eine erhöhte Schonung des Bodengefüges infolge der intensiveren Durchwurzelung (Begrünung vor der Maissaat bei GR und MW, Begrünung während der Maiskultur bei US, GR und MW, Begrünung nach der Maisernte bei US, GR und MW; vgl. Ammon *et al.* 1995) und einer teilweise reduzierten Bearbeitungsintensität (Streifenfrässaat mit 30 cm breitem Frässtreifen, Lockern nur in den Traktorspuren). Als Folge davon sollte das Porensystem weniger stark gestört und dadurch insbesondere das Infiltrationsvermögen des Bodens für Niederschlagswasser erhalten bleiben beziehungsweise

verbessert werden. Zugleich stellte sich die Frage, ob eine stärkere Durchwurzelung die Aggregation und den Wasserentzug erhöhen und damit die Bodenstabilität verbessern würde. Um diesen Fragen nachzugehen, wurden verschiedene bodenkundliche Untersuchungen durchgeführt: Im ersten Versuchsjahr 1990 Porositätsmessungen, in den Jahren 1990 bis 1992 jeweils Infiltrationsmessungen. Im Zeitraum 1990 bis 1993 erfolgten während der Vegetations-

dauer des Mais Tensiometer-Messungen, um die Saugspannungsverhältnisse im Boden zu untersuchen. Im Herbst 1993 wurden die Verfahren nochmals anhand von Spatenproben nach Farbstoffinfiltration beurteilt.

Standortverhältnisse

Die Böden des Versuchsfeldes sind schluffreiche, schwach humose Lehme, im Unterboden teilweise tonige Lehme. Sie stehen unter einem je nach Reliefposition unterschiedlich starken Grundwasser-Einfluss, so dass neben gleyigen Kalkbraunerden auch Braunerde-Gleye auftreten. Wegen dieser topografisch bedingten Unterschiede sowie als Folge von Erdbebewegungen bei Bauarbeiten (Drainagen,

Tab. 1. Bearbeitungs- und Befahrungintensität in den vier Maisanbauverfahren

Verfahren	Bearbeiten des Bodens	Befahren des Bodens
Konventionell, KO	Grundbodenbearbeitung (ganzflächiges Lockern und Wenden mit dem Pflug im Spätherbst); Saatbettbereitung (ganzflächig im Frühjahr)	Düngung 2-3x Saat und N-Düngung Herbizid ganzflächig 1x Silomais-Ernte
Untersaat, US	Grundbodenbearbeitung (ganzflächiges Lockern und Wenden mit dem Pflug im Frühjahr); Saatbettbereitung (ganzflächig im Frühjahr)	Düngung 2-3x Saat, N-Düngung und Herbizid-Bandbehandlung Hacken 1-2x Einsaat Silomais-Ernte
Grünroggen, GR	Grundbodenbearbeitung (ganzflächiges Lockern mit dem Grubber im Herbst; 1992: Pflügen); Saatbettbereitung (ganzflächig für die Roggensaat im Herbst, Streifenfrässaat für den Mais im Frühjahr)	Saat Roggen Roggen-Mulchschnitt 1x Düngung 2-3x Saat, N-Düngung und Herbizid-Bandbehandlung Zwischenreihen-Mulchschnitt 1x Silomais-Ernte
Maiswiese, MW	Grundbodenbearbeitung (Lockern unter den Traktorspuren mit Schichtengrubber im Frühjahr); Saatbettbereitung (Streifenfrässaat im Frühjahr)	Wiesenschnitt 2x (Frühjahr und Herbst) Düngung 2-3x Saat, N-Düngung und Herbizid-Bandbehandlung Zwischenreihen-Mulchschnitt 2x Silomais-Ernte

Maissaat: bei allen Verfahren mit Streifenfräse (30 cm-Fräsband, 75 cm Reihenabstand)

Forschungsanstalt) ist das Versuchsfeld bodenkundlich recht heterogen. Die bodenkundlichen Untersuchungen wurden deshalb auf den homogensten, am wenigsten gestörten Wiederholungsblock des Versuches beschränkt.

Die Niederschlagsmengen am Standort Reckenholz betragen im langjährigen Durchschnitt 1009 mm pro Jahr, die Tagesmitteltemperaturen 7,8°C im Jahresdurchschnitt.

Porositätsunterschiede im spurfreien Oberboden

Nach der Ernte 1990 sind im spurfreien und im befahrenen Bereich der Parzellen 100 cm³-Zylinderproben aus 7 - 12 cm Tiefe entnommen worden. Pro Verfahren wurden zwischen den Reihen in zwei Wiederholungen je drei Zylinder bezüglich Lagerungsdichte und Gesamtporenvolumen untersucht.

Die Resultate der Lagerungsdichte- und Gesamtporenvolumen-Bestimmungen zeigen (Abb. 1), dass nach Ablauf des ersten Versuchsjahres im spurfreien Oberboden erhebliche Verfahrensunterschiede bestanden: Das Bodengefüge des Verfahrens KO war eindeutig am lockersten aufgebaut, während MW am anderen Ende der Dichte-Skala einzureihen war; GR und US nahmen eine Zwischenstellung ein. Selbst im Spurbereich waren die ganzflächig gepflügten und gegegten KO und US noch etwas lockerer als GR und MW. Weil sich beim Verfahren MW die Bodendichten im spurfreien Bereich und in der Spur nicht wesentlich unterschieden, liessen sich keine erheblichen Verdichtungswirkungen des Befahrens nachweisen. Der Oberboden im Verfahren KO wurde durch das Befahren mit dem Häcksler zwar relativ stärker verdichtet als im Ver-

fahren MW, absolut betrachtet war der Boden im Spurbereich von KO jedoch immer noch etwas weniger dicht als in MW.

Auf den ersten Blick scheinen diese Ergebnisse zu bestätigen, dass die Maiswiese tragfähiger ist als zum Beispiel gepflügte Verfahren: Nach den Befahrungen für die Maisernte liessen sich beim Vergleich zwischen befahrenen und unbefahrenen Parzellenteilen keine wesentlichen Verdichtungsfolgen erkennen. Diese erhöhte «Tragfähigkeit» des Bodens ist jedoch eine Folge der deutlich grösseren Ausgangsdichte des Verfahrens MW. Generell wurden die im spurfreien Bereich bestehenden Verfahrensunterschiede durch die Verdichtungen im Spurbereich verringert oder verschwanden gar ganz.

Keine bessere Wassereinsickerung in Maiswiese

Die Infiltrationskapazität, auch Wassereinsickerungsvermögen oder «Regenverdaulichkeit» genannt, wurde mit Hilfe einfacher Standinfiltrimeter untersucht. Dabei wurde zwischen den Maisreihen ein Stahlrohr von 12 cm Durchmesser 20 cm tief in den Boden getrieben und die Wassereinsickerung bestimmt; die Messungen erfolgten bei veränderlicher Druckhöhe (von 140 bis 45 cm) mit je sechs bis neun Wiederholungen und fanden im Sommer im Maisbestand (1990) beziehungsweise nach der Maisernte (1991 und 1992) statt; in letzteren Fällen wurden auch befahrene Flächen (Häcklerspuren) geprüft.

Die Resultate aus den spurfreien, unbefahrenen Bereichen zeigen (Abb. 2), dass die Infiltrationskapazität im Verfahren KO zu allen Zeitpunkten deutlich grösser war als in den übrigen Verfahren; einzig US wies 1992 vergleichbar hohe Infiltrationswerte

auf, während GR und MW sich mit zunehmender Versuchsdauer immer deutlicher von KO und US in Richtung geringeren Wassereinsickerungsvermögen unterschieden. Die Untersuchung der Spurbereiche machte dagegen deutlich, dass durch das Befahren für die Ernte die Böden aller Verfahren ähnlich stark verdichtet worden waren und sich keines der Verfahren von den anderen deutlich abhob. Die Hoffnung, mittels reduzierter Bearbeitungsintensität das Wassereinsickerungsvermögen des Bodens erhalten beziehungsweise gar fördern zu können, erfüllte sich während der ersten drei Versuchsjahre nicht. Durch die jährliche ganzflächige Grundboden- und Saatbettbereitung war der Oberboden in den Verfahren KO und US nach dreijährigem wiederholtem Maisanbau durchlässiger als in den beiden anderen Verfahren.

Bei einem stabilen Bodengefüge sollte die Kontinuität der Grobporen durch Befahrungen nicht erheblich gestört werden. Der Vergleich des Wassereinsickerungsvermögens im spurfreien Bereich und in den Spuren liess allerdings erkennen, dass die Infiltrationsraten durch die Befahrungen bei allen vier Verfahren stark verringert wurden.

Anscheinend war es selbst im MW-Verfahren nicht möglich, die gefügebildenden und -regenerierenden Vorgänge ausreichend rasch und intensiv zu fördern. Als Folge davon entwickelte sich im Oberboden des MW-Verfahrens ein dichteres Bodengefüge als zum Beispiel im Verfahren KO. Zu dieser Entwicklung dürfte auch der ungünstige Wiesenbestand im Verfahren MW beigetragen haben, dessen Durchwurzelungsintensität zu wünschen übrig liess (Knautgrashorste). Zudem ist unter den Standortbedingungen des Versuchsfeldes (erhöhter

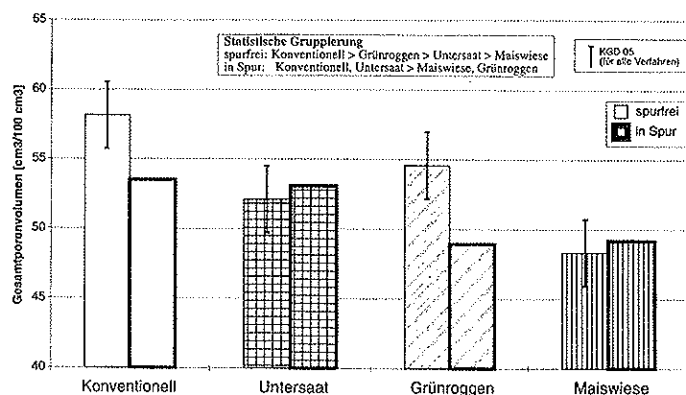


Abb. 1. Gesamtporenvolumen des Bodens in 7 bis 12 cm Tiefe nach der Silomaisernte 1990, jeweils im spurfreien und im befahrenen Parzellenbereich der vier Maisanbauverfahren. Die T-Balken entsprechen der kleinsten gesicherten Differenz zwischen den Verfahren (Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %).

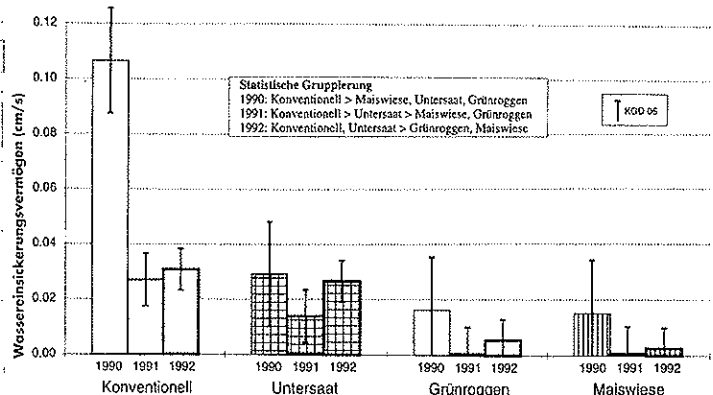


Abb. 2. Wassereinsickerungsvermögen des Bodens im spurfreien Parzellenbereich in den Jahren 1990 (im wachsenden Maisbestand, Frühsommer), 1991 und 1992 (jeweils nach der Silomaisernte, Herbst).

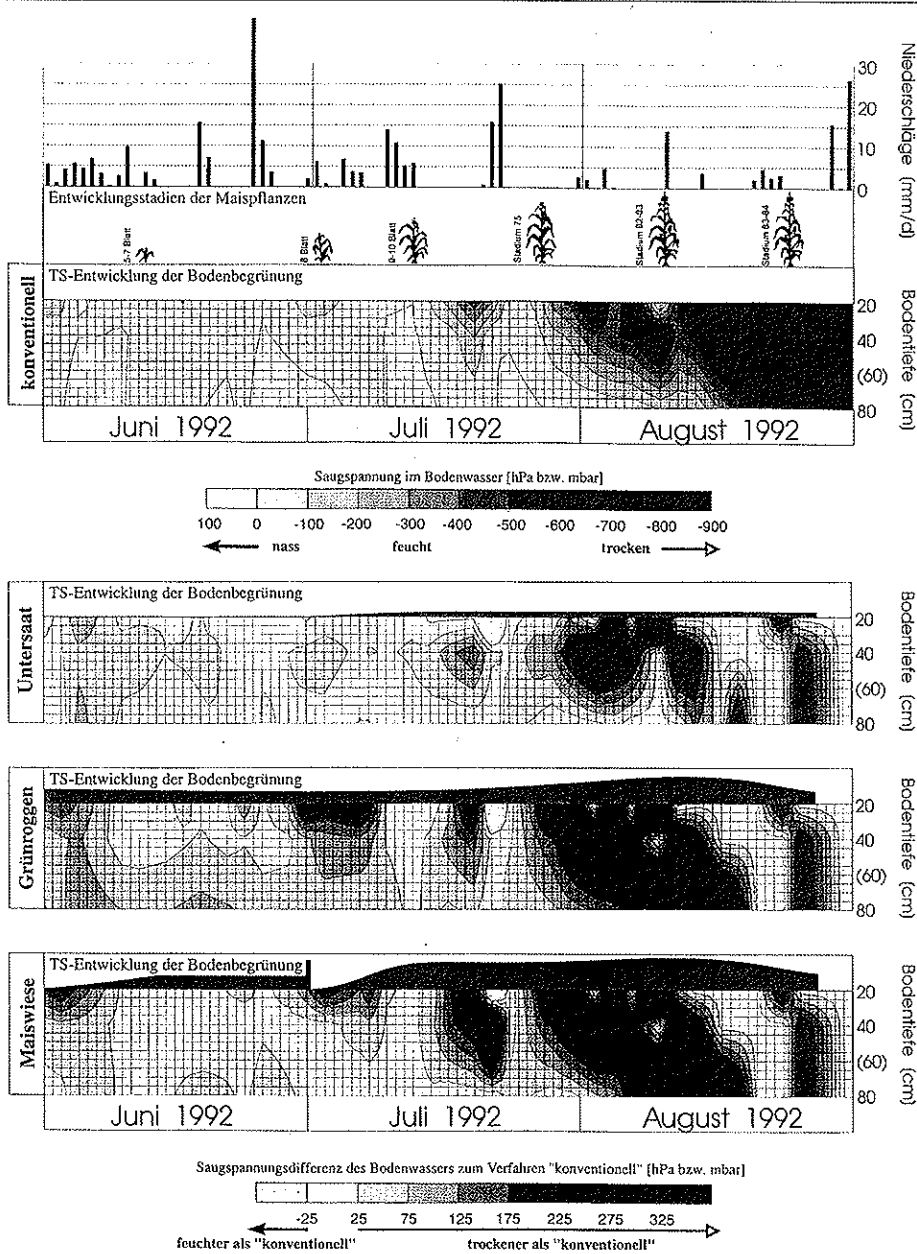


Abb. 3. Verlauf der Bodenwasser-Saugspannung im Maisanbauverfahren «Konventionell» während der Monate Juni bis August 1992 sowie Saugspannungsunterschiede zwischen den drei Maisanbauverfahren «Untersaat», «Grünroggen» und «Maiswiese» und dem Verfahren «Konventionell». Dazu Angaben zu den Niederschlagsmengen während dieses Zeitraumes sowie zur Trockensubstanzbildung der Begrünungen in den Verfahren.

Schluffgehalt, beträchtlicher Fremdwassereinfluss: Braunerde-Gley) die Verdichtungsgefährdung als erhöht und das physikalische Regenerationsvermögen als bescheiden zu betrachten. Deshalb treten Gefügebeeinträchtigungen eher häufiger auf und müssen überwiegend durch mechanische oder bodenbiologische Prozesse behoben werden können. Fällt die Möglichkeit der mechanischen Bodenlockerung kurzfristig teilweise oder ganz weg, besteht die Gefahr, dass die bodenbiologische Komponente (v.a. Regenwurm-Aktivität) die erwünschte Regenerationsleistung nicht rasch genug beziehungsweise nur unvollständig erbringen kann. Die Gefügedichte kann folglich zu-

mindest vorübergehend zunehmen, die Wachstumsbedingungen für die Pflanzen werden schlechter (vgl. Jäggi *et al.* 1995).

«Konventionell» mit geringstem Wasserverbrauch

In den Jahren 1990 bis 1993 wurde im Zwischenreihenbereich der vier Maisanbauverfahren die Saugspannung des Bodenwassers mit Hilfe von Tensiometern in 20, 40 und 80 cm Tiefe (je drei Wiederholungen) gemessen.

Die Saugspannungsverläufe der einzelnen Verfahren unterschieden sich in den vier Versuchsjahren deutlich: 1993 trockneten die Böden während der gesamten Vegeta-

tionsperiode fast nie stark aus, 1992 folgte auf ein sehr feuchtes Frühjahr ein trockener Spätsommer, 1990 wurden die Böden ab Mitte Juni zwischen kurzen trockeneren Perioden immer wieder durchfeuchtet, und 1991 schliesslich war nach einem feuchten Frühsommer ein sehr trockenes Jahr. Trotz dieser unterschiedlichen Jahreswitterungen zeigten sich - mehr oder weniger deutlich ausgeprägt - verfahrenstypische Einflüsse auf den Bodenwasserhaushalt, die in Abbildung 3 am Beispiel des Sommers 1992 dargestellt sind. Am feuchtesten war der Boden im allgemeinen beim Verfahren KO, während er bei den drei anderen Verfahren jeweils spätestens ab Mitte bis Ende Juli stärker austrocknete; beim Verfahren US geschah dies meist etwas weniger ausgeprägt und schwankte je nach der Entwicklung beziehungsweise dem Gelingen der Einsaat stärker als bei GR und MW.

Die intensivere Durchwurzelung des Bodens durch Einsaaten beziehungsweise Roggen- und Wiesenstreifen führte demnach zu einem gegenüber dem Verfahren KO erhöhten Wasserentzug und damit zu einer stärkeren Austrocknung des Bodens in den entsprechenden Maisanbauverfahren. Gegen Ende der Vegetationsperiode konnten die zuvor bestehenden Unterschiede zwischen den Verfahren durch Niederschläge teilweise wieder etwas verringert werden; besonders im Verfahren GR scheint der Wasserverbrauch zu Ende der Vegetationsperiode geringer gewesen zu sein, was auf die Mulchschicht aus abgestorbenen Roggenblättern und -stopeln zurückgeführt werden könnte.

Visuelle Gefügebeurteilung mit der Spatenprobe

Nach der Ernte 1993 wurde der Gefügezustand des Bodens in den unbefahrenen Parzellenbereichen mit Hilfe von Spatenproben charakterisiert, nachdem zuvor Farbstoff infiltriert worden war.

Die Untersuchungen zeigten, dass das Verfahren KO in der oberflächennahen Schicht ein günstiges, lockeres Gefüge aufwies; allerdings waren einzelne verschlammte Bereiche zu erkennen. Der mittlere Bereich der Bearbeitungsschicht war dagegen schlecht strukturiert, und gegen den Unterboden bildete sich eine Pflugsohle als deutlicher Sperrhorizont. Die Spatenprobe des Verfahrens MW zeigte verbreitet kompakte Gefügestrukturen, die bereits an der Bodenoberfläche begannen. Die Variante US vermittelte ein

ähnliches Bild wie KO: Das oberflächlich günstige Gefüge ging in eine kompaktere mittlere Schicht über, die nach unten durch eine Pflugsohle begrenzt wurde. Im Unterschied zum Verfahren KO waren jedoch in den dichteren Bodenbereichen noch vereinzelte Fliessbahnen in Form von Wurzel- und Regenwurmgingen sowie Kluftflächen vorhanden.

Einen günstigen Eindruck hinterliess das Verfahren GR. In ihm zeigten sich keine durchgehend dichten Bereiche, Zonen mit Bioporen ermöglichten ein relativ gleichmässiges Eindringen des Farbstoffes, so dass die Fliesswege des verwendeten Farbstoffes einen beträchtlichen Anteil des Bodenquerschnittes ausmachten. Selbst die von der Vorbewirtschaftung her stammende Pflugsohle war schwächer ausgeprägt und bildete keinen unüberwindlichen Stauhormont mehr. Dies dürfte einerseits eine Folge der wiederholten Grubberarbeit und des «Lebendverbaues» durch Pflanzenwurzeln und Bodenorganismen sein, andererseits aber auch durch die unter günstigen Bedingungen erfolgte, ausserplanmässige Pflugarbeit im Herbst 1992.

Folgen für die Entwicklung des Bodengefüges

Das Verfahren «Konventionell» (KO) mit Herbstfurche und ganzflächiger Bodenbearbeitung führte zum lockersten Oberbodengefüge aller Verfahren; es wies ein hohes Gesamtporenvolumen auf und war gut durchlässig, konnte aber (v.a. wegen der reduzierten Bodenbedeckung) leichter verschlämmen und neigte zur Bildung einer Pflugsohle am Übergang zwischen Ober- und Unterboden.

Das Verfahren «Untersaat» (US) mit Frühjahrsfurche und ganzflächiger Bodenbearbeitung zeigte oft ähnliche Eigenschaften bezüglich Durchlässigkeit wie KO und liess erste Erfolge einer «Lebendverbauung» der obersten Bodenschicht erkennen. Zumindest im Versuch scheint es aber anfälliger gewesen zu sein auf «Betriebsunfälle» wie Pflügen bei zu nassem Bedingungen im Frühjahr oder schlechtes Auflaufen der Einsaat.

Das Verfahren «Grünroggen» (GR) stellt anbautechnisch einen prinzipiell anderen Ansatz dar (Grubbereinsatz, Streifenfrässaat). Obschon es hinsichtlich des Wassereinsickerungsvermögens ungünstiger zu beurteilen war als das Verfahren KO, zeigte es auch erfreuliche Ansätze bei der Gefügebildung, indem der «Lebend-

verbau» des Oberbodens gefördert wurde und selbst die von der Vorbewirtschaftung stammende Pflugsohle ihre Sperrwirkung etwas verlor.

Beim Verfahren «Maiswiese» (MW) schliesslich wird nur noch mit einem Minimum an mechanischen Eingriffen in den Boden gearbeitet (keine Grundbodenbearbeitung, Streifenfrässaat). Während der vierjährigen Versuchsdauer hinterliess es bezüglich Gefügeentwicklung allerdings in verschiedener Hinsicht einen wenig ermutigenden Eindruck: Sowohl Porosität als auch Infiltrationskapazität entwickelten sich eher ungünstiger als bei den Vergleichsverfahren. Wenig förderlich für dieses Verfahren waren die schlechte Bestandesentwicklung in den Wiesenstreifen sowie die hohe natürliche Verdichtungsanfälligkeit des Versuchsstandortes. Nach Resultaten von Direktsaatversuchen auf anderen Standorten und mit längerer Versuchsdauer (Köller 1993) könnte diese Gefügeverschlechterung möglicherweise nur eine vorübergehende Erscheinung sein, die vornehmlich während der ersten drei bis fünf Übergangsjahre zwischen konventioneller und pflugloser Bodenbearbeitung auftritt.

Grundsätzlich darf das MW-Verfahren wohl nicht als melioratives Bewirtschaftungsverfahren bei geschädigtem Bodengefüge betrachtet werden, sondern vielmehr als eine gefügeschonende (und rationale) Bewirtschaftungsweise bei günstigen Gefügeverhältnissen («konservierende Bestelltechnik» auch hinsichtlich des Gefügezustandes). Auch bei der Bewirtschaftung verdichtungsgefährdeter Standorte sind von dieser Bestelltechnik keine Wunder zu erwarten: Selbst wenn sich die Gefügestabilität mittelfristig erhöhen lässt - kurzfristig kann die Verdichtungsgefährdung nur durch geringere mechanische Bodenbeanspruchungen reduziert werden.

LITERATUR

Ammon H.U., Mayor J.P. und Scherrer C., 1995. Vier Maisanbauverfahren 1990 bis 1993: Unkrautentwicklung und Bodenbedeckung. *Agrarforschung* 2 (9), 369-372.

Bigler F., Waldburger M. und Ammon H.U., 1995. Vier Maisanbauverfahren 1990 bis 1993: Die Verfahren im Vergleich. *Agrarforschung* 2 (9), 353-356.

Jäggi W., Oberholzer H.-R. und Waldburger M., 1995. Vier Maisanbauverfahren 1990 bis 1993: Auswirkungen auf das Bodenleben. *Agrarforschung* 2 (9), 361-364.

Köller K.H., 1993. Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug. Verlagsgesellschaft Agrar. 120 S.

RÉSUMÉ

Systèmes de culture du maïs 1990-1993: analyses physiques du sol

Dans quatre systèmes de culture du maïs comparés durant quatre ans, on a mesuré la porosité, la perméabilité à l'eau, le potentiel capillaire et l'état structural du sol. Au départ de l'essai, le sol était sensible au compactage et sa stabilité structurale limitée.

Les quatre systèmes culturaux ont influencé le sol de manières différentes. Le système «traditionnel» avec labour en automne et traitement herbicide de surface a laissé une couche de surface meuble, mais a entraîné la formation d'une semelle de labour. Le système «traditionnel avec semis intercalaire» (labour au printemps, traitement herbicide localisé sur la ligne, semis d'un mélange de graminées et trèfle après sarclage) a eu un effet semblable; on a cependant observé que son succès dépendait de l'état du sol lors du travail primaire, et des bonnes conditions de développement de la culture intercalaire. Le système «semis sur bandes fraisées dans du seigle fourrager» a fourni les conditions favorables à la formation d'un bon état structural, aussi bien dans la couche de surface que dans la couche profonde, où se trouvait la semelle de labour. Enfin, le système «semis sur bandes fraisées dans une prairie» n'a pas donné, dans les conditions de notre essai, l'effet attendu d'amélioration de stabilité structurale.

Les possibilités et les limites des systèmes comprenant une diminution d'intensité du travail du sol sont évaluées quant à leur effet sur l'évolution de la stabilité.

SUMMARY

Maize cropping systems 1990-1993: Soil physical analysis

In a field trial comparing four different maize cropping systems porosity, water infiltration, water tension and visible structure of the soil were studied over the course of four years. The soil structure showed moderate stability and an elevated risk of compaction; it was influenced by the cropping systems in different ways. The traditional system led to a loose top soil, but also to the formation of a plough pan. The traditional system with underseed showed similar characteristics, but was more strongly dependent on soil conditions at the time of ploughing and on the development of the underseeded grass/clover mixture. Drilling in a rotovated band in rye led to favourable initial steps of structure formation in the topsoil as well as in the former plough pan. Finally, drilling in a rotovated band in meadow didn't result in the anticipated positive structural development of the soil.

Possibilities and limitations of these cropping systems with reduced tillage in respect to soil structural development are discussed.

KEY WORDS: maize cropping systems, reduced tillage systems, soil structure, soil compaction, porosity, water infiltration, soil water tension