

# Umwelt

## Einfluss der Fruchtfolge auf das Gefüge eines Tonbodens

Urs Zihlmann, Peter Weisskopf und Werner Jossi, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Reckenholz, CH-8046 Zürich

Thomas Anken, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon

Auskünfte: Urs Zihlmann, E-Mail: urs.zihlmann@fal.admin.ch, Fax +41 (0)1 377 72 01, Tel. +41 (0)1 377 74 08

### Zusammenfassung

In einem seit 1973 an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT) in Tänikon (TG) durchgeführten Versuch untersuchten wir von 1990 bis 2000 die Auswirkungen von getreidebetonter (G), maisbetonter (M) und vielseitiger (V) Fruchtfolge sowie von zwei Anbauintensitäten – ortsüblich intensiv (IS) und integriert (IP) – auf die Bodenstruktur einer tonreichen und staufeuchten Kalkbraunerde. Das regelmässige Pflügen dieses schweren Bodens an niederschlagsreicher Lage verursachte bei allen Fruchtfolgen eine dichte Pflugsohle, welche sich auch durch eine 2-jährige Kunstwiese in V nicht regenerierte. Generell zeigte sich bei allen physikalischen Messgrössen eine grosse Abhängigkeit vom Ton- und Humusgehalt. Die physikalischen Kennwerte im Oberboden variierten in Folge bewirtschaftungsbedingter Auflockerungs- und Verdichtungsprozesse von Jahr zu Jahr deutlich, zeigten hingegen im unbearbeiteten Unterboden nur eine geringe Schwankungsbreite. Abgesehen vom dichten Oberboden unter Kunstwiese waren gesamthaft betrachtet die physikalischen Bodeneigenschaften bei V mit 40 % Kunstwiesenanteil etwas besser als bei G und M, die mehr Bearbeitungseingriffe und längere Phasen unbedeckten Bodens aufwiesen. IS und IP unterschieden sich nur, wenn der Boden unterschiedlich bearbeitet wurde. Auf solchen zu Pflugsohlenverdichtung neigenden Ackerstandorten ist neben schonendem Befahren und Bearbeiten das tiefe Wenden vermehrt durch pfluglose Bearbeitungstechniken zu ersetzen.

Das Bodengefüge respektive die Bodenstruktur gehört zu den wichtigsten, die Fruchtbarkeit eines Bodens bestimmenden Eigenschaften. Bewirtschaftungsmassnahmen beeinflussen die Gefügestruktur von Ackerböden stark.

Um festzustellen, wie sich unterschiedliche Fruchtfolgen und Anbauintensitäten langfristig auf die Ertragsfähigkeit und die Qualität von Böden auswirken, startete

das Institut für Pflanzenwissenschaften der ETH Zürich 1973 an der Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT) in Tänikon (TG) das Projekt Chaiblen.

### Geschichte des Chaiblen-Versuchs

In diesem Langzeitversuch mit den drei Fruchtfolgen vielseitig (V), getreidebetont (G) und maisbetont (M) waren die Parzellen in zwei Düngungs- und diese jeweils noch in drei Herbizidverfahren unterteilt. Während drei 5-jährigen Fruchtfolgeperioden (1973 bis 1988) wurde untersucht, wie sich die verschiedenen Fruchtfolgen und Bewirtschaftungsmassnahmen auf die Bodenqualität auswirkten. Dabei zeigte sich, dass selbst die extremeren Bewirtschaftungsvarianten die Ertragsfähigkeit des Bodens nicht wesentlich beeinträchtigen (Schwendemann 1991).

1988 schloss die ETH diese Untersuchungen ab und übergab den Chaiblen-Versuch der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Reckenholz, und der FAT. Diese modifizierten die Versuchsanlage und verglichen von 1989 bis zum Ende des Versuches im Jahr 2000 die drei Fruchtfolgen nur noch mit den zwei Anbauintensitäten ortsüblich intensiv (IS) und integriert (IP). Dadurch ergaben sich die sechs Bewirtschaftungsverfahren VIP, VIS, GIP, GIS, MIP und MIS (Tab. 1). Zu Vergleichszwecken waren die 5-jährigen Fruchtfolgen so gestaltet, dass auf allen Parzellen jeweils im vierten Jahr Silomais und im fünften Winterweizen angebaut wurde.

Generell zeigte V die beste Ertragsstabilität. Die Mindererlöse beim IP-Anbau wurden durch tiefere Kosten für Pflanzenschutz und Dünger sowie durch Extensobeiträge weitgehend kompensiert (Jossi *et al.* 2002a, 2002b).

### Standort und Bewirtschaftung

Das ebene Versuchsfeld liegt 536 m ü.M. Die jährlichen Niederschlagsmengen betragen im Durchschnitt 1180 mm, die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 8,2 °C. Die vorherrschende tonreiche Kalkbraunerde mit mittlerem pH-Wert von 7,7 ist tiefgründig und staufeucht. Mit durchschnittlich 40 % Ton- und 36 % Schluffanteil sowie einem Humusgehalt von 5 % ist der Oberboden schwer bearbeitbar. Chaiblen entspricht somit einem schwierigen Standort für die ackerbauliche Nutzung.

Abb. 1. Die Kulturen der drei Fruchtfolgen wurden 4-fach wiederholt auf 45 m mal 12 m grossen Parzellen angebaut und mit praxisüblichen Maschinen bewirtschaftet. (Foto: Gabriela Brändle, FAL)



Die Grundbodenbearbeitung erfolgte fast ausschliesslich mit konventionellem Mehrscharpflug und die Saatbettbereitung mit einem Zinkenrotor. Bei V und M wurde mineralisch und organisch (Mist und Gülle) gedüngt, bei G, welche einer viehlosen Bewirtschaftung entsprach, nur mineralisch. Die Gaben erfolgten meistens gemäss Norm. Die Stickstoffdüngung bei den Ackerkulturen wurde nach der  $N_{\min}$ -Analyse bemessen und bei IP jeweils um 10 % bis 20 % reduziert. Da der Versuch vor der Einführung des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) angelegt wurde, erfüllt er nicht in allen Teilen die heutigen ÖLN-Anforderungen (zum Beispiel bezüglich Anbaupause Silomais). Das Stroh wurde, ausser beim Raps, geräumt. Die einzelnen Parzellen waren 45 m mal 12 m, das heisst 5,4 Aren gross (Abb. 1). Die Ernte- und Pflegearbeiten erfolgten mit praxisüblichen Maschinen.

### Physikalische Bodenuntersuchungen

Das Schwergewicht der physikalischen Bodenuntersuchungen lag bei der Bestimmung von Lagerungsdichte, Porosität (Porengrössenverteilung) und Aggregatstabilität (Tab. 2). Jedes Jahr im Sommer wurden die Proben für diese Bestimmungen entnommen und eine qualitative Bodenbeurteilung mit der Spatenprobe durchgeführt. In den Stichjahren 1990, 1995 und 2000 wurden drei der vier Wiederholungen beprobt, in den übrigen Jahren nur eine. Wegen andauernd ungünstiger Bodenbedingungen konnten 1999 keine Zylinderproben entnommen werden.

### Bodengefüge in ständigem Wandel

Das Bodengefüge, das heisst die räumliche Anordnung der festen Bodenteilchen und der Hohlräume dazwischen, unterliegt ei-

**Tab. 1. Die drei Fruchtfolgen und sechs Bewirtschaftungsverfahren des Versuchs Chaiblen**

| Jahr                      |             |             | vielseitig (V)       | getreidebetont (G)  | maisbetont (M)      |
|---------------------------|-------------|-------------|----------------------|---------------------|---------------------|
|                           | 1991        | 1996        | Kunstwiese           | Wintergerste        | Kunstwiese          |
|                           | 1992        | 1997        | Kunstwiese           | Winterraps          | Silomais            |
|                           | 1993        | 1998        | Kart.(93) / Raps(98) | Winterweizen        | Silomais            |
| <b>1989</b>               | <b>1994</b> | <b>1999</b> | <b>Silomais</b>      | <b>Silomais</b>     | <b>Silomais</b>     |
| <b>1990</b>               | <b>1995</b> | <b>2000</b> | <b>Winterweizen</b>  | <b>Winterweizen</b> | <b>Winterweizen</b> |
| Anbauintensität           |             |             | IP, IS               | IP, IS              | IP, IS              |
| Bewirtschaftungsverfahren |             |             | VIP, VIS             | GIP, GIS            | MIP, MIS            |

In fetter Schrift Jahre mit denselben Kulturen bei allen drei Fruchtfolgen  
 IP = integrierter Anbau      IS = ortsüblich intensiver Anbau

**Tab. 2. Übersicht über die Bodenbeprobungen im Versuch Chaiblen 1990 bis 2000**

| Bodenparameter                | Methode   | Beprobungstiefe              | Anzahl Proben pro Parzelle | Jahre mit Probenahme   |
|-------------------------------|---|------------------------------|----------------------------|------------------------|
| Gefügestruktur                | Spatenprobe; visuelle Beurteilung (Zihlmann <i>et al.</i> 1999) | 0 bis 45 cm                  | 1 bis 2                    | 1996 bis 2000          |
| Lagerungsdichte und Porosität | 100 cm <sup>3</sup> -Stechzylinder; Desorption                  | 10 bis 15 cm<br>35 bis 40 cm | 2 mal 3<br>2 mal 3         | 1990 bis 1998 und 2000 |
| Aggregatstabilität            | Lockerproben; Stampfvolumeter (Zihlmann <i>et al.</i> 1999)     | 0 bis 10 cm                  | 2 mal 1                    | 1990 bis 2000          |

nem ständigen Wandel. Speziell das Oberbodengefüge verändert sich laufend durch Gefügebildungsprozesse wie Quellen, Schrumpfen, Frostsprengung, durch Effekte der Durchwurzelung und des Bodenlebens sowie durch direkte Einwirkungen von Mensch und Tier wie Befahren, Bearbeiten und Tritt. Die Eignung eines Bodens als Pflanzenstandort sowie seine Funktionen als Speicher und Filter für Wasser und Stoffe hängen wesentlich davon ab, wie die Hohlräume ausgebildet sind und wie stabil die Bodenteilchen zusammengefügt sind. Ziel jeder ackerbaulichen Bodennutzung muss es sein, ein bezüglich Aufbau und Zusammenhalt optimales Bodengefüge – einen so genannt «garen» Boden – zu schaffen und zu erhalten.

### Dauerhafte Pflugsohlenverdichtung

Mittels Aufgrabungen mit dem Spaten lässt sich der Gefügestu-

and eines Ackerbodens ganzheitlich erfassen und beurteilen. Für das Beurteilen des aktuellen Gefügestandes im Feld ist die Spatenprobe gut geeignet, weil sie auf einfache Weise eine rasche Beurteilung verschiedener Gefügeeigenschaften ermöglicht. Die Bewertung der Merkmale geschieht mit einer Notenskala von 5 = sehr günstig bis 1 = sehr ungünstig.

Die von 1996 bis 2000 durchgeführten Beurteilungen mit der Spatenprobe zeigten praktisch keine unterschiedlichen Einflüsse von Fruchtfolge und Anbauintensität, sondern nur ausgeprägte tiefenabhängige Unterschiede sowohl in der Qualität als auch in der Variabilität der Bodeneigenschaften (Abb. 2). In dieser Periode variierte die Gefügestruktur (Abb. 3) in der bearbeiteten Schicht (0 bis 8 und 8 bis 22 cm Bodentiefe) stärker als in der Übergangsschicht (22 bis 30 cm) und insbesondere

Abb. 2. Bei allen drei Fruchtfolgen verursachte das regelmässige Pflügen des tonreichen Chaiblen-Bodens in 22 bis 30 cm eine schlecht strukturierte Schicht (Pflugsohlenverdichtung) zwischen bearbeitetem Ober- und unbearbeitetem Unterboden. (Foto: Thomas Anken, FAT)



Abb. 3. Spatenprobenbeurteilung 1996 bis 2000: Note für die Qualität der Gefügestruktur in der vielseitigen (V), getreide- (G) und maisbetonten (M) Fruchtfolge.

im unbearbeiteten Unterboden (30 bis 45 cm). Die bessere Benotung der obersten acht Zentimeter ist hauptsächlich auf die Lockerung durch die Saatbettbereitung, auf eine intensivere Durchwurzelung und Bodenak-

### Note für Qualität der Gefügestruktur

sehr ungünstig = 1      5 = sehr günstig

| Bodentiefe | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |   |
|------------|---|---|---|---|---|---|
| 0-8 cm     |   |   |   |   |   | V |
|            |   |   |   |   |   | G |
|            |   |   |   |   |   | M |
| 8-22 cm    |   |   |   |   |   | V |
|            |   |   |   |   |   | G |
|            |   |   |   |   |   | M |
| 22-30 cm   |   |   |   |   |   | V |
|            |   |   |   |   |   | G |
|            |   |   |   |   |   | M |
| 30-45 cm   |   |   |   |   |   | V |
|            |   |   |   |   |   | G |
|            |   |   |   |   |   | M |

tivität sowie auf Frosteinwirkung zurückzuführen.

Das regelmässige Pflügen dieses tonreichen Bodens an dem niederschlagsreichen Standort führte bei allen drei Fruchtfolgen zur Bildung einer dichten Übergangsschicht, einer Pflugsohlenverdichtung. Diese Schicht wurde bezüglich Gefügestruktur, Durchlüftung, Durchwurzelung und Makroporenanteil durchwegs am schlechtesten bewertet, wobei M häufig die tiefsten Noten erhielt (Abb. 4). Insbesondere im nassen Jahr 1999 war diese verdichtete Zone wahrscheinlich der Hauptgrund für die reduzierten Silomaisserträge bei M.

Die etwas weniger schlechte Bewertung der Übergangsschicht bei V ist vermutlich auf die 2-jährige Kunstwiesennutzung in Verbindung mit dem höheren Regenwurmbesatz zurückzuführen (Jossi *et al.* 2002b). Allerdings reichte diese Bearbeitungspause jeweils nicht, um das verdichtete Gefüge gänzlich zu regenerieren. Diesen Befund bestätigen von Albertini *et al.* (1995), die bei ähnlichen Standortverhältnissen erst nach 4-jähriger schonender Wiesenlandnutzung eine deutliche Auflockerung von Pflugsohlenverdichtungen beobachteten.

Das Gefüge im unbearbeiteten Unterboden wurde in allen Jahren besser bewertet als dasjenige in der Übergangsschicht; dabei variierte die Gefügestrukturqualität nur unwesentlich. Es scheint, dass die kompakte Pflugsohle das gut strukturierte Unterbodengefüge bis zu einem gewissen Grad vor schädigenden Druckeinwirkungen zu schützen vermochte.

### Dichter Oberboden unter Kunstwiese

Die Lagerungsdichte ist eine wichtige physikalische Eigenschaft jedes Bodenkörpers. Sie

widerspiegelt das Verhältnis zwischen Trockenmasse und Volumen einer ungestörten Bodenprobe. Wird bei der Berechnung der Lagerungsdichte der von den Grobporen eingenommene Volumenanteil nicht mitberücksichtigt, ergibt sich eine höhere, die so genannte grobporenbereinigte Lagerungsdichte. Dabei ausgenommen sind Grobporen mit einer Entwässerung bis zu pF 2, was einer Saugspannung von 100 hPa oder 0,1 bar entspricht. Die grobporenbereinigte Lagerungsdichte ermöglicht in bearbeiteten Oberböden eine bessere Vergleichbarkeit der Gefügestruktur bei unterschiedlicher Bearbeitungsintensität: Das stark von der mechanischen Bodenlockerung abhängige Grobporenvolumen wird nicht berücksichtigt, dafür das in den Aggregaten dominierende Mittel- und Feinporenvolumen umso stärker.

Der Verlauf der grobporenbereinigten Lagerungsdichte im Oberboden war hauptsächlich geprägt von bewirtschaftungsbedingten Lockerungs- und Verdichtungsprozessen (Abb. 5). Auch die höchsten gemessenen Werte lagen jedoch unterhalb des als kritisch betrachteten Bereichs. Die markante Zunahme bei V von 1995 (Winterweizen) zu 1996 (Kunstwiese) ist zurückzuführen auf das intensive Befahren beim Eingrasen mit Frontmäherwerk und beim Güllen mit Druckfass. Erst die anschliessende Bodenlockerung für die Ackerkulturen reduzierte die Lagerungsdichte wieder. Die in 35 bis 40 cm Bodentiefe gemessenen Dichtewerte schwankten wegen der fehlenden Bearbeitungseingriffe deutlich weniger.

### Bearbeitungseffekte prägen Grobporenanteil

Die Dynamik der Auflockerungs- und Wiederverdichtungsprozesse im Oberboden zeigte sich auch beim Grobporenanteil (Abb. 6). Diese grössten Poren

(Entwässerung bis pF 2) sind wichtig für den raschen Wasserabfluss und die Luftzirkulation im Boden, insbesondere bei Standortbedingungen, wie sie auf dem Versuchsfeld herrschten. Wegen ihres grossen Durchmessers reagieren diese Poren allerdings auch am empfindlichsten auf Druckeinwirkungen.

Zum Teil bedingt durch die unterschiedliche Zeitspanne zwischen letzter Bodenbearbeitung und Probenahme variierten die Messwerte zwischen 5 und 26 Volumenprozent, lagen jedoch meist oberhalb des kritischen Bereichs, der bei 7 bis 9 Volumenprozent beginnt. In den Winterweizen-Stichjahren 1990, 1995 und 2000 mit derselben Vorkultur Silomais und identischer Bodenbearbeitung in allen Fruchtfolgen schwankten die Grobporenanteile deutlich weniger als in den Jahren mit unterschiedlichen Kulturen.

Grosse Unterschiede zwischen den Anbauintensitäten entstanden nur dann, wenn unterschiedliche Bearbeitungstechniken eingesetzt wurden, wie zum Beispiel 1992 und 1993 die Mais-Streifenfräsaat in MIP an Stelle des Pfluges (MIS) oder die pfluglose Kunstwiesenansaat 1991 in VIP. Dies führte jeweils zu einer geringeren Bodenauflockerung und folglich zu weniger grossen Hohlräumen im Bodengefüge.

Im nicht mechanisch aufgelockerten Unterboden lagen die Grobporenanteile im Bereich zwischen 4 und 15 Volumenprozent sehr nahe beieinander mit annähernd gleichförmigem zeitlichem Verlauf in den jeweiligen Anbauintensitäten derselben Fruchtfolge. Dank allgemein etwas höherem Niveau lagen bei V nur 15 % der Messungen im kritischen Bereich von 7 bis 9 Volumenprozent. Dagegen waren bei G 30 % und bei M 45 % der Werte in diesem Bereich oder sogar

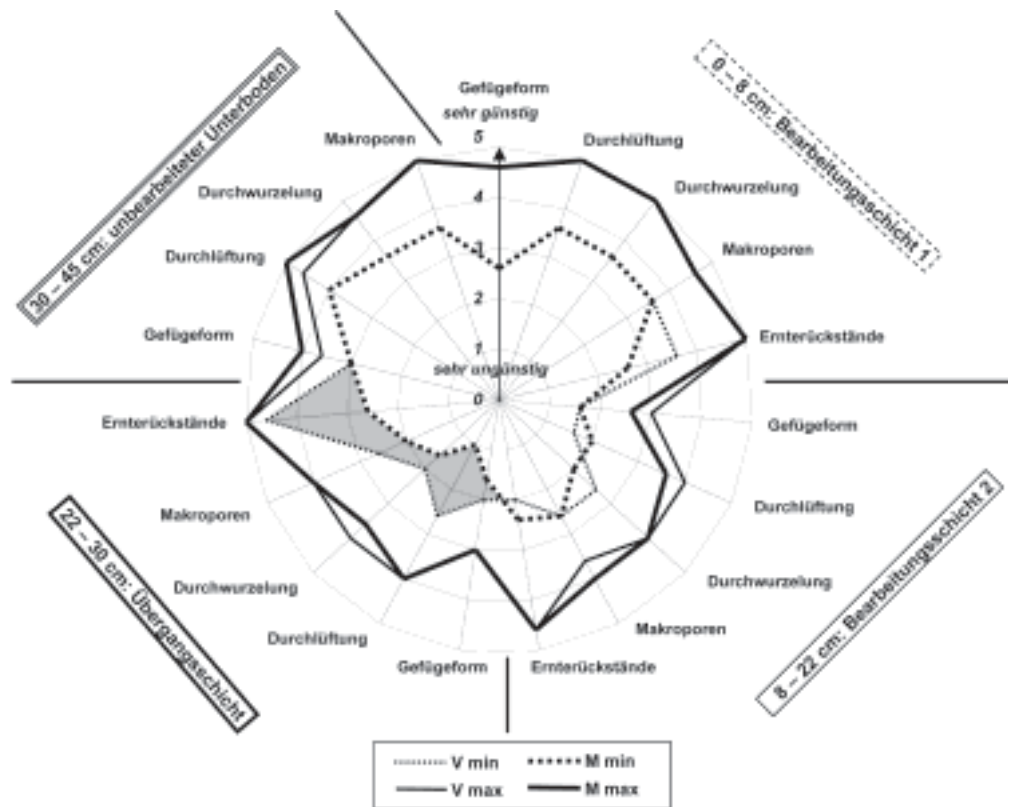


Abb. 4. Spatenprobenbeurteilung 1996 bis 2000: Minimal- (min) und Maximalnoten (max) in der vielseitigen (V) und maisbetonten (M) Fruchtfolge. Grau unterlegt: Differenz der Minimalnoten in der Übergangsschicht vom Ober- zum Unterboden.

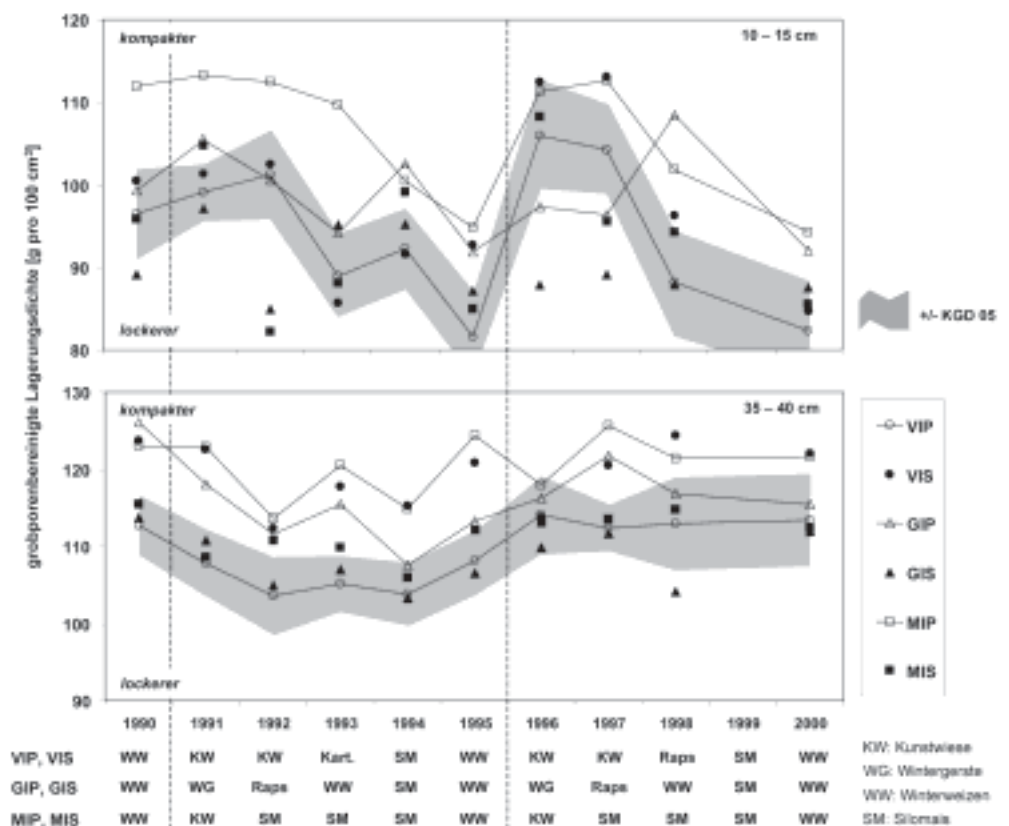


Abb. 5. Verlauf der grobporenbereinigten Lagerungsdichte in den sechs Bewirtschaftungsverfahren (Tab. 1); 10 bis 15 cm (oben) und 35 bis 40 cm Bodentiefe (unten). KGD = kleinste gesicherte Differenz.

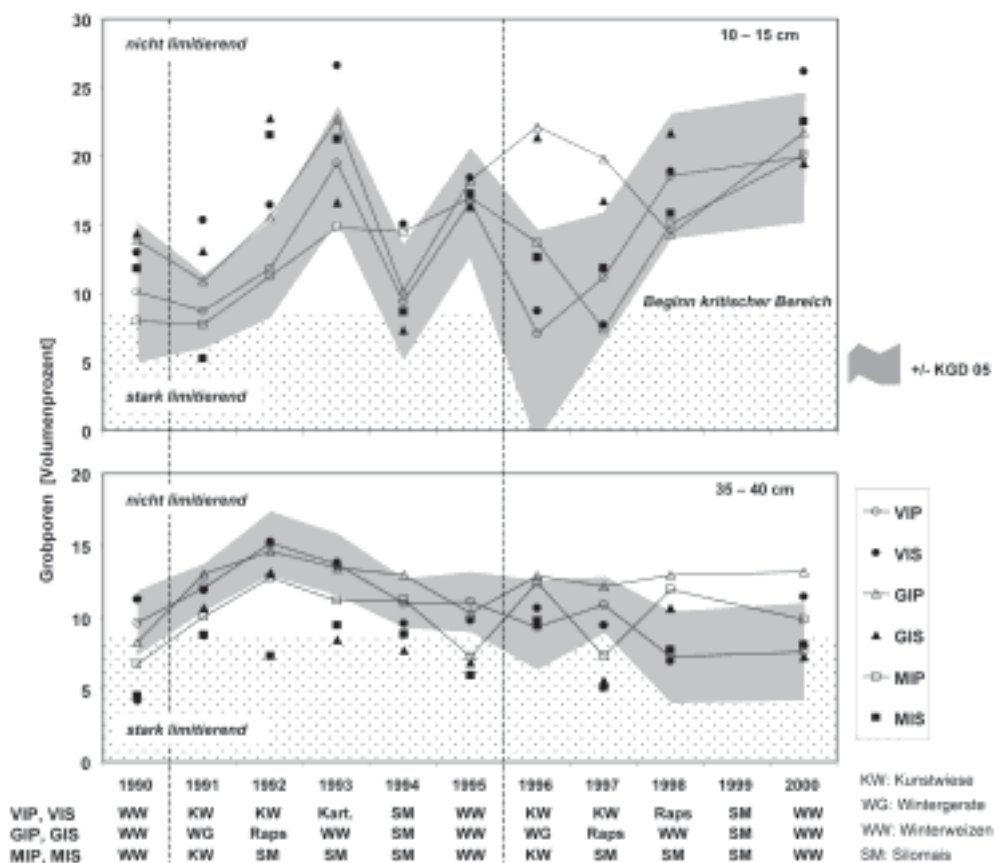


Abb. 6. Verlauf des Grobporenvolumens in den sechs Bewirtschaftungsverfahren (Tab. 1); 10 bis 15 cm (oben) und 35 bis 40 cm Bodentiefe (unten).

darunter, was sich ungünstig auf die Durchlüftung und die Regenverdaulichkeit dieser Zone auswirkte. Die Unterschiede sind

wahrscheinlich auf das häufigere Pflügen bei G und M und den höheren Regenwurmbesatz bei V zurückzuführen.

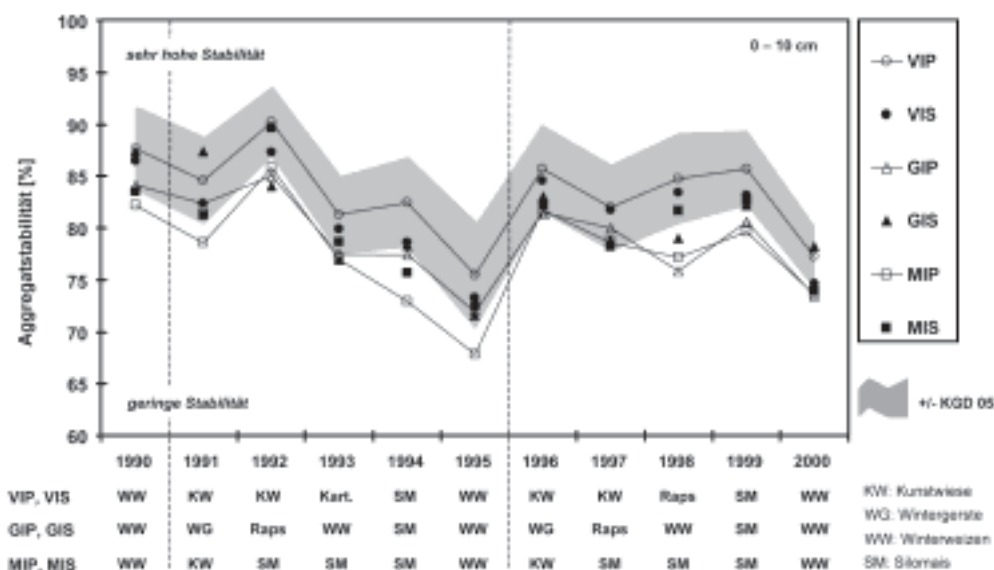


Abb. 7. Verlauf der Aggregatstabilität, ermittelt mit der Stampfvolumeter-Methode, in den sechs Bewirtschaftungsverfahren (Tab. 1); Gesamtmittelwert aller drei Aggregatfraktionen; 0 bis 10 cm Bodentiefe.

## Humus und Ton stabilisieren Aggregate

Die Messung der Aggregatstabilität von Bodenteilchen bis 10 mm Durchmesser hat zum Ziel, die langfristige Wirkung der verschiedenen Kulturen und Bewirtschaftungsmassnahmen auf die Stabilität der Aggregate im Oberboden aufzuzeigen.

Im Versuch Chaiblen hat sich bestätigt, dass der Zusammenhalt der Bodenteilchen hauptsächlich von den Kittsubstanzen Humus und Ton bestimmt wird. Aufgrund seiner für einen Ackerboden überdurchschnittlichen Ton- und Humusgehalte weist der Chaiblen-Boden bereits eine hohe natürliche Aggregatstabilität auf, welche durch die Bewirtschaftung nur wenig beeinflusst wurde (Abb. 7). Dies zeigte sich auch in der geringen Schwankungsbreite der Messwerte: Wurde jeweils die Aggregatstabilität von VIP gleich 100 % gesetzt, so variierten die Werte der übrigen Verfahren nur innerhalb einer Bandbreite von 11 %. Dabei lagen die Werte von V meist über jenen von G und M, die Unterschiede waren aber statistisch nicht gesichert. Gründe für diese Unterschiede sind wahrscheinlich die 2-jährige Kunstwiesennutzung und weniger Bearbeitungseingriffe bei V sowie längere Phasen unbedeckten Bodens bei G und besonders bei M mit 60 % «Reihenkultur» Mais in der Fruchtfolge.

## Schlussfolgerungen

Bodenzusammensetzung und Klimabedingungen bestimmen in hohem Mass die Reaktion eines Ackerbodens auf das Befahren und die Bearbeitung. Der tonreiche Chaiblen-Boden bildete als Folge wiederholten Pflügens bei allen Fruchtfolgen eine dichte Zone zwischen bearbeitetem Ober- und unbearbeitetem Unterboden. Diese Pflugsohlenverdichtung konnte durch 2-jährige Kunstwiesennutzung nicht re-

generiert werden und bewirkte vor allem bei schlechter Witterung und insbesondere bei Mais Mindererträge (Jossi *et al.* 2002b). Intensiver und integrierter Anbau unterschieden sich bezüglich physikalischer Bodeneigenschaften nur, wenn der Boden unterschiedlich bearbeitet wurde. Bewirtschaftungsbedingte Auflockerungs- und Verdichtungsprozesse verursachten in der Bearbeitungsschicht eine starke Variabilität der Bodeneigenschaften von Jahr zu Jahr, wogegen die Eigenschaften des Unterbodens nur wenig beeinflusst wurden. Abgesehen vom zeitweise dichten Oberboden bewegten sich gesamthaft betrachtet die untersuchten physikalischen Bodeneigenschaften bei vielseitiger Fruchtfolge mit 40 % Kunstwiesenanteil in einem etwas günstigeren Wertebereich als bei den

zwei ackerbaubetonnten Fruchtfolgen mit mehr Bearbeitungseingriffen und längeren Phasen unbedeckten Bodens. Ein nachhaltiger Ackerbau erfordert an diesem verdichtungsgefährdeten Standort das schonende Befahren und Bearbeiten des Bodens, weniger häufiges Pflügen, wenn möglich mit einem Onlandpflug, und vermehrt pfluglose Saatbettbereitung am besten nur mit oberflächlicher Lockerung.

### Literatur

- Jossi W., Dubois D., Zihlmann U. und Fried P.M., 2002a. Einfluss der Anbauintensität auf Ertrag und Deckungsbeitrag. *Agrarforschung* **9** (3), 84-89.
- Jossi W., Zihlmann U., Valenta A., Scherrer C., Krebs H. und Dubois D., 2002b. Vielseitige Frucht-

folge fördert die Ertragsfähigkeit. *Agrarforschung* **9** (3), 90-95.

- Schwendimann F., 1991. Die Erträge im Fruchtfolgeversuch «Chaiblen» von 1974 bis 1988. *Landwirtschaft Schweiz* **4** (6), 316-319.
- Von Albertini N., Leuenberger J., Läser H.P. und Flüeler H., 1995. Regeneration der Bodenstruktur eines verdichteten Ackerbodens unter Kunstwiese. BGS-Dokument 7 «Aktuelle Bodenforschung in der Schweiz III», 10-16.
- Zihlmann U., Weisskopf P., Dubois D. und Tschachtli R., 1999. Burgrain: Bodenstruktur in unterschiedlichen Anbausystemen. *Agrarforschung* **6** (5), 165-168.

## RÉSUMÉ

### Influence de la rotation des cultures sur l'état structural d'un sol argileux

Dans un essai de la Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles (FAT), Tänikon (TG), conduit depuis 1973, nous avons examiné entre 1990 et 2000 les effets de rotations chargées en céréales (G), chargées en maïs (M) et plus diversifiées (V), ainsi que les effets de deux niveaux d'intensité d'exploitation – intensif selon usage local (IS) et conforme à la production intégrée (IP) – sur l'état structural d'un sol argileux brun calcaire humide à engorgement périodique. Le labour régulier de ce sol lourd, sur un site à forte pluviométrie, a entraîné la formation d'une semelle, indépendamment de la rotation culturale. Celle-ci s'est même maintenue sous la rotation V comprenant une prairie artificielle de deux ans. Toutes les mesures physiques effectuées ont montré l'influence déterminante des taux d'argile et d'humus. Les propriétés physiques de la couche supérieure du sol ont varié d'année en année en liaison avec les interventions, provoquant l'ameublissement ou la compaction du sol. Les variations enregistrées ont été moindres dans la couche de sous-sol. D'une manière générale, les propriétés physiques du sol se sont avérées légèrement plus favorables sous la rotation V comprenant 40 % de prairies que sous les rotations G et M, à l'exception de la couche supérieure du sol sous prairie, toujours plus compacte. Les rotations G et M comprenaient un nombre supérieur d'interventions mécaniques et de plus longues phases de sol nu. Les niveaux d'intensité IS et IP ne se sont distingués que lorsque le sol était travaillé de manière différente. Sur des sites tendant à former des semelles compactées, le labour profond doit être remplacé par la technique sans labour, en complément des mesures usuelles de précaution dans la circulation des engins et le travail du sol.

## SUMMARY

### Effect of crop rotation on the structure of a clayey soil

At the Swiss Federal Research Station for Agricultural Economics and Engineering (FAT) in Tänikon (Switzerland), a field trial was started in 1973 to examine the effects of three crop rotations (G = 60 % cereals, M = 60 % silage maize, V = different crops included 40 % clover grass) and two management intensities (IS = high intensity according to local practice, IP = integrated, moderate intensity) on the structure of a clayey calcaro-gleyic cambisol in a cool and humid climate. Observations within the period of 1990 and 2000 showed in all crop rotations that regular ploughing caused a plough pan which could not even be alleviated within the two years of clover grass in V. In general, a clear dependence of all measured physical soil parameters – especially aggregate stability – on clay and organic matter content was observed. In the topsoil, bulk density and large sized pores varied considerably from year to year as a result of cultivation practices; however, the variation was much smaller in the untilled subsoil. Apart from the bulk density in the topsoil which was highest during the two years of clover grass, the physical soil properties were more favorable in the crop rotation V than in G and M, where more tillage interventions were carried out and, therefore, the soil surface remained uncovered for longer periods. Differences between IS and IP only occurred in years with different soil tillage practices whereas fertilization and plant protection had no influence on physical soil properties. On arable sites with a strong tendency towards the occurrence of plough pans, conventional deep ploughing should be replaced by reduced tillage practices.

**Key words:** soil structure, aggregate stability, spade diagnostics, crop rotation, farming system