

Bodenbearbeitungssysteme

Direktsaat stellt höchste Anforderungen

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

Peter Weisskopf, Urs Zihlmann, Hans-Rudolf Forrer, Christoph Högger und Caroline Scherrer, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), CH-8046 Zürich

Alex Mozafar, Institut für Pflanzenwissenschaften, Eidgenössische Technische Hochschule, CH-8092 Zürich
 Wolfgang G. Sturny, Bodenschutzfachstelle des Kantons Bern, CH-3052 Zollikofen

Fünf verschiedene Bodenbearbeitungssysteme standen einander auf zwei verschiedenen Standorten gegenüber. Auf dem mittelschweren und gut sickerfähigen Standort schnitten die pfluglosen Verfahren ertragsmässig am besten ab. Der Pflug erzielte hingegen auf dem schweren, staunassen Boden die besten Erträge. Je weniger der Boden bearbeitet wird, desto stärker steigen aus anbautechnischer Sicht die Anforderungen an die Verfahren.

Der Pflug stellt bezüglich Saattechnik und Unkrautregulierung die kleinsten Anforderungen. Bei der Direktsaat, die ohne Bodenbearbeitung auskommt, führen Ernterückstände, Beikräuter, Bodenverdichtungen und Schnecken zu nicht unbedeutenden Schwierigkeiten, die sich aber meistern lassen. Gegensätzlich zu den anbautechnischen Eigenschaften verhalten sich die meisten Umweltaspekte. Je kleiner der Eingriff der Bodenbearbei-

tung ist, desto kleiner ist die Gefahr der Bodenerosion und Nährstoffabschwemmung, desto besser entwickeln sich Regenwürmer, Mykorrhiza-Pilze usw. Verfahren mit wenig Bodenbearbeitung verursachen die tiefsten variablen Kosten pro Fläche. Wegen der hohen Fixkosten von Spezialgeräten wie Direktsämaschinen muss diesen aber eine hohe Auslastung zu Grunde liegen, damit sie konkurrenzfähig sind. Die Versuche belegen, dass sich langjährig auch unter den anspruchsvollen klimatischen und bodenkundlichen Gegebenheiten von Tänikon pfluglose Verfahren mit Erfolg einsetzen lassen.



Abb. 1. Die Direktsaat ermöglicht ohne vorhergehende Bodenbearbeitung die Bestellung einer Kultur in einem Arbeitsgang. Im Vergleich zum Pflug erzielt sie ebenbürtige Erträge, wenn das Verfahren gesamthaft richtig eingesetzt wird. Dies stellt erhöhte Anforderungen an den Betriebsleiter.

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Versuchsanlage	2
Anbaueigenschaften und Beikraut	3
Bodeneigenschaften	5
Erträge und Bestandesdichte	7
Nutz- und Schadorganismen	9
Betriebswirtschaftliche Überlegungen	11
Schlussfolgerungen	13
Literatur	14

Problemstellung

Intensiver Ackerbau, verbunden mit häufigem Pflugeinsatz, kann zu Beeinträchtigungen der Umwelt führen. Bodenerosion, Abschwemmung von Hilfsstoffen und Nitratauswaschung sind einige Beispiele. Durch die Reduktion der Bodenbearbeitung lassen sich ungünstige Folgewirkungen des Ackerbaus abschwächen oder zum Teil gar beheben. Leider sind die Vorteile der Reduktion oder gar des Verzichts auf die Bodenbearbeitung häufig mit höheren Anforderungen an den Landwirt verbunden. Pfluglose Verfahren lassen sich weniger «kochbuchartig» anwenden. Verstopfungen bei der Saatbettbereitung und der Saat sowie veränderte Anforderungen an die Regulierung der Beikrautflora sind die wichtigsten Gründe, weshalb bis anhin die reduzierte Bodenbearbeitung nur zögerlich Einzug in die Praxis hält. Das Ziel des 1987 angelegten Bodenbearbeitungs-Systemvergleichs in Tänikon ist es, die Machbarkeit und die langjährigen Einflüsse verschiedener Bodenbearbeitungssysteme auf agronomische sowie bodenchemische, -physikalische und -biologische Parameter zu untersuchen.

Tabelle 1. Eigenschaften der beiden Versuchsstandorte

	Hausweid	Langwiese
Bodenart	Sandiger Lehm	Toniger Lehm
Klassierung	Braunerde	Parabraunerde
Ton %	16 %	35 %
Schluff %	31 %	35 %
Sand %	48 %	25 %
Humus %	5 %	5 %
Skelett	Skelettreich	Skelettarm
Durchlässigkeit	Gut	Staanass

Der eingesetzte, mit Universal-Schweizerriestern (Abb. 2) ausgerüstete Zweischarpflug (Althaus) pflügte durchschnittlich zirka 25 cm tief. Der Zinkenrotor (Rau, Abb. 3) besitzt 53 Zinken pro 3 m und eine Packerwalze als Nachlaufgerät. Die Fahrgeschwindigkeit liegt bei 4 bis 5 km/h, die Rotordrehzahl ist auf 250 U/min eingestellt. Der Parapflug (3-Schar, Howard, Abb. 4) arbeitete jeweils bis zirka 35 cm Tiefe, der Schichtengrubber mit 45 cm breiten Flügelscharen (Althaus) lockert 25 cm bis 30 cm tief. Die Frässaat von Getreide und Raps besorgte bis 1993 der Howard Sämaschine. Die Huckepackkombination bestehend aus dem Zinkenrotor Rau und der Sämaschine

Amazona D8 Super löste danach den Sämaschine ab. Die Streifenfrässaat der Zuckerrüben und des Mais erfolgte bis 1990 mit der Streifenfräse Gaspardo No till 1040, danach bestellte die Streifenfräse Oekosem der Firma Althaus den Mais. Die Direktsämaschine Amazona NT 250 (Abb. 1) bestellte Raps und Getreide bei der Direktsaat. Mais und Zuckerrüben säte in diesem Verfahren die Einzelkornsämaschine Accord Optima ausgerüstet mit einem Nasenschar.

Alle Parzellen waren bis 1995 in Längsrichtung in zwei Hälften unterteilt. Auf der einen Seite blieb das gehäckselte Stroh auf den Parzellen liegen, auf der anderen Seite wurde es abgeführt. Die Versuchsanlage entspricht dem Split-Plot-Design mit vier Wiederholungen. Der Standort Hausweid liess sich dank seiner guten Durchlässigkeit meist unter befriedigenden Bedingungen bearbeiten. Der staunasse Standort Langwiese war wegen seines hohen Tongehaltes meist nur suboptimal, das heisst unter feuchten Bedingungen, bearbeitbar. Es ist zu betonen, dass dieser Standort aufgrund seines Bodens (feinkörnig, kompakt gelagert, staufeucht) und dem herrschenden Klima (1180 mm Jahresniederschlag) eindeutig als Grenzstandort für den Ackerbau einzuordnen ist. Die vierjährige Fruchtfolge «Winterweizen-Mais-Winterweizen-Raps»

Versuchsanlage

Verfahren, Bodeneigenschaften und Fruchtfolge

Auf zwei Standorten stehen an der FAT (Tab. 1) fünf verschiedene Bodenbearbeitungsverfahren einander gegenüber. Den Verfahren liegen folgende Geräte für die Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung zu Grunde:

1. Pflug, 1 x Zinkenrotor
2. Parapflug, 1 x Zinkenrotor
3. Schichtengrubber, 1 x Zinkenrotor
4. Frässaat
5. Direktsaat



Abb. 2. Der Pflug lässt sich «kochbuchartig» einsetzen. Er lockert den Oberboden intensiv, vergräbt Ernterückstände und Beikräuter, so dass er in der Regel eine problemlose Bestellung ermöglicht. Leider schneidet er in bezug auf die Umweltaspekte weniger positiv ab.



Abb. 3. Der Zinkenrotor eignet sich sowohl für den Einsatz mit (links) oder ohne (rechts) vorhergehende Bodenbearbeitung. Dieses Gerät bereitete in den vorgestellten Versuchen ausser bei der Direktsaat alle Saatbetten.



Abb. 4. Der Schichtengrubber (links) und der Parapflug (rechts) lockern den Boden ohne zu wenden. Dies schont Regenwürmer und Bodenstruktur. Eine gute Lockerungswirkung erzielen diese Geräte nur unter trockenen Bedingungen.

gestaltet den Anbau. 1990 standen Zuckerrüben statt Raps, und 1993 ersetzte wegen des extrem nassen Herbstes der Sommer- den Winterweizen. Die Düngung erfolgte einheitlich auf allen Parzellen entsprechend den Düngungsrichtlinien (Walther et al. 1987). Die erste Stickstoffgabe wurde jeweils früh verabreicht. Das Ziel war es, die pfluglosen Verfahren nicht wegen ihrer trägeren Stickstoffmineralisierung zu benachteiligen. Aufgrund der fehlenden Grundlagen für die Bemessung der Stickstoffdüngung reduzierter Bodenbearbeitungsverfahren erfolgte diese bei allen Verfahren gleich.

Anbaueigenschaften und Beikraut

Pflug ermöglicht einfache Saat

Der Pflug lockert den Boden und vergräbt Ernterückstände sowie Beikraut. Bezüglich der Bestelltechnik stellt dieses Verfahren klar die kleinsten Anforderungen. Der «reine Tisch» ermöglicht eine verstopfungsfreie, problemlose Saatbettbereitung und Saat. Die gepflügten Parzellen trocknen oberflächlich immer am schnellsten ab: Die fehlende Bedeckung mit Ernterückständen und die stark vergrösserte Bodenoberfläche beschleunigen diesen Prozess. Dieser Effekt ist besonders auf dem schweren Boden Langwiese von Vorteil. Direktsaat- und Frässaatparzellen trocknen dagegen immer am

langsamsten ab. Sie erfordern in der Regel eine längere Abtrocknungsperiode bis zur Bestellung. Dies ist besonders bei schwierigen Witterungsbedingungen von Nachteil. Auf dem Standort Langwiese war die Folge, dass auf den gepflügten Parzellen die Saat häufig unter befriedigenden Bedingungen erfolgen konnte, auf den anderen Parzellen hingegen der Boden oft noch zu feucht war. Dies ist mit ein Grund, weshalb auf diesem Standort der Pflug die besten Bestandesdichten erzielte. Strohbedeckungen verzögern neben der Abtrocknung ebenfalls die Erwärmung der Böden. Arbeiten der Universität IOWA (Hoffman 1996) empfehlen daher, schwere Böden flach bzw. streifenförmig zu bearbeiten, um die Jugendentwicklung der Kulturen zu begünstigen.

Bezüglich der Saattechnik ist festzuhalten, dass das verwendete Schei-

Tabelle 2. Bedeckung der Beikrautflora auf den beiden Standorten während drei Erhebungszeitpunkten

		Diverse				Gräser					Kräuter					Leg.				
		Bedeckung tot	Ausfalltraps	Winterweizen	Ackerschachtelhalm	Raigräser	Rispengräser	Quecke	Hirsens	Div. Gräser	Winden	Blacken, Disteln,	Nachtschatten	Knoterich,	Ehrenpreis	Vogelmiere	Hirtentäschel,	Melden	Diverse Kräuter	Rot und Weissklee
Hausweid																				
20.05.92 vor Mais	Pflug	0	0	0.3	0	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0	1.3	0	0	0	0	0
	Schichtengr.	8.8	0	43.0	0	3.0	26.0	0	0	0	1.3	0	0	16.0	0	0.5	0	0	0	
	Direktsaat	18.8	0	24.0	0	13.0	26.5	0	0	3.8	2.5	0	0	3.5	0	4.0	1.3	0	0	
12.08.94 nach Raps	Pflug	- 20.0	0	0	0	0.3	12.5	1.5	3.5	0	4.8	6.8	0	0.3	4.5	6.7	11.5	0	0	
	Schichtengr.	- 16.8	0	0	0	0.3	22.5	0.8	4.8	0	4.3	5.7	0	0.1	6.0	4.0	7.8	0	0	
	Direktsaat	- 12.5	0	0	0	0	15.8	10.5	19.3	0	0.6	9.8	0	0.1	2.4	4.5	4.0	0	0	
19.03.97 in Weizen	Pflug	1.3	0	70.0	0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0	1.8	0	1.0	0	0	0	
	Schichtengr.	12.5	0	70.0	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0	2.3	0	1.0	0	0	0	
	Direktsaat	40.0	0	56.3	0	1.3	1.8	0.3	0	0	0.5	0	0	0.3	0	1.0	0.3	0	0	
Langwiese																				
20.05.92 vor Mais	Pflug	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	1.3	0	13.0	0.8	0	0	0	0	0	
	Schichtengr.	23.0	0	33.0	0	0	0.8	0	0	0	0	0	26.0	0	0	2.3	0	0	0	
	Direktsaat	25.0	0	19.0	0	18.0	26.8	0	0	0.5	3.0	0	3.0	0	0	0	0	0	0	
12.08.94 nach Raps	Pflug	- 11.3	0	2.5	1.4	2.7	0.3	16.3	0	0.1	19.5	0	0	0	8.6	0	0	0	0	
	Schichtengr.	- 10.2	0	7.5	5.0	3.0	1.3	13.8	0	0	14.5	0	0	0	8.4	0.3	0	0	0	
	Direktsaat	- 2.1	0	10.0	30.3	1.8	8.5	36.3	0	0.3	2.2	0	0	0	2.2	0	0	0	0	
02.04.1997 in Weizen	Pflug	0	0	72.0	0	0	1.3	0	0	0	0	0	1.8	1.0	0	0.8	0	0	0	
	Schichtengr.	4.0	0	71.0	0	3.0	2.8	0	0	0	0	0	4.5	1.3	0	2.1	0	0	0	
	Direktsaat	29.0	0	25.0	0	15.5	11.3	1.5	0	0	0	0	1.8	0.5	0	1.0	0.3	0	0	

benschar (Amazone) auch beim Vorhandensein von viel Ernterückständen im Saatbett eine gute Saatgutablage ermöglichte.

Tabelle 3. K-Werte (cm/h) der Wasserinfiltration gemessen am 01.06.94 mit Standinfiltrometern. Die Berechnungen erfolgten nach Musy und Soutter (1991). Die Werte unterscheiden sich statistisch signifikant, ausser die Werte von Schichtengrubber und Direktsaat auf dem Standort Hausweid

	Hausweid	Langwiese
Pflug	23,3 cm/h	56,6 cm/h
Schichtengrubber	2,6 cm/h	0,97 cm/h
Direktsaat	1,6 cm/h	0,2 cm/h

Beikraut lässt sich unter Kontrolle halten

Selbst nach zehn Jahren sind in keinem Verfahren unlösbare Beikrautprobleme aufgetreten. Der stärkste Beikrautdruck, ausgeübt durch Rispens- und Raigräser, herrscht immer in den Direktsaatparzellen (Tab. 2). Wenn zwischen der Ernte der Vorkultur und der Bestellung der Nachkultur genügend Zeit verbleibt, erfolgt eine Behandlung mit einem nicht selektiven Herbizid (Glyphosate). Auf zehn Versuchsjahre erfolgten bei der Direktsaat sechs Behandlungen mit Glyphosate. Keine Behandlung fand vor Winterweizen, nach Mais oder nach Rüben statt. Spezifische Gräserherbizide sorgen bei der Direktsaat praktisch in allen Kulturen im Nachauflauf für eine ausreichende Regulierung der Gräser, was in den anderen Verfahren nicht immer notwendig ist. Die Bodenbearbeitung

wirkt auch als mechanische Unkrautbekämpfung.

Umstritten ist nach wie vor, ob bei Minimalbodenbearbeitungsverfahren mehr oder weniger Herbizide ausgewaschen werden. Die erhöhte Bindung der Herbizide an das organische Material steht einer erhöhten Auswaschungsfahrer wegen der vermehrt vorhandenen, vertikal verlaufenden Grobporen, by-pass flow genannt, gegenüber. Düring et al. (1995) ziehen den Schluss, dass die Gefahr einer Herbizidauswaschung bei Direktsaat stark von den Niederschlagsbedingungen abhängig ist. Starke Niederschläge kurz nach dem Ausbringen der Pflanzenschutzmittel können bei Direktsaat eine erhöhte Auswaschung zur Folge haben.

Bodeneigenschaften

Fahrspuren – Hauptproblem der Direktsaat

Die eingesetzten Verfahren lockern den Boden entsprechend der folgenden Reihenfolge unterschiedlich intensiv: Pflug > Schichtengrubber > Parapflug > Frässaat > Direktsaat. Das Porenvolumen, gemessen auf dem Standort Langwiese, widerspiegelt diese Tatsache (Abb. 5). Der Pflug weist bis 20 cm das höchste und die Direktsaat das kleinste Grobporenvolumen auf. Der Pflug lockert den Oberboden sehr intensiv, währenddem die Direktsaat eventuelle Oberbodenverdichtungen nicht lockert.

Im Horizont zwischen 25 cm und 30 cm weist der Schichtengrubber das grösste Grobporenvolumen auf. Im Gegensatz zu den beiden anderen Verfahren lag diese Tiefe beim Schichtengrubber noch im Bearbeitungs-horizont, was das höhere Porenvolumen erklärt.

Erntearbeiten wie bei Silomais oder Zuckerrüben, welche die Flächen sehr stark beanspruchen, führen bei feuchten Bodenverhältnissen auch nach langjähriger Direktsaat zu Oberbodenverdichtungen. Auf dem Standort Langwiese führt dies teilweise zu Staunässe in den Saatschlitzten, was bei hohen Regenmengen kurz nach der Saat das Auflaufen der Pflanzen stark beeinträchtigt. Auf dem Standort Hausweid wirkt sich dieses Problem weniger drastisch aus. Caneill und Bodet (1991) weisen ebenfalls nach, dass die Direktsaat im Vergleich zu anderen Verfahren nur ebenbürtige Erträge bringt, wenn die Böden nicht verdichtet sind.

Blauinfiltration zeigt Pflugsohle

Die unterschiedliche Bearbeitung prägt die Ausformung des Porenraumes der Böden. Dieser lässt sich mit der Blauinfiltration visualisieren. Bei diesem Verfahren versickern 40 l pro m², mit Spritzkannen aufgesprühtes, blau gefärbtes Wasser (Lebensmittelfarbstoff Vitasynblau 3 g/l) in den Boden. Das anschliessende Aufgraben von je vier Bodenprofilen zeigt, durch

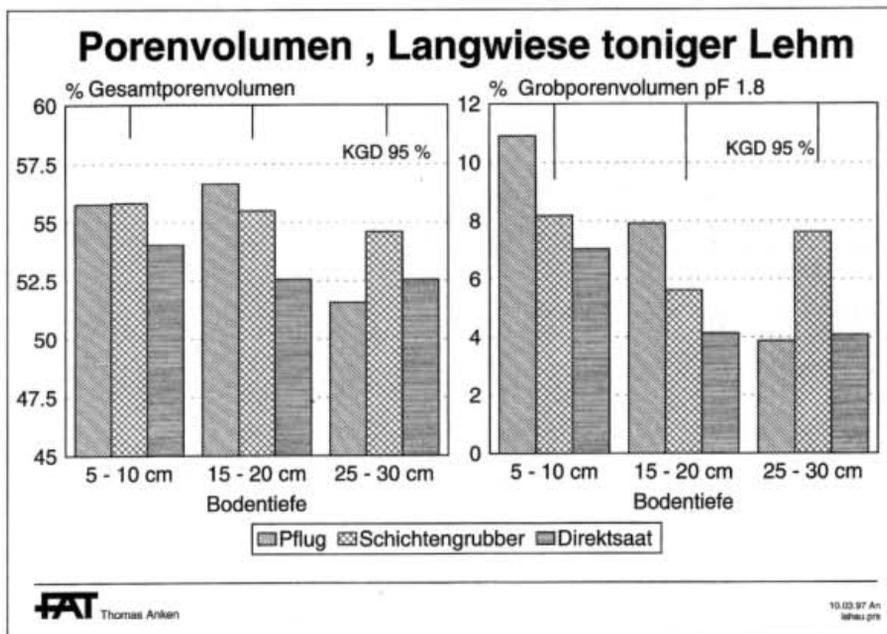


Abb. 5. Gesamt- und Grobporenvolumen dreier verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf dem Standort Langwiese.

welche vertikalen Poren die Farbe versickert ist (Abb. 6). Fotografien halten diese Resultate fest. Nach dem Einscannen der Fotografien sind diese auch für den Computer interpretierbar. Eine eigens an der FAT entwickelte Software berechnet den prozentualen Anteil der blau gefärbten Flächen, bezogen auf die gesamte Fläche der Fotografie (Abb. 7). Pflug und Schichtengrubber weisen auf beiden Standorten bis 25 cm Tiefe die flächenmässig grösste Färbung

des Profils auf. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Bearbeitung eine schwammähnliche Struktur schafft, welche das Wasser aufsaugt. Bei der Direktsaat fliesst das Wasser grösstenteils durch Regenwurm- und Wurzelgänge sowie Bodenrisse ab. Deshalb besitzt die Direktsaat bezogen auf die gesamte Fläche im Oberboden den kleinsten Blauanteil. Dies zeigt auch, dass die Direktsaat in der obersten Bodenschicht relativ kompakte Aggregate aufweist, welche nur eine sehr



Abb. 6. Bei der Blauinfiltration zeigt nach dem Versickern von 40 l Lebensmittelfarbstoff/m² das Aufgraben eines vertikalen Bodenprofils, durch welche Poren der Farbstoff versickert ist.

beschränkte Durchlässigkeit besitzen. Der Wasserfluss verläuft in diesem Verfahren sehr gleichmässig in die Tiefe, weil die leitenden Gröbstporen des Oberbodens kontinuierlich verlaufen. Bei Pflug und Schichtgrubber ist auf beiden Standorten die Bearbeitungssohle (Pflugsohle) zwischen 20 cm und 30 cm Tiefe durch eine starke Abnahme des Blauanteils feststellbar. Beim Pflug ist dies stärker ausgeprägt als beim Schichtgrubber. Dies ist sicherlich auf das in der Pflugfurche fahrende Traktorrad zurückzuführen. Der Standort Hausweid erzielte eine signifikant stärkere Blaufärbung als der Standort Langwiese. Dies belegt das bessere Infiltrationsvermögen des Standortes Hausweid im Vergleich zur Langwiese.

Im Gegensatz zu vielen internationalen Publikationen liess sich für die Direktsaaten keine bessere Infiltration nachweisen. Insbesondere nach Erntearbeiten bei feuchten Bodenverhältnissen bleibt das Wasser in den Fahrspuren bei der Direktsaat liegen. Dies hatte 1997 zur Folge, dass in den Fahrspuren der Direktsaat auf der Langwiese praktisch kein Winterweizen aufgelaufen ist und auf dem Standort Hausweid die Fahrspuren durch Wachstumsrückstände und Vergilbungen klar ersichtlich sind. Schon bei der Frässaat, welche nur die obersten 8 cm lockert, tritt dieses Problem viel weniger stark auf. Messungen mit Standinfiltrometern (16 Wiederholungen pro Verfahren) unterstreichen diesen Punkt (Tab. 3). Der Pflug weist bei diesen Messungen mit Abstand die schnellste Infiltration auf. Dies stammt daher, dass dieser den Oberboden sehr intensiv lockert und die Infiltrometer nur zirka 13 cm in den Boden gerammt sind. Nach 13 cm kann also das Wasser nach dem Verlassen des Infiltrometerrohres seitlich wegfließen, was bei lockeren, gepflügten Böden verstärkt geschieht. Die Pflugsohle beeinflusst also diese Messung nicht. Die Werte streuen in allen Verfahren sehr stark. Besonders bei Messungen in der Direktsaat ist die Infiltrationsleistung extrem davon abhängig, ob sich ein Regenwurmgang im Innern des Infiltrationsrohres mit 12 cm Durchmesser befindet oder nicht. Weisskopf et al. (1995) haben unter schweizerischen Verhältnissen ebenfalls eine reduzierte Infiltration in Parzellen mit reduzierter Bearbeitung gemessen.

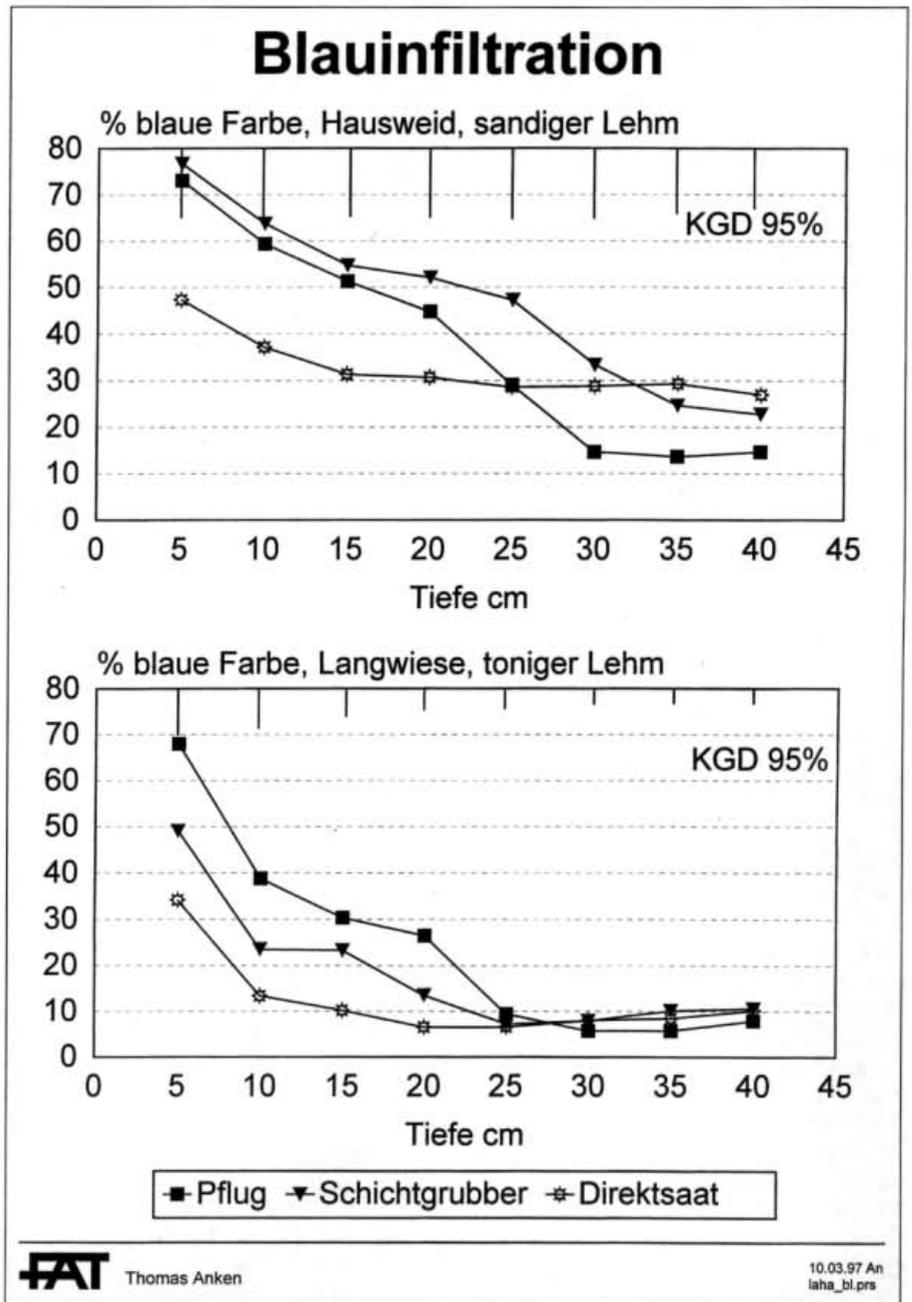


Abb. 7. Blauinfiltration: Prozent blau gefärbte Fläche in Funktion der Tiefe der Bodenprofile bei drei verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren auf zwei Standorten.

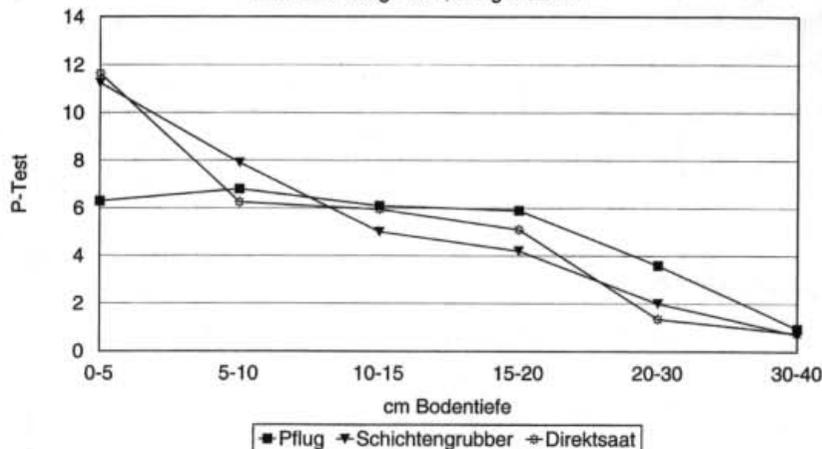
Phosphor und Humusanreicherung im obersten Horizont

Wer auf eine wendende oder mischende Bodenbearbeitung verzichtet, der reichert Phosphor, Kali und Humus im obersten Bodenhorizont (0 bis 5 cm) an (Abb. 8). Dies sind wenig mobile Stoffe, die in der oberflächlichen Bodenschicht bleiben, wenn sie nicht eingearbeitet werden. Diese Tatsache bestätigen zahlreiche Autoren wie Mail-

lard et al. (1994). Dies führte während der Versuche zu keinerlei Beeinträchtigungen. Sichtbarer Phosphor- oder Kalimangel trat auch bei der Direktsaat nie auf. Die Anreicherung nahe an der Bodenoberfläche könnte theoretisch das Risiko einer Nährstoffabwaschung der an die Feinerde gebundenen Nährstoffe erhöhen. Die stark erosionshemmende Wirkung dieser Anbauverfahren wirkt dem aber entgegen.

Phosphor Testzahl auf verschiedenen Tiefen

Standort Langwiese, toniger Lehm



FAT Thomas Anken

10.03.97 An lahou.prs

Abb. 8. Phosphorverteilung (P-Testzahl) dreier Bodenbearbeitungsverfahren in Funktion der Bodentiefe auf dem Standort Langwiese.

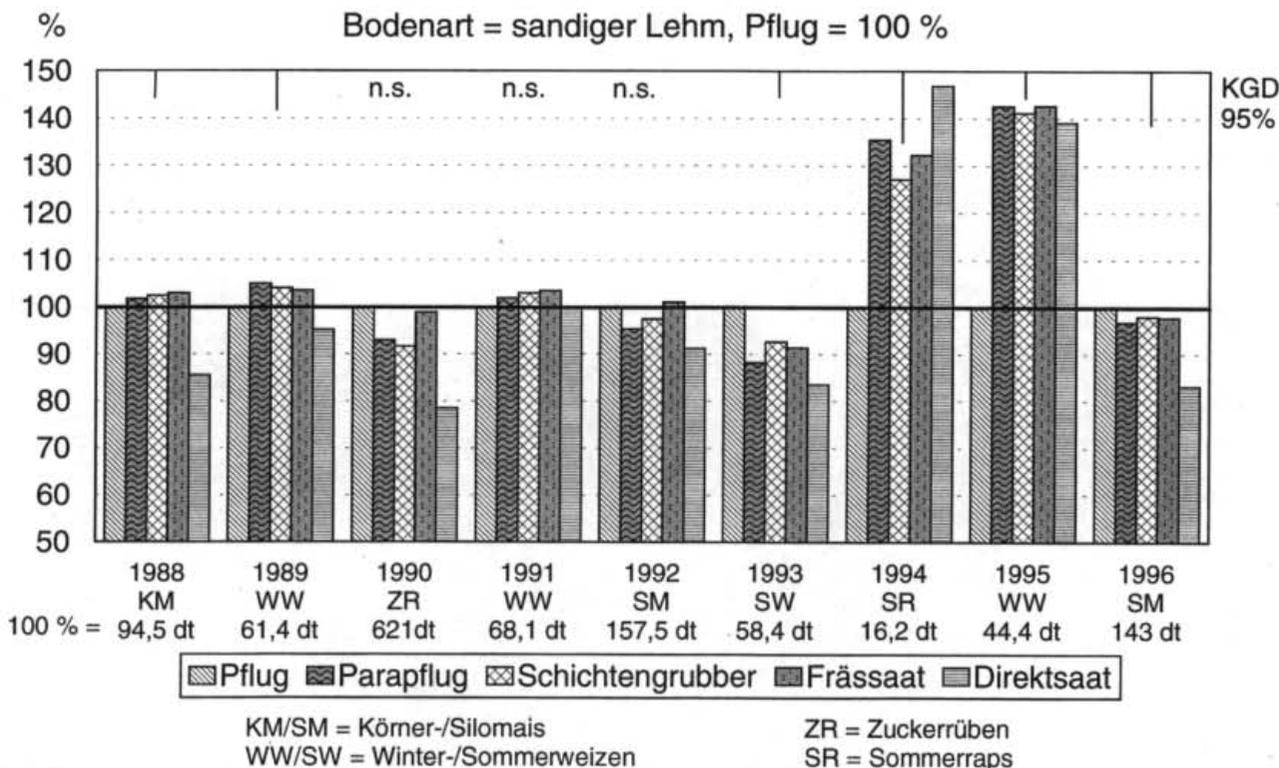
Erträge und Bestandesdichte

Gute Erträge der Frässaat auf mittelschwerem Boden

Die Frässaat erzielte auf dem Standort Hausweid im Vergleich zu den anderen Verfahren sehr gute Erträge (Abb. 9). Im Mittel von 1988 bis 1996 weist die Frässaat bezogen auf den Pflug einen Ertrag von 108%, Direktsaat 100%, Schichtengrubber und Parapflug jeweils 107% auf. 1995 führte der Halmbruchbefall nur beim Pflug zu starkem Lagergetreide, was einen deutlichen Minderertrag zur Folge hatte, 1994 erzielte der Sommerraps auf den gepflügten Parzellen aus schwer erklär-baren Gründen extreme Mindererträge. Der Sommerraps litt während der Trockenperiode im Frühsommer am

Erträge Hausweid 1988 - 1996

Bodenart = sandiger Lehm, Pflug = 100 %



FAT Thomas Anken

10.03.97 An lahou.prs

Abb. 9. Prozentuale Erträge von 1988 bis 1996 verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf dem Standort Hausweid (Pflug = 100%).

meisten auf den gepflügten Parzellen unter Wassermangel. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass sich die Pflugsohle beim Sommerraps negativ auf die Wasserversorgung auswirkte. Für den Standort Hausweid lässt sich eindeutig aussagen, dass eine Reduktion der Bodenbearbeitung zu keinen Ertragsausfällen führt. Dies belegt die Frässaat mit dem höchsten Durchschnittsertrag.

Die Unterteilung der Parzellen in zwei Hälften, wobei auf der einen das Stroh gehäckselt liegen bleibt und auf der anderen das Stroh abgeführt wird, zeigt während zwei Jahren (1989 und 1990) signifikante Unterschiede zugunsten des Verfahrens mit Stroh. Ansonsten ist kein eindeutiger Einfluss der Strohbedeckung auf den Ertrag festzustellen. Durch feines Häckseln und gute Strohverteilung liessen sich auf diesem Standort negative Auswirkungen der Strohbedeckung weitgehend ausschalten.

Positive Erträge mit pfluglosen Verfahren sind auch in der internationalen Literatur sehr zahlreich zu finden (zum Beispiel Maillard und Vez 1993, Tebrünge und Böhrnsen 1995). Interessanterweise ist zurzeit in Frankreich ein sehr starker Trend in Richtung flache Bodenbearbeitung feststellbar, was sich mit den guten Ergebnissen der Frässaat deckt (Lajoux 1997).

Auf staunassen Boden bringt Pflug die besten Erträge

Auf dem schweren und staunassen Boden der Langwiese erzielte der Pflug, abgesehen von einigen Ausnahmen, immer das beste Ergebnis (Abb. 10). In bezug auf den Pflug erzielte die Direktsaat in der Periode von 1988 bis 1996 einen Ertrag von 84%, Frässaat 87%, Schichtengrubber und Parapflug jeweils zirka 93%. Parallel zum höchsten Ertrag wies der Pflug auch die

höchsten Bestandesdichten auf. Unter diesen Standortverhältnissen erzielte der Pflug das beste Ergebnis, weil er die schnellste Abtrocknung des Bodens ermöglichte und sich die Saat meist unter den besten Bedingungen durchführen liess. Schichtengrubber und Parapflug wiederum brachten eine Verbesserung gegenüber Fräs- und Direktsaat. Das Bearbeiten schwerer Böden vergrößert die Bodenoberfläche und erhöht dadurch die Verdunstung, was für die Saat und das Auflaufen von Vorteil ist. Staunässe und schwere Bearbeitbarkeit, die häufig extrem grobe Saatbetten zur Folge hatten, waren auf diesem Standort sicher die begrenzenden Faktoren. Die Ertragsunterschiede der Parzellen mit und ohne Stroh zeigen auf diesem Standort eine leichte, aber einheitliche Tendenz zugunsten der Variante ohne Stroh. Diese ist während der Jahre 1990, 1992 und 1993 statistisch gesichert. Im Durchschnitt der Jahre

Erträge Langwiese 1988 - 1996

Bodenart = toniger Lehm, Pflug = 100 %

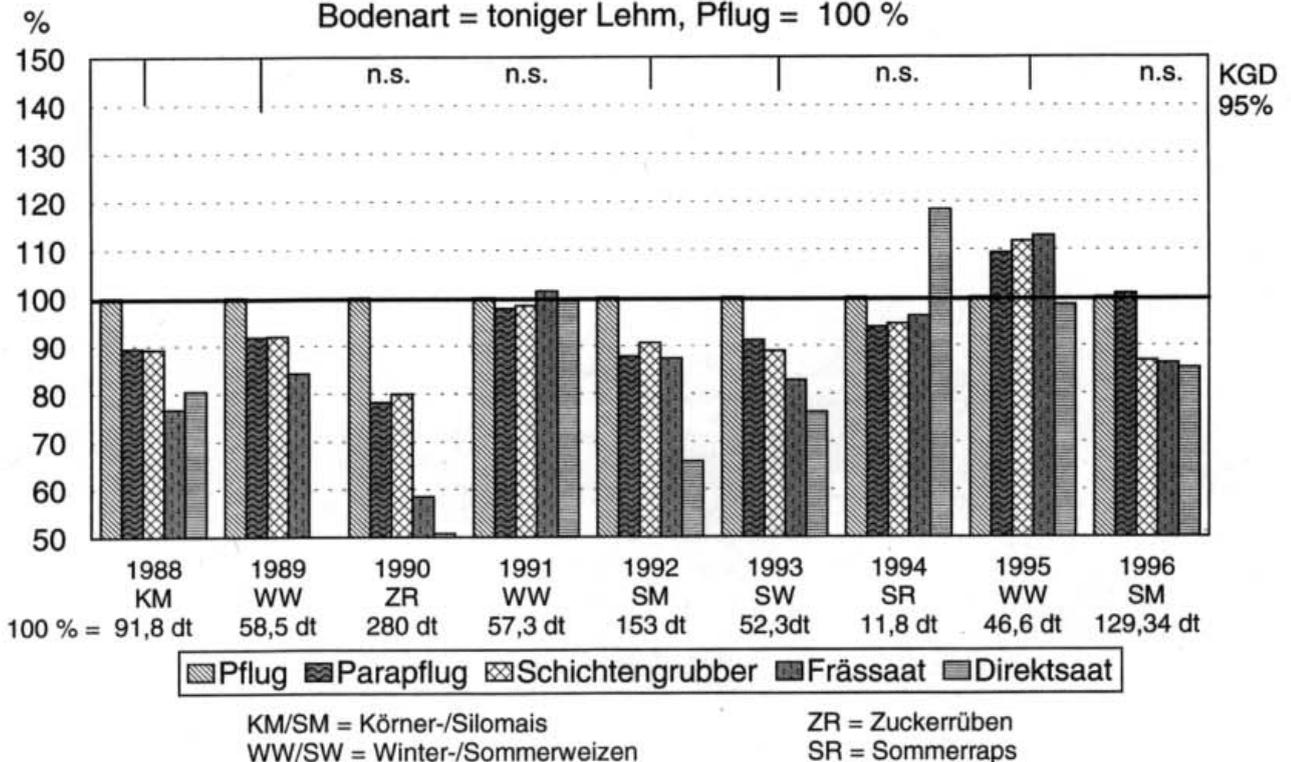


Abb. 10. Prozentuale Erträge von 1988 bis 1996 verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf dem Standort Langwiese (Pflug = 100%).

schneidet das Verfahren ohne Stroh 2,8% besser als die Variante mit Stroh ab. Dieser Unterschied ist nur schwer erklärbar. Die Strohbdeckung hat einerseits eine gute Unkrautunterdrückung zur Folge, andererseits verzögert sie aber auch das Abtrocknen und Erwärmen der Böden. In der Literatur werden auch Substanzen wie Phenole oder Säuren, die durch den Strohabbau freigesetzt werden und das Wachstum der Keimlinge beeinträchtigen können, häufig zitiert. Deren Effekte sind aber nach wie vor sehr umstritten.

Pfluglos hat tiefere Bestandesdichte

Der Pflug weist meistens die höchsten Bestandesdichten auf (Abb. 11). Bezogen auf den Pflug erzielte der Schichtengrubber auf der Langwiese eine Bestandesdichte von 97%, die Direktsaat 79%. Auf dem Standort Hausweid erzielte der Schichtengrubber 98%, die Direktsaat 86%. Die Gründe dafür liegen sicherlich, wie schon erwähnt, bei der schnelleren Abtrocknung und Erwärmung und der präziseren Saatgutablage, welche nicht durch Ernterückstände beeinträchtigt wird. Dies wirkte sich insbesondere stark auf dem Standort Langwiese aus. Dessen Saatbetten fielen zum Teil extrem grob aus, was auch die zum Teil tiefen Bestandesdichten erklärt. Beim Mais sorgten 1996 zudem die Schnecken bei den Mulchsaatverfahren für sehr tiefe Bestandesdichten.

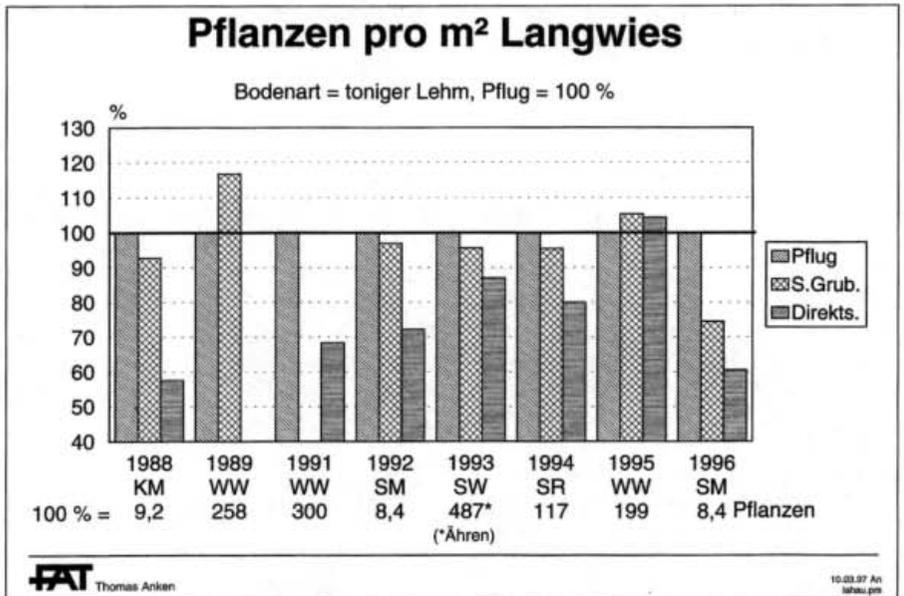
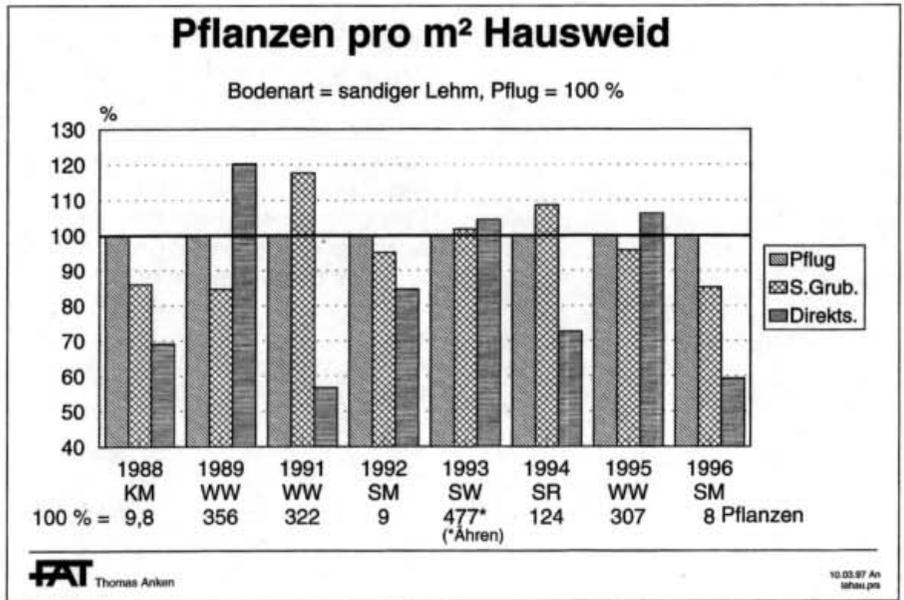


Abb. 11. Pflanzen pro m² von 1988 bis 1996 verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf zwei Standorten.

Nutz- und Schadorganismen

Bodenbearbeitung stört Regenwürmer

Die Biomasse und die Anzahl der Regenwürmer (Abb. 12) ist in den Direktsaatparzellen am höchsten und beim Pflug am geringsten. Der Schichtengrubber nimmt eine Mittelstellung ein. Eine Bodenbearbeitung scheint die Regenwürmer erheblich zu beeinträchtigen, weil diese die für die Würmer wichtigen Gänge, welche mehrere Jahre im Boden bestehen bleiben, öfters zerstört. Zusätzlich töten und verletzen Bodenbearbeitungsmassnahmen Regenwürmer. Zahlreiche Publikationen bestätigen diese Resultate (Francis und Knight 1993, Böhrnsen und Tebrügge 1995).

Am meisten Mykorrhiza in der Direktsaat

Mykorrhiza-Pilze gehen mit ihren Wirtspflanzen eine Symbiose ein. Der Pilz erhält von der Pflanze Kohlenhydrate und gibt dafür mineralische Nährstoffe ab. Erste Untersuchungen bezüglich der Kolonisation von Maispflanzen durch Mykorrhiza-Pilze haben Mozafar et al. (1997) durchgeführt. 1996 infizierten die Pilze am meisten

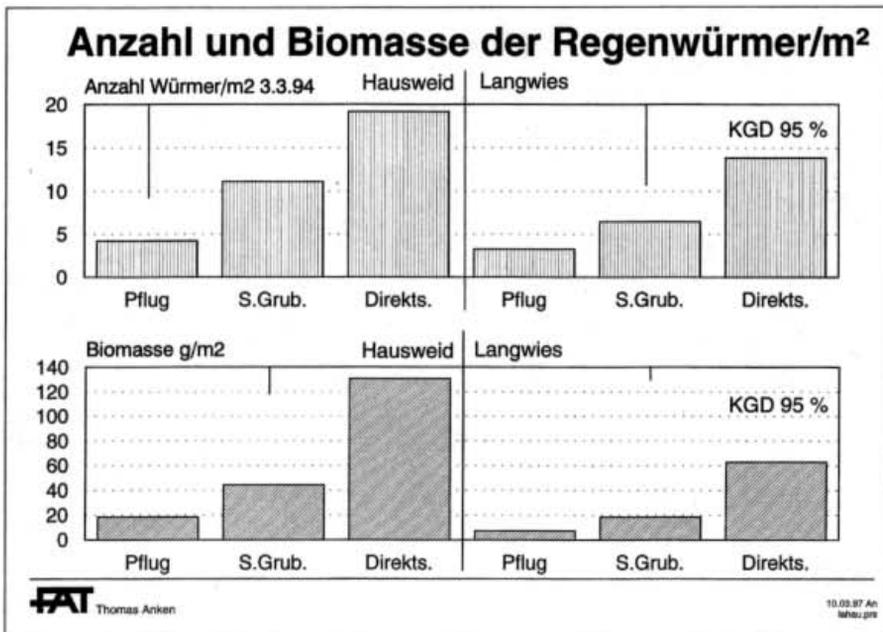


Abb. 12. Anzahl und Biomasse der Regenwürmer pro m² verschiedener Bodenbearbeitungssysteme auf zwei Standorten.

Maispflanzen in der Direktsaat, gefolgt von Schichtengrubber und Pflug (Abb. 13).

Bei der Direktsaat wurzeln die Pflanzen mit grosser Konstanz häufig durch die selben Grobporen, welche nicht jedes Jahr durch die Bodenbearbeitung zerstört werden. Neue Grobporen entstehen lediglich durch die Arbeit der Regenwürmer und anderer Bodentiere, Quellen und Schrumpfen des Bodens, Frosteinwirkung und Wurzelaktivität. Der Gefügeaufbau verändert sich im Verlaufe der Jahre also relativ wenig. Im Gegensatz dazu schafft der Pflug durch seinen intensiven Eingriff jedes Jahr ein neues Grobporengefüge in der Bearbeitungsschicht. Die Pilze können sich also nicht ungestört entwickeln. Der Schichtengrubber nimmt wiederum eine Mittelstellung ein. Einerseits wendet dieser den Boden nicht, andererseits schafft er durch seine Einwirkung ebenfalls beträchtlich neuen Porenraum.

Wenig Bearbeitung schont Schnecken

1994 musste trotz Bekämpfung mit Schneckenkorn der Sommerraps den Winterraps ersetzen. Die Schnecken verursachten auf den Direktsaatparzellen einen Totalschaden beim Winterraps, bei der Frässaat resultierte ebenfalls eine sehr schlechte Bestan-

desdichte. Beim Pflug wäre der Schaden noch tolerierbar gewesen. 1996 reduzierten die Schnecken den Mais-Pflanzenbestand ebenfalls auf Fräs- und Direktsaat am stärksten (Abb. 14). Högger (1996) hat dies für den Standort Langwiese mit Erhebungen des Schneckenbefalles am Mais belegt. Praktisch alle Jahre ist zu beobachten, dass eine sinkende Intensität der

Bodenbearbeitung einen erhöhten Schneckenbefall bewirkt. Diese Tatsache bestätigen Berichte aus den USA (Smith 1994), Frankreich (Hommay 1995) und Deutschland (Lenge 1994). Mit einmaligem Auslegen und Auszählen von Köderplätzen ist momentan noch keine sichere Voraussage eines Schneckenschadens möglich. Besonders bei der Direktsaat verbleibt bei Raps, Zuckerrüben und Mais praktisch nur die präventive Bekämpfung, wenn das Risiko des Schneckenfrasses gering bleiben soll. Das Hauptproblem war dabei, dass der Schneckenschaden schon entstand, bevor die Pflanzen fertig ausgekeimt waren. Eine blinde, vorbeugende Bekämpfung ist aber nicht mit der Integrierten Produktion vereinbar. Es bleibt zu hoffen, dass möglichst bald sichere Erhebungsmethoden in bezug auf Zeitpunkt, Fallentart und Witterung zur Verfügung stehen werden. Bei der Saat von Zuckerrüben und Mais würde das bessere Schliessen der Säschnitze, welches nicht voll befriedigte, sicherlich zu einer Verminderung der Schneckenschäden führen. Mäuse welche durch ganzflächige Bodenbearbeitung massiv gestört werden, können sich bei der Direktsaat stark vermehren und zum Beispiel bei Mais zu empfindlichen Schäden führen. Auf deren Bekämpfung ist deshalb bei der Direktsaat besonders zu achten.

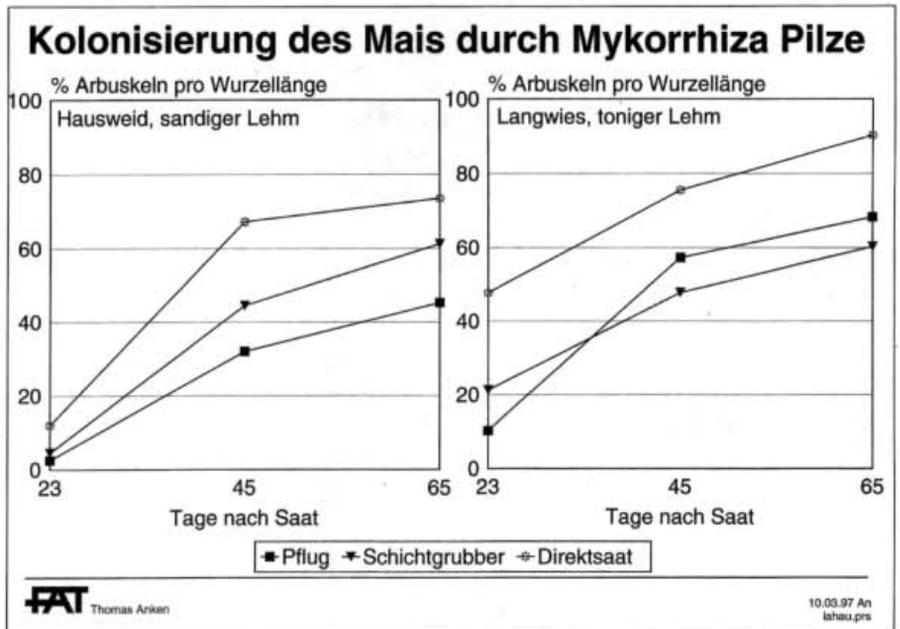


Abb. 13. Kolonisierung des Mais durch Mykorrhiza-Pilze bei verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen auf zwei Standorten.



Abb. 14. 1996 führte starker Schneckenbefall zu einer starken Bestandesreduktion bei der Direktsaat. Generell ist zu beobachten, dass je weniger der Boden bearbeitet wird, desto grösser die Schnechenschäden ausfallen.

Pflug fördert Fusskrankheit

Dreijährige Untersuchungen von 1991, 1993 und 1995 an Winter- und Sommerweizen zeigen den höchsten Halmbruchbefall (Pseudocercospora herpotrichoides) des Weizens in den gepflügten Parzellen. Mit sinkender Bearbeitungsintensität der Grundbodenbearbeitung ist ein abnehmender Befall festzustellen. In Abb. 15 ist der Mittelwert der drei Erhebungsjahre dargestellt.

Erstaunlich ist, dass die Befallsreduktion bei der Direktsaat im Vergleich zum Pflug die Wirkung einer Fungizidbehandlung übersteigt (Forrer 1997). Die Tatsache, dass pfluglose Anbauverfahren eine Verminderung des Halmbruchbefalls zur Folge haben, ist aus der Literatur ebenfalls bekannt. Bräutigam (1994) führt diese Tatsache auf das Auftreten von antagonistischen Mikroorganismen und die erhöhte mikrobielle Aktivität der Böden unter Minimalbodenbearbeitung zurück. Der Pflug scheint die Sporen des Halmbruchs durch deren Vergraben zu konservieren. Durch die folgende Bearbeitung werden die Sporen im folgenden Jahr wieder an die Bodenoberfläche geholt, wo es dann zu neuen Infektionen kommt.

Betriebswirtschaftliche Überlegungen

Tiefe Auslastung verursacht hohe Kosten

Düngung, Schädlings- und Krankheitsbekämpfung verlaufen für die verschiedenen Verfahren der vorliegenden Versuche gleich. Unterschiede im Pflanzenschutz haben sich einzig bei den

Herbiziden ergeben. Bei den pfluglosen Verfahren erfolgte vor Mais und Rüben jeweils eine Behandlung mit einem Totalherbizid (Glyphosate). Bei der Direktsaat erfolgte auf sechs von zehn Jahren eine Spritzung mit einem Totalherbizid. Die variablen Kosten für Spritze und Traktor sowie die Kosten für das Spritzmittel belaufen sich auf zirka Fr. 80.-/ha und Jahr. Zusätzlich kann in den Jahren, in welchen sich ein Totalherbizid nicht einsetzen lässt, der Einsatz von Nachauflauf-Gräserherbiziden bei der Direktsaat ebenfalls zu Mehrkosten von zirka Fr. 50.- bis Fr. 100.- führen. Bei den anderen Verfahren erfolgt jeweils nach Getreide und Raps eine zweimalige Stoppelbearbeitung mit einer Spatenrollegge. Die variablen Kosten für Spatenrollegge und Traktor belaufen sich auf zirka Fr. 40.-/ha, was die Kosten für den Glyphosateinsatz zum Teil kompensiert. So gerechnet verbleiben für die zusätzlichen Kosten der Beikrautregulierung der Direktsaat noch zirka Fr. 50.-/ha und Jahr. Bezüglich der Kosten für die Unkrautbekämpfung sind zwischen den verschiedenen Verfahren also keine grossen Unterschiede feststellbar.

Grössere Unterschiede ergeben sich bei den Maschinenkosten für Bodenbearbeitung und Saat. In Tabelle 4 sind die variablen und die fixen Kosten der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme

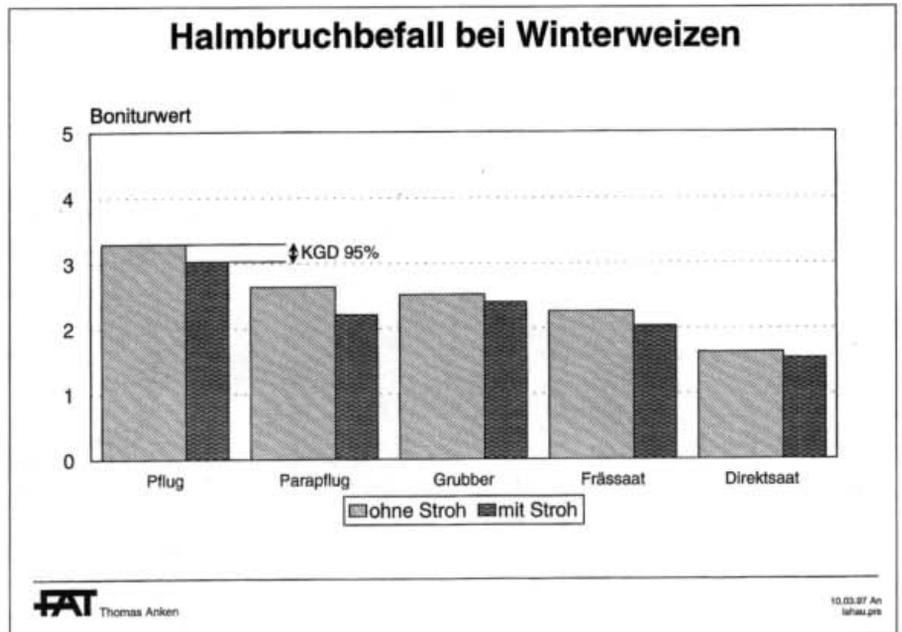


Abb. 15. Halmbruchbefall von Weizen: Mittelwert der Jahre 1991, 1993 und 1995 bei verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen auf beiden Standorten.

Tabelle 4. Maschinenkosten bei gegebener Ackerfläche, Arbeitsbedarf und Anzahl Arbeitsgänge der Bodenbearbeitung

	Grundbodenbearbeitung	Sattbettbereitung Saat	Fixe Kosten ²	Variable Kosten ¹	Totale Kosten Fr./ha bei einer Ackerfläche von		Arbeitszeit Akh/ha	Arbeitsgänge Anzahl
			Fr./Jahr	Fr./ha	20 ha	40 ha		
Eigene Geräte	Pflug 3-Schar	Zinkenrotor 3 m Sämasch. 3 m	5126.-	173.-	429.-	301.-	5,8	3
	Parapflug	ditto	4803.-	153.-	393.-	274.-	5,1	3
	Schichtgrubber	Bestellkombination 3 m	5038.-	67.-	319.-	193.-	1,8	1
	keine	Zinkenrotor 3 m Sämasch. 3 m	3177.-	85.-	244.-	164.-	2,9	2
Lohnunternehmer	keine	Bestellkomb.	-	270.-	270.-	270.-	0,5	1
	keine	Direktsaat	-	200.-	200.-	200.-	0,5	1
	keine	Streifenfrässaar ³	-	460.-	460.-	460.-	0,5	1

1 Variable Kosten = Kosten für Dieselöl, Schmiermittel, Reparaturen ...

2 Fixe Kosten = Kosten für Abschreibung, Zinsen, Unterbringung ...

3 Inkl. Spritze und Düngerstreuer.

steme aufgelistet. Die Aufteilung in variable und fixe Kosten zeigt einerseits jene Kosten, die durch den Einsatz eines Gerätes entstehen (variable Kosten) und andererseits die Kosten für Abschreibung, Zinsen, Unterbringung usw. (fixe Kosten). Die Grunddaten für die Berechnungen stammen von Ammann (1996) und Näf (1996). Es lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- **Variable Kosten:** Wenn wir davon ausgehen, dass auf dem Betrieb eine Eigenmechanisierung vorhanden ist, so fallen einsatzabhängige, variable Kosten zwischen Fr. 67.-/ha (Bestellkombination solo) und Fr. 173.-/ha (Pflug, Zinkenrotor, Sämaschine) an. Der Arbeitszeitbedarf beträgt 1,8 bzw. 5,8 Stunden. Im Vergleich dazu bestellt der Lohnunternehmer eine Hektare für Fr. 200.- mit der Direktsaat oder Fr. 270.- mit der Bestellkombination, der Betriebsleiter benötigt dafür nur 0,5 Arbeitsstunden (Lieferung von Saatgut, Besprechung mit Lohnunternehmer ...). Die Direktsaat durch den Lohnunternehmer verursacht also nur geringe Mehrkosten, spart aber viel Arbeitszeit ein.

- **Fixe Kosten:** Die ungeachtet vom Einsatz anfallenden fixen Kosten (Abschreibung, Zinsen, Gebäudekosten und Feuerversicherung) belasten die konventionellen Verfahren beach-

lich. Bei einer Ackerfläche von 20 ha betragen die variablen und die fixen Kosten zusammen bei der Pflugvariante Fr. 429.-/ha und bei 40 ha Ackerfläche noch Fr. 301.-/ha. Wer auf eine Eigenmechanisierung verzichtet, kann besonders bei kleiner Auslastung beachtliche Kosten einsparen.

- **Einfache Minimalbodenbearbeitung:** Minimalbodenbearbeitung lässt sich auch mit einfachen Geräten bewerkstelligen. Statt den Lohnunternehmer

mer beizuziehen, kann die Saat ohne Grundbodenbearbeitung nach einer Stoppelbearbeitung problemlos mit dem eigenen Zinkenrotor oder Kreisellegge und Sämaschine erfolgen. Bei diesem Verfahren betragen die totalen Kosten bei einer Auslastung von 40 ha Ackerfläche noch Fr. 164.-/ha und sind somit tiefer als beim Lohnunternehmer. Bei derselben Auslastung belaufen sich die Kosten für eine eigene Bestellkombination mit Vorbaugrubber noch auf Fr. 193.-/ha. Der Verzicht auf Besitz und Einsatz des Pfluges spart je nach Auslastung zirka Fr. 150.- bis Fr. 200.-/ha ein.

- Die **Zumietung** von Maschinen, nachbarschaftliche Ausleihe oder der Maschinenring sind vor allem bei kleinen jährlichen Auslastungen kostengünstig, weil keine Fixkosten anfallen (Anken und Ammann 1997). Miete ermöglicht tiefe Kosten pro Hektare, weil im Gegensatz zum Lohnunternehmer keine fremden Arbeits- und Zugkräfte zu berappen sind. Eine Bestellkombination zum Beispiel lässt sich für Fr. 147.-/ha mieten. Zu berücksichtigen bleibt aber die Verfügbarkeit.

Die Direktsaat besitzt wegen der grossen Flächenleistung das grösste Sparpotential. Es ist ohne weiteres möglich, mit einer einzigen Direktsämaschine mehrere hundert Hektaren pro Jahr zu säen. Dies bewirkt im Vergleich zu den anderen Verfahren grosse Kostensenkungen.

Für die betriebswirtschaftliche Betrachtung bleibt das Ertragsrisiko ein



Abb. 16. Der Halmbruchbefall der gepflügten Parzellen ist 1995 stark erhöht ausgefallen, was zur deren Lagerung (vorne im Bild) führte.

wichtiger Beurteilungsfaktor. In diesem Punkt zeigt sich kein einheitliches Bild. Auf dem Standort Langwiese schneiden die pfluglosen Verfahren generell schlechter ab, auf dem Standort Hausweid eher besser. Unter Berücksichtigung, dass der Pflug versuchsbedingt 1994 und 1995 extrem schlecht abschnitt, ist davon auszugehen, dass die pfluglosen Verfahren mit dem Pflug auf dem Standort Hausweid ebenbürtig abschneiden. In der Praxis zeigt sich ebenfalls, dass bei günstigen Bodenverhältnissen und gutem Management die pfluglosen Verfahren dem Pflug nicht nachstehen. Verschiedenste Probleme können aber Ertragsausfälle von über 10% zur Folge haben, was den Kostenvorteil der pfluglosen Verfahren zunichte macht (10% von 60 dt Weizen = zirka Fr. 450.-). Nicht kalkuliert sind dabei die positiven Auswirkungen der pfluglosen Verfahren auf Bodenstruktur und Umwelt.

Tabelle 5. Beurteilung verschiedener Bodenbearbeitungssysteme hinsichtlich ihrer agronomischen und umweltmässigen Eigenschaften

		Pflug	Pfluglos flache Lok- kerung	Direkt- saat
Anbau- technik	Anforderungen an Sätechnik			
	Mehraufwand Unkrautbekämpfung			
	Schneckenrisiko			
	Mäuserisiko			
	Fusskrankheitsrisiko			
	Verursachen neuer Verdichtungen			
	Probleme bei vorhandenen Verd.			
	Gefahr von Ertragseinbussen			
	Arbeitszeitbedarf			
	Anforderungen an Betriebsleiter			
	Kosten			
Oekolo- gische Aspekte	Risiko Bodenabtrag			
	Abschwemmung Nährst./Pestizide			
	Auswaschung Nitrat	?? ¹	?? ¹	?? ¹
	Auswaschung Pestizide	?? ²	?? ²	?? ²
	Verminderung Regenwürmer			
	Störung Mykorrhiza			
	Störung des Bodengefüges			
	Energiebedarf			
	Ammoniakemission durch Hofdüng.	3	3	

gering	
mittel	
hoch	

¹ Nitrat wird bei Direktsaat vermutlich weniger ausgewaschen, weil Hauptwasser über durchgehende Grobporen abfließt.
² Nach diversen Resultaten bei Direktsaat eher geringer. Es besteht aber die Gefahr von Auswaschung bei starken Niederschlägen und kurz vorher ausgebrachten Hilfsstoffen.
³ Gering, wenn Versickerung der Gülle durch Bodenbearbeitung gefördert wird.

FAT Thomas Anken 10.03.97 An
syn_taha.xls

Schlussfolgerungen

In Tabelle 5 ist eine Übersicht der Eigenschaften der drei zentralen Bodenbearbeitungsverfahren dargestellt. Auffallend ist, dass der Pflug in bezug auf die anbautechnischen Eigenschaften mehrheitlich am besten abschneidet, die Direktsaat hingegen am meisten Vorzüge hinsichtlich der Umweltaspekte aufweist. Die pfluglosen

Bodenbearbeitungsverfahren nehmen jeweils eine Mittelstellung ein. Die Versuche in Tänikon haben gezeigt, dass sich pfluglose Verfahren auch langjährig mit Erfolg einsetzen lassen. Ihre Grenzen erreichten diese Verfahren auf dem staunassen, schweren Boden, wo der Pflug bezüglich Ertrag am besten abschnitt. Auf dem Standort Hausweid mit einem durchlässigen, sandigen Lehm erzielte die Frässaat den besten Durchschnittsertrag. Die Verfahren mit stark reduzierter Bearbeitung haben heute einen hohen tech-

nischen Stand erreicht. Details lassen sich sicherlich noch verbessern. Die grössere Herausforderung stellt aber das korrekte Management dieser Verfahren dar. Schnecken, Mäuse und Unkräuter stellen höhere Anforderungen an die Bekämpfung. Das Weglassen der aufwendigen Grundbodenbearbeitung führt bei günstigen Bodenverhältnissen zu keinerlei Ertragseinbussen. Dies ermöglicht klare Kosteneinsparungen, schont die Umwelt und verbessert die Bodenstruktur.

Literatur

- Anken T. und Ammann H., 1997. Kosten sparen bei der Bodenbearbeitung. *Landfreund* 13, 50–53.
- Ammann H., 1996. Maschinenkosten 1997. FAT-Berichte Nr. 485, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon.
- Böhrnsen A. und Tebrügge F., 1995. Pflugverzicht: ökologische und ökonomische Vorteile. *Die Grüne* 32, 12–15.
- Bräutigam V., 1994. Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungssysteme auf die Halmbasiskrankheiten des Getreides und die Unkrautentwicklung. in Tebrügge und Dreier «Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristige Auswirkungen auf den Boden. Fachverlag Giessen, 225–232.
- Caneill J. und Bodet J. M., 1991. Simplification du travail du sol et rendement des cultures. In *Simplification du travail du sol* INRA Editions Nr. 65, 64–82.
- Düring R. A., Hummel H. E. und Tebrügge F., 1995. Einfluss konservierender Bodenbearbeitung auf das Herbizidverhalten im Boden. *VDI Berichte* Nr. 1211, 121–124.
- Forrer H.-R., 1997. Mündliche Mitteilung, FAL-Reckenholz, Zürich.
- Francis G. S. und Knight T. L., 1993. Long term effects of conventional and no-tillage on selected soil properties and crop yields in Canterbury, New Zealand. *Soil and tillage research* 26 (3), 193–210.
- Högger Ch., 1996. Schneckenregulierung: keine einmalige Angelegenheit. *Die Grüne* 48, 22–25.
- Hoffman R., 1996. Still searching for just enough tillage. *Farm journal* mid january, A4.
- Hommay G., 1995. Les limaces nuisibles aux cultures. *Revue suisse d'agriculture* 27 (5), 267–286.
- Lajoux P., 1997. Mündliche Mitteilung, ITCF, F-Boigneville.
- Lenge R., 1994. Direktsaat, Der Raps ist das Sorgenkind. *top agrar* 4, 98–100.
- Maillard A. und Vez A., 1993. Résultats d'un essai de culture sans labour depuis plus de 20 ans à Changins – I Rendement des cultures, maladies et ravageurs. *Revue suisse d'agriculture* 25 (6), 327–336.
- Maillard A., Vez A. und Ryser J. P., 1994. Résultats d'un essai de culture sans labour depuis plus de 20 ans à Changins – II Propriétés chimiques du sol. *Revue suisse d'agriculture* 26 (3), 133–139.
- Mozafar A., Mehravaran H., Ruh R., Anken T. und Frossard E., 1997. Tillage Intensity and the Activity of Mycorrhizal Fungi in two soils, *Bulletin 8 der Schw. Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, 37.
- Musy A. und Soutter M., 1991. *Physique du sol. Collection «Gérer l'environnement»*; Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne; 335 S.
- Näf E., 1996. Arbeitsvoranschlag-Datenkatalog für den Arbeitszeitbedarf der landwirtschaftlichen Arbeiten. Eidg. Forschungsanstalt Tänikon.
- Smith D., 1994. No-till under cover. *Farm Journal* november, 13.
- Tebrügge F. und Böhrnsen A., 1995. Direktsaat – Auswirkungen auf bodenökologische Faktoren und Ökonomie. *Landtechnik* 50 1, 6–7.
- Walther U., Ryser J. P., Flisch R. und Siegenthaler A., 1987. Düngungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau. LBL Lindau, 36 S.
- Weisskopf P., Zihlmann U. und Waldburger M., 1995. Bodenphysikalische Parameter. Vier Maisanbauverfahren 1990 bis 1993. *Agrarforschung* 9, 357–360.