

Reihenfrässaat als Alternative zum Maisanbau mit dem Pflug

Endbericht zum Projekt

Einführung der Reihenfrässaat und Untersuchung der bodenphysikalischen Langzeiteffekte unter Praxisbedingungen im Gebiet Freiburg-Dreisamtal*
T. Hölscher., K. Müller-Sämann. & M. Selz

April 2007



ANNA - Agentur für Nachhaltige Nutzung von Agrarlandschaften

Klosterrunsstraße 17
79379 Müllheim (Baden)
Telefon: 07631/174460
email: team@anna-consult.de
URL: www.anna-consult.de

***Gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG**



Das Projekt
wurde durchgeführt von:

Projektleitung: Agentur für Nachhaltige Nutzung von Agrarlandschaften (ANNA), Müllheim
Thomas Hölscher
Dr. Karl Müller-Sämann

Projektpartner:

badenova AG
Martin Selz

Landwirte im Dreisamtal (in alphabetischer Reihenfolge)

Hug, Bernd
Jautz, Tobias
Rebmann, Klaus
Riesterer GBR
Spiegelhalter, Franz
Steinhart, Paul
Winterhalter, Alfons
Zipfel, Johannes

Inhaltsverzeichnis:

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung und Zielsetzung.....	1
3	Material und Methoden	3
3.1	Ertragserhebungen	3
3.2	Nitratuntersuchungen.....	4
3.3	Beobachtungen der Landwirte	4
3.4	Entwicklung bodenphysikalischer Kenngrößen	5
3.4.1	Eindringwiderstand	5
3.4.2	Porenprofiluntersuchungen	5
4	Ergebnisse und Diskussion	7
4.1	Flächenentwicklung	7
4.2	Erträge.....	8
4.3	Akzeptanz / Meinung der beteiligten Landwirte	9
4.4	Pflanzenbau	10
4.5	Nitratgehalte	14
4.5.1	Stickstoffdynamik und -verlagerung	17
4.6	Einsatz von Pflanzenschutzmitteln	18
4.7	Wirtschaftlichkeit und Produktionskosten	19
4.7.1	Vollkosten der Frässaat	22
4.8	Entwicklung der Bodenphysik	23
4.8.1	Eindringwiderstand	23
4.8.2	Porenprofiluntersuchungen	25
5	Öffentlichkeitsarbeit	28
6	Schlussfolgerungen.....	30
7	Literatur	32

ANHANG

Verzeichnis der Abbildungen:

Abbildung 1: Schema zur Bestimmung der Porengrößenverteilung im Labor	6
Abbildung 2: Reihenfrässaatflächen im Dreisamtal (2005)	7
Abbildung 3: Silomaiseerträge 2004; (rot: nach Pflug, blau: Reihenfrässaat.....	8
Abbildung 4: Silomaiserträge 2006; (rot: nach Pflug, blau: Reihenfrässaat	8
Abbildung 5: Mittlere N min-Gehalte der Dauermaisflächen 2004 bis 2006	14
Abbildung 6: Nmin-Gehalte der Maisflächen (Frühjahr und Herbst) 2004 - 2006.....	15
Abbildung 7: N min- Ganglinien (Mehrjähriges Mittel).....	16
Abbildung 8: Abnahme des Stickstoffvorrats im A-Horizont von sandigen Böden nach Grünlandumbruch (im Fuhrberger Feld bei Hannover)	18
Abbildung 9: Eindringwiderstand der Versuchsflächen in Oberried	24
Abbildung 10: Eindringwiderstand in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung	25
Abbildung 11: Porenverteilung Oberried (Dreisamtal) nach 13 Jahren differenzierter Bodenbearbeitung	26

Verzeichnis der Tabellen:

Tabelle 1: Arbeitsgänge und Kosten bei Maisanbau mit Pflug	19
Tabelle 2: Arbeitsgänge und Kosten bei Maisanbau mit Reihenfrässaat	20
Tabelle 3: Arbeitszeitbedarf und variablen Anbaukosten für Silomais in Abhängigkeit vom Anbauverfahren	20
Tabelle 4: Vollkosten der Silomaiserzeugung im Dreisamtal	21

1 Zusammenfassung

Die Anstrengungen der Landwirtschaft, Nahrungsmittel, Futter und Rohstoffe umweltfreundlich und rentabel zu produzieren, erfordern ständige Innovation. Bestehende Verfahren werden dabei hinterfragt und neue Produktionstechniken an etablierten Standards gemessen.

Ziel des hier behandelten Projektes war es, ausgehend von positiven Ergebnissen vorausgegangener Parzellenversuche, die Technik der Reihenfrässaat (Streifenfrässaat) in die Praxis einzuführen und unter betrieblichen Anforderungen zusammen mit praktizierenden Landwirten zu erproben und zu bewerten.

In drei Jahren wurden 180 ha Silomais mit dem neuen Verfahren bestellt, womit das angestrebte Projektziel erreicht werden konnte.

Mit Reihenfrässaat bestellter Mais entwickelte sich in der Jugend gegenüber Mais nach Pflug, Egge und Sämaschine etwas zögerlicher, erzielte bei der Ernte aber vergleichbare Erträge.

Gräser und ausdauernde Unkräuter wie Trespe, Fuchsschwanz und Quecke wurden mit der Frässaat tendenziell etwas gefördert, Samenunkräuter wie z.B. das Franzosenkraut gingen zurück. Die als notwendig erachtete Zusatzbehandlung mit einem Totalherbizid im Frühjahr vor der Aussaat, wurde von den Landwirten als nachteilig eingestuft. Ansätze zur Vermeidung dieser im pfluglosen Anbau häufig angewendeten Maßnahme wurden mit den Landwirten entwickelt und sollen nach Projektende ebenso weiter verfolgt werden wie Bestrebungen zur besseren Integration der nachwinterlichen Gülleanwendung in das Anbausystem Frässaat.

Ein erhöhter Schädlingsdruck (z.B. Schnecken) konnte im Projektverlauf nicht beobachtet werden.

Bezüglich Stickstoff ergaben sich nach den im Projekt durchgeführten Begleituntersuchungen geringfügige Vorteile im Stickstoffhaushalt. Ergebnisse detaillierter Voruntersuchungen des I-FUL, Müllheim zu diesem Thema konnten damit bestätigt werden. Das Verfahren wurde deshalb in Betrieben mit Nitratproblemen auch vom Landwirtschaftsamt empfohlen.

Bei der Umnutzung von Grünland in Ackerland konnte das grundwasserfreundlichere Frässaatverfahren ebenfalls erfolgreich eingesetzt werden.

Die in der Literatur häufig aufgeführten Vorteile des Verfahrens in Bezug auf die Veränderungen bodenphysikalischer Kenngrößen konnten im Versuchszeitraum noch nicht deutlich nachgewiesen werden.

Was die Wirtschaftlichkeit der Reihenfrässaat anbelangt, so ergaben sich gegenüber den Verfahren mit dem Pflug vergleichbare Produktionskosten, die betrieblich erforderliche Arbeitszeit zur Maisbestellung konnte aber um mehr als 50 % reduziert werden. Auf der Kostenseite beeinflusste neben den allgemeinen Maschinenkosten der relativ hohe Verschleiß der Maschine auf den sehr steinigen Böden des Dreisamtals das Ergebnis. Finanzielle Vorteile errechneten sich für das Lohnverfahren erst bei einer Abstockung eigener Maschinen.

Zum Abschluss der Projektes kann festgehalten werden, dass das Interesse an diesem Verfahren bei Landwirten, Forschung, Landwirtschaftsverwaltung nach wie vor groß ist, weshalb die Reihenfrässaatmaschine im Dreisamtal verbleibt und allen Landwirten dort und in der Region weiter zur Verfügung stehen wird. Die für das Gebiet neue Technik konnte damit erfolgreich eingeführt werden. Wie sie sich im zukünftigen Langzeiteinsatz unter Normalbedingungen bewähren wird, bleibt abzuwarten.

2 Einleitung und Zielsetzung

Seit einigen Jahren wird die pfluglose Bodenbearbeitung von einigen wenigen Landwirten in Südbaden praktiziert. Hauptgründe für den Pflugverzicht aus Sicht der Betriebe sind die Ersparnis an Arbeitszeit und die Verminderung von Kosten der Arbeitserledigung. Weitere wirtschaftliche Vorteile des Pflugverzichts sind in der Fachliteratur und in Untersuchungen am Oberrhein nachgewiesen, aber nicht durchgängig bestätigt worden (vgl. KLOTZ & HAAG 2000, GRUBE 2002, SCHULZE & GRIMM 2000, VETTER & KANSY 1999, KOLLER et al 2006). Aus der Umweltperspektive sind neben der Verringerung von Erosionsgefahren und der besseren Bodenstruktur v.a. die Verminderung von Nitratauswaschung ins Grundwasser zu nennen, die in einigen Versuchen nachgewiesen werden konnte (z.B. SCHULZE & GRIMM 2000).. Einige dieser Vorteile werden von der ganzjährigen Bedeckung des Bodens mit einer Vegetationsdecke unterstützt, die beim pfluglosen Anbau verfahrensbedingt häufig anzutreffen ist.

Die Haupthemmnisse des Pflugverzichts bestehen neben dem Investitionsbedarf im schlechten Zugang zu Informationen (Beratungsangebot) und in den höheren Anforderungen an den Landwirt (HÖLSCHER & GRANVEAUX 2005). Bei der Anpassung der pfluglosen Anbausysteme an die individuellen Standortbedingungen ist eine genaue Beobachtung von Boden und Pflanzenbestand und hohes Maß an landwirtschaftlichem Können gefordert.

Das IfuL Müllheim¹ hat im Dreisamtal in langjährigen Dauerversuchen verschiedene Anbauverfahren zu Mais untersucht. Im Rahmen der Versuche wurde die Reihenfrässaat, eines von mehreren überprüften pfluglosen Verfahren, das in Deutschland bisher nicht verbreitet ist, als vorteilhaft für Landwirtschaft und Umwelt identifiziert. Dabei handelt es sich um eine Form der reduzierten, also pfluglosen Bodenbearbeitung, bei der lediglich ein schmaler Streifen des Bodens zur Maisaussaat mit einer speziellen Fräse bearbeitet wird, während der Rest unbearbeitet bleibt.

Neben den ökologischen Vorteilen sind die Landwirte an dem Verfahren interessiert, weil die Extensivierung der Bodenbearbeitung arbeitswirtschaftliche Vorteile bringt und sich für Viehhaltende Betriebe die Möglichkeit einer Futternutzung (Silage) im Frühjahr bietet. Zur Bestellung sind insgesamt weniger Überfahrten notwendig. Außerdem können Arbeiten zur Gülle- oder Mistausbringung aufgrund der besseren Tragfähigkeit der Böden auch bei leicht feuchten Bodenverhältnissen noch durchgeführt werden, so dass zur Erledigung der Arbeiten ein größeres Zeitfenster zur Verfügung steht.

Ziel des Vorhabens ist die wissenschaftlich begleitete Einführung der Reihenfrässaat (=strip tillage oder Streifenfrässaat) in die regionale Praxis sowie die Überprüfung seiner Tauglichkeit für die Bedingungen im Dreisamtal. In Zusammenarbeit mit einigen Landwirten aus dem Dreisamtal wurde eine Reihenfräse (Ökosem III) der Firma Althaus (CH) beschafft. Das Gerät und seine Anwendung wurden im Laufe des Projektes optimiert und an die regionalen Verhältnisse angepasst.

Die Auswirkungen des Verfahrens auf die Bodenstickstoffgehalte in Herbst und Frühjahr wurden erfasst und dokumentiert. Ergänzend wurden bodenphysikalische Untersuchungen durchgeführt. Sie sollten weitere Kenntnisse über die Auswirkung der Reihenfrässaat auf den Bodenwasserhaushalt und des Durchwurzelungsvermögens unter pflugloser Bearbeitung ermöglichen.

¹ seit 1.1.2007 Außenstelle Müllheim des Landwirtschaftlichen Technologiezentrums (LTZ) Augustenberg

3 Material und Methoden

Im Mittelpunkt des Projektes stand die Beschaffung und der Einsatz einer Reihenfräse der Schweizer Firma Althaus, um das Verfahren unter Praxisbedingungen im Dreisamtal einzuführen und zu testen. Das Verfahren der Reihenfrässaat zu Mais kombiniert ökologische und arbeitswirtschaftliche Vorteile mit guten wirtschaftlichen Ergebnissen für die Praxis:

Der Boden wird dabei nicht gepflügt, eine Saatbettbereitung mit Grubber/ Saatbettkombination ist nicht notwendig. Das Saatgut wird in Streifen abgelegt, die im selben Arbeitsgang mit einer Fräse bearbeitet werden, während die restliche Fläche unbearbeitet bleibt. Dadurch wird der Eingriff in den Boden nur dort getätigt, wo er wirklich Vorteile mit sich bringt, nämlich in der Saatreihe. Im selben Arbeitsgang wird das Saatgut und eine Unterfußdüngung abgelegt. Die Vorteile der Reihenfrässaat für Landwirtschaft und Umwelt wurde im Dreisamtal bereits durch langjährige Forschungsarbeiten des IFUL Müllheim im Versuchsmaßstab nachgewiesen.

In enger Zusammenarbeit mit den Praktikern – und teilweise von diesen selbst - wurden parallel dazu einige Projektbegleitende Untersuchungen durchgeführt

Dies waren im Einzelnen:

- Ertragserhebungen
- Nitratuntersuchungen
- Beobachtungen im Bestand (Auflaufen, Unkräuter, Schädlinge)
- Bodenphysikalische Messungen
- Eindringwiderstand
- Porenprofiluntersuchungen
- Wirtschaftliche Auswertungen

3.1 Ertragserhebungen

Zur Auswertung des Ertrages der Frässaatflächen im Vergleich zu gepflügten Kontrollen wurde in 2004 eine Auswahl von Standorten definiert, auf denen während der gesamten drei Projektjahre die Erträge erhoben werden sollten. Eine Beibehaltung dieses „Beprobungs-Sets“ erschien sinnvoll, um festgestellte Trends über mehrere Jahre hinweg absichern zu können. Da es sich um ein anwendungsorientiertes Projekt handelt und das Gerät auf Praxis schlägen zum Einsatz kam, waren keine Wiederholungen auf den Einzelschlägen nach wissenschaftlichem Standard möglich.

Die Ertragsuntersuchungen für das Jahr 2004 wurden mit einem zweireihigen Versuchsmaishäcksler durchgeführt, der über einen Bunker mit integrierter Waage verfügt. Dafür wurde zuerst das Vorgewende in einer Breite von 2 Reihen ca. 4-5 Meter weit abgeerntet. Danach wurden ca. 300 kg Mais aus dem Bestand geerntet, das genaue Gewicht notiert und die zurückgelegte Fahrstrecke des Ernters gemessen. Aus dem ermittelten Erntegewicht und der zugehörige Teilfläche wurde der Hektarertrag errechnet.

Im Jahr 2005 wurde bei einem Hagelereignis am 29.Juli ein Großteil dieser Flächen erheblich geschädigt, so dass eine Ertragserhebung nicht mehr sinnvoll war.

Für die Ertragsuntersuchungen im Jahr 2006 stand der Parzellenhäcksler nicht zur Verfügung. Stattdessen wurden zehn Flächen manuell beprobt (repräsentative Teilflächenbeernung). Pro Parzelle wurden (gemäß den Richtlinien des Bundessortenamtes) in 6 verschiedenen Maisreihen je 2 m Länge (1,5 m²) manuell geerntet. Zusätzlich wurde der Frischmasseertrag weiterer elf Flächen über die Online-Ertragserfassung des dort eingesetzten Lohnfeldhäckslers ermittelt. Von allen beernteten Flächen wurden Pflanzenproben zur Trockenmassebestimmung entnommen, um den Trockenmasseertrag als aussagekräftigeren Parameter im Vergleich zur Frischmasse zu ermitteln.

3.2 Nitratuntersuchungen

Im Projekt wurden jährlich zwei Nitratbeprobungen auf den Reihenfrässaatflächen und den gepflügten Vergleichsparzellen durchgeführt und ausgewertet. Zur genauen Dokumentation des Bodenstickstoffverhaltens sind aufwändigere Beprobungen in deutlich engeren Zeitabständen erforderlich, die allerdings nicht Ziel dieses Projektes waren. Die Stickstoffdynamik wurde in den vorangegangenen Jahren bereits ausführlich in Vorarbeiten des IFUL untersucht (vgl. KANSY. & VETTER 1999).

Die Auswertung der Boden-Nitratgehalte erfolgte im Projekt über alle drei Projektjahre und umfasst zwei Bodenuntersuchungen pro Schlag und Jahr. Die erste Untersuchung wurde im Frühjahr durchgeführt, um eine bedarfsgerechte Startdüngung der Flächen errechnen zu können. Die Ergebnisse wurden den Landwirten als Düngeempfehlung zur Verfügung gestellt (Spät-NID). Die zweite Untersuchung erfolgte Ende Oktober/Anfang November jeden Jahres (SchALVo-Termin), um die Reststickstoffgehalte nach der Ernte zu ermitteln.

Standardmäßig wurden zur Boden-Stickstoffbestimmung Proben aus den Tiefen 0-30, 30-60 und 60-90 cm entnommen und im Labor des TZW Karlsruhe oder der LUFA Augustenberg untersucht.

3.3 Beobachtungen der Landwirte

Die teilnehmenden Landwirte führten über die drei Projektjahre Schlagkarteien, in denen alle wichtigen Bewirtschaftungsmaßnahmen eingetragen wurden. Diese wurden im Projekt ausgewertet, so dass ab dem zweiten Projektjahr zur Frühjahrsbesprechung aller Projektteilnehmer die Informationen zu verschiedenen Anbauvarianten für alle Landwirte zur Verfügung standen.

Zusätzlich wurde zu Anfang des Projektes von allen Beteiligten ein Kriterienkatalog für die Bestandesbeobachtungen entwickelt, der von den Landwirten auf den Projektflächen angewendet wurde.

Die Beobachtungen richteten sich nach den Erfolgskriterien der Praktiker, da im Projekt die Überprüfung der Tauglichkeit des Verfahrens für die regionale landwirtschaftliche Praxis im Vordergrund stand. Beobachtet wurden

- Bodenzustand zum Saattermin und Auflauf der Saat
- Bestandshöhe
- Unkrautbefall
- Schädlingsbefall (Fritfliegen, Schnecken, Mäuse)

3.4 Entwicklung bodenphysikalischer Kenngrößen

Bei der Umstellung auf pfluglose Bearbeitung stellt sich im Boden im Laufe der folgenden Jahre ein neuer Gleichgewichtszustand ein. Die zuvor vom Pflug geschaffene Porosität wird zunehmend durch eine biologische Porosität (Wurzeln, Bodenfauna) und z.T. rissbedingte Porosität (Böden mit mehr als 25% Tongehalt) ersetzt (GUÉRIF 1994; LABREUCHE & BODET 2001).

In der Literatur gibt es unterschiedliche Ergebnisse zur Entwicklung der Lagerungsdichte und des Gesamtporenvolumens bei pflugloser Bearbeitung. Dies hängt u.a. vom Einzelfall, der Bearbeitung und u.U. auch von vorhergehenden Schädigungen durch Bodenverdichtung ab. Eine 'natürliche' Regeneration ist bei Böden mit 'natürlicher Strukturbildung' durch die Aktivität von Wurzeln und Regenwürmern möglich, erfolgt aber sehr langsam. Das Makroporenvolumen entwickelt sich, je nach gegebenen Versuchsverhältnissen, unterschiedlich - in Abhängigkeit von den Standortbedingungen, der Kultur, der Bearbeitungstiefe und der Bearbeitungsmaßnahme.

3.4.1 Eindringwiderstand

Die Bestimmung des Eindringwiderstandes liefert Informationen über die Lagerungsdichte des Bodens. Diese wiederum lässt Rückschlüsse darauf zu, wie gut der Boden für die Pflanze durchwurzelbar ist. Der Eindringwiderstand wurde mit einem elektronischen Penetrologger der Firma Eijkelkamp (Modell P1.52) ermittelt. Dabei wurde eine Kegelspitze mit einem Winkel von 60 ° und einer Basisfläche von 1 cm² verwendet.

Gemessen wird dabei der Widerstand, den der Boden dem Eindringen einer Bodensonde entgegensetzt. Die Sonde mit der Kegelspitze muss dazu mit einer Geschwindigkeit von genau 1 cm/Sekunde in den Boden eingeführt, wobei die Messung des Eindringwiderstandes bis in eine Tiefe von 80 cm bei einer vertikalen Auflösung von 1 cm erfolgt. Die gemessenen Werte können während und nach der Messung sowohl graphisch wie auch numerisch angezeigt werden. Die Tiefenmessung und die Einhaltung der vorgeschriebenen Eindringgeschwindigkeit werden mit Hilfe eines Ultraschallsensors erfasst, der die vom Gerät auf eine auf der Bodenoberfläche liegende Metallplatte gesendeten Ultraschallwellen wider empfängt, wenn sie reflektiert werden. Pro Parzelle wurden 10 gültige Messungen durchgeführt, ungültige Messungen (z.B. aufgrund von Steinen oder falscher Geschwindigkeit) wurden direkt vor Ort verworfen.

3.4.2 Porenprofiluntersuchungen

In Abhängigkeit vom Durchmesser weisen verschiedene Bodenporen eine unterschiedliche Wasserspannung auf, d.h. wenn diese Poren mit Wasser gefüllt sind, wird dieses mit einer bestimmten Kraft (Kapillarkraft) dort festgehalten. Die Größe der Poren entscheidet also darüber, wie oft sie unter den gegebenen hydrologischen Bedingungen mit Wasser und/oder Luft gefüllt sind. Die Porengrößen und deren Verteilung stellen über den Wasser- und Lufthaushalt des Bodens eine wichtige Standorteigenschaft für Pflanzen dar, da sie für die Wasserspeicherfähigkeit und die anteilige Sickerwassermenge am Niederschlag entscheidend sind.

Die Bestimmung der Porenverteilung erfolgt im Labor durch die Entwässerung der Poren von wassergesättigten Bodenproben mit unterschiedlichen Druckstufen. Nach jeder Druckstufe wird gravimetrisch, also durch Wiegen, das entzogene Wasser bestimmt und daraus das entsprechende Porenvolumen errechnet.

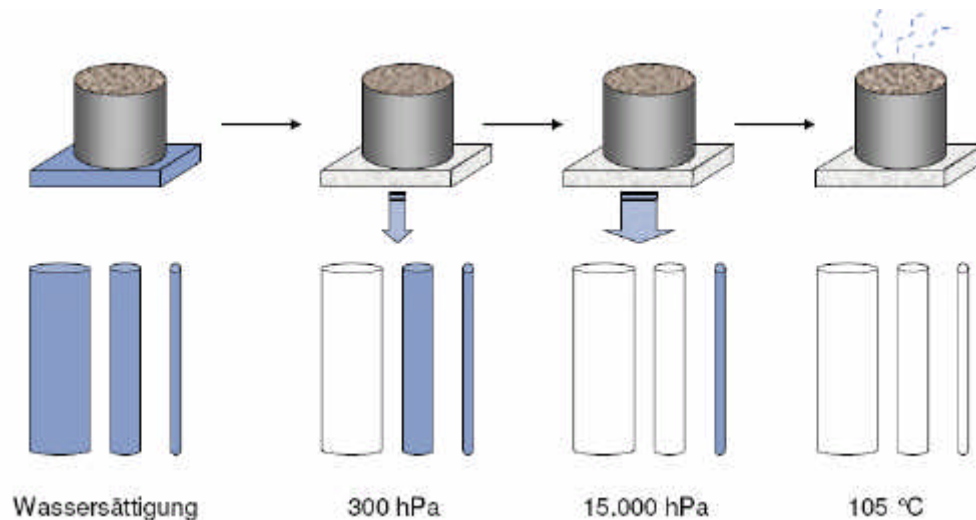


Abbildung 1: Schema zur Bestimmung der Porengrößenverteilung im Labor
(Quelle: KÖLBL 2006)

Zur Untersuchung der Saugspannung im Tiefenprofil wurden im Oktober 2006 mittels Stechzylindern ungestörte Bodenproben entnommen, in denen der Boden so gelagert ist wie unter natürlichen Verhältnissen. Nach der Beprobung erfolgte die mehrwöchige Untersuchung im Labor der Firma *solum*, Freiburg.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Flächenentwicklung

Die Reihenfräse wurde direkt nach Genehmigung des Projektes Anfang April 2004 bestellt und passend zur Maisaussaat geliefert. Bereits einige Wochen später wurde die Maschine auf 45 ha Praxisfläche eingesetzt. 21,3 ha wurden von den teilnehmenden Projektbetrieben gestellt; auf 9,1 ha wurde das Gerät im Lohnverfahren auf den Flächen weiterer, interessierter Landwirte eingesetzt. Zusätzlich kam die Maschine im Auftrag des ALLB Freiburg auf 13,7 ha ehemaligem Grünland zum Einsatz, die im Zuge des Flurneuordnungsverfahrens im Dreisamtal unter Berücksichtigung der Belange des Grundwasserschutzes in Ackerland umgewandelt werden sollten. Außerdem wurde die Reihenfräse im Rahmen eines EU-Forschungsprojektes (ITADA 03) zum Thema „Innovativer Maisanbau“ auf zwei Standorten in Südbaden (*Müllheim und Steinstadt*) sowie auf einem Versuchsstandort im Elsass (*Niedererzen*) eingesetzt (1,2 ha).

Aufgrund der hohen Zufriedenheit der Landwirte mit dem Verfahren und der guten Akzeptanz seitens der Landwirtschaftsverwaltung, konnte die in Reihenfrässaat bestellte Maisfläche von 45 ha (in 2004) in 2005 auf über 80 ha gesteigert werden. In 2006 ging die Fläche, auf der das Gerät eingesetzt wurde, auf ca. 60 ha zurück.

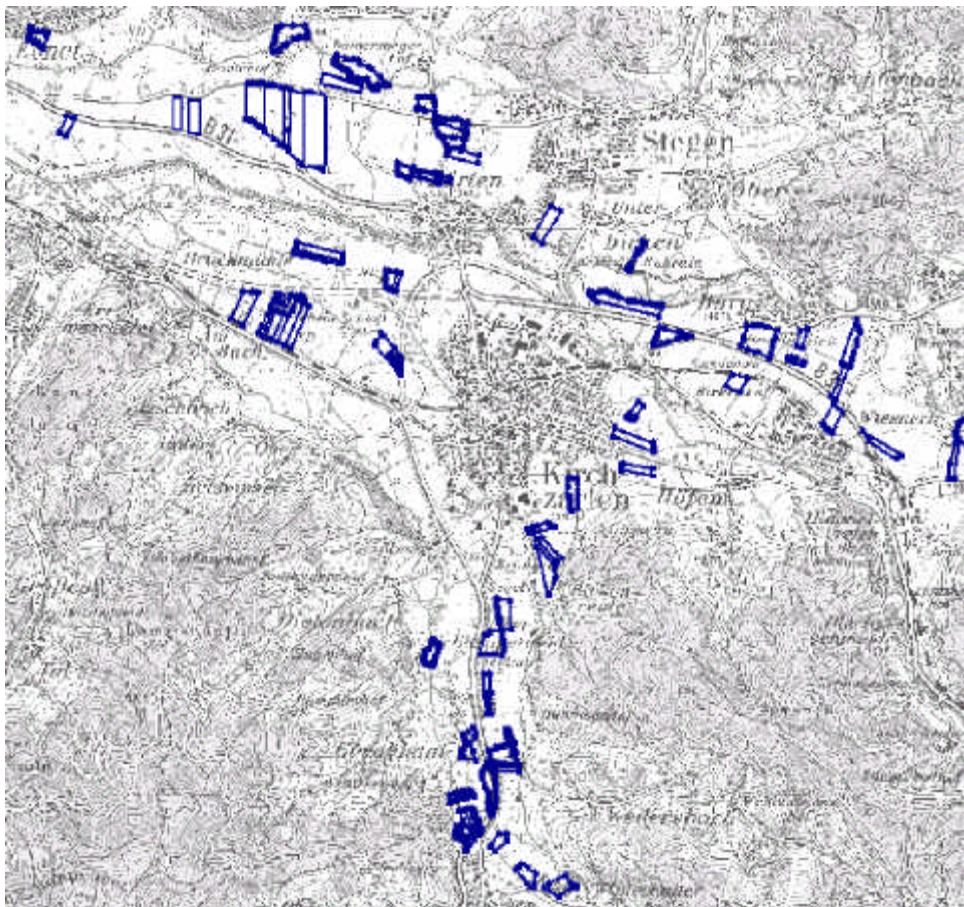


Abbildung 2: Reihenfrässaatflächen im Dreisamtal (2005)

4.2 Erträge

Im Dreisamtal wurde bei der Ertragserhebung in 2004 im Vergleich zu gepflügten Kontrollflächen ein um 10% geringerer Ertrag auf den Reihenfrässaatflächen festgestellt. Die für die Ertragserhebung zufällig ausgewählten Standorte wiesen dabei eine hohe Streuung auf, wie in Abbildung 3 dargestellt ist. Vier von fünf gepflügten Vergleichsflächen lagen dabei im oberen regionaltypischen Ertragsbereich von mehr als 17 t TM. Die Projektlandwirte waren auch auf den drei ertragsschwachen Flächen durchweg mit den Erträgen zufrieden, so die Aussage der Bewirtschafter, auch mit dem Pflug kein höherer Ertrag zu erzielen. Bei Reihenfrässaat in Kombination mit anderen innovativen Methoden konnten dagegen auf den Versuchsflächen in Südbaden und dem Elsass beim Körnermaisbau Ertragssteigerungen von bis zu 20% erzielt werden. Alle Erträge bewegten sich insgesamt auf relativ hohem Niveau.

Nach eigenen Erfahrungen und der einschlägigen Fachliteratur zufolge sind nach dem Pflugverzicht ein oder mehrere Jahre notwendig, damit sich der Boden umstellen kann und die bodenökologischen Vorteile pflugloser Anbauverfahren in Ertrag umgesetzt werden können. In 2005 wurden keine Ertragserhebungen durchgeführt, da ein großer Teil der Flächen durch ein Hagelereignis erheblich geschädigt wurde (z.T. Totalausfall).

In 2006 brachten die Frässaatflächen leicht höhere Erträge (vgl. Abbildung 4). Über mehrere Jahre betrachtet lagen die Erträge in etwa auf vergleichbarem Niveau. Aufgrund der Streuung der Erträge (auch innerhalb der beiden Verfahren) wird von einem systembedingten Unterschied nicht ausgegangen. Dies stimmt auch mit den Resultaten der langjährigen Versuche des IFUL überein.

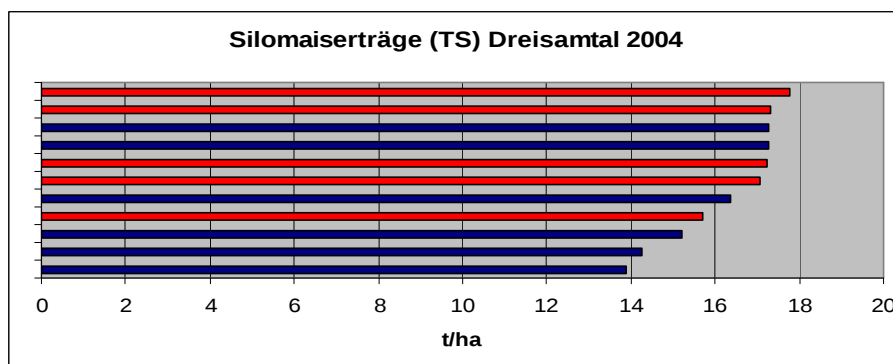


Abbildung 3: Silomaisserträge 2004; (rot: Pfluganbau, blau: Reihenfrässaat)

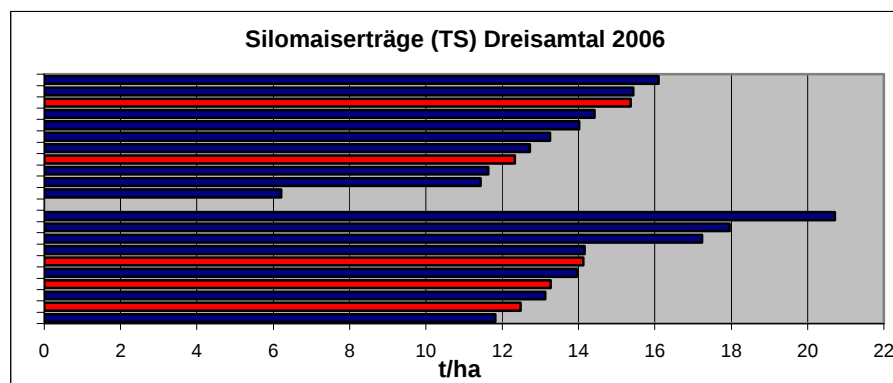


Abbildung 4: Silomaisserträge 2006; (rot: Pfluganbau, blau: Reihenfrässaat)

Speziell im Bereich Oberried hat in 2006 die späte, noch nach der Maisaussaat einsetzende Kälteperiode zu teilweise starken Schäden geführt. Hiervon könnten die Reihenfrässaaten überproportional betroffen gewesen sein, da diese aus pflanzenbaulichen Gründen später eingesät wurden. Dadurch hat die Kälte (Schneefall in Oberried Mitte Mai!) diese Maisbestände in der empfindlichen Frühphase getroffen, während früher gesäte Bestände (z.B. auch Reihenfrässaatvariante des parallel laufenden IFUL-Versuches, gesät Mitte April) bereits deutlich weniger empfindlich auf nasskalte Witterung reagierten.

4.3 Akzeptanz / Meinung der beteiligten Landwirte

Erhebungen anhand der vorab aufgestellten, individuellen Erfolgskriterien der beteiligten Landwirte ergaben eine sehr hohe Zufriedenheit mit dem Ertrag und dem Verfahren und hier vor allem mit der Umweltwirkung in Bezug auf den Boden. Die Einsparung an Arbeitszeit für die Maisbestellung wurde besonders positiv bewertet. Sehr kritisch reagieren die Landwirte in Bezug auf eine zweite Pflanzenschutzmittelbehandlung beim Maisanbau. Überwiegend kommt beim pfluglosen Anbau das Totalherbizid „Roundup“ zum Einsatz. Neben Toxikologischen bedenken (s.u.) ist gerade in einer touristischen Region wie dem Dreisamtal die Tatsache zu berücksichtigen, dass die über Winter begrünten Maisflächen sich durch das Abspritzen zur Saat bräunlich verfärben. Der Anblick ehemals grüner, nun infolge der Spritzung abgestorbener Pflanzenbestände (Winterbegrünung) ist weithin sichtbar und wird sowohl von der Bevölkerung als auch von den Touristen kritisch wahrgenommen. Dadurch entsteht einiger Erklärungsbedarf.

Der in „Roundup“ enthaltene Wirkstoff Glyphosat ist eines der weltweit am häufigsten eingesetzten Herbizide. Er blockiert ein wichtiges Enzym der Eiweißsynthese, welches nur bei Pflanzen vorkommt. Insofern bestehen für Tiere und Menschen nach heutigem Stand des Wissens keine gesundheitlichen Bedenken gegen den Einsatz, zumal sich die Substanz schnell abbaut.

Die schnelle Fixierung im Boden und die starke Sorption (Bindung) kennzeichnen das Verhalten des Wirkstoffs im Boden. Dies ist aus der Sicht des Grundwasserschutzes positiv zu bewerten. Die Halbwertszeit für den Abbau des löslichen, pflanzenverfügbaren Wirkstoffanteils wurde in bayerischen Feldversuchen mit 8,5 Tagen ermittelt. 2 Monate nach der Behandlung mehrerer unterschiedlicher Zwischenfruchtbestände war der Wirkstoff Glyphosat nicht mehr im Boden nachweisbar (LFL BAYERN 2005). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch RAGAB et al. (1985) und ROY et al. (1989) in Kanada. Nach diesen Versuchen ist bei Frühjahrs- und Sommerapplikation mit einer Halbwertszeit von weniger als 8 Tagen zu rechnen.

Bei Anwendungen des Pflanzenschutzmittels gemäß den Anwendungsempfehlungen und den Richtlinien der „guten fachlichen Praxis“ ist daher nach gegenwärtigem Wissensstand eine Akkumulation des Wirkstoffs Glyphosat im Boden oder im Grundwasser nicht zu befürchten.

Trotzdem sollte aus Umwelt- und auch aus Kostengründen der Einsatz von Agrochemikalien grundsätzlich auf ein notwendiges Mindestmaß reduziert werden. Näheres zu den diesbezüglichen Bestrebungen im Projekt siehe Kap. 4.6 „Einsatz von Pflanzenschutzmitteln“.

4.4 Pflanzenbau

Im Sinne eines Pilotprojektes hatten alle teilnehmenden Landwirte die Möglichkeit, ihr Anbausystem an das neue Verfahren anzupassen und auch eigene Ideen auszuprobieren, so dass es zu einer breiten Vielfalt an Anbauvarianten kam. Insgesamt wurden im Projekt folgende Varianten des Maisanbaus praktiziert:

Fruchtfolge:

- Anbau von Silomais und von Körnermais
- Mais nach Mais
- Mais nach Getreide
- Mais nach Erbse (Exaktversuch)
- Mais nach Grünlandumnutzung

Zwischenfrüchte

- Senf
- Raps
- Hafer (Exaktversuch)

Zwischenfruchtabtötung

- Kombination mechanisch-chemisch
- nur mechanisch
- nur chemisch

SAAT UND AUFANG

Die Landwirte führten auf den eigenen Flächen Erhebungen zum Bodenzustand zur Saat, zur Qualität der Saatgutablage und zum Feldaufgang durch. Der Bodenzustand wurde durchweg positiv beurteilt (Boniturnoten 1-2 auf einer Skala von 1-6). Bei der Qualität der Saatgutablage war kein Unterschied zu den gepflügten Vergleichsflächen feststellbar. Häufig war ein etwas zögerlicher und ungleichmäßiger Aufgang zu verzeichnen, so dass in den ersten Wochen nach der Saat die Pflugflächen gleichmäßiger und in der Pflanzenentwicklung einige Tage weiter waren. Dieser Unterschied war allerdings nach der Jugendphase nicht mehr feststellbar, da die Frässaaten bis dahin den Entwicklungsvorsprung der Pflugflächen aufgeholt hatten.

Von einem leicht verzögerten Auflaufen wird auch in der Fachliteratur häufig berichtet. Im pfluglosen Ackerbau empfiehlt es sich, die Saat einige Tage später durchzuführen, da sich diese Böden langsamer erwärmen. Auf den kalten Standorten in Oberried wurde auf der Mais daher auf vielen Flächen erst in der zweiten Maiwoche gesät. Neben der Qualität der Aussaat und dem veränderten thermischen Verhalten (Frühjahrserwärmung) der ungepflügten Böden wirken sich noch zahlreiche weitere Faktoren auf den Feldaufgang aus, wie z.B. die mit der Höhenlage und dem Feuchtezustand des Bodens verknüpfte Abtrocknung oder die verbleibenden Strohmenngen von Vor- oder Zwischenfrucht.

Nach SCHULZE & GRIMM (2001) erreichte Mais in Versuchen auch bei Mulchsaat einen guten Feldaufgang.

Umgang mit Pflanzenresten von Vorkultur und Zwischenfrüchten

Den Zwischenfrüchten kommt beim pfluglosen Anbau eine tragende Rolle bei der Unkrautunterdrückung zu. Winterharte Zwischenfrüchte müssen vor der Sommerfrucht mechanisch oder chemisch kontrolliert werden. Wenn konkurrenzfähige Kulturen als Zwischenfrüchte gewählt werden, lassen sich dadurch Beiräuter gut unterdrücken.

Im Projekt hat sich Senf als sehr unproblematisch erwiesen. Ein frühzeitiges Abschlegeln im März fördert die Zersetzung. Eine Einarbeitung der Pflanzenreste ist nicht erforderlich. Falls vor der Maisaussaat noch ein Futterschnitt vorgesehen ist, bietet sich Winterraps oder -rübsen an. Rübsen treibt nach einem Schnitt im Frühjahr im Gegensatz zu Raps wieder aus. Raps hingegen bringt höhere Biomasse-Erträge und bindet mehr Stickstoff, was dem Grundwasserschutz zugute kommt. Hier muss im Einzelfall abgewogen werden.

Die Bearbeitung von Klee gras und dichten Weidelgrasbeständen verursachte durch die hohe Wurzelmasse einen hohen Kraft- und Treibstoffaufwand.

Eine Bearbeitung bei Nässe kann zu Problemen führen. Insbesondere bei großen Mengen (Körner-)Maisstroh sollten die Flächen zur Saat gut abgetrocknet sein.

Auch ohne Zwischenfrucht bietet die winterliche Mulchauflage bei pfluglosem Körnermais anbau einige Vorteile. Die permanente Bedeckung des Ackers verringert unproduktive Wasserverdunstung und schützt den Boden gleichzeitig vor Austrocknung und Erosion. Bei Zwischenfruchtanbau ergeben sich speziell in viehhaltenden Betrieben, wie sie im Dreisamtal vorherrschen, zusätzliche Vorteile durch die Möglichkeit der Gülleausbringung auf die Zwischenfrucht und durch die Futternutzung im April vor der Maisaussaat.

Auf einer Stilllegungsfläche wurde in einem zusätzlichen, projektbegleitenden Experiment Kronwicke (*Coronilla varia* L.) eingesät, die auf ihre Eignung als innovative, perennierende Untersaat (Lebendmulch) hin überprüft werden sollte. Im Erfolgsfall könnten langfristig Pflanzenschutzmittel zur Unkrautregulierung eingespart werden. Im Vorliegenden Fall konnte sich die Kronwicke – wahrscheinlich infolge überalterten Saatgutes - auf dem Schlag nur ungenügend etablieren. Dies bewirkte eine starke Verunkrautung, so dass dieser Versuch abgebrochen wurde. Hier sind noch weitere Vorversuche zur Bestandsetablierung und zur Unkrautkontrolle nötig, bevor die Kultur als Lebendmulch für Mais in der Praxis eingeführt werden kann. Ab 2007 soll in Zusammenarbeit mit dem Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald die Kombination Reihenfrässaat und Kronwicke im Dreisamtal weiter erprobt und untersucht werden.

Im Erfolgsfall hätte man eine ökologische und preiswerte Lösung zur dauerhaften Bodenbedeckung bei Mais, die sehr gut zur lokalen Betriebsstruktur im Dreisamtal (Milchvieh), zu den klimatischen Verhältnissen (ausreichender Niederschlag) und auch zum Verfahren der Reihenfrässaat passt. Nach einer etwas aufwändigeren Etablierungsphase könnten Kosten und Arbeitsaufwand bei gleichzeitig positiven Umwelteffekten reduziert werden.

Die bisherigen Untersuchungen zu Lebendmulchen ergaben, dass im trockenen Klima der Rheinebene die Wasserkonkurrenz der Graseinsaat ein grundsätzliches Problem darstellt und zu Ertragseinbußen führt. Deshalb ist eine wirksame Kontrolle vor der Maissaat notwendig (BOCKSTALLER & HANSON 1999; KÖLLER 2003). Im Dreisamtal stehen dem Bestand im Vergleich zur Rheinebene mehrere 100 mm mehr Niederschlag zur Verfügung, was die Wasserkonkurrenz entschärft. Versuche in der Schweiz erzielten mit Lebendmulchen (Gelbklee und Weißklee) gute Ergebnisse, speziell bei regelmäßigem Mulchschnitt zwischen den Reihen (STREIT 2002).

UNKRÄUTER

Im Projekt beobachteten die Landwirte den Erfolg der Unkrautkontrolle auf Ihren eigenen Flächen, wobei diese Beobachtungen ebenfalls auf einigen gepflügten Kontrollflächen durchgeführt wurden. Insgesamt war der Erfolg der Unkrautkontrolle bei beiden Varianten gut bis sehr gut. Als Problemunkräuter wurden auf den Frässaatflächen v.a. Quecke und Hirse genannt, die aber durch die Pflanzenschutzbehandlung gut kontrolliert wurden. Auf den gepflügten Vergleichsflächen traten v.a. Probleme mit Franzosenkraut (*Galinsoga parviflora*) auf, welches z.T. nur ungenügend bekämpft wurde.

Pfluglose Anbauverfahren führen relativ schnell zu einer Veränderung der Unkrautflora. Bedingt ist dies durch den Wegfall des tiefen Vergrabens und durch die veränderten Keimungs- und Auflaufbedingungen (STEMANN 2001). Nichtwendend arbeitende Geräte wie Grubber oder Fräse halten die Unkrautsamen in den oberen Bodenschichten, auch wenn sie mehr als 10 cm tief arbeiten, und gestatten somit deren Keimung und Aufgang. Anschließend werden die Unkräuter meist durch die Herbizidbehandlung zerstört (DEBAEKE & ORLANDO 1994; MAYOR & MAILLARD 1995). Die Geräte arbeiten deshalb bezüglich der Reduktion des Samenvorrats im Boden nachhaltig effektiver als der Pflug. Dikotyledonen (zweikeimblättrige Unkräuter) können um ca. 50% verringert werden (PALLUT 2003), während Wurzelunkräuter (Quecke) und annuelle (einjährige) Ungräser gefördert werden können und deshalb besondere Aufmerksamkeit erfordern.

Bei fragilen Samen (z.B. Fuchsschwanz, Tresse, Klettenlabkraut) führt eine Bekämpfung durch Unterpflügen in die Tiefe zu guten Ergebnissen. Da durch regelmäßige Pflügen häufig die im Vorjahr vergrabenen Samen wieder heraufgeholt werden, ist dies allerdings nicht immer die wirksamste Methode der Unkrautunterdrückung. Bei den robusteren Samen (Klatschmohn, Kamille, zweikeimblättrige Frühjahrskeimer) sind die Effekte der verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren auf die Überlebensrate wesentlich geringer. Die mehrjährigen Unkräuter werden von pflugloser Bearbeitung begünstigt (SOLTNER 2000). Viele Autoren berichten von einer möglichen Ausbreitung annueller Ungräser wie Fuchsschwanz und Tresse, evtl. auch von Vogel- und Sternmiere (MAYOR & MAILLARD 1995, DEBAEKE & ORLANDO 1994, RAMEAU & VIRON 1992). Bei Mulchauflage kann es neben geringeren Auflaufraten auch zu späteren Auflaufterminen kommen (STEMANN 2001; GARBE 2001; PALLUT 2003; EMMERLING & HAMPL 2002; BUCHNER & KÖLLER 1990; TEBRÜGGE 2001.).

Bei Monokultur sind die Verunkrautungsprobleme spezifischer und schwieriger zu bewältigen als in einer Fruchtfolge, weshalb die Anwendung einer Fruchtfolge vielfach als integraler Bestandteil pflugloser Anbausysteme angesehen wird.

SCHÄDLINGE

Während des Anbaus im Dreisamtal wurde in allen Projektjahren genau auf einen möglichen Schneckenbefall geachtet, um rechtzeitig Gegenmaßnahmen ergreifen zu können. Speziell von Probleme mit Schnecken wird bei pfluglosem Anbau häufig berichtet. Diese müssen unmittelbar nach dem ersten Auftreten bekämpft werden. Auf den Praxisflächen wurden jedoch keine Schädigungen durch Schnecken beobachtet, während einer von zwei Schlägen des Exaktversuches im ITADA-Projekt empfindlich geschädigt wurde. Hier wurde die Schneckenpopulation scheinbar durch einen zweijährigen Anbau mit permanenter Begründung durch diese sogenannten „grünen Brücken“ gefördert.

Auf einigen Frässaatflächen im Dreisamtal war ein leichter Befall mit Fritfliegen festzustellen, der sich aber in vertretbaren Grenzen hielt und auch auf gepflügten Flächen zu beobachten war.

In 2006 war im gesamten Dreisamtal ein erhöhter Befallsdruck durch Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) festzustellen. Die Zünslerlarven überwintern in der Maisstoppel oder im Wurzelbereich. Je kürzer die Stoppel bei oder nach der Ernte über dem Boden abgeschnitten wird, um so weniger Zünsler können überwintern und sich im Frühjahr verpuppen. Tiefes Pflügen oder Mulchen im Herbst kann das Auftreten im Folgejahr drastisch verringern. Im Gegensatz dazu können lange Stoppeln, die über Winter stehen bleiben, wie besonders beim Silomaisanbau in Frässaat üblich, diesem Schädling günstige Bedingungen bieten. Ein direkter Zusammenhang mit der Frässaat ist nicht nachgewiesen, der Befallsdruck sollte jedoch weiterhin genau beobachtet werden. Sollten in diesem Bereich Probleme auftreten, wird für jedes Anbausystem, also auch beim Pflug, nach der Ernte ein sofortiger Mulchgang empfohlen, um die Stängelreste und das Maisstroh fein zu zerkleinern und den Abbau über Winter zu beschleunigen (auch zur Vorbeugung gegen Fusarium).

Insgesamt werden zahlreiche Nützlinge, aber auch Schädlinge, von einer reduzierten Bodenbearbeitung gefördert. Dies begründet sich neben der Bodenruhe aus dem Verbleib der organischen Substanz an oder nahe der Bodenoberfläche sowie einer geringeren Zerstörung von Habitaten von z.B. Schnecken und Kleinsäugern), aber auch von Nützlingen (LINDEMANN 1998; STEMANN 2001; FRICKE 2003; HOLLAND 2004. Zahlreiche Autoren betonen, dass besonders bei feuchter Witterung die Ausbreitung von Ackerschnecken im pfluglosen Anbau erheblich ansteigen kann (ACKERMANN 2002; STREIT 2003; GARBE 2001).

Wirtschaftsdünger

Unter Wirtschaftsdüngern versteht man nährstoffreiche Nebenprodukte der Tierhaltung (Gülle, Mist etc.), die von tierhaltenden Betrieben als Dünger im Ackerbau eingesetzt werden. Nach den Bestimmungen der Düngeverordnung ist Gülle entweder auf einen wachsenden Bestand auszubringen oder nach der Ausbringung unverzüglich in den Boden einzuarbeiten. Bei der Reihenfrässaat ist nach dem Abtöten der Zwischenfrucht bis zur Saat kein Arbeitsgang mehr vorgesehen. Für eine Güllegabe kurz vor der Saat wäre es daher notwendig, dass die anschließende Bodenbearbeitung mit der Reihenfräse von der Landwirtschaftsverwaltung als zulässige Maßnahme zur Einarbeitung der Gülle akzeptiert wird.

Einer Anfrage an das Landwirtschaftsamt (inzwischen Landratsamt) folgte eine Anfrage beim Regierungspräsidium. Letztendlich musste der Sachverhalt mit der Bitte um Klärung dem Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg vorgelegt werden. Nach eingehender Prüfung erhielt die Projektgruppe eine abschlägige Antwort mit der Begründung, es werde weniger als die Hälfte der Bodenfläche bearbeitet, was nicht als flächenhafte Einarbeitung akzeptiert werden könne.

Demzufolge muss nach gegenwärtigem Sachstand die Gülle vor dem Abspritzen auf den noch grünen Zwischenfruchtbestand ausgebracht werden oder ist in einem zusätzlichen Arbeitsgang vor der Saat einzuarbeiten. Die erstgenannte Lösung ist dem Gewässerschutz nicht zuträglich, da eine frühe Gülleausbringung das Auswaschungsrisiko steigert. Eine zusätzliche Überfahrt würde neben den Umwelteffekten eines jeden Arbeitsganges (Dieselverbrauch, Verdichtung) zusätzlich die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens belasten.

Die Projektgruppe setzt sich weiterhin zusammen mit Fachleuten der Landwirtschaftsverwaltung für eine sachgerechte Zulassungsregelung bei der der Frässaat ein.

4.5 Nitratgehalte

Wie bereits in Kap. 3.2 beschrieben, reicht eine zweimalige Beprobung (in Herbst und Frühjahr) der Flächen pro Jahr nicht aus, um die Stickstoffdynamik fundiert zu beschreiben. Ein weitergehendes Stickstoffmonitoring erschien vor dem Hintergrund der vorangegangenen, langjährigen Untersuchungen des IFUL nicht sinnvoll. Trotzdem sollten die Stickstoffgehalte im Projekt mit geringem Aufwand beobachtet werden, um eine Aussage zu diesem Thema ableiten zu können.

Ursprünglich waren für die Auswertung flächenspezifische Ganglinien vorgesehen, in denen die Entwicklung der Nitratgehalte jeder einzelnen Flächen über alle drei Projektjahre dargestellt werden sollten. Ein Teil der Projektflächen wird von den Bewirtschaftern in einer Fruchtfolge bestellt, was an sich aus Umweltgründen begrüßenswert ist. Dadurch standen insgesamt nur 20 Flächen zur Verfügung, die im Untersuchungsgebiet über drei Jahre hinweg durchgängig mit Mais bestellten wurden. Aus dieser geringen Anzahl ergibt sich ein sehr kleiner Probenumfang für die einzelnen Varianten (Frässaat: 6 Flächen, Pflug: 5 Flächen, Grünlandumnutzung 8 Flächen). Zusätzlich ist aufgrund der heterogenen Standortbedingungen und unterschiedlicher Anbaustrategien (Gülle, Zwischenfrüchte, Maishacke) ein Vergleich einzelner Flächen nur bedingt möglich. Auch für einen Vergleich der Mittelwerte, wie er in

Abbildung 5 abgebildet ist, wäre aufgrund der zu erwartenden Streuung eine größere Stichprobe wünschenswert.

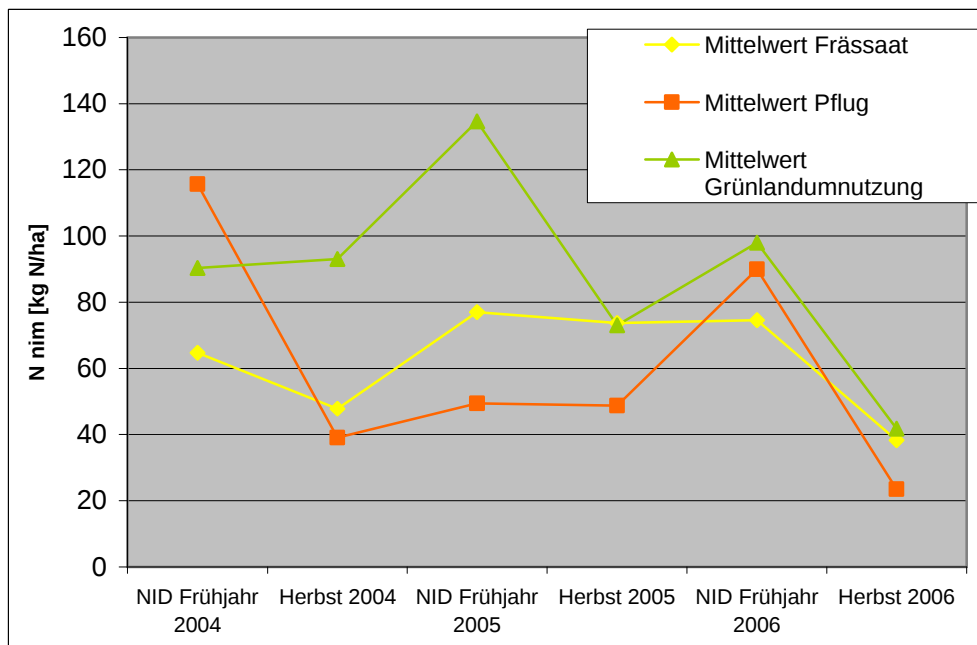


Abbildung 5: Mittlere N min-Gehalte der Dauermaisflächen 2004 bis 2006

In zwei von drei Jahren zeigten sich bei der Frässaat gegenüber Pflug geringfügig niedrigere mittlere Stickstoffgehalte im Frühjahr, über alle Jahre Betrachtet zeigen sie zusätzlich eine geringere Schwankungsbreite. Die Herbstgehalte der Frässaaten lagen im Mittel in allen drei Jahren über denen der gepflügten Flächen.

Deutlich mehr Stickstoff stellen in Herbst 2004 und Frühjahr 2005 die Grünlandumnutzungsflächen bereit, wo nach der ersten Bearbeitung zur Saat 2004 ein Mineralisierungsschub ausgelöst wurde. Die Herbststickstoffgehalte der Umnutzungsflächen nehmen über die drei Beobachtungsjahre stetig ab.

Da wie oben beschrieben der Mittelwertvergleich bei geringem Stichprobenumfang nicht zuverlässig interpretierbar ist, wurde zusätzlich das gesamte beprobte Flächenkontingent (SchAIVo und Spät-NID) über alle Maisflächen im Untersuchungsgebiet nach der Bearbeitung differenziert ausgewertet (Insgesamt 431 Proben in drei Jahren). Auch hier zeigen sich in allen Jahren geringere Stickstoffgehalte bei der Reihenfrässaat im Frühjahr gegenüber der Pflugbewirtschaftung, während die Frässaaten im Jahre 2004 bei der Herbstbeprobung im Mittel leicht höhere N min-Gehalte aufwiesen. Im Herbst 2005 gab es kaum Unterschiede, in 2006 lagen die Reststickstoffmengen der Frässaat geringfügig unter denen Pflugvarianten, allerdings insgesamt auf sehr niedrigem Niveau mit deutlich geringeren Extremwerten, was mit anderen Untersuchungen übereinstimmt. Erwartungsgemäß wiesen die Grünlandumnutzungsflächen ab Herbst 2004 zu allen Probenahmeterminen im Mittel die höchsten Nitratgehalte auf. Auch hier gab es allerdings Standorte, deren Nitratgehalte mit den langjährigen Ackerflächen vergleichbar waren. Daraus lässt sich schließen, dass der häufig beobachtete, sehr hohe Mineralisierungsschub bei Grünlandumbruch durch den Einsatz der Reihenfrässaat abgemildert werden konnte.

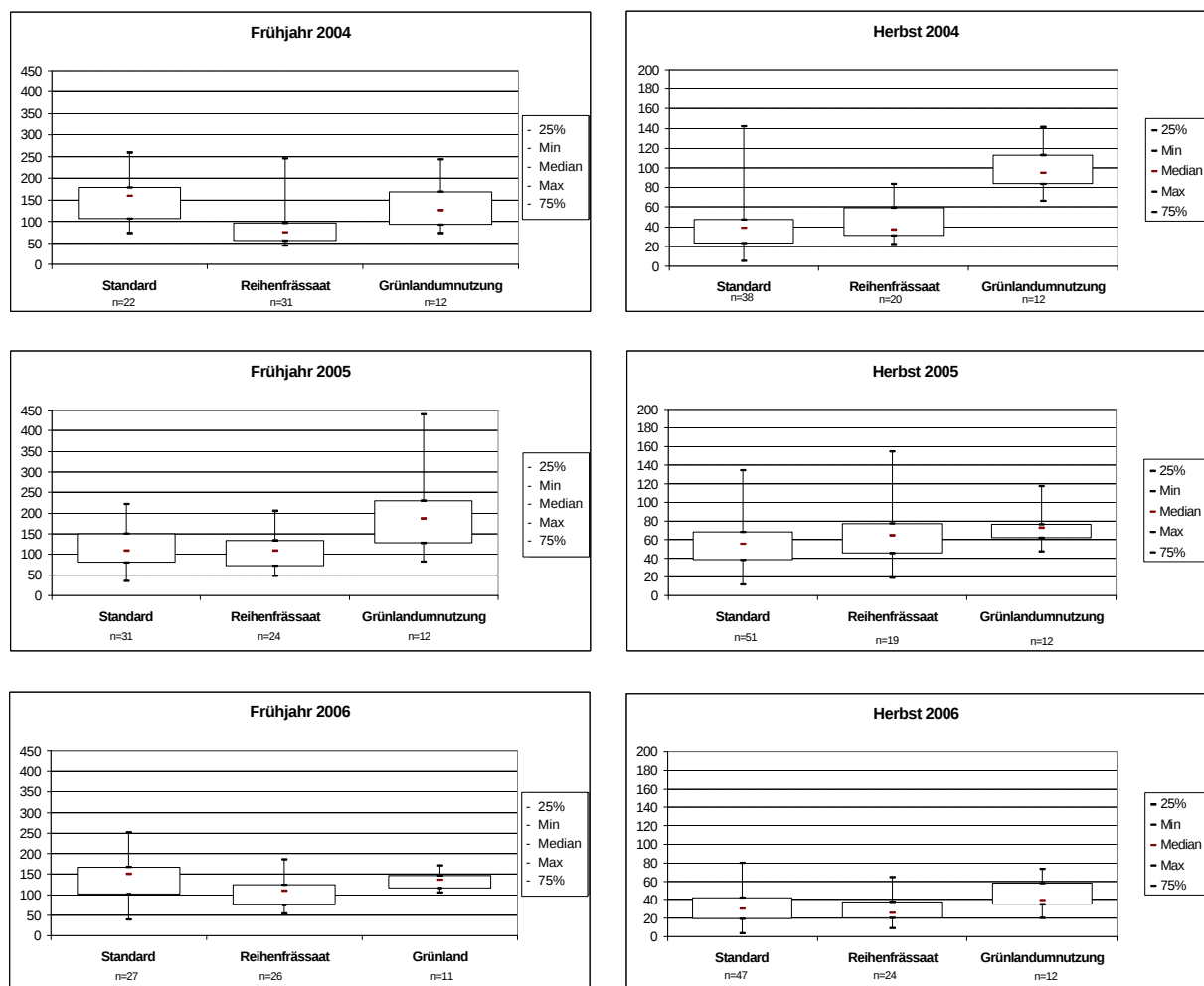


Abbildung 6: Nmin-Gehalte der Maisflächen (Frühjahr und Herbst) 2004 - 2006

In Versuche von SCHULZE & GRIMM (2000) konnten im Winter bei Pflugbewirtschaftung höhere Reststickstoffgehalte als bei Mulchsaat und bei Direktsaat beobachtet werden, während PRONIN (2003) bei ungepflügten Flächen höhere Nitratgehalte im Herbst gegenüber gepflügten Flächen feststellte. Diese wurden allerdings auf niedrigere Erträge zurückgeführt. Es empfiehlt sich deshalb, speziell während der Umstellungsphase eine gründliche Stickstoffkontrolle durchzuführen.

KANSY (2003) ermittelte aus den Versuchsjahren 1999-2001 innerhalb einer Fruchtfolge geringere Reststickstoffgehalte der Reihenfrässaatflächen von durchschnittlich 25% gegenüber der Winterpflugfurche, allerdings auf insgesamt niedrigem Niveau (20 kg/ha für Pflug, 14 kg/ha für Reihenfrässaat). Im Monomaisanbau erzielten Pflugbearbeitung und Frässaat ähnliche N-min Ergebnisse im Herbst. Zur Abschätzung der Auswaschungsgefährdung ist zusätzlich auch die Frühjahrsmineralisierung zu berücksichtigen. Abbildung 7 zeigt die andersartige Mineralisierungsdynamik bei pflugloser Bodenbearbeitung. Der starke Mineralisierungsschub beim Pflügen im Herbst (verzögert auch beim Frühjahrsflug) stellt große Mengen an mineralischem Stickstoff zur Zeit der Frühjahrsniederschläge bereit, wenn diese von der Kultur noch nicht aufgenommen werden. Dies bedingt ein höheres Auswaschungsrisiko. Die beiden pfluglosen Varianten „Frässaat“ und „Direktsaat“ stellen den Stickstoff verzögert und mit kleinerer Amplitude ab Mitte Mai zur Verfügung. SCHULZE et al. (2000) machten ähnliche Beobachtungen.

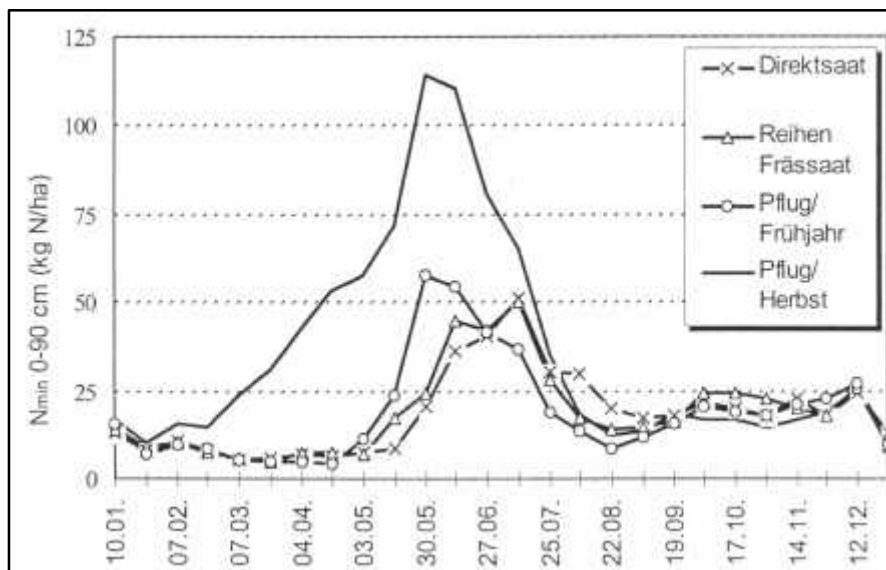


Abbildung 7: N min- Ganglinien (Mehrjähriges Mittel)
(Quelle: KANSY 2003)

In der Praxis kann das dadurch berücksichtigt werden, dass eine Anpassung der Düngermengenverteilung vorgenommen werden sollte, d.h. die erste Düngergabe sollte zu Lasten der späteren betont werden. Ein zusätzlicher N-Bedarf kann in der mehrjährigen Umstellungsphase durch die Stickstoff-Fixierung beim Aufbau von Dauerhumus entstehen. Auf diese Weise können jährlich bis zu 50 kg N/ha festgelegt werden (GILLIAM & HOYT 1987; FLEIGE & BAEUMER 1974).

Insgesamt ist nach der Umstellungsphase nicht unbedingt mehr Stickstoff notwendig, da nach Aussagen zahlreicher Autoren die mineralisierten Mengen bei allen Verfahren in etwa

gleich sind und sich hauptsächlich in der zeitlichen Verteilung und der Amplitude unterscheiden (STEMANN 2001 DORAN 1980; GERMON ET AL. 1994; REINHARD ET AL. 2001; BAKER 1985).

KANSY & VETTER (1999) führten an mehreren Standorten am Oberrhein Versuche mit Direkt- und Reihenfrässaat durch; ZIHLMAN et al. (2002) untersuchten diese Verfahren nördlich von Zürich. Beide Untersuchungen ergaben eine geringere Nitratauswaschungsgefahr für Reihenfrässaat. Auch bei ähnlichen Nitratrestwerten nach der Ernte stellen die pfluglosen Anbausysteme mit Winterbegrünung weniger Nitrat zur Verlagerung zur Verfügung, da die Untersaat/Zwischenfrucht, die nach der Ernte der Hauptkultur aufwächst, noch über 25 kg N/ha fixieren kann (BURTIN et al. 1998).

4.5.1 Stickstoffdynamik und -verlagerung

Verschiedene Wirkungsmechanismen beeinflussen bei der pfluglosen Bodenbearbeitung die Nährstoffverlagerung und haben zum Teil gegensätzliche Effekte. Die vielfältigen Versuche zu diesem Thema zeigen unterschiedliche Ergebnisse. Über Winter ist die Nitratauswaschung bei Pflugbewirtschaftung in den meisten Fällen größer.

Der höhere Restnitratgehalt im Bodenprofil nach dem Pflugeinsatz im Herbst (DOWDELL & CANNELL 1975; GOSS 1990; VIAUX 2001) bringt über Winter die Auswaschung einer gewissen Stickstoffmenge mit sich. In dieser Zeit besteht bei voller Sättigung der Wasserkapazität der Böden die höchste Auswaschungsgefahr. Die Verlangsamung der Nitrifizierung und der Mineralisierung bei pflugloser Bodenbearbeitung infolge geringerer Bodentemperatur und niedrigerer pH-Werte an der Bodenoberfläche (auch Denitrifizierung) führt nach GERMON et al. (1994) und JORDAN et al. (2000) zu einer geringeren Menge an auswaschbarem Stickstoff im Frühjahr. Verstärkt wird dieser für das Grundwasser sehr positive Effekt durch die kontinuierlichen Makroporen, die sich nach mehrjährigem Pflugverzicht einstellen und bis in eine Tiefe von 2 m reichen können (EHRMANN 1998). Dadurch sickert weniger Niederschlagswasser durch die Bodenmatrix (*Matrixsickerung*) und weniger Nitrat wird verlagert. Stattdessen wird ein Großteil des Wassers über die schnell dränenden Poren direkt in die Tiefe abgeleitet, ohne dabei nennenswerte Mengen Nitrat auszuwaschen. Außerdem wird dadurch, dass mehr Niederschlagswasser in kurzer Zeit abgeführt wird, erosionswirksamer Oberflächenabfluss vermindert. Oberflächengewässer werden dadurch auch weniger mit Phosphat belastet, das an Bodenkolloide sorbiert über die Erosion mit dem Boden ausgetragen wird (FREDE & DABBERT 1999). Auch in Untersuchungen von SCHULZE et al. (2000) in Baden-Württemberg hatte die Variante Mulchsaat die niedrigsten Nitratwerte im Herbst und über den Winter.

4.5.2 Stickstoffdynamik bei Grünlandumnutzung

Die im Projekt gemessenen Stickstoffgehalte der Grünlandumnutzungsflächen sind zwar erhöht, was besonders im Herbst 2004 und im Frühjahr 2005 deutlich zu beobachten ist (vgl. Abbildung 6). Sie lagen aber, auch aus Wasserschutzsicht, noch im vertretbaren Bereich und erreichten relativ früh wieder ein akzeptables Niveau. Aus anderen Untersuchungen ist bekannt, dass bei einem Grünlandumbruch mit dem Pflug kurzfristig 30-50% des organisch gebundenen Stickstoffs mineralisiert werden können.

Abbildung 8 zeigt, dass es sich allein im ersten Jahr um mehrere Tonnen Stickstoff handelt, die kurzfristig frei gesetzt werden können. Vor diesem Hintergrund kann die Umnutzung mit der Reihenfräse als sehr erfolgreich für den Grundwasserschutz bezeichnet werden.

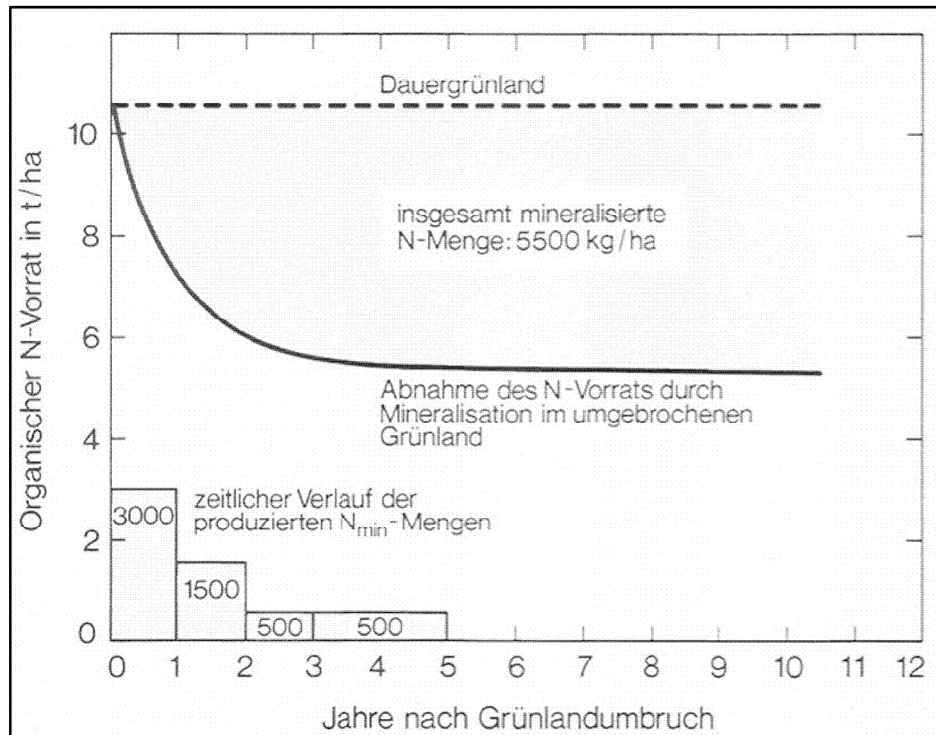


Abbildung 8: Abnahme des Stickstoffvorrats im A-Horizont von sandigen Böden (Podsol-Gleye und Gleye) nach Grünlandumbruch (im Fuhrberger Feld bei Hannover)
Quelle: ROHMANN & SONTHEIMER 1985

4.6 Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

Die mögliche Gefährdung von Grund- und Oberflächengewässern durch Pflanzenschutzmittel wurde im Projekt nicht näher untersucht. Trotzdem soll dieses Thema hier kurz angesprochen werden. Eines der Projektergebnisse besteht in der Erkenntnis, dass sowohl die Landwirte als auch die Bevölkerung einer zusätzlichen Spritzung, wie sie im Falle der Reihenfräsaat in den meisten Fällen angewendet wird, skeptisch gegenüberstehen. Obwohl der Wirkstoff *Glyphosat* im meistens angewendeten Totalherbizid eine vergleichsweise gute Umweltverträglichkeit aufweist, wird diese zusätzliche Pflanzenschutzmaßnahme von Landwirten und der Bevölkerung kritisch betrachtet. Im Projekt wurden deshalb zwei Varianten des Maisanbaus mit nur einer Pflanzenschutzmittelbehandlung erfolgreich durchgeführt. Die ist noch als innovative Variante anzusehen, da in den meisten Fällen beim pfluglosen Ackerbau vor der Aussaat ein Breitbandherbizid und später ein Maisherbizid eingesetzt wird (siehe auch 4.3).

Im Allgemeinen scheinen pfluglose Verfahren unterschiedliche Wirkungen auf die Auswaschung von Pflanzenschutzmitteln auszuüben.

Durch die Verstärkung der Adsorption und der Abbauprozesse werden Auswaschungsverluste von Agrochemikalien vermindert (KANÉ 2000, DAO 1995; WEED et al. 1995; FERMANICH et al. 1996).

Von DÜRING et al. (2001) wurde die verminderte Pflanzenschutzmittelverlagerung auf die verminderte Matrixsickerung und die höhere Sorptionsfähigkeit des Oberbodens konservierend bearbeiteter Flächen zurückgeführt. Außerdem werden durch die höhere biologische Aktivität beim pfluglosen Anbau viele Pflanzenschutzmittel schneller von Bodenmikroorganismen abgebaut. Über die hohe Anzahl von kontinuierlichen Makroporen kann dieser Effekt nach EHRMANN (2000) allerdings kompensiert werden, da schnell über Makroporen in die Tiefe sickerndes Wasser nicht durch den Boden gefiltert wird. Diese Makroporen sind allerdings meist mit organischer Substanz ausgekleidet, welche die Wirkstoffmoleküle und Mikroorganismen adsorbieren (anlagern) und den Um- und Abbau der Wirkstoffe fördern (EDWARDS et al. 1993; SADEGHI & ISENSEE 1997; STEHOUWER et al. 1994). In anderen Untersuchungen konnten keine Unterschiede zwischen verschiedenen Verfahren festgestellt werden (DAO 1995; WEED et al. 1995; FERMANICH et al. 1996).

4.7 Wirtschaftlichkeit und Produktionskosten

Bei Marktfrüchten wird zur finanziellen Bewertung eines Anbausystems standardmäßig eine sogenannte Deckungsbeitragsrechnung durchgeführt. Der Deckungsbeitrag eines landwirtschaftlichen Produktes ergibt sich als Differenz aus Erlös und variablen Kosten. Er zielt darauf ab, zu erfahren, welche Teile des Umsatzes bei einer angebauten Kultur zur Deckung der fixen Kosten eines Betriebes zur Verfügung stehen. Damit ist der Deckungsbeitrag ein wichtiges Kriterium für kurzfristige Entscheidungen (z.B. Bestimmung des optimalen Anbausystems).

Im Dreisamtal beschränkt sich der Maisanbau zum überwiegenden Teil auf Silomais, der zur Tierfütterung eingesetzt wird, also keine Marktfrucht ist. Deshalb wurden in diesem Fall die Produktionskosten für Silomais berechnet (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2).

Pflanzenschutz				€/ha		104		
MwSt.-Satz	19,0%		ohne MwSt	mit MwSt	Einh./ha	€/ha		
Motivell NEU			38,40	45,70	1,00	46		
Callisto			48,60	57,83	1,00	58		
Variable Maschinenkosten (eigene Masch.)				€/ha		102		
Gerät / Arbeitsgang		Schlepper KW / Antr.	je Arbeitsgang		Arb.- gänge	AKh/ ha	€/ha	
			AKh	€				
Eggen		54,0	0,5	8,38	1,0	0,5	8	
Kreiselegge 3m		83,0	1,0	22,01	1,0	1,0	22	
4ScharDrehpflug		83,0	1,9	46,56	1,0	1,9	47	
Düngerstreuer 12m, 600 l (inc)		67,0	0,4	5,02	1,0	0,4	5	
Pflanzenschutzspritze 12m; 600 l		54,0	0,4	5,17	1	0,4	5	
Transp. u. Abkippen 10 t/ha (1)		83,0	0,5	8,56	1,7	0,9	15	
Arbeitszeitbedarf (ständige AK)				AKh/ha		5,0		
Mit Zuschl. für allg. Arbeiten		100	%, max. 10 AKh			10,0		
Lohnmaschinen						262		
MwSt.-Satz	19,0%		ohne MwSt	mit MwSt	m³/ha	€/ha		
Silomais Aussaat (im Lohn)			45	54		54		
Silomais Häckseln (im Lohn)			175	208		208		

Tabelle 1: Arbeitsgänge und Kosten bei Maisanbau mit Pflug

Tabelle 1 und Tabelle 2 beschreiben die beispielhaften verglichenen Anbausysteme, die gemeinsam mit den Projektlandwirten aufgestellt wurden. Unterschiede ergeben sich neben der zweiten Pflanzenschutzmittelbehandlung bei Frässaat (Überfahrt und Wirkstoff) im Bereich der Bodenbearbeitung (Pflugsystem) und der Frässaat als Lohnverfahren.

Pflanzenschutz				€/ha		140	
MwSt.-Satz	19,0%		ohne MwSt.	mit MwSt.	Einh./ha	€/ha	
Callisto			48,60	57,83	1,00	58	
Motivell			38,40	45,70	1,00	46	
Roundup turbo			14,10	16,78	2,20	37	
Variable Maschinenkosten (eigene Masch.)				€/ha		30	
Gerät / Arbeitsgang	Schlepper KW / Antr.	je Arbeitsgang AKh	€	Arb.- gänge	AKh/ ha	€/ha	
Düngerstreuer 12m, 600 l (inc)	67,0	0,4	5,02	1,0	0,4	5	
Pflanzenschutzspritze 12m; 600 l	54,0	0,4	5,17	2,0	0,8	10	
Transp. u. Abkippen 10 t/ha (3000 l)	83,0	0,5	8,56	1,7	0,9	15	
Arbeitszeitbedarf (ständige AK)				AKh/ha		2,0	
Mit Zuschl. für allg. Arbeiten	100	%, max. 10 AKh				4,1	
Lohnmaschinen						375	
MwSt.-Satz	19,0%		ohne MwSt.	mit MwSt.	m³/ha	€/ha	
Reihenfrässaat 4r			140	167		167	
Silomais Häckseln (im Lohn)			175	208		208	

Tabelle 2: Arbeitsgänge und Kosten bei Maisanbau mit Reihenfrässaat

Der Vergleich der Variablen Anbaukosten in Tabelle 3 ergibt eine Differenz von 77 €/ha zugunsten des Pflugsystems. Dem gegenüber steht eine Einsparung an Arbeitszeit von 5,9 Arbeitskraftstunden (AKh), die bei der Deckungsbeitragsrechnung zwar ausgewiesen, finanziell aber nicht zugunsten des pfluglosen Verfahrens bewertet werden.

	Variable Anbaukosten Mais (€/ha)	
	mit Reihenfrässaat	mit Pflug
Pflanzenschutz	140	104
Variable Maschinenkosten	30	102
Lohnmaschinen	375	262
	545	468
Arbeitszeit	4,1	10

Tabelle 3: Arbeitszeitbedarf und variablen Anbaukosten für Silomais in Abhängigkeit vom Anbauverfahren

In Tabelle 4 auf der folgenden Seite sind die Vollkosten beider Verfahren für Silomaisanbau gegenüber gestellt. Hier wird die betriebseigene Arbeitskraft mit einem Lohnansatz von 11,75 €/h veranschlagt (nach LEL 2005 und nach Angabe der Projektlandwirte). Die rechte

Spalte berücksichtigt bei der Reihenfrässaat zusätzlich eine mögliche Abstockung des betriebseigenen Maschinenparks um 55.000 € (z.B. leistungsstarker Schlepper + Bodenbearbeitungsgeräte). Bei gleichem Maschinenbestand ergeben sich mit 11,64 €/dt gegenüber 11,70 €/dt nahezu identische Vollkosten für Pflugsystem und Reihenfrässaat. Bei Maschinenabstockung besteht die Möglichkeit einer Einsparung von ca. 60 ct/dt bzw. 100 €/ha.

Kostenrechnung VERFAHREN (2 ha-Schlag, bis Silo)		PLUG	FRÄSSAAT	FRÄSSAAT mit Masch. Abstockung			
1	Ertrag dt/ha	170	170	170			
2	dav. Hauptprodukt	170	170	170			
7	Summe Leistungen (Z. 4 + Z. 5 + Z.6)	0	0	0			
variable Kosten	8 Saatgut (ggf. mit Begrün €/ha	139	139	139			
	9 Düngung	385	385	385			
	10 Pflanzenschutz	104	140	140			
	14 Variable Maschinenkosten (eigene M	102	30	30			
	15 Lohnmaschinen	262	375	375			
	17 Summe variable Kosten (Summe Z. 8	991	1.070	1.070			
22	Deckungsbeitrag mit Prä €/ha	-1.008	-1.087	-1.087			
23	(mit verfahrensspez.Prämien, mit : €/dt	-5,93	-6,40	-6,40			
24 Arbeitszeitbedarf (ständ AKh/ha		10,0	4,1	4,1			
25	Lohnansatz 11,75 €/AKh €/ha	118	48	48			
26	Feste Maschinenkosten €/ha	503	503	398			
27	Feste Gebäudekosten €/ha	51	51	51			
28	Kosten für Fläche und Ze €/ha	200	200	200			
29	Sonstige Festkosten €/ha	100	100	100			
30	Summe Festkosten einschl. Loh	972	902	797			
36 Kalkulatorisches Betrie €/ha		-1.979	-1.989	-1.884			
37	mit Prämien aus Zahlui €/dt	-11,64	-11,70	-11,08			
Preisuntergrenzen:		€/ha	€/dt	€/ha	€/dt		
45	Summe Kosten abzgl. Nebenl	1.979	11,64	1.989	11,70	1.884	11,08
46	abzgl. Verfahrensspez. Ausgleichsleist. (z.B. N	0	0,00	0	0,00	0	0,00
49	Kostendeckender Erlös für Ha ohne Berücksichtigung von P	1.979	11,64	1.989	11,70	1.884	11,08
50	Direktkosten (Summe Z.8 bis 1 €/ha	644	683	683			
51	Direktkostenfreie Leist €/ha	-644	-683	-683			
52	(Su.Leist. + verfahrensspez. Ausgle €/dt	-3,79	-4,02	-4,02			
53	Kosten der Arbeitserle €/ha	984	956	851			
	(feste u. var. Makost, Lohnmaschine €/dt	5,79	5,62	5,00			
62	Kalk. Betriebszweigergel €/ha	-1.979	-1.989	-1.884			
	Silomais PFL (ohne Prämien aus Z						
63	Differenz (Z.62 - 61) €/ha	1.979	1.989	1.884			
Gleichgewichtspreis der Hauptkultur ¹⁾ (incl. Mwst.)							
64	Silomais € /dt	11,64	11,70	11,08			

Tabelle 4: Vollkosten der Silomaiserzeugung im Dreisamtal

Neben der Vermeidung von Arbeitsspitzen bei der Bodenbearbeitung ergeben sich aus der Berechnung finanzielle Vorteile für Betriebe, die Maschinen abstocken können bzw. fällige Ersatzinvestitionen vermeiden können. Außerdem ist die Einsparung von ca. 60% der Arbeitszeit interessant für Betriebe, in denen die frei werdenden Kapazitäten anderweitig genutzt werden können (z.B. Tourismus, Hofladen, Nebenerwerb etc.).

4.7.1 Vollkosten der Frässaat

Zu Projektbeginn wurde für die Frässaat aus Angaben des IFUL und nach Kalkulationen aus der Schweiz (FAT 2003) als Arbeitshypothese ein Preis von 140 €/ha errechnet, zu dem die Frässaat während der Projektdauer angeboten wurde². Dieser Betrag teilte sich auf in 70 €/ha für die Arbeit mit der Maschine und weitere 70 €/ha für die Arbeitszeit, Schlepper, Sämaschine und Treibstoff.

HYPOTHESE	(2004)
Kosten Reihenfräse	70,00
Schlepper/Sämaschine	70,00
SUMME	140,00

Nach Projektende wurde dieser Preis anhand der tatsächlich angefallenen Kosten überprüft. Die unmittelbar durch die Fräse verursachten Kosten beliefen sich demnach auf 75 €/ha, da der Verschleiß der Maschine aufgrund des hohen Steinanteils im Dreisamtal größer war, als im Vorfeld erwartet. In diesem Punkt war auch eine Nachbesserung seitens der Herstellerfirma erforderlich, die im Frühjahr 2005 durchgeführt wurde. Im Bereich Schlepper/Sämaschine musste ebenfalls leicht nach oben korrigiert werden. Es wurde festgestellt, dass der Treibstoffverbrauch bei diesem Arbeitsgang insbesondere bei Grünlandumnutzung deutlich höher liegt als bei der reinen Saat (jedoch immer noch deutlich niedriger als für die nötigen Überfahrten für Pflug, Saatbettbereitung und Saat bei herkömmlicher Bestellung). Dieser Umstand führt zusammen mit der Preiserhöhung für Diesel in den letzten Jahren zu einem Aufschlag von 15 €/ha, so dass sich im Mittel für die Projektjahre Kosten von 160 €/ha ergaben.

KALKULATION	(2006)
Kosten Reihenfräse	75,00
Abschreibung ²	41,00
Messer/Schrauben	5,50
(436,- €, 80 ha)	
Grubberzinken	15,00
(1200,- €, 80 ha)	
Sonst. Kosten	13,50
Schlepper/Sämaschine	85,00
SUMME	160,00

² Für die erhöhte Abnutzung der Bodenbearbeitungswerkzeuge und den erheblich höheren Dieselverbrauch wurde auf den Grünlandumnutzungsflächen ein Aufschlag vereinbart.

² Abschreibung auf 10 Jahre bei 60 ha/Jahr Flächenleistung

In dieser Kalkulation ist der deutliche Mehraufwand und –verschleiß bei der Grünlandumnutzung (ca. 25% der Fläche) einbezogen. Außerdem ist nicht in allen Fällen der Einsatz des an der Fräse verbauten Grubbers erforderlich. Dieser soll im Tiefenbereich von 15 cm eine Lockerung durchführen und eine Verschmierung unter der Fräse verhindern, was nicht auf allen Böden notwendig ist. Außerdem müssen auf einigen Betrieben vor der Saat Mist oder Gülle mit dem Grubber eingearbeitet werden. Ein nochmaliger Einsatz dieses Gerätes ist dann nicht unbedingt notwendig. In solchen Fällen kann dieses verschleißanfällige Werkzeug problemlos von der Maschine demontiert werden. Dadurch sinken die Kosten für die Abnutzung um ca. 15 €/ha, der Dieselverbrauch wird ebenfalls reduziert. Weitere Unterschiede gibt es im Bereich der Zwischenfrucht, die mit der Frässaat einzuarbeiten ist. So kostet beispielsweise die Arbeit in dichtem Weidelgras deutlich mehr Kraft (und damit Treibstoff und Arbeitszeit) als in einem absilierten Rapsbestand oder in Senf. Innerhalb der Projektlaufzeit und für die wirtschaftlichen Berechnungen erschien es sinnvoll, mit einem einheitlichen Preis zu arbeiten, bis zuverlässige Kalkulationsgrundlagen verfügbar sind. Ein Teil der Reparaturkosten konnten dabei noch aus dem Projektbudget gedeckt werden.

Ab 2007, nach Ende der geförderten Pilotphase, muss die Frässaat zu den Realkosten entlohnt werden. Der Preis wird deshalb in Zukunft individuell nach den jeweiligen Gegebenheiten vereinbart werden. Nach aktuellem Sachstand wird er in etwa zwischen 140 €/ha und 160 €/ha liegen. Die weitere Preisentwicklung hängt von der Preissituation für Diesel und der Flächenauslastung des Gerätes ab.

4.8 Entwicklung der Bodenphysik

Speziell für diese Untersuchungen sind gepflügte Vergleichsflächen in unmittelbarer Nachbarschaft wünschenswert, um den Effekt der unterschiedlichen Bodenbearbeitung nachweisen zu können. Beprobte wurden deshalb langjährige Versuchsflächen des IFUL im Dreisamtal (Oberried), auf der seit 1994 verschiedene Bodenbearbeitungsverfahren eingesetzt wurden, und die Standorte „Müllheim Viehwegacker“ und „Steinenstadt“ aus dem EU-Projekt „Innovativer Maisanbau“. Auf letzteren wurden seit 2004 Exaktversuche durchgeführt, bei denen auch die Reihenfräse des Pilotprojektes zum Einsatz kam.

Zusätzlich zu den Varianten Reihenfrässaat und Pflug wurde im Dreisamtal auch die Variante Direktsaat aus dem Versuch des IFUL in die Untersuchung einbezogen, um die Auswirkungen dieses Verfahrens (Maisanbau ohne jegliche Bodenbearbeitung) mit den Varianten „Pflug“ und „Reihenfrässaat“ vergleichen zu können. Die Exaktversuche des Projektes „Innovativer Maisanbau“ wurden wegen des Projektabschlusses im Dezember 2005 eingestellt. Die beiden Standorte „Müllheim Viehwegacker“ und „Steinenstadt“ konnten jedoch zumindest noch in dem Sinne fortgeführt werden, dass sie auch in 2006 in Reihenfrässaat bestellt wurden. Dadurch standen sie für die geplanten bodenphysikalischen Untersuchungen ebenfalls zur Verfügung.

4.8.1 Eindringwiderstand

In Abbildung 9 sind die Ergebnisse der im Oktober 2006 durchgeführten Untersuchung des Eindringwiderstandes auf dem Standort in Oberried dargestellt. Die Eindringwiderstände der dreijährigen Versuchsflächen in Steinenstadt und Viehwegacker sind im Anhang aufge-

führt. Die Flächen in Oberried wurden seit mehr als 10 Jahren mit den angegebenen Bodenbearbeitungsverfahren behandelt, so dass inzwischen ein messbarer Effekt zu erwarten war. Die beiden gepflügten Varianten „Pflug Herbst“ und „Pflug Frühjahr“ (untere Darstellungen) weisen die charakteristische Pflugsole auf, die durch den erhöhten Eindringwiderstand im Bereich 25-35 cm sichtbar wird.

Die Verdichtungszone, die in den gepflügten Varianten mit Eindringwiderständen von bis zu 2,8 MPa deutlich feststellbar war, konnte durch den langjährigen Pflugverzicht bereits gut aufgebrochen, aber nicht vollständig beseitigt werden. Sie stellt eine Barriere für Sickerwasser und für in die Tiefe wachsende Pflanzenwurzeln dar. Ihre Lockerung erfolgt durch Bodentiere und Pflanzenwurzeln, die im Laufe der Jahre diese Zone aufbrechen. Auch unterhalb der Pflugsohle ist ein leicht höherer Eindringwiderstand auf den Pflugparzellen zu verzeichnen, was auf eine Verdichtung durch Befahrung hinweist.

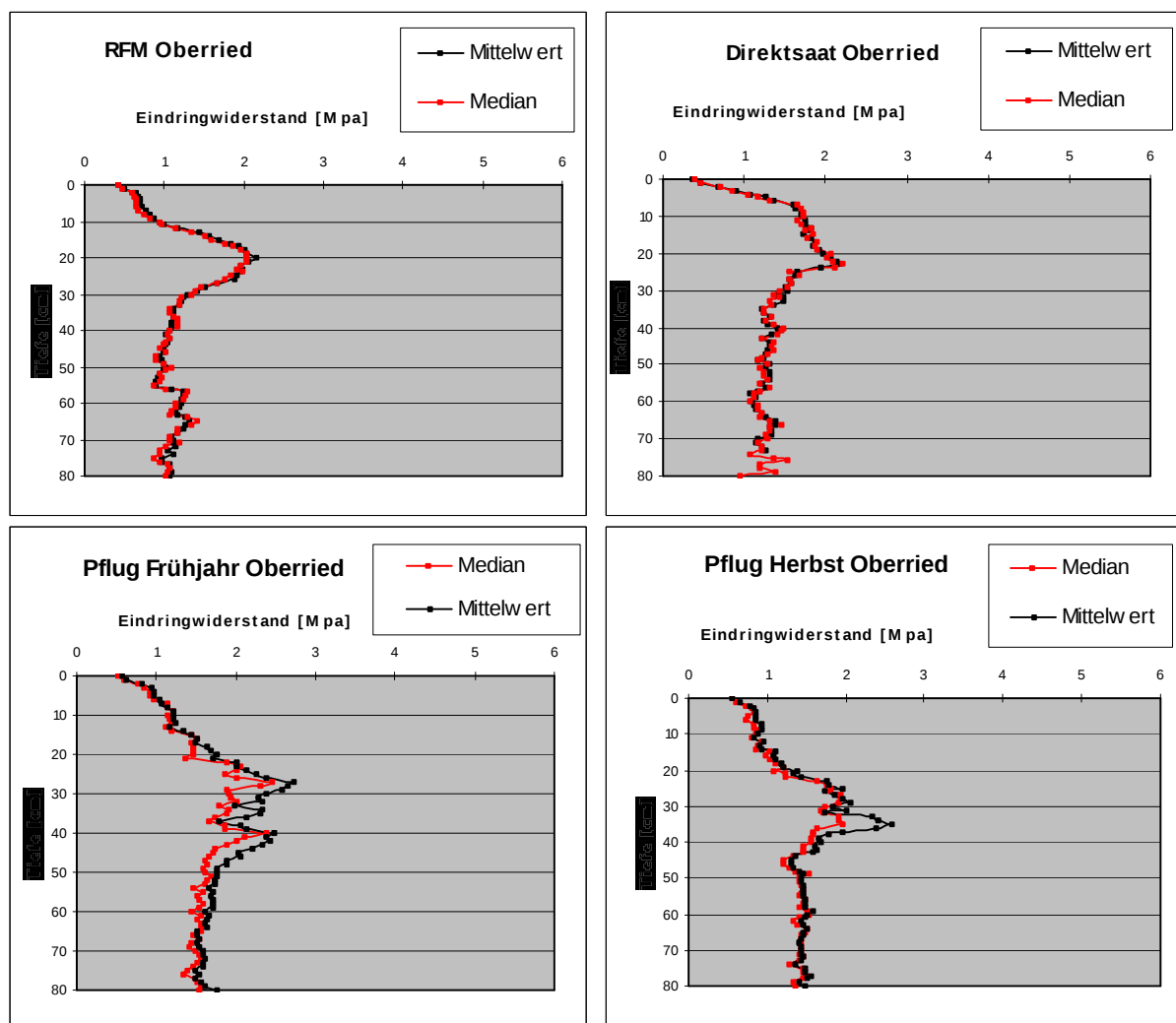


Abbildung 9: Eindringwiderstand der Versuchsflächen in Oberried

In den oberen Bodenschichten (10-20 cm) ist der Eindringwiderstand auf den ungepflügten Parzellen leicht höher, was durch die unterbleibende Lockerung dieser Schicht durch den Pflug erklärt werden kann. Bei nichtwendender Bodenbearbeitung können zudem Verdichtungen, die z.B. durch Befahren bei zu hoher Bodenfeuchte entstehen, nicht mechanisch korrigiert werden. Auch ANKEN & BERWEGER (1998) betonen aufgrund umfangreicher

Erfahrung mit Versuchen zu Reihenfrässaat in der Schweiz, dass Verdichtungen unbedingt vermieden werden müssen.

Neben der verminderten Wasser- und Luftversorgung für Pflanzen und Mikroorganismen macht auch ein erhöhter Eindringwiderstand für die Pflanzenwurzeln eine Bewirtschaftung zunehmend problematischer. Pflugverzicht reduziert neben der Eingriffsintensität auch die Anzahl der Befahrungen, so dass erneute Bodenverdichtung durch das Befahren mit schweren Maschinen vermieden wird. Eine positive Tendenz ist in den durchgeführten Untersuchungen bereits feststellbar, eine weitere Verbesserung ist zu erwarten. In der Fachliteratur ist ausführlich dokumentiert, dass eine Regeneration von Bodenschäden durch Verdichtung bei Umstellung auf ein pflugloses Bodenbearbeitungsverfahren nur sehr langsam stattfindet

Auch BILALIS et al. (2002) beschreiben anhand von Untersuchungen des Eindringwiderstandes nach mehrjährigem Pflugverzicht eine deutliche Lockerung der Pflugsole (vgl. Abbildung 10). TEBRÜGGE & DÜRING (1999) führten Befahrungsversuche durch und ermittelten unter Direktsaat gegenüber Pflugbewirtschaftung eine bis zu 50 % geringere Abnahme des Markroporenvolumens durch Verdichtung. Darüber hinaus steigt – je nach eingesetztem Verfahren - die Befahrungsintensität bei der Pflugbewirtschaftung gegenüber Direktsaat bis zum Dreifachen an.

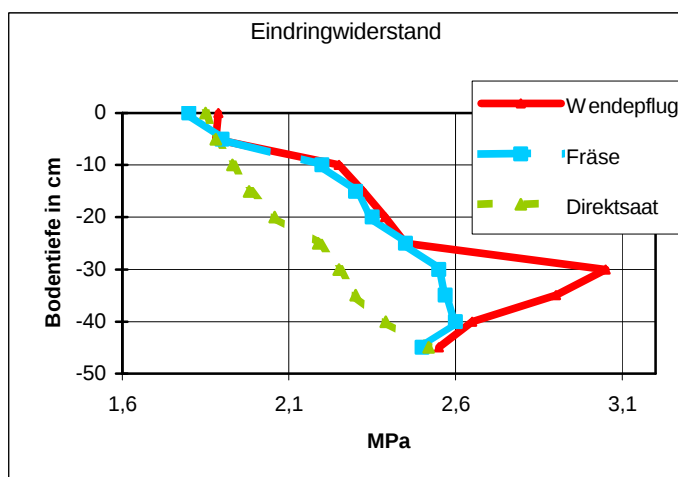


Abbildung 10: Eindringwiderstand in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung
Quelle: BILALIS et al. (2002)

4.8.2 Porenprofiluntersuchungen

Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Poren unterschiedlicher Größe auf dem IFUL-Standort in Oberried. Insgesamt scheinen die Bodeneigenschaften für alle Varianten auch nach mehr als zehn Jahren differenzierter Bodenbearbeitung sehr ähnlich. Systematisch feststellbar über alle drei Standorte ist bei der Variante Reihenfrässaat eine leichte Zunahme des Feinporenanteils zu Lasten der Mittelporen und eine Erhöhung der Grob- und Markroporen im Bereich der Pflugsole. Das Gesamtporenvolumen ist an allen Standorten auf beiden Varianten in vergleichbarem Bereich, beim Pflug tendenziell etwas höher. Die Ergebnisse der Porenprofiluntersuchungen auf den Standorten Viehwegacker und Steinenstadt sind im Anhang dargestellt.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch MAILLRAD et al. (1995) und TEBRÜGGE & DÜRING; (1999). Sie fanden in gepflügten Schlägen ein geringfügig höheres Gesamtporenvolumen als bei Minimalbodenbearbeitung. Im Gegensatz dazu beschreiben NITZSCHE et al. (2000) ein erhöhtes Makroporenvolumen im Oberboden und an der Krumbasis der reduziert bearbeiteten Böden. GUÉRIF (1994) betont in diesem Zusammenhang, dass sich lediglich das strukturelle Porenvolumen (Sekundärporen) ändert, während das texturbedingte Porenvolumen (Primärporen) gleich bleibt. Beim Vergleich von Parzellen nach 15 bzw. 30 Jahren Direktsaat zeigt FOY (2003), dass die pfluglosen Varianten langfristig wieder an Porevolumen zulegen. Bei langjährig nicht gepflügten Böden ist vor allem eine erhöhte Homogenität der Poren im Profilverlauf festzustellen (BAEUMER & BAKERMANS 1973; KAINZ 1989; EDWARDS et al. 1989, KOHL 1989).

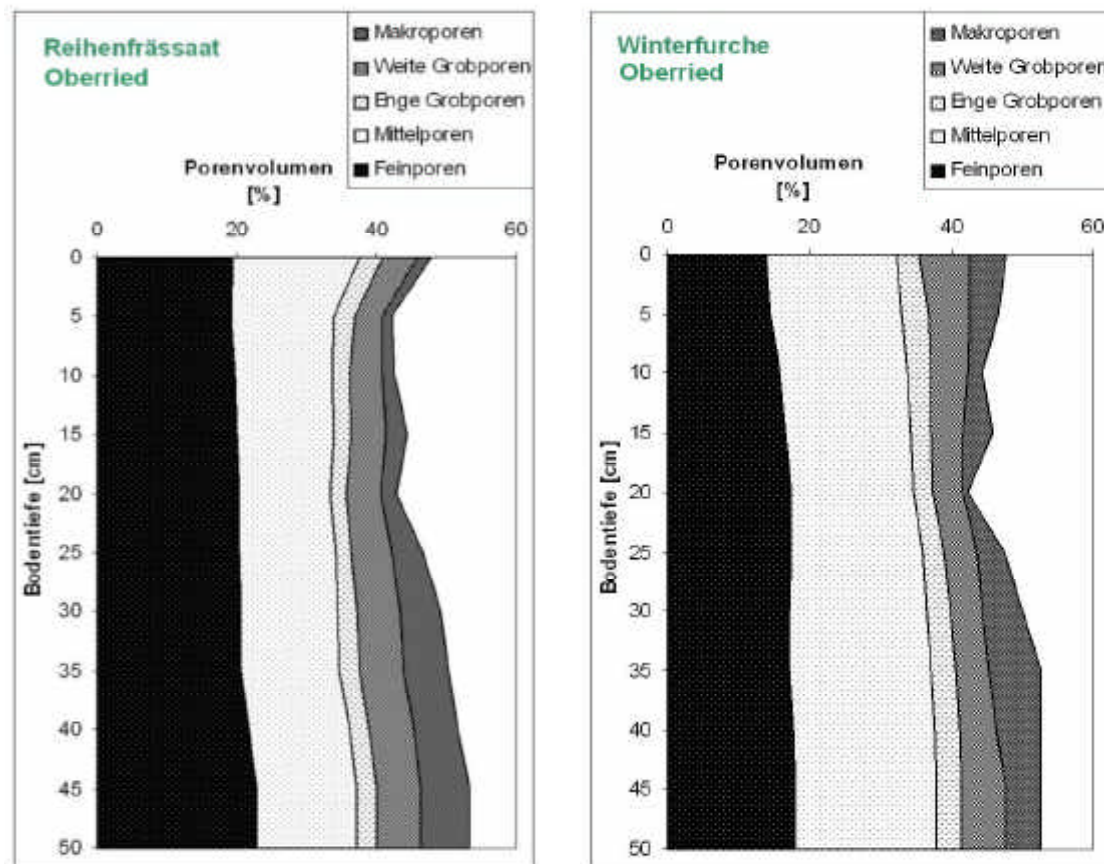


Abbildung 11: Porenverteilung Oberried (Dreisamtal) nach 13 Jahren differenzierter Bodenbearbeitung

Vor allem durch die hohe Kontinuität dieser Poren, die zum Großteil durch Regenwürmer oder Pflanzenwurzeln entstehen, ergeben sich Vorteile beim Wasseraufnahmevermögen und der Durchlüftung dieser Böden (siehe im Teil Wasserhaushalt weiter unten). Wenn der Boden beinahe oder vollständig wassergesättigt ist, werden Flüssigkeiten in großer Menge und sehr schnell in den größten Poren abgeleitet, d.h. hauptsächlich im Strukturporenvolumen (Ney 1987). Die Wasserleitfähigkeit ist umso besser, je weniger Poren durch die Überfahrt von Maschinen zerstört werden. EHLERS (1975) bestätigt den positiven Einfluss von Regenwurmgingängen auf die Wasserleitfähigkeit zwischen dem Oberboden und dem Boden unter der Pflugsohle, insbesondere unter gesättigten Bedingungen (DOUGLAS et al. 1980). Diese kontinuierlichen Röhrenporen biologischen Ursprungs scheinen eine relativ große und stabile

Komponente der hydraulischen Leitfähigkeit zu sein (ELLIOTT et al. 1999, EHLERS 1975). Sie stellen die bevorzugten Transportwege für Flüssigkeiten und für gelöste Ionen dar, welche aufgrund ihres Absorptionsverhaltens gemeinhin als wenig mobil gelten.

Wasserhaushalt

In Versickerungssituationen (nahe der Sättigungsgrenze) ist die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens mit einer bestimmten Speicherkapazität bei einem geringeren Porenvolumen reduziert. Unter Verdunstungsbedingungen ist die Wasserspeicherfähigkeit langjährig pfluglos bearbeiteter Böden in den obersten Zentimetern meist verbessert, da diese einen höheren Humusgehalt aufweisen (NEYROUD & VEZ 1995; RASMUSSEN 1999; NITZSCHE et al. 2000, GRUBE 2003; TEBRÜGGE 2000). Diese Böden trocknen deshalb im Frühjahr oberflächlich oft langsamer ab, wodurch Unterschiede bei der nutzbaren Feldkapazität überlagert werden (GERMON 1994; RICHARD et al. 2004).

Versuche im Unterelsass ergaben auf mehreren Versuchsstandorten in Trockenjahren signifikant höhere Maiserträge für pfluglose Bodenbearbeitung als bei gepflügten Flächen. (HUSS 2003). Andere Autoren stellten keine generellen Unterschiede bei der Wasserspeicherung zwischen pflugloser und konventioneller Bearbeitung fest (CHANG & LINDWALL 1989; CHANG & LINDWALL 1992, LAL et al. 1989).

Unstrittig ist, dass aufgrund der kontinuierlichen Durchporung bei langjährigem Pflugverzicht ein Grossteil des Sickerwassers über schnell dränende Makroporen in tiefere Bodenschichten abgeführt wird, wodurch es z.B. auch bei höheren Nitratgehalten zu geringeren Auswaschungsverlusten und weniger Nitrateintrag ins Grundwasser kommen kann (vgl. Kap.4.5).

5 Öffentlichkeitsarbeit

Das Projekt zur Reihenfrässaat stieß auf großes Interesse bei den regionalen Landwirten, aber auch beim Regierungspräsidium Freiburg und dem Landwirtschaftsamt. Bei erhöhten Nitratbelastungen beim Maisanbau in Wasserschutzgebieten empfiehlt das Amt inzwischen die Anwendung von Reihenfrässaat, besonders auf Problemstandorten.

Es ist nach wie vor großes öffentliches und fachliches Interesse an der Maschine und deren Einsatz zu verzeichnen. Der Zweckverband Landeswasserversorgung Stuttgart stellte 2006 in Zusammenarbeit mit dem Landratsamt Alb-Donau-Kreis und einem Maschinenring Versuche an, um die Eignung der Reihenfrässaat auf den organischen Böden des Donaurieds (Moorböden) zu überprüfen. Hierzu wurden vier Versuchsflächen in der Ortschaft Rammingen (bei Ulm) vom Projekt in Reihenfrässaat bestellt. Die z.T. moorigen Böden boten allerdings keine optimalen Bedingungen.

Öffentlichkeitsarbeit:

- Am 21.7.04 wurde eine Feldbegehung mit den beteiligten Landwirten und anderen Akteuren durchgeführt. Vor- und Nachteile des Verfahrens wurden zwischen Praktikern und Experten diskutiert.
- Eine Presseerklärung zum Projektstart wurde durch ANNA an 45 Fachzeitschriften versendet und zusätzlich der Pressestelle der badenova AG zum Versand über den dortigen Verteiler übergeben. (Halbseitiger Artikel der BZ vom 15.6.2004 siehe Anlage (hier ohne Fotos).
- im Rahmen von diversen Informationsveranstaltungen der badenova AG zum Nitrat-Informationsdienst für Landwirte wurde das Projekt und erste Ergebnisse in einer Präsentation vorgestellt, Flyer wurden verteilt.
- Beim alljährlichen Maistag auf der Hochburg in Emmendingen wurde das Projekt und erste Ergebnisse mit einem Poster den ca. 100 teilnehmenden Maisexperten vorgestellt.
- Am 26.4. besuchte eine Gruppe von insgesamt ca. 15 Wasserschutzberatern unter Federführung des RP Freiburg den Betrieb Steinhart, um die Reihenfräse zu besichtigen und sich über das Projekt und das Verfahren zu unterrichten.
- Beim jährlichen Feldtag der ARAA im elsässischen Niederenzien wurde auf Einladung des Veranstalters die Maschine dort präsentiert. Das Projektteam zeigte die Maschine, erklärte das Verfahren und beantwortete zahlreiche interessierte Fragen der rund 300 Teilnehmer.
- Am 14.7.05 wurde das Projekt und das Verfahren vor einer Gruppe von Meisterschülern der landwirtschaftlichen Fachschule Emmendingen (Hochburg) vorgestellt. Der Lehrer hatte angefragt, ob das Projekt der Gruppe während einer Exkursion vorgestellt werden könnte.
- Am 26.10.05 besuchte eine Gruppe von Sachverständigen des Innovationsfonds den Betrieb Steinhart, um sich ein Bild vom Vorhaben zu machen und die Reihenfräse zu besichtigen.

- Ein Projektflyer mit der Vorstellung des Verfahrens und dem Angebot der Maisbestellung im Lohnverfahren wurde zusammen mit dem Angebot zur Teilnahme am Nitratinformationsdienst (NID) der badenova AG vom Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald an die Praktiker versendet.
- Am 22.4.06 wurde die Reihenfräse und ein Poster zum Projekt auf einer Bürger-Informationsveranstaltung der Dreisamtäler Junglandwirte auf dem Kirchzartener Wochenmarkt der Öffentlichkeit und der Presse vorgestellt.
- Auf einer Feldbegehung des „Frässaatclubs“ im schweizerischen Changins berichteten Schweizer Wissenschaftler und Praktiker von ihren langjährigen Erfahrungen und zeigten sich sehr interessiert und erfreut über deutsche Aktivitäten in diesem Bereich.

6 Schlussfolgerungen

Das primäre Projektziel der erfolgreichen Einführung der Reihenfrässaat in der Praxis im Freiburger Dreisamtal, gemessen an einer Ausdehnung der Frässaatfläche auf 60 ha im Laufe des Projektes, wurde bereits im zweiten Projektjahr erreicht. Die Reihenfrässaat wurde parallel dazu in mehreren Exaktversuchen in Deutschland, Frankreich (Elsass) und den Niederlanden eingesetzt und überprüft. Landwirte, Vertreter der Landwirtschaftsverwaltung und der Agrarforschung zeigten sich sehr interessiert am Verfahren und den Ergebnissen.

Aus der dreijährigen Erfahrung mit der Anwendung des Verfahrens in der Praxis im Dreisamtal und aus der parallel dazu durchgeführten Auswertung der Fachliteratur können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Mit Reihenfrässaat können im Dreisamtal vergleichbare Silomaiserträge wie bei Pflugbewirtschaftung zu vergleichbaren Anbaukosten erzielt werden. Dabei werden mehr als 50% Arbeitszeit eingespart. Solange die Frässaat als Lohnverfahren angewendet wird, sind zusätzliche finanzielle Einsparungen erst durch die Abstockung des betriebseigenen Maschinenparks möglich.
- Alle im Projekt erprobten Anbauvarianten (Monomais, Fruchtfolge, mit und ohne Zwischenfruchtanbau) waren erfolgreich. Besonders für viehhaltende Betriebe oder solchen mit Biogasanlagen ergeben sich zusätzliche Vorteile durch die Möglichkeit der Nutzung einer Zwischenfrucht.
- Die Saat sollte bei gut abgetrockneten Bedingungen durchgeführt werden. Neben der Gefahr einer Bodenverdichtung kann es besonders bei großen Mengen von Pflanzenresten der Vorkultur oder der Zwischenfrucht bei Nässe zu Problemen durch Verstopfung kommen.
- Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln ist im Vergleich zum Pflug höher, da vor der Saat meist ein Breitbandherbizid eingesetzt wird. Trotz der hohen Umweltverträglichkeit des standardmäßig eingesetzten Wirkstoffes muss dieser Umstand als Hemmnis angesehen werden. Die im Projekt begonnenen Aktivitäten zur Minimierung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln durch mechanische Maßnahmen und Lebendmulche zeigten vielversprechende Ergebnisse und sollten weiter verfolgt werden.
- Durch die veränderte Stickstoffdynamik (spätere Mineralisierung) ist auf eine gute Nährstoffversorgung im Frühjahr zu achten. Die zweite Düngung zu Mais sollte gemäß einer Düngerbedarfsberechnung (z.B. durch den NID) durchgeführt werden. Auch bei vergleichbaren Reststickstoffmengen nach der Ernte bei Pflugbearbeitung und Reihenfrässaat ist bei letzterer durch die Winterbegrünung und das veränderte Sickerwasserverhalten mit geringeren Nitratauswaschungen über Winter zu rechnen.
- Besonders bei der Umnutzung von Dauergrünland in Ackerland im Rahmen der Flurneueordnung zeigt die Reihenfrässaat deutliche Vorteile gegenüber einem Umbruch mit dem Pflug, auf den hier verzichtet wurde. Dieser kann bei langjährigem Grünland zu beträchtlichen Stickstofffreisetzungen und –auswaschungen führen. Nach den Ergebnissen der bisherigen Untersuchungen ging bei der (amtlich angeordneten) Maisbestellung in Fräs-

saat auf den 15 ha ehemaligem Grünland bisher keine Gefahr für die Grundwasserqualität aus. Die Anwendung der Reihenfrässaat war zwischen dem Flurneuordnungsamt und den betroffenen Landwirten für drei Jahre vereinbart. Ab 2007 liegt die Wahl des Verfahrens zur Bodenbearbeitung bei den Bewirtschaftern. Sollten diese Flächen in Zukunft gepflügt werden, ist ein Mineralisierungsschub und die damit verbundene NitratAuswaschung nicht auszuschließen.

- Bodenphysikalische Vorteile waren im Projekt nur in Ansätzen nachweisbar. Die erwiesenen positiven Effekte des Pflugverzichts auf die Bodenstruktur konnten entweder mit den eingesetzten Methoden nicht klar abgebildet werden oder hatten sich auch auf dem untersuchten, 13-jährigen Dauerversuch des IFUL noch nicht deutlich differenziert. Eine nachhaltige Schädigung der Bodenstruktur (z.B. durch Verdichtung bei unsachgemäßer Befahrung) kann sehr schnell erfolgen, während sich der Prozess einer strukturellen (Selbst-)Regenerierung über Jahrzehnte hin ziehen kann. Aufgrund anderer Versuchsergebnisse und Aussagen aus der einschlägigen Fachliteratur kann von einer Vorteilhaftigkeit eines langjährigen Pflugverzichts für den Boden ausgegangen werden.
- Der Einsatz von Wirtschaftsdüngern und die Maishacke sind mit dem Verfahren grundsätzlich möglich. Solange die Reihenfrässaat allerdings nicht als Arbeitsgang zur gesetzlich geforderten Einarbeitung von Gülle akzeptiert wird, ist eine wirtschaftliche und gleichzeitig umweltverträgliche Ausbringung von Gülle erschwert. In diesem Punkt sollten weitere Bestrebungen erfolgen, damit das Verfahren diese Anerkennung bekommt.

7 Literatur

- Anken, T. & Berweger, H. (1998): Den Kinderschuhen entwachsen, die Streifenfrässaat. UFA-Revue, Vol3/98:18-20.
- Anken, T., Heusser, J., Weisskopf, P., Zihlmann, U., Forrer, H. R., Hogger, C., Scherrer, C., Mozafar, A. & Sturny, W. G. (1997): Soil cultivation systems. Direct sowing sets highest standards, In: FAT-Berichte, Switzerland, vol. 501, pp. 14.
- Baeumer, K. & Bakermans, W. A. P. (1973): Zero - tillage. Adv. Agron. 25: 77-123. In: KANÉ (2000).
- Baker, D. B. (1985): Regional water quality impacts of intensive row-crop agriculture: a Lake Erie Basin case study. Journal of Soil and Water Conservation 40, 125-132.
- Bilalis, D., Vakari, C., Sidiras N. & Köpke, U. (o.J.): Einfluss von drei Bodenbearbeitungssystemen auf bodenphysikalische Eigenschaften und Wurzelwachstum von Wintergetreide auf einem Ackerstandort in Athen. Unveröffentlichtes Poster, Institut für organischen Landbau der Universität Bonn, im Internet unter <http://www.iol.uni-bonn.de/poster/14.pdf>.
- Bockstaller, C. & Hanson, G. (1999): Umsetzung der Integrierten Produktion in Ackerbaubetrieben der Rheinebene. Abschlussbericht zum ITADA-Projekt A4, 1996-1998.
- Buchner, W. & Köller, K. (1990): Bodenbearbeitung und Bodenfruchtbarkeit. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Chang, C., Lindwall & C. W. (1989): Effect of long-term minimum tillage practices on some physical properties of a Chernozemic clay loam. Canadian Journal of Soil Science 69: 443-449.
- Dao, T. H. (1995): Subsurface mobility of metribuzin as affected by crop residue placement and tillage method. Journal of Environmental Quality 24: 1193-1198.
- Debaeke, P. & Orlando, D. (1994): Simplification du travail du sol et évolution de la flore adventice. Conséquences pour le désherbage à l'échelle de la rotation. INRA Editions 65, 35-62.
- Derpsch, R. & Florentin, M. (2000): Direktsaat: Nachhaltige Landwirtschaft durch Verzicht auf Bodenbearbeitung. Entwicklung und Ländlicher Raum, Heft 4.
- Doran, J. W. (1980): Microbial changes associated with residue management with reduced tillage. Soil Science Society of America Journal 44: 518-524.
- Dowdell, R. J. & Cannell, R. Q. (1975): Effect of ploughing and direct drilling on soil nitrate content. Journal of Soil Science 26: 53-61.
- Düring, R.-A., Hoss, T. & Hummel, H.E. (2002): Depth distribution and bioavailability of pollutants in long-term differently tilled soils. Soil & Tillage Research 66: 183-195.
- Düring, R.-A. & Hummel, H.E. (2002): Depth distribution and bioavailability of pollutants in long-term differently tilled soils. Soil & Tillage Research 66: 183-195.

- Edwards, C.A. & Lofty, J.R. (1989): Effects of cultivation on earthworm populations. In: Bieri, M. und Cuendet, G. (1989): Die Regenwürmer, eine wichtige Komponente von Ökosystemen. Schweiz. Landw. Fo. / Recherche agronom. en Suisse 28 (2) : 81-96.
- Edwards, C. A., Grove, T. L., Harwood, R. R. & Colfer, C. J. P. (1993): The role of agroecology and integrated farming systems in agricultural sustainability. Agriculture, Ecosystems & Environment 46: 99-121.
- Ehlers, W. (1975): Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. Soil Science 119: 242-249.
- Ehrmann, O. (1998): Untersuchungen zum Bodenleben. Abschlußbericht „Ökologische Auswirkungen von verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren“ Universität Hohenheim, Ordnungsnummer 23-95.10.
- Elliott, J. A. & Efeitha, A. A. (1999): Influence of tillage and cropping system on soil organic matter, structure and infiltration in a rolling landscape. Canadian Journal of Soil Science 79: 457-463.
- Emmerling, C. & Hampl, U. (2002): Wie sich reduzierte Bodenbearbeitung auswirkt. Ökologie & Landbau 124, 4/2002: 19-23.
- FAT [Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik] (2003): Maschinenkosten 2003. FAT Berichte 589/2002, Tänikon.
- Feldwisch, N., H.-G. Frede & F. Hecker. (1998): Verfahren zur Abschätzung der Erosions- und Auswaschungsgefahr . S. 22-58. - In: FREDE, H.-G., S. DABBERT (HRSG.): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. 451 S., ecomed, Landsberg 1998.
- Fermanich, K. J., Bland, W. L., Lowery, B. & McSweeney, K. (1996): Irrigation and tillage effects on atrazine and metabolite leaching from a sandy soil. Journal of Environmental Quality 25: 1291-1299.
- Fleige, H. & Baeumer, K. (1974): Effect of zero-tillage on organic carbon and total nitrogen content, and their distribution in different N-fractions in loessial soils. Agro-Ecosystems 1 : 19-29.
- Foy, N. (2003): Effet des systèmes de culture sur l'évolution de la structure d'un sol limoneux. Mémoire de fin d'études, INRA Unité d'agronomie Laon - Reims - Mons, 62 S.
- Frede, H.-G. & Dabbert, S. (Hrsg.) (1999): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. 2. Aufl., 452 S. ecomed, Landsberg.
- Fricke, K. (2003): Schnecken. In: Pallut, B. (2003): Mulchsaat – Grenzen des Systems. DLG-Mitteilungen 1/2003. Erweiterte Textfassung unter www.dlg-Mitteilungen.de.
- Garbe, V. (2001): Strategien zur Bekämpfung von Krankheitserregern in Pflanzenbausystemen mit konservierender Bodenbearbeitung/Direktsaat. Tagungsband "Bodenbewirtschaftung im Umbruch - ökonomisch effizient, pflanzenbaulich / technisch innovativ und der Nachhaltigkeit verpflichtet" am 8/9.5.2001 in Soest.

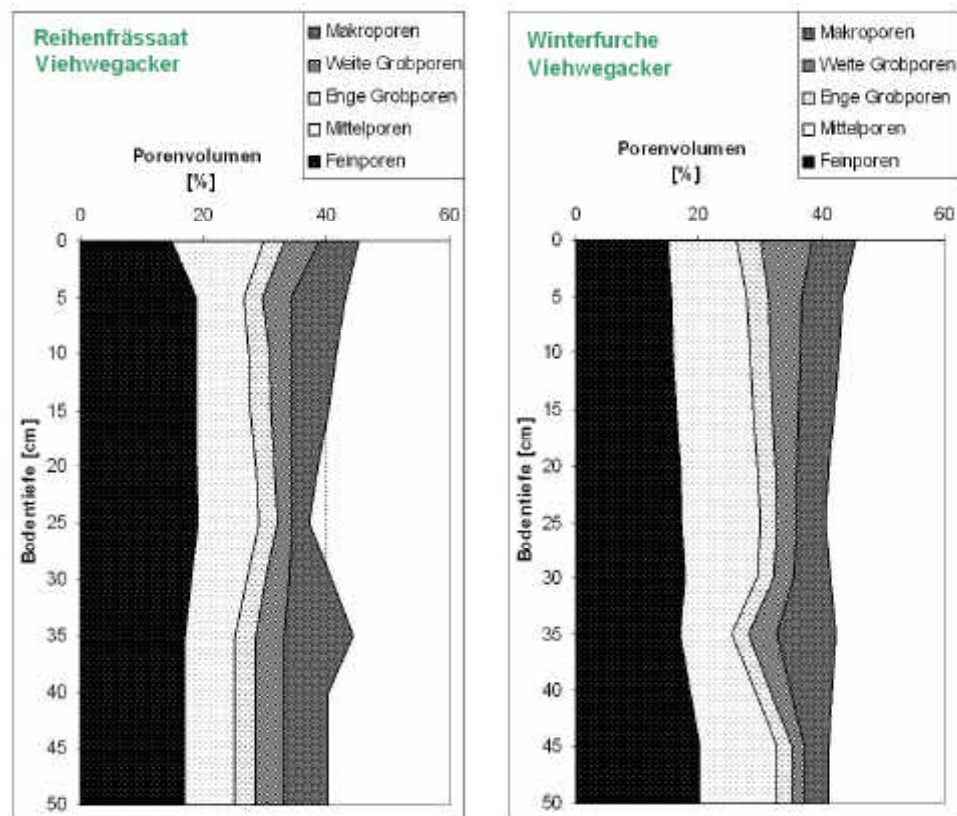
- Germon, J. C., Taureau, J. C. & Thomas, J. M. (1994): Effets des méthodes simplifiées de travail du sol sur les transformations de l'azote et leurs conséquences sur le lessivage des nitrates. INRA Editions 65, 125-156.
- Gilliam, J. W. & Hoyt, G. D. (1987): Effect of conservation tillage on fate and transport of nitrogen. In: Effects of conservation tillage on groundwater quality - nitrates and pesticides, pp. 217-240.
- Goss, M. J. (1990): The effects of soil and crops management on the leaching of nitrates. Calvet Editions, Nitrates, Agriculture, Eau, 389-394.
- Grube, J. (2002): Beurteilung von konservierenden Bodenbearbeitungssystemen zur Bewirtschaftung peripherer Ackerbaustandorte - unter Berücksichtigung verfahrenstechnischer, ökonomischer, ökologischer sowie pflanzenbaulicher und bodenphysikalischer Parameter. Dissertation, Institut für Landtechnik der Universität Giessen, Cuvillier Verlag, Göttingen, 160 S.
- Guérif, J. (1994): Influence de la simplification du sol sur l'état structural des horizons de surface. Conséquences sur les propriétés physiques et leurs comportements mécaniques. INRA Ed 65, 13-34.
- Gundra, H., Jäger, S., Schoeder, M. & Dickau, R. (1995): Bodenerosionsatlas Baden-Württemberg. Agrarforschung in Baden-Württemberg 24, Stuttgart, 76 S.
- Henkelmann, G. (2001): Untersuchungen von Wirkstofffrachten im Agrarökosystem – Monitoring und räumlich Modellierung des Wasserhaushalts, der Bestandesdynamik und der Stoffausträge in Oberflächengewässer und Grundwasser. Jahresbericht 2000 d. Forschungsverbunds Agrarökosysteme, München.
- Hiltbrunner, J. (2003): Erste Erfahrungen und Entwicklungstendenzen mit reduzierter Bodenbearbeitung und Direktsaat im Ökolandbau in der Schweiz. Vortrag am Ackerbautag des Beratungsdienstes Ökolandbau am 5.03.2003.
- Hoelscher, T. & Grandveaux, E. (2005): Erkenntnisse zur pfluglosen Bodenbearbeitung vom Oberrhein. Umfrage bei Landwirten und Fachleuten aus Baden und dem Elsass, Umweltwirkungen, Aussichten für die pfluglose Bewirtschaftung im Oberrheingebiet. Tagungsband ITADA-Forum "Bodenbearbeitung ohne Pflug - Ein Blick auf die Erfahrung der Schweiz" am 09. Juni 2005 in Zollikofen. S. 63-79.
- Holland, J.M. (2004): The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. Agriculture, Ecosystems & Environment Vol. 103(1):1-25.
- Huss, R. (2003): Versuchsergebnisse in Gim Brett (unveröffentlicht)
- Jordan, V. W. L., Leake, A. R. & Ogilvy, S. (2000): Agronomic and environmental implications of soil management practices in integrated farming systems. Aspects of Applied Biology, 61-66.
- Kainz, M. (1989): Runoff, erosion and sugar beet yields in conventional and mulched cultivation. Results of the 1988 experiment. Soil Technology Series 1: 103-114.
- Kané, Y. (2000): Vergleichende Untersuchungen zur Stickstoffdüngungsempfehlung bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung. Dissertation am Fachbereich

- Agrarwissenschaften, Ökotropologie und Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Giessen.
- Kansy, F. & Vetter, R. (1999): Stickstoffdynamik auf organisch gedüngten Maisflächen. Abschlussbericht zum Projekt ITADA A 1.1., 1996-1999.
- Kansy, F.J. (2003): Welche Anbauverfahren (Bodenbearbeitung, Düngung, Fruchtfolge) zu Silomais? Tagungsbeitrag zur Maistagung, Hochburg Emmendingen, 05.02.2003.
- Klotz, F. & Haag, U. (2000): Einfluss verschiedener Verfahren der Bodenbearbeitung auf Bestandsentwicklung, Pflanzenschutz, Ertrag, Qualität, Nitratgehalte im Boden sowie auf die Wirtschaftlichkeit im Ackerbau. Informationen für die Pflanzenproduktion Sonderheft 3/2001. Landesanstalt für Pflanzenbau, Forchheim.
- Kohl, R. (1989): Einfluß langjähriger differenzierter Bodenbearbeitung auf die Nitratverlagerung im Boden. Symposiumsband "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden ". Gießen, S. 135-145. In: KANÉ (2000).
- Kölbl, A. (2006): LS Bodenkunde. Teil III: Das Wasser im Boden.
http://www.wzw.tum.de/bk/pdfs/uebungen/BoPhy_Laborpraktikum.pdf
- Köller, K. (2003a): Mulchsaat von Mais. In: Pallut, B. (2003): Mulchsaat – Grenzen des Systems. DLG-Mitteilungen 1/2003. Erweiterte Textfassung unter www.dlg-Mitteilungen.de.
- Köller, K. (2001): Mulchsaat ist weltweit nötig. DLG-Mitteilungen 12/2001.
- Labreuche, J. & Bouttet, D. (2003): Semis direct: des sols plus difficiles à réchauffer. Perspectives Agricoles 287: 52-54.
- Lal, R., Logan, T. J. & Fausey, N. R. (1989): Long-term tillage and wheel traffic effects on a poorly drained Mollic in Northwest Ohio. I. Soil physical properties, root distribution and grain yield of corn and soybean. Soil Tillage Research 14: 341-358.
- LEL (2005): Kalkulationsdaten Marktfrüchte. Ernte 2005/2006. Schwäbisch Gmünd. 110 S.
- LFL-Bayern (2005): Das Verhalten von Glyphosat in der Umwelt - Forschungsergebnisse zum Austrag und zur Verlagerung.
<http://www.lfl.bayern.de/iab/bodenschutz/14620/index.php>
- Mayor, J. P. & Maillard, A. (1995): Results from an over-20-years-old ploughless tillage experiment at Changins. IV. Seed bank and weed control. Revue Suisse d'Agriculture 27.
- Ney, B. (1987): Fonctionnement hydrique de sols à argile gonflante cultivée. I. Analyse des influences du travail du sol et de l'irrigation sur le fonctionnement hydrique des sols à argile gonflante dans les exploitations de Guadeloupe. Agronomie 7: 247-256.
- Pallut, B. (2003): Mulchsaat – Grenzen des Systems. DLG-Mitteilungen 1/2003. Erweiterte Textfassung unter www.dlg-Mitteilungen.de.
- Pronin, D. (2003): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren auf die vertikale Differenzierung von Bodenkennwerten auf lehmigem Sand (Brandenburg) und auf Schwarzerde (Novosibirsk) sowie auf ausgewählte Pflanzenmerkmale. Dissertation an der landwirtschaftlich-gärtnerischen Fakultät der HU Berlin.

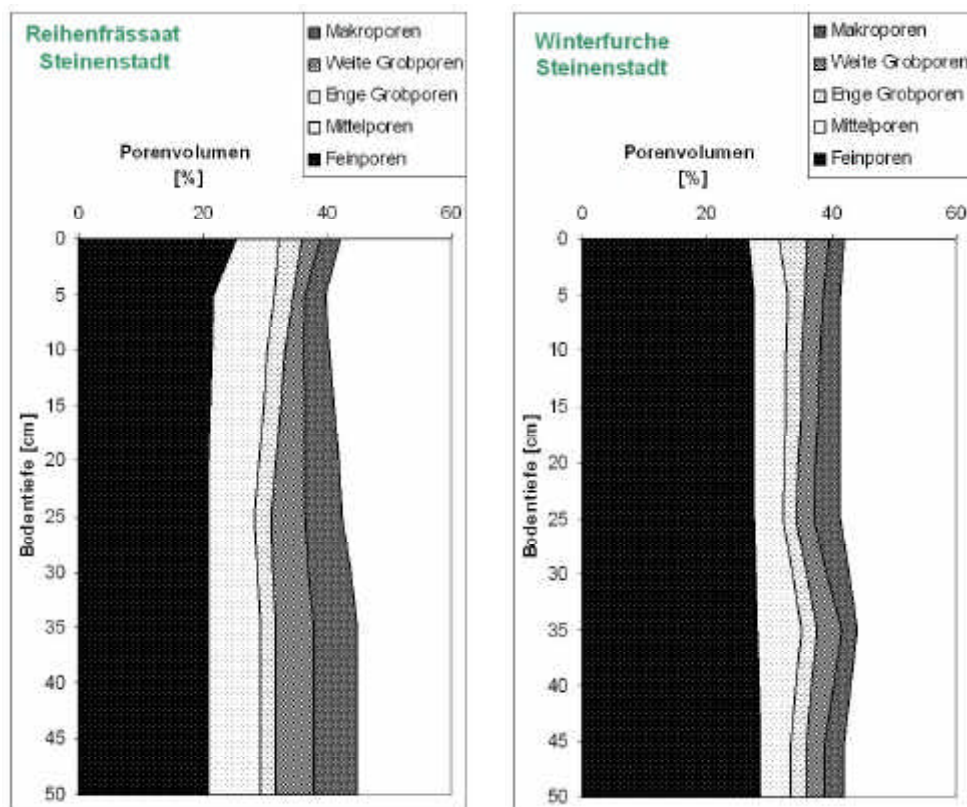
- Ragab, M.T.H., Abdel-Kader, M.K.H. & Stiles, D.D.A. (1985): Fate of Glyphosate in a sandy bam soil and analysis of residues in field-grown crops. *Proc. Nova Scotian Inst. Sci.* 35: 67-70
- Rameau, C. & Viron, H. (1992): Conséquence du travail du sol et de l'intensification du désherbage sur l'évolution de la flore adventice dans une rotation colza-blé-orge. 15^e Conférence de Columa, lutte contre les mauvaises herbes, 163-170.
- Rasmussen, K. J. (1999): Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: a Scandinavian review. *Soil & Tillage Research* 53: 3-14.
- Reinhard, H., Chervet, A. & Sturny, W. G. (2001): No-tillage in field crops. I. Effect on yields. *Revue Suisse d'Agriculture* 33 : 7-13.
- Richard, G., Estrade, J.-R., Cousin, I. & Labreuche, J. (2004): Fonctionnement physique des sols cultivés: labour, non-labour, structure et érosion. Du labour au semis direct: enjeux agronomiques, Conférence-débat INRA ITCF, 8-9.
- Richter, U. (1995): Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitungssysteme auf das Bodengefüge und den Stickstoffhaushalt. *Schriftenreihe zur Bodenkunde, Landeskultur und Landschaftsökologie*, Bd. 4, Gießen, 178 S.
- Rohmann, U. & Sontheimer, H. (1985): Nitrat im Grundwasser – Ursachen, Bedeutung, Lösungswege. Karlsruhe: Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe.
- Roy, D.N., Konar, S.K.; Banerjee, S., Charles, D.A., Thompson & D.G.; Prasad, R.; (1989): Persistence, movement and degradation of Glyphosate in selected Canadian boreal forest soils. *J. agric. Food Chem. Soc.* 37: 437-440.
- Sadeghi, A. M. & Isensee, A. R. (1997): Alachlor and Cyanazine persistent in soil under different tillage and rainfall regimes. *Soil Science* 162: 430-438.
- Schulze, R. & Grimm, S. (2001): Einfluss verschiedener Verfahren der Bodenbearbeitung auf Bestandsentwicklung, Pflanzenschutz, Ertrag, Qualität, Nitratgehalte im Boden, sowie auf die Wirtschaftlichkeit im Ackerbau Informationen für die Pflanzenproduktion Sonderheft 3/2001, LAP Forchheim
- Schulze, R., Klotz, F. & Haag, U. (1999): Ökologische Auswirkungen von verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren. Infodienst Landwirtschaft Baden-Württemberg. Online Datenbank unter der Internet-Adresse:
<http://10.34.54.3/infodienst/agrarroek/bodensch/bearbboek.htm>.
- Soltner, D. (2000): Les bases de la production végétale. Tome I: Le sol et son amélioration. *Sciences et techniques agricoles*. 472 S.
- Stehouwer, R. C., Dick, W. A. & Traina, S. J. (1994): Sorption and retention of herbicides in vertically orientated earthworm and artificial burrows. *Journal of Environmental Quality* 23: 286-292.
- Stemann, G. (2001): Pflanzenbausysteme für konservierende Bodenbearbeitung entwickeln und verfahrenstechnisch gestalten. Tagungsband "Bodenbewirtschaftung im Umbruch - ökonomisch effizient, pflanzenbaulich/technisch innovativ und der Nachhaltigkeit verpflichtet. Soest 8./9.Mai 2001.

- Streit, B. (2003): Schnecken - langsam und doch schnell. Vortrag Plantahof-Feldtagung am 14.08.2003.
- Streit, B. (2002): Veränderungen der Unkrautflora bei Direktsaat. UFA Revue Sonderh. Unkraut 1: 6-7.
- Tebrügge, F. & Düring, R.-A. (1999): Reducing tillage intensity - a review of results from long- term study in Germany. Soil and Tillage, 53 (1): 15-28.
- Tebrügge, F. (2001): Chancen und Risiken der Direktsaat aus landwirtschaftlicher und umweltbezogener Perspektive. Tagungsband "Bodenbewirtschaftung im Umbruch - ökonomisch effizient, pflanzenbaulich / technisch innovativ und der Nachhaltigkeit verpflichtet" am 8/9.5.2001 in Soest.
- Viaux, P. (2001): Regard sur l'environnement ; les effets positifs sur l'environnement. Travaux et Innovations 77, 27-32.
- Weed, D. A. J., Kanwar, R. S., Stoltenberg, D. E. & Pfeiffer, R. L. (1995): Dissipation and distribution of herbicides in the soil profile. Journal of Environmental Quality 24: 68-79.
- Zihlmann, U., Weisskopf, P., Bohren, C. & Dubios, D. (2002): Stickstoffdynamik im Boden beim Maisanbau. AGRARForschung 9:392-397.

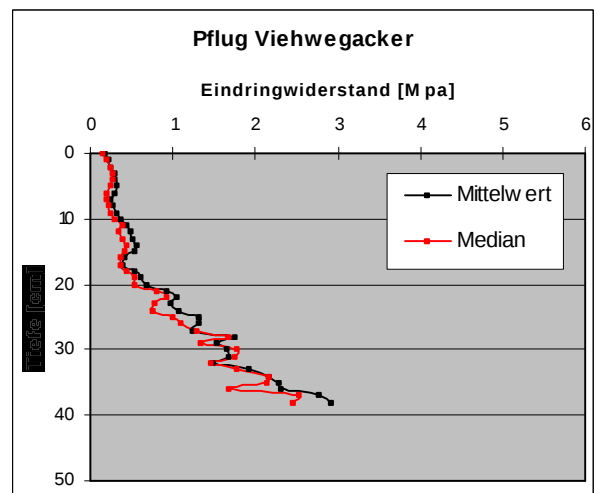
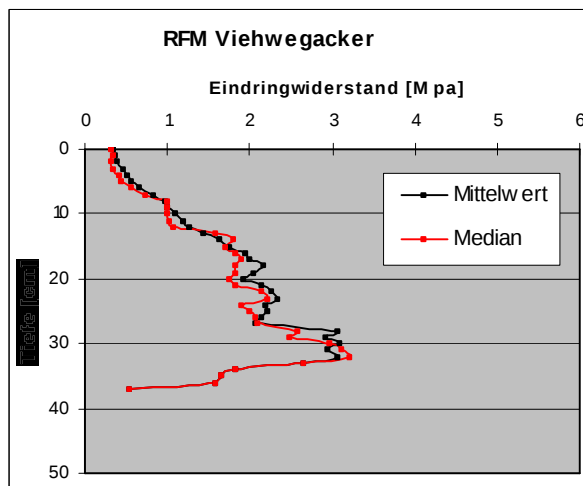
ANHANG



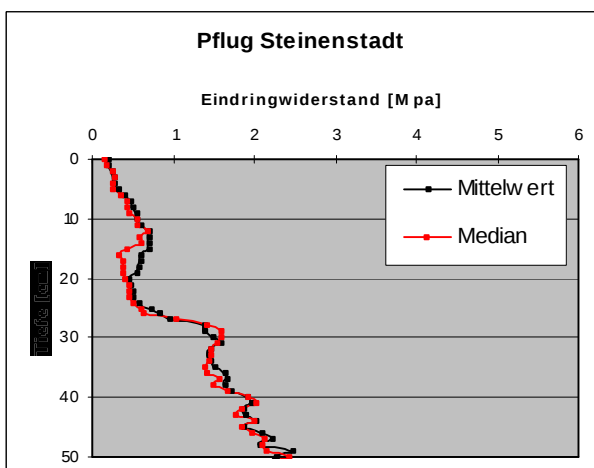
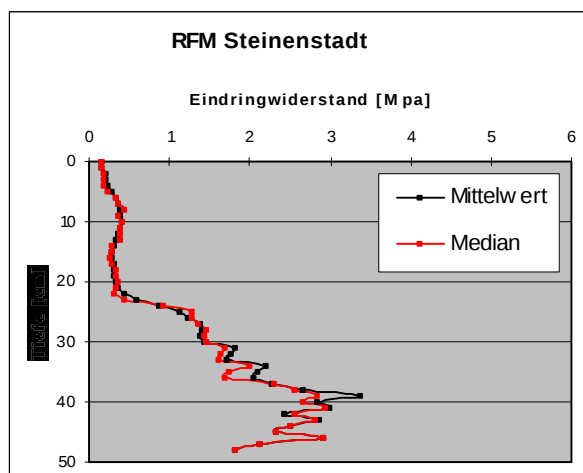
Porenverteilung Standort Viehwegacker nach 3 Jahren differenzierter Bodenbearbeitung



Porenverteilung am Standort Steinstadt nach 3 Jahren differenzierter Bodenbearbeitung



Eindringwiderstand am Standort Viehwegacker nach 3 Jahren differenzierter Bodenbearbeitung



Eindringwiderstand am Standort Steinestadt nach 3 Jahren differenzierter Bodenbearbeitung