

Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Nitratauswaschung

Unterschiede sind kleiner als erwartet

Thomas Anken, Edward Irla, Jakob Heusser und Helmut Ammann, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Walter Richner, Ulrich Walther, Peter Weisskopf und Jakob Nievergelt, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Zürich-Reckenholz, CH-8092 Zürich

Peter Stamp, Eidgenössische Technische Hochschule, CH-8046 Zürich

Otto Schmid und Paul Mäder, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), CH-5070 Frick

Wie beeinflussen Pflug und Direktsaat die Stickstoffdynamik des Bodens, die Nitratauswaschung und die Pflanzenentwicklung? Ein mehrjähriger Feldversuch hatte das Ziel, diese Fragen praxisnah zu untersuchen. Neben den üblichen pflanzenbaulichen Erhebungen wurden Chromstahlzylinder in den Boden eingesetzt (Lysimeter), die das ver-

sickernde Wasser für die Bestimmung der Nitratauswaschung auffangen (Abb. 1). Die Fruchtfolge bestand aus Mais (1999) – Winterweizen (2000) – Mais (2001) – Winterweizen (2002). Nach dem ersten Maisanbaujahr kam es bei mineralischer Düngung unter dem Winterweizen im folgenden Winter und Frühjahr bei der Direktsaat zu einer Nitratauswa-

schung von 70 kg NO₃-N/ha. Beim Pflug wurden 40 kg NO₃-N/ha ausgewaschen. Sehr wahrscheinlich führten der verbliebene organische Kohlenstoff und Stickstoff der vorhergehenden Kunstwiese verbunden mit günstigen Bodentemperaturen bei der Direktsaat zu einer verstärkten



Abb. 1: Ein Bagger trieb Chromstahlzylinder mit einem Durchmesser von 113 cm (1 m² Fläche) 1,5 m tief in den Boden. Diese Lysimeter genannten Messeinrichtungen fassen das Sickerwasser und leiteten es zur Bestimmung der Nitratauswaschung in einen Sammelschacht weiter.

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Versuchsanlage, Fruchtfolge und Standorteigenschaften	2
Messung der Nitratauswaschung	3
1999: Mangelhafte Jugendentwicklung bei Direktsaat	3
Ausgeglichene Erträge 2000-2002	5
Tiefe Stickstoffgehalte im Boden und Sickerwasser	5
Nitratauswaschung – kein klarer Trend	5
Tiefe Auslastung verursacht hohe Kosten	6
Schlussfolgerungen	7
Literatur	7

Problemstellung

Die Trinkwasserversorgungen von zirka 350 Gemeinden in der Schweiz weisen zu hohe Nitratgehalte auf (BLW 2002). Lässt sich die Nitratauswaschung ausser durch Ändern der Fruchtfolgen, Erhöhen des Anteils an Begrünungen und Reduzieren der Stickstoffdüngung auch durch den Verzicht auf die Bodenbearbeitung (Direktsaat) vermindern? In der Literatur ist der Zusammenhang zwischen der Bodenbearbeitung und der Nitratauswaschung umstritten. Neben Arbeiten, die bei Direktsaat im Vergleich zu gepflügten oder bearbeiteten Parzellen geringere Mengen an ausgewaschenem Nitrat nachgewiesen haben (Addiscott 2000, Kohl und Harrach 1991, Tebrügge 2002, Chervet et al. 2003), finden sich Arbeiten, die kaum Unterschiede zwischen den Bestellverfahren nachwiesen (Goss et al. 1993, Randall und Iragavarapu 1995, Shipitalo et al. 2000). Weed und Kanwar (1996), Tan et al. (1998) und Dick et al. (1989) bestimmten schliesslich bei Direktsaat höhere Nitratauswaschungen als beim Pflug. Das Ziel des vorliegenden Versuches war es, die Stickstoffdynamik des Bodens und die Nitratauswaschung ins Grundwasser bei Pflug und Direktsaat unter schweizerischen Bedingungen zu untersuchen. N_{min} -Proben und Bodenwasseruntersuchungen mittels Saugkerzen zeigten die Dynamik des mineralisierten Stickstoffs im Boden auf. Feldlysimeter erfassten die gesamte Sickerwassermenge. Aufgrund der Sickerwassermenge und deren Nitrat-N-Konzentration liess sich schliesslich die ausgewaschene Nitrat-N-Menge bestimmen.

Stickstoffmineralisierung. Unter dem folgenden Mais (2001) flossen bei Pflug und Direktsaat je zirka 30 kg NO_3 -N/ha aus den Lysimetern. Die Sickerwassermengen bei Pflug und Direktsaat unterschieden sich nicht. Die Nitratkonzentration im Boden, erhoben über N_{min} -Proben und Saugkerzen, zeigte bei beiden Verfahren ein ähnliches Muster im Jahresverlauf. Im vorliegenden Versuch hat sich die Bodenbearbeitung nur be-

grenzt auf die Stickstoffmineralisierung im Boden und die Nitratauswaschung ins Grundwasser ausgewirkt. Bodentyp, Klima, Fruchtfolge und Düngung scheinen für die Ausprägung der Nitratauswaschung nach wie vor die wichtigsten Faktoren zu sein.

Versuchsanlage, Fruchtfolge und Standorteigenschaften

Die Lysimeter stehen in 10 x 12 m grossen Versuchspartellen der FAT Tänikon. Der Boden ist eine tiefgründige Parabraunerde (Lehm). Der Skelettgehalt der Parzelle beträgt zirka 10 Vol. % (0–90 cm Tiefe). Tabelle 1 charakterisiert die verschiedenen Bodenparameter. Die durchschnittliche Jahrestemperatur und die Summe der Jahresniederschläge von 1999–2001 sind in Tabelle 2 enthalten. «Pflug» (PF) und «Direktsaat» (DS) waren die beiden mit Lysimetern untersuchten Bestellsysteme. Im Verfahren «flache Bearbeitung» (FL) beschränkten sich die Erhebungen auf die gängigen agronomischen Parameter ohne Messung der Nitratauswaschung. Beim Verfahren DS erfolgte während der gesamten Versuchsperiode keinerlei Bodenbearbeitung. Bei PF wurde jährlich mit einem Zweischarpflug gepflügt und mit einer Kreiselegge geeggt. Bei FL erfolgte die Stoppelbearbeitung mit der Spatenroll-

Tab. 1: Bodeneigenschaften des Versuchstandortes

Bodenparameter	Tiefe 0-20 cm	Tiefe 30-50 cm
Ton %	22	25
Schluff %	35	34
Sand %	43	41
org. C. %	1.6	-
pH	6.6	6.8

Tab. 2: Jahresniederschlagssummen und mittlere Jahrestemperaturen

	1999	2000	2001	Mittel ¹
Niederschläge mm	1419	1128	1582	1180
Temperatur °C	8.7	9.7	9.0	8.2

¹ Durchschnitt von 1970–2000



Abb. 2: Die drei Bestellverfahren waren Pflug (PF, oben), flache Bearbeitung (FL, rechts oben) und Direktsaat (DS, rechts unten). Bei DS blieb der Boden während der gesamten Versuchsperiode unbearbeitet, während bei PF und FL der Boden vor jeder Hauptkultur bearbeitet wurde.

gge und die Saat mit einer zapfwellengetriebenen Bestellkombination bei Winterweizen und Streifenfrässaat für den Mais (Abb. 2). Die Parzellen dieser Hauptverfahren waren mit den beiden Nebenverfahren «mineralische Stickstoffdüngung» (MIN), «Gülle» (GUL, Abb. 3) und «keine Stickstoffdüngung» (ON) unterteilt (Split-Plot-Design mit 3 Wiederholungen). Als mineralischer Stickstoffdünger diente Ammonsalpeter mit 27,5 % N, als Gülle wurde Rindervollgülle eingesetzt. Der Winterweizen wurde auf einen Reihenabstand von 12,5 cm bei PF, FL und von 19 cm bei DS gesät. Die Sätiefe lag bei allen Verfahren bei 2–3 cm. Der Reihenabstand für die Maissaat betrug 75 cm (Saatedichte 10 Körner/m², Ablagetiefe 5 cm). Die Fruchtfolge war Silomais – Winterweizen – Silomais – Winterweizen. Die wichtigsten Angaben zum Anbau der Kulturen sind in Tabelle 3 dargestellt.

Vier bis fünf Zwischenernten erfassten die Biomassenentwicklung und die Stickstoffaufnahme der Pflanzen. Die Bestim-



mung des mineralischen Stickstoffgehaltes im Boden, bezeichnet als N_{min} (NH_4 - und NO_3 -N), erfolgte anhand von Bodenproben (0–90 cm Tiefe, 5 Einstiche pro Parzelle).

Messung der Nitrat- auswaschung

Zylinderförmige, monolithische (mit ungestörtem Boden gefüllt) Feldlysimeter aus Chromstahlblech mit einer Fläche von einem Quadratmeter und einer Tiefe von 1,5 m fingen das Sickerwasser auf. Von dort floss es in einen Sammelschacht weiter (Abb. 1 und Abb. 4), wo Zählwippen die Sickerwassermenge bestimmten. PVC-Wannen sammelten das Sickerwasser für die Bestimmung der Nitrat-N-Konzentration (zirka 14-tägliche Probenahme). Die Lydimeter waren nach dem Vorbild von Murer (1995) gefertigt. Sie

waren in drei Blöcken bei PF und DS in den Parzellen mit mineralischer N-Düngung (MIN) installiert. Die Bodenbearbeitung und Saat in den Lysimeterparzellen erfolgten nach dem Entfernen des obersten Ringes der Lysimeter (Abb. 4) mit praxisüblichen Maschinen.

Für den Vergleich der Nitratkonzentrationen im Sicker- und Bodenwasser waren zusätzlich in allen Lysimetern je drei Saugkerzen in der Tiefe von 125 cm eingebaut. Diese porösen Keramikkerzen ermöglichten das Absaugen von in Bodenholrräumen gespeichertem Wasser (Bodenwasser).

1999: Mangelhafte Jugend- entwicklung bei Direktsaat

Im Frühjahr 1999 entwickelte sich der Silomais beim Verfahren Direktsaat (DS) im Vergleich zu Pflug (PF) sehr schlecht (Abb. 5). Diese schlechte Jugendentwicklung liess sich weder durch die Bodentemperatur noch durch die Wasser- oder Stickstoffversorgung erklären. Die Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe unterschieden sich zwischen den Verfahren DS und PF kaum. Sie lagen ab Ende Mai/Juni mit über 15 °C in einem günstigen Bereich für die Maisentwicklung. Der N-Gehalt der Pflanzen zeigte während allen drei Jahren keine signifikanten Unterschiede zwischen DS und PF. Selbst während der schlechten Jugendentwicklung im Jahr 1999, in dem die Pflanzen eine sehr hellgrüne Farbe aufwiesen, war

Tab. 3: Angaben zu den angebauten Kulturen sowie den ausgeführten Bestell- und Düngearbeiten

	1999	2000	2000	2001
Grundbodenbearbeitung ¹	03.05.99	11.10.99	-	04.04.01
Saatbettbereitung, Saat ²	05.05.99	12.10.99	14.08.00	02.05.01
Kultur Sorte	Silomais LG 22.65	Winterweizen Titlis	Gelbsenf Silenda	Silomais LG 22.65
Saatdichte	10 Körner/m ²	420 Körner/m ²	20 kg/ha	10 Körner/m ²
N-Düngung kg N/ha	150	120	-	160

¹ Bei PF: Pflug 2-Schar, 25 cm tief

² Bei PF und FL: Kreiselegge 8 cm tief, Streifenfrässaat bei FL Mais



Abb. 3: Der pneumatische Düngerstreuer verteilte den Mineraldünger und der Schleppschauchverteiler die Gülle auf den Versuchspartellen.

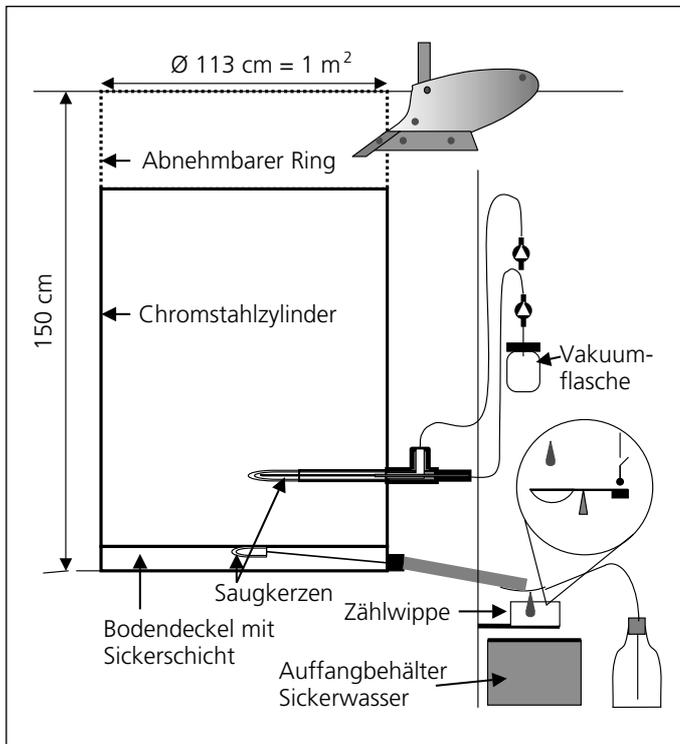


Abb. 4: Ein Deckel verschliesst die Lysimeter am unteren Ende. Der Abfluss führt in einen Sammelschacht, wo das Sickerwasser über eine Zählwippe fließt und schliesslich in PVC-Behältern aufgefangen wird. Saugkerzen mit feinporigen Keramikköpfen ermöglichen das Absaugen von Bodenwasser in 125 cm Tiefe.

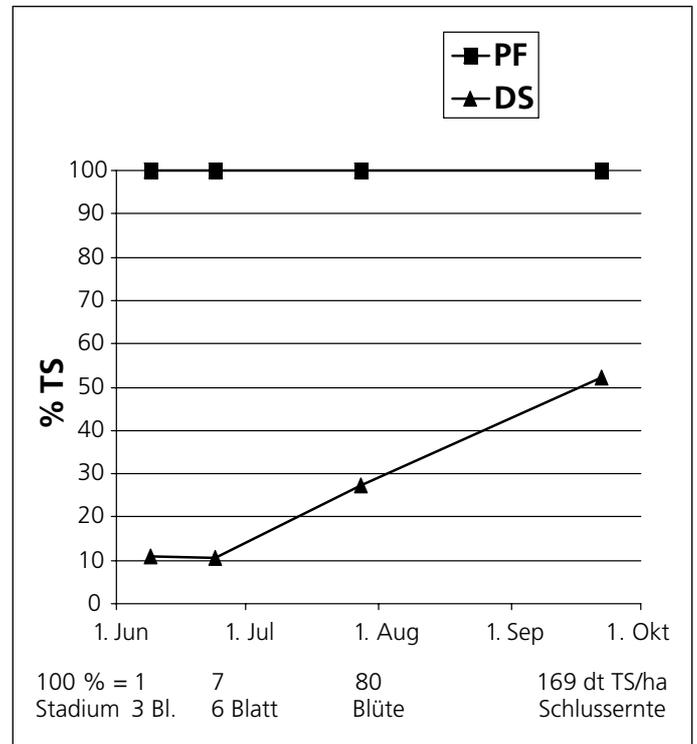


Abb. 5: Relativer Trockensubstanzzuwachs (%) der Direktsaat (DS) im Vergleich zu Pflug (PF) im Jahr 1999. Die hohen Niederschlagsmengen während der Monate Mai und Juni werden als Hauptursache für die schlechte Jugendentwicklung von DS betrachtet.

der Stickstoffgehalt der Pflanzen von DS nicht geringer als jener von PF. Die schlechte Jugendentwicklung steht wahrscheinlich im Zusammenhang mit den sehr grossen Niederschlagsmengen der Monate Mai (244 mm) und Juni 1999 (189 mm). Diese lagen weit über dem langjährigen Durchschnitt von 114 (Mai) respektive 139 mm (Juni). Diese grossen Wassermengen hatten vermutlich bei der Direktsaat (DS), die im Vergleich zum gelockerten Oberboden vom Pflug (PF) ein deutlich kleineres Grobporenvolumen aufwies, eine mangelhafte Sauerstoffversorgung im Wurzelbereich bewirkt. Dies liess sich allerdings nicht direkt durch Messungen belegen. Neben den hohen Niederschlagsmengen bestimmen die physikalischen Verhältnisse im Säschrift die Wachstumsbedingungen während der Jugendentwicklung. Diese sind charakterisiert durch die Sauerstoff-, Wasser- und Nährstoffversorgung der jungen Wurzeln und den Durchdringungswiderstand des Bodens. Die extrem schlechte Jugendentwicklung der Maispflanzen 1999 zeigt, dass bei der «Saatbettgestaltung» im Säschrift noch Handlungsbedarf besteht. Gewünscht wären Scharsysteme, die auch in feuchten Böden keine Verschmierungen der Säschriftze

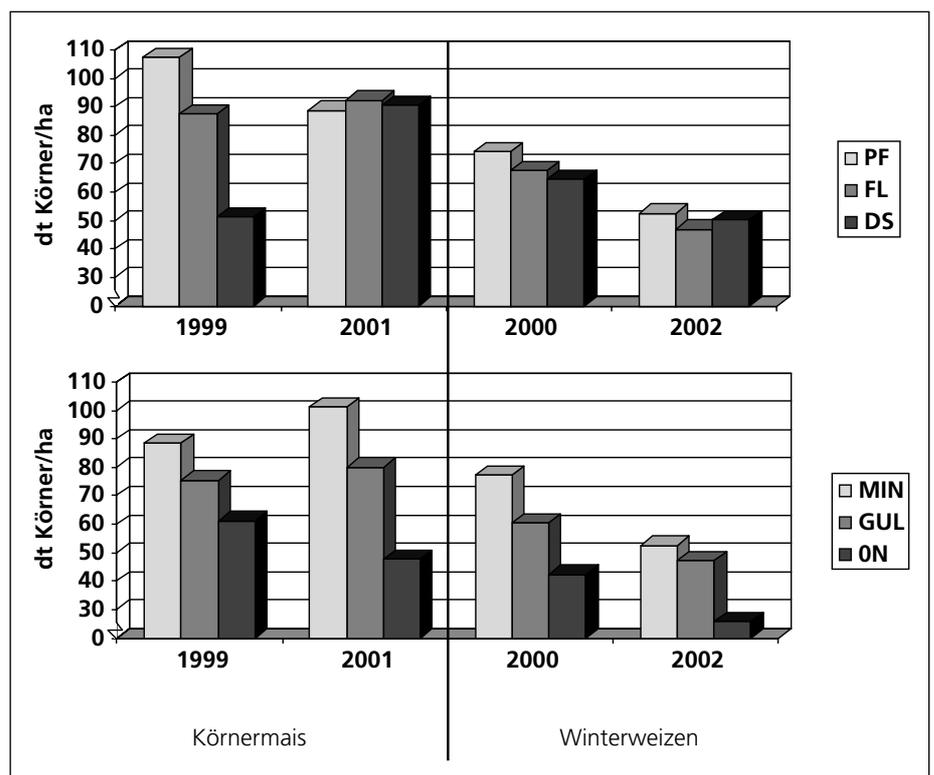


Abb. 6: Körnerträge (dt/ha) von Mais und Winterweizen der Jahre 1999 bis 2002. Die Erträge der Bodenbearbeitungsverfahren Pflug (PF), flache Bearbeitung (FL) und Direktsaat (DS) sind über die mineralische und die Gülledüngung gemittelt. Die Düngungsverfahren Mineralisch (MIN), Gülle (GUL), kein N (ON) sind über alle Bodenbearbeitungsverfahren gemittelt.

verursachen, den Boden krümeln, den Schlitz ohne Verdichtungen schliessen und verstopfungsfrei arbeiten.

Ausgeglichene Erträge 2000–2002

PF erzielte in den Jahren 1999 (Mais) und 2000 (Winterweizen) die signifikant höchsten Erträge (Abb. 6). Beim folgenden Mais (2001) und Winterweizen (2002) unterschieden sich die Bestellverfahren nur einige wenige Prozente, die Unterschiede waren statistisch nicht gesichert. Die Ertragsunterschiede zwischen den verschiedenen Düngeverfahren waren dagegen in allen Jahren signifikant. MIN erzielte immer die höchsten, ON die kleinsten Erträge, GUL lag jeweils zwischen diesen beiden Verfahren. Die erzielten Mehrerträge pro kg ausgebrachter Stickstoff (Ammoniumstickstoff bei der Gülle) zeigten, dass die mineralische Düngung den applizierten Stickstoff besser in Ertrag umsetzte (Daten nicht dargestellt). Es ist anzunehmen, dass die gasförmigen Ammoniakverluste trotz Schleppschlauchsinsatz bei der Güllenausbringung für die schlechtere Ausnutzung des Ammoniumstickstoffs der Gülle und die resultierenden Mindererträge verantwortlich waren.

Tiefe Stickstoffgehalte im Boden und Sickerwasser

Abbildung 7 stellt die gemessenen N_{min} -Werte im Boden der Jahre 1999–2002 dar. Der Gehalt an mineralischem Stickstoff im Boden verläuft während der ganzen Periode auf tiefem Niveau. Leicht erhöhte N_{min} -Werte traten während der Jugendentwicklung der Mais- und Weizenpflanzen jeweils nach der Düngung auf. Die beiden Bestellverfahren unterschieden sich nur in Einzelfällen signifikant voneinander. Die mineralische Düngung (MIN) erzielte in den meisten Fällen erwartungsgemäss die höchsten, die Gülldüngung (GUL) die zweithöchsten und das Verfahren ohne Stickstoffdüngung (ON) die tiefsten Werte.

Der Verlauf der Nitrat-N-Konzentration im Bodenwasser (Abb. 8) zeigt bei PF und DS einen ähnlichen Verlauf. Analog zu den N_{min} -Erhebungen erreichten die Konzentrationen nie sehr hohe Werte. Wie bei den Werten im Bodenwasser waren

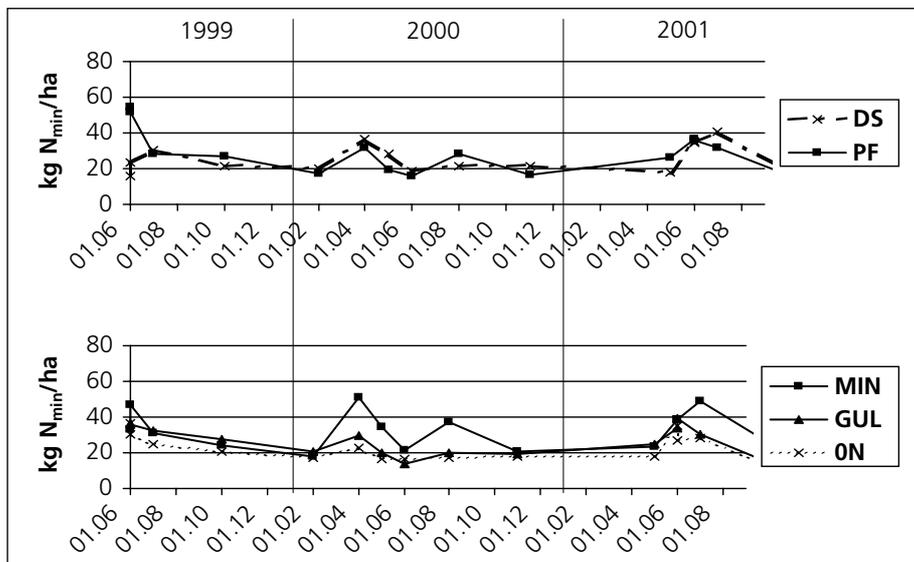


Abb. 7: N_{min} -Gehalte des Bodens ($kg N_{min}/ha$) von 1999–2002. Sie weisen zu keinem Zeitpunkt hohe Werte auf. Die Werte der Bodenbearbeitungsverfahren Pflug (PF) und Direktsaat (DS) sind über die drei Düngeverfahren (Mineralisch (MIN), Gülle (GUL), kein N (ON)) gemittelt und umgekehrt.

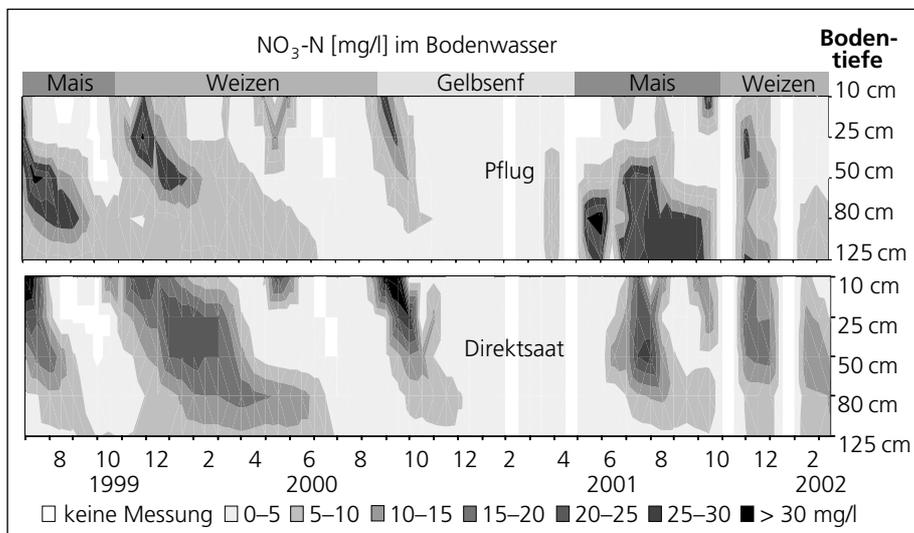


Abb. 8: Zeitlicher Verlauf der Nitrat-N-Konzentration (mg/l) im Boden der Verfahren Pflug und Direktsaat bei mineralischer Düngung von 1999–2002. Die Grundmuster der beiden Verfahren sind sehr ähnlich.

die Nitrat-N-Konzentrationen im Sickerwasser nach der Silomaisernt im Herbst 1999 und während des nachfolgenden Winters bei DS deutlich höher als bei PF (Abb. 9). Möglicherweise standen bei DS im Vergleich zu PF erhöhte Bodengehalte an organischem Stickstoff und Kohlenstoff von der vorhergehenden Kunstdünger- oder der geringere Stickstoffentzug der Maispflanzen in einem Zusammenhang mit der verstärkten Stickstoffmineralisierung im Spätherbst. Während der beiden folgenden Jahre unterschieden sich die beiden Bestellverfahren nicht wesentlich voneinander. Die höchsten Konzentrationen um die $15 mg NO_3-N/l$

traten nach Mais 1999 und nach der Düngung des Mais 2001 auf.

Nitratauswaschung – kein klarer Trend

Abbildung 10 zeigt die mittels Lysimetern bestimmte Nitratauswaschung. Nach dem ersten Maisanbaujahr kam es bei DS unter dem folgenden Winterweizen zu einer Nitratauswaschung von $70 kg NO_3-N/ha$. Bei PF wurden $40 kg NO_3-N/ha$ ausgewaschen. Unter dem folgenden Mais (2001) flossen bei PF und DS je zirka 30

kg NO₃-N/ha aus den Lysimetern. Die ausgewaschenen Nitratmengen waren somit relativ gering. Im vorliegenden Versuch schien die Stickstoffnachlieferung aus der natürlichen Mineralisierung und

der Düngung ziemlich synchron mit der Stickstoffaufnahme der Pflanzen zu verlaufen. Die gute Ausnutzung des mineralischen Stickstoffes durch die Pflanzen bewirkte, dass während der Vegetationsruhe nur wenig Nitrat-N ausgewaschen werden konnte. Die Ausnahme bildete der Herbst 1999, wo die Parzellen von DS mehr Nitrat mineralisierten, als der Winterweizen aufnehmen konnte, was zu erhöhter Auswaschung führte.

zeit- und mengengerechten Düngung, die an den Bedarf der Pflanzen angepasst ist. Wird Mais zu früh gedüngt, besteht bei starken Niederschlägen die Gefahr von Nitratauswaschung.

Tiefe Auslastung verursacht hohe Kosten

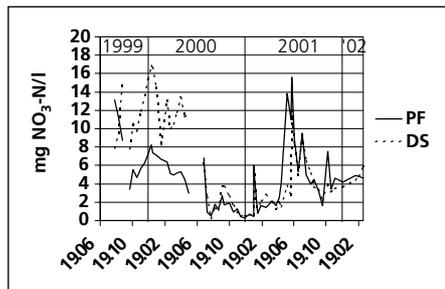


Abb. 9: Nitrat-N-Konzentration (mg/l) im Sickerwasser der Lysimeter bei den Verfahren Pflug (PF) und Direktsaat (DS) von 1999–2002. Die Verfahren weisen keine systematischen Unterschiede auf.

Die Nitratauswaschung, die im Frühjahr 2001 festzustellen war, stammte mit grosser Wahrscheinlichkeit von Stickstoff, der im Frühjahr mineralisiert oder gedüngt worden war. Die N_{min}-Werte und Bodenwasserproben zeigten nämlich Ende Winter, dass im gesamten Bodenprofil kaum mehr Nitrat zu finden war. Dies belegt die grosse Wichtigkeit einer

Neben den ökologischen Auswirkungen stellt sich für die verschiedenen Bestellverfahren zusätzlich die Frage nach den Maschinen- und Traktorkosten. Je nach Fruchtfolge, Standort und Kenntnisse des Betriebsleiters können bei Minimalbestellverfahren im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung Nachteile wie geringere Erträge oder höhere Aufwendungen beim Pflanzenschutz auftreten. Weil die Maschinen im Vergleich der Verfahren die grössten Kostenunterschiede bewirken und die Differenzen bei den Erträgen und bei den Aufwendungen für den Pflanzenschutz stark schwanken können, beschränken sich die folgenden Berechnungen auf die Maschinenkosten. Abbildung 11 und Tabelle 4 zeigen die zuteilbaren Kosten ausgewählter Bestellverfahren. Die verwendeten Ansätze entsprechen denjenigen der «Maschinenkosten 2003» (FAT-Berichte Nr. 589). Je nach Höhe der jährlichen Auslastung zeigt sich, ob aus wirtschaftlicher Sicht Zumieterung, Lohnarbeit oder Eigentum sinnvoll sind. Mit steigender Auslastung werden die unabhängig vom Einsatz anfallenden fixen Kosten auf mehr Arbeitseinheiten überwälzt, was tiefere Kosten pro Hektare zur Folge hat. Ohne Berücksichtigung der Gebäudekosten fallen beim Verfahren «PF eigen» (siehe Tab. 4) pro Jahr Fr. 7190.– fixe Kosten an. Bei einer Auslastung von 20 Hektaren pro Jahr sind dies Fr. 360.– pro Hektare. Die variablen Kosten, ohne Berücksichtigung der Wartung, betragen inklusive Traktor mit 70 kW (95 PS) Fr. 170.– pro Hektare. Die zuteilbaren Kosten pro Hektare betragen somit Fr. 530.–. Wird nur wegen dem Pflügen und der Bodenbearbeitung ein grösserer Traktor angeschafft, fallen im Vergleich zum bisherigen Traktor höhere fixe Kosten an («PF eigen + T»). Diese Differenz ist dem umschriebenen Verfahren anzulasten. Ohne Berücksichtigung der Gebäudekosten kommt ein Traktor mit 70 kW (95 PS) auf zirka Fr. 10 600.– fixe Kosten pro Jahr. Demgegenüber fallen bei einem Typ mit 50 kW (68 PS) zirka Fr. 7300.– fixe Kosten an. Ausschlaggebend für die Differenz von Fr. 3300.– sind im

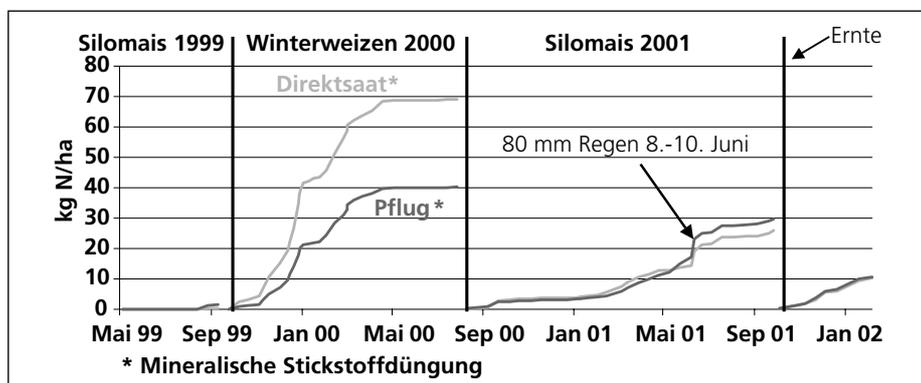


Abb. 10: Aus den Feldlysimetern ausgewaschene Menge Nitrat-N (kg N/ha) bei Pflug und Direktsaat in den Jahren 1999–2002. Ausser im Jahr 2000 unterschieden sich die Verfahren nicht.

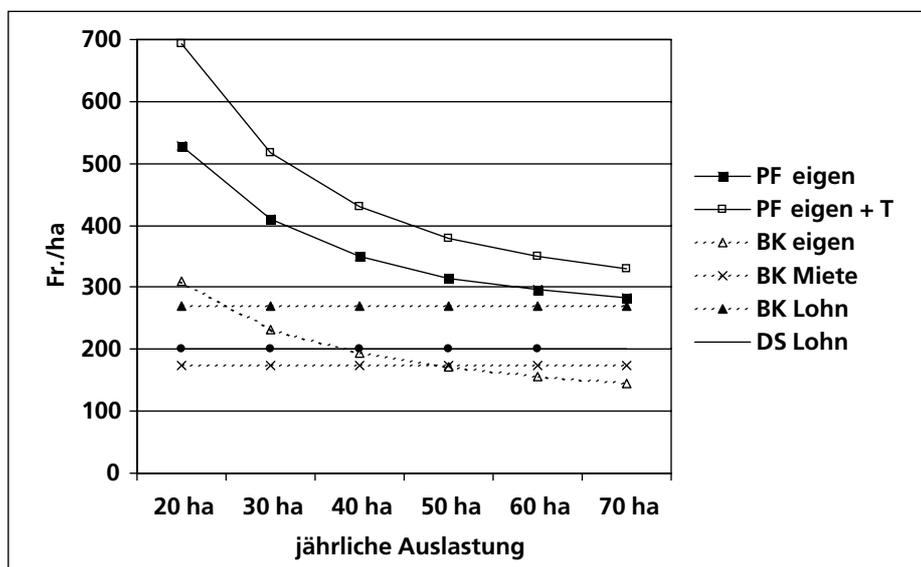


Abb. 11: Verfahrenskosten verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren bei unterschiedlichen jährlichen Auslastungen. Bei tiefen Auslastungen sind Zumieterung und Lohnarbeit günstiger als die Anschaffung einer eigenen Mechanisierung. (Legende siehe Tab. 4).

Tab. 4: Je Verfahren zugeteilte Kosten. Fix = Fixe Kosten (Abschreibung, Zins, Gebühren, Versicherung), Var = Variable Kosten (Treibstoff, Reparaturen), eigen = eigene Mechanisierung, Miete = gemietete Bestellkombination, Lohn = Arbeit im Lohn vergeben.

Verfahren		Pflug, 4-scharig	Bestellkombination, 3 m	Traktor, 4-Radantrieb, 70 kW (95 PS)
PF eigen	Pflug + Bestellkombination eigen	Fix + Var	Fix + Var	Var
PF eigen + T	Pflug + Bestellkombination eigen, 70 kW statt 50 kW-Traktor	Fix + Var	Fix + Var	Var + Differenz fixe Kosten Traktor
BK eigen	Bestellkombination, eigen	-	Fix + Var	Var
BK Miete	Bestellkombination in Miete	-	Miete	Var
BK Lohn	Bestellkombination im Lohn	-	Lohnansatz	-
DS Lohn	Direktsaat im Lohn	-	Lohnansatz	-

wesentlichen die höheren Kosten für Zins und Abschreibung, wobei beim Neupreis von einem Unterschied von Fr. 31 000.– ausgegangen wird.

Im Vergleich zu einer Eigenmechanisierung ist bei tiefen Auslastungen die Arbeiterledigung mit zugemieteten Maschinen oder mit Lohnarbeit günstiger. Bei einer Bestellkombination besteht Kostengleichheit zwischen Eigenmechanisierung («BK eigen») und Bearbeitung mit zugemieteter Kombination («BK Miete») bei 54 Hektaren, bei Lohnarbeit («BK Lohn») liegt sie bei 24 Hektaren. Die eingesparte Arbeitszeit ist in der Kalkulation frankenmässig nicht bewertet.

Die Aufgabe für jeden Betrieb besteht darin, die optimale, auf seine Verhältnisse abgestimmte Mechanisierungsstrategie festzulegen. Das Maschinenkostenprogramm «Tarifat» (zu beziehen bei LBL und SRVA) leistet eine wertvolle Hilfe, die optimale Strategie für den eigenen Betrieb zu berechnen.

Schlussfolgerungen

- Ein eindeutiger Einfluss der Bodenbearbeitungssysteme auf die Nitratauswaschung konnte auf dem untersuchten Standort mittels Feldlysimetern nicht festgestellt werden.
- Eine Blick in die Literatur zeigt, dass diesbezüglich auch die international publizierten Arbeiten zu keinem eindeutigen Schluss kommen.

- Klima, Bodeneigenschaften, Fruchtfolge und Düngung sind in Bezug auf die Nitratauswaschung die bestimmenden Faktoren.
- Die grosse Schlagkraft der Verfahren für die Minimalbodenbearbeitung ermöglicht im überbetrieblichen Einsatz hohe Auslastungen, womit sich die Verfahrenskosten für Bodenbearbeitung und Saat stark reduzieren lassen.
- Minimalbodenbearbeitungsverfahren und Direktsaat fördern das Bodenleben, vermindern die Bodenerosion, verbessern die Befahrbarkeit der Böden und senken den Treibstoffbedarf. Sie leisten einen wertvollen Beitrag zur nachhaltigen Bewirtschaftung unserer Ackerböden.

Literatur

Addiscott T.M., 2000. Tillage, mineralization and leaching. *Soil and Tillage Research Special Issue*, 163–165.

BLW, 2002. Nitrat gehört nicht ins Wasser. Pressemitteilung des Bundesamt für Landwirtschaft, 27. Mai, 1 p.

Chervet A., Flückiger H., Kündig C., Maurer-Troxler C., Ramseier L., Schwarz R., Sturny W., Fehlmann A., Roberts L., Rytz I. und Stössel F., 2003. Bodenbericht 2003. Abteilung Umwelt und Landwirtschaft Kt. Bern, Zollikofen. 51 S.

Dick W.A., Roseberg R.J., McCoy E.L., Edwards W.M. und Haghiri F., 1989. Surface Hydrologic Response of Soils to No-Tillage. 53, 1520–1526.

Goss M. J., Howse K.R., Lane P.W., Christian D.G. und Harris G.L., 1993. Losses of nitrate-nitrogen in water draining from under autumn-sown crops established by direct drilling or mouldboard ploughing. *Journal of soil science*. 44, 35–48.

Kohl R. und Harrach T., 1991. Zeitliche und räumliche Variabilität der Nitratkonzentration in der Bodenlösung in einem langjährigen Bodenbearbeitungsversuch. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung* 32, 80–87.

Murer E., 1995. Wassergüteeerfassungssysteme in der ungesättigten Bodenzone Ergebnisbericht aus dem Grundwassersanierungs-Pilotprojekt «Obere Pettenbachrinne». In: «Gewässerverträgliche Landbewirtschaftung» Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 160–173.

Randall G. W. und Iragavarapu T.K., 1995. Impact of long-term tillage systems for continuous corn on nitrate leaching to tile drainage. *J. environ. Qual.* 24, 360–366.

Shipitalo M.J., Dick W.A. and Edwards W.M., 2000. Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. *Soil and Tillage Research* 53 3–4, 167–183.

SVLT, Fachkommission 2., 2003. Richtsätze 2003. *Schweizer Landtechnik* 3, 23.

Tan C.S., Drury C.F., Soultani M., van Wesenbeeck I.J., Ng H.Y.F., Gaynor J.D. und Welacky T.W., 1998. Effect of Controlled Drainage and Tillage on Soil Structure and Tile Drainage Nitrate Loss at the field scale. *Water Science and Technology* 38. 4–5, 103–110.

Tebrügge F., 2002. Verminderte Nitratauswaschung. *UFA-Revue* 9, 42–43.

Weed J. und Kanwar R.S., 1996. Nitrate and water present in and flowing from root zone soil. *J. Environ. Qual.* 25, 709–719.

Weisskopf P., Zihlmann U. und Walther U., 2001. Einfluss der Bewirtschaftung auf die Stickstoffdynamik im Bodenwasser. *Agrarforschung* 8 (9), 348–353.

Anfragen über das behandelte Thema und über andere landtechnische Probleme sind an die unten aufgeführten Berater für Landtechnik zu richten. Weitere Publikationen und Prüfberichte können direkt bei der FAT (CH-8356 Tänikon) angefordert werden. (Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90).

E-Mail: doku@fat.admin.ch, Internet: <http://www.fat.ch>

- ZH** Merk Konrad, Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 052 354 99 60
Blum Walter, Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 052 354 99 60
- BE** Jutzeler Martin, Inforama Berner Oberland,
3702 Hondrich, Telefon 033 654 95 45
Marti Fritz, Inforama Rütli und Waldhof,
3052 Zollikofen, Telefon 031 910 52 10
Hofmann Hans Ueli, Inforama Schwand,
3110 Münsingen, Telefon 031 720 11 21
- LU** Moser Anton, LBBZ Schüpfheim,
6170 Schüpfheim, Telefon 041 485 88 00
Hodel René, LBBZ, Centralstr. 21,
6210 Sursee, Telefon 041 925 74 74
Widmer Norbert, LMS,
6276 Hohenrain, Telefon 041 910 26 02
- UR** Landw. Beratungsdienst, Aprostr. 44,
6462 Seedorf, Telefon 041 871 05 66
- SZ** Landolt Hugo, Landw. Schule Pfäffikon,
8808 Pfäffikon, Telefon 055 415 79 22
- OW** Müller Erwin, BWZ Obwalden,
6074 Giswil, Telefon 041 675 16 16
Landwirtschaftsamt, St. Antonistr. 4,
6061 Sarnen, Telefon 041 666 63 58
- NW** Niederberger Heiri, Zentralstelle
für Betriebsberatung, 6370 Stans
Telefon 041 618 40 06
- GL** Amt für Landwirtschaft, Postgasse 29,
8750 Glarus, Telefon 055 646 67 00
- ZG** Gut Willy, LBBZ Schluethof,
6330 Cham, Telefon 041 784 50 50
Furrer Jules, LBBZ Schluethof,
6330 Cham, Telefon 041 784 50 50
- FR** Kilchherr Hansruedi, Landw. Schule Grangeneuve
1725 Posieux, Telefon 026 305 58 50
- SO** Wyss Stefan, Landw. Bildungszentrum Wallierhof,
4533 Riedholz, Telefon 032 627 09 62
- BL** Ziörjen Fritz, Landw. Zentrum Ebenrain,
4450 Sissach, Telefon 061 976 21 21
- SH** Landw. Beratungszentrum Charlottenfels,
8212 Neuhausen, Telefon 052 674 05 20
- AI** Inauen Bruno, Gaiserstrasse 8,
9050 Appenzell, Telefon 071 788 95 76
- AR** Vuilleumier Marc, Landwirtschaftsamt AR,
9102 Herisau, Telefon 071 353 67 56
- SG** Lehmann Ueli, LBBZ Rheinhof,
9465 Salez, Telefon 081 758 13 19
Steiner Gallus, Landw. Schule Flawil,
9230 Flawil, Telefon 071 394 53 53
- GR** Föhn Josef, Landw. Schule Plantahof,
7302 Landquart, Telefon 081 307 45 25
- AG** Müri Paul, LBBZ Liebegg,
5722 Gränichen, Telefon 062 855 86 27
- TG** Baumgartner Christof, Fachstelle
Beratung und Landtechnik, Amriswilerstr. 50,
8570 Weinfelden, Telefon 071 622 10 23
- TI** Müller Antonio, Ufficio consulenza agricola,
6501 Bellinzona, Telefon 091 814 35 53

Landwirtschaftliche Beratungszentrale, Abt. Landtechnik, 8315 Lindau, Telefon 052 354 97 58

Die FAT-Berichte erscheinen in zirka 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement Fr. 50.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: FAT, CH-8356 Tänikon. Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90.

E-Mail: doku@fat.admin.ch – Internet: <http://www.fat.ch> – Die FAT-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports FAT» erhältlich. – ISSN 1018-502X.