

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz
Herausgeber: Landtechnik Schweiz
Band: 65 (2003)
Heft: 6-7

Artikel: Bodenbearbeitung : kleine Unterschiede bei der Nitratauswaschung
Autor: Anken, Thomas / Irla, Edward / Heusser, Jakob
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1080535>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

FAT BERICHTE

Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon TG, Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90

Bodenbearbeitung: Kleine Unterschiede bei der Nitratauswaschung

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. Bezüglich der Nitratauswaschung zeigten sich zwischen den Verfahren keine systematischen Unterschiede.

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? 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 (Abb. 1) erfassten die gesamte Sickerwassermenge. Aufgrund der Sickerwassermenge und deren Nitrat-N-Konzentration liess sich schliesslich die ausgewaschene Nitrat-N-Menge bestimmen.



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 fassten das Sickerwasser der Parzellen von «Pflug» und «Direktsaat» und leiteten es zur Bestimmung der Nitratauswaschung in einen Sammelschacht weiter.

Vollständiger FAT-Bericht

Den vollständigen FAT-Bericht können Sie bei der FAT-Tänikon, 8356 Ettenhausen bestellen (Tel. 052 368 31 31).

Versuchsanlage, Fruchtfolge und Standort- eigenschaften

Die Lysimeter stehen in 10 × 12 m grossen Versuchspartzellen 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.

**Tab. 1: Bodeneigenschaften
des Versuchstandortes**

Boden- parameter	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

«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 geeeggt. Bei FL erfolgte die Stoppelbearbeitung mit der Spatenrolle 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 Stick-

stoffdüngung» (ON) unterteilt (Split-Plot-Design mit 3 Wiederholungen). Als mineralischer Stickstoffdünger diente Ammonsalpeter mit 27,5% N, als Gülle wurde Rindervollgülle eingesetzt. Die Fruchtfolge war Silomais–Winterweizen–Silomais–Winterweizen. Die wichtigsten Angaben zum Anbau der Kulturen sind in Tabelle 2 dargestellt. Die Bestimmung 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 Nitratauswaschung

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 (Abb. 4). Die Bodenbearbeitung und Saat in den Lysimeterparzellen erfolgten nach dem Entfernen des obersten Ringes der Lysimeter mit praxisüblichen Maschinen.

1999: Mangelhafte Jugend- entwicklung bei Direktsaat

Im Frühjahr 1999 entwickelte sich der Silomais beim Verfahren Direktsaat (DS) im Vergleich zu Pflug (PF) sehr schlecht. Diese schlechte Jugendentwicklung liess sich weder durch die Bodentemperatur noch durch die Stickstoffversorgung erklären. Sie 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 mm (Mai) respektive 139 mm (Juni). Diese grossen Wassermengen hatten vermutlich bei der Direktsaat (DS), die im Vergleich zum gelockerten Oberboden vom Pflug (PF) ein

**Tab. 2: Angaben zu den angebauten Kulturen
sowie den ausgeführten Bestell- und Düngearbeiten**

	1999	2000	2000	2001
Grundboden- bearbeitung ¹	03.05.99	11.10.99	–	04.04.01
Saatbettbereitung ²				
Saat	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



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



Abb. 3: Der pneumatische Düngestreuer verteilte den Mineraldünger und der Schleppschlauchverteiler die Gülle auf den Versuchspartzen.

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 Säschlitz 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 Säschlitz noch Handlungsbedarf besteht. Gewünscht wären Scharsysteme, die auch in feuchten Böden keine Verschmierungen der Säschlitz 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. 5). Beim folgenden Mais (2001) und Winterweizen (2002) unterschieden sich die Bestellverfahren nur um wenige Prozente, die Unterschiede waren statistisch nicht gesichert. Die Ertragsunterschiede zwischen den verschiedenen Düngerverfahren waren dagegen in allen Jahre signifikant. MIN erzielte immer die höchsten, ON die kleinsten Erträge, GUL lag jeweils zwischen diesen beiden Verfahren. Die erzielten Mehrerträge pro kg ausge-

brachter 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 Ammo-

niakverluste trotz Schleppschlaucheinsatz bei der Güllenausbringung für die schlechtere Ausnutzung des Ammoniumstickstoffs der Gülle und die resultierenden Mindererträge verantwortlich waren.

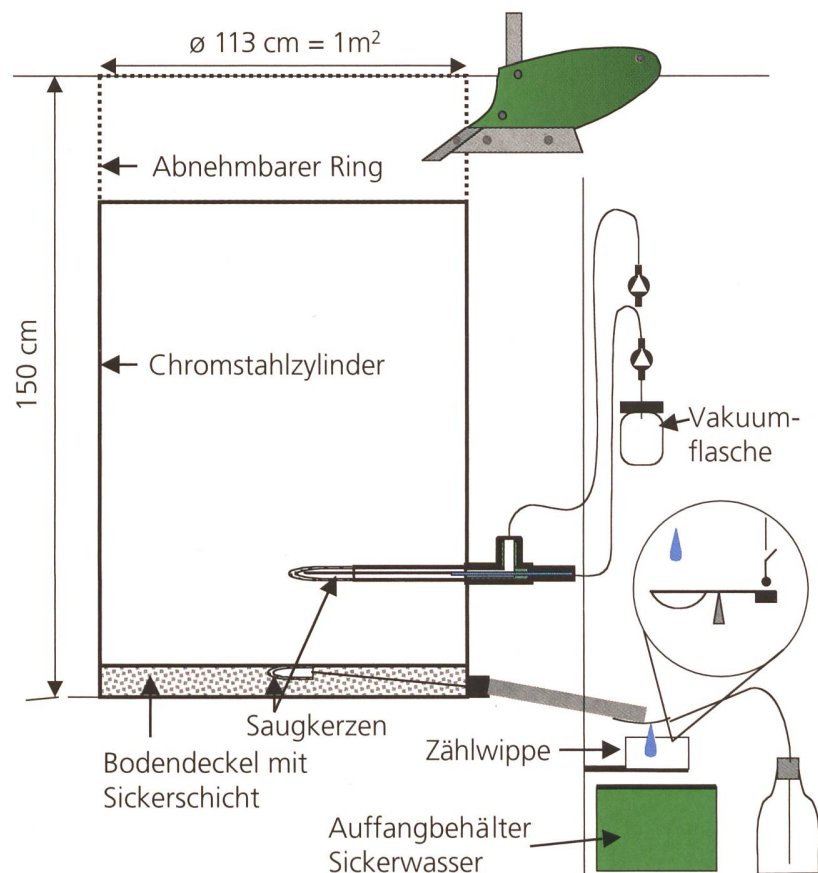


Abb. 4: Ein Deckel verschliesst die Lysimeter am unteren Ende. Der Abfluss führt in einen Sammelschacht, wo das Sickerwasser über eine Zählwippe fliesst und schliesslich in PVC-Behältern aufgefangen wird. Saugkerzen mit feinporigen Keramikköpfen ermöglichen das Absaugen von Bodenwasser in 125 cm Tiefe.

Tab. 3. 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-Rad-Antrieb, 70 kW (95 PS)
PF eigen	Pflug und Bestellkombination eigen	fix und var.	fix und var.	var.
PF eigen + T	Pflug und Bestellkombination eigen, 70 KW statt 50 KW-Traktor	fix und var.	fix und var.	var. + Differenz fixe Kosten Traktor
BK eigen	Bestellkombination, eigen	–	fix und var.	var.
BK Miete	Bestellkombination in Miete	–	Miete	var.
BK Lohn	Bestellkombination im Lohn	–	Lohnansatz	–
DS Lohn	Direktsaat im Lohn	–	Lohnansatz	–

Tiefe Stickstoffgehalte im Boden und Sickerwasser

Der Verlauf der Nitrat-N-Konzentration im Bodenwasser (Abb. 6) und der N_{min} -Werte im Boden zeigt bei PF und DS einen ähnlichen Verlauf. Die Konzentrationen beider Parameter erreichten nie sehr

hohe Werte. Wie bei den Werten im Bodenwasser waren die Nitrat-N-Konzentrationen im Sickerwasser nach der Silomäisernte im Herbst 1999 und während des nachfolgenden Winters bei DS deutlich höher als bei PF (Abb. 7). 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 8 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 NO_3-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.

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 Bo-

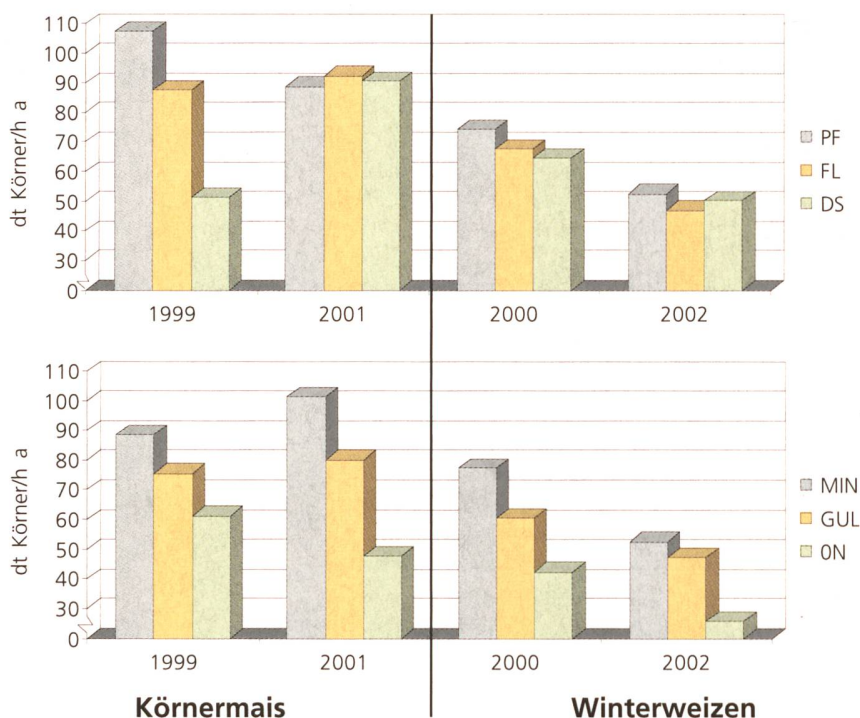


Abb. 5: Kornerträge (dt/ha) von Mais und Winterweizen der Jahre 1999 bis 2002. Die Erträge der Bodenbearbeitungsverfahren Pflug (PF), flache Bearbeitung (FL) und Direktsaat (DS) sind über die mineralische und die Gülledüngung gemittelt. Die Düngungsverfahren Mineralisch (MIN), Gülle (GUL), kein N (ON) sind über alle Bodenbearbeitungsverfahren gemittelt.

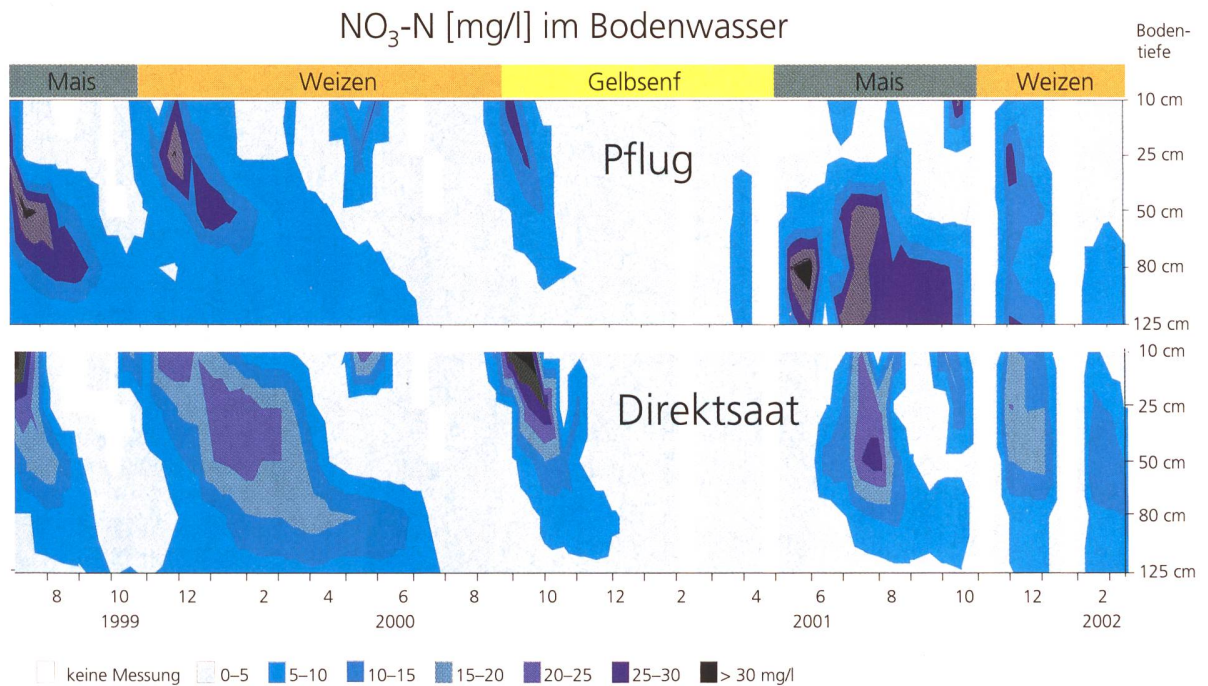


Abb. 6: Zeitlicher Verlauf der Nitrat-N-Konzentration (mg/l) im Boden der Verfahren Pflug und Direktsaat bei mineralischer Düngung von 1999-2002. Die Grundmuster der beiden Verfahren sind sehr ähnlich.

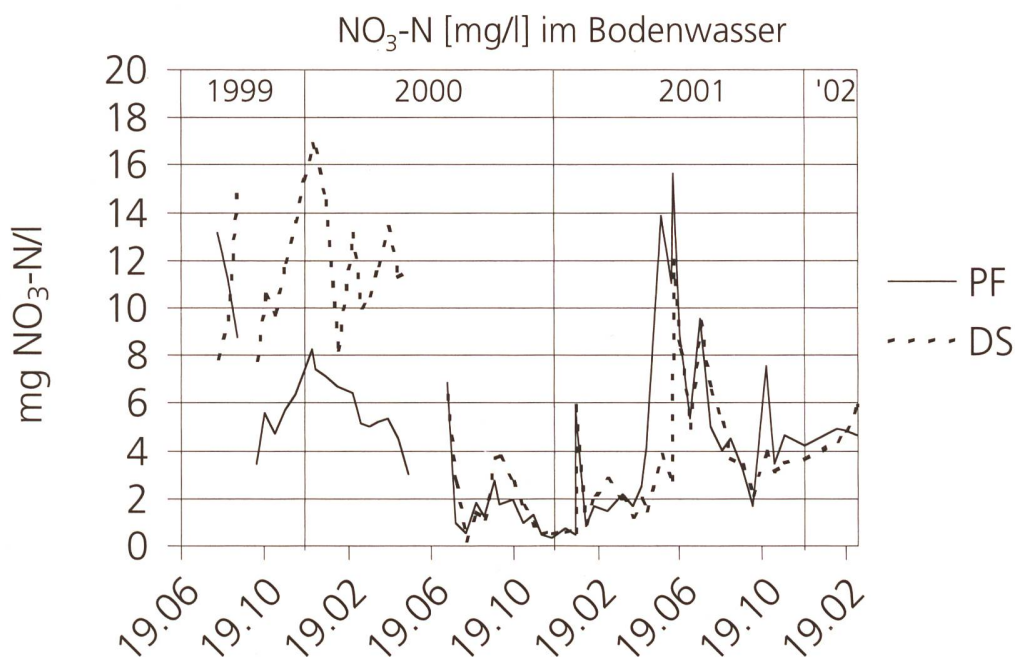


Abb. 7: Nitrat-N-Konzentration (mg/l) im Sickerwasser der Lysimeter bei den Verfahren Pflug (PF) und Direktsaat (DS) von 1999-2002. Die Verfahren weisen keine systematischen Unterschiede auf.

denprofil kaum mehr Nitrat zu finden war. Dies belegt die grosse Wichtigkeit einer 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

Neben den ökologischen Auswirkungen stellt sich für die verschiedenen Bestellverfahren zusätzlich die Frage nach den

Maschinen- und Traktorkosten. Je nach Fruchtfolge, Standort und Kenntnissen des Betriebsleiters können bei Minimalbestellverfahren im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung Nachteile wie geringere Erträge oder höhere Aufwendungen beim Pflanzenschutz auftreten.

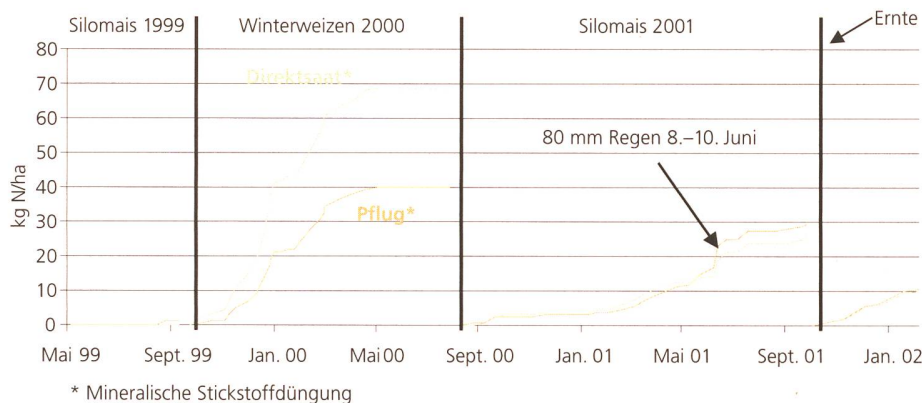


Abb. 8: Aus den Feldlysimetern ausgewaschene Menge Nitrat-N (kg N/ha) bei Pflug und Direktsaat in den Jahren 1999-2002. Ausser im Jahr 2000 unterschieden sich die Verfahren nicht.

ten. 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 9 und Tabelle 3 zeigen die zuteilbaren Kosten ausgewählter Bestellverfahren. Die verwendeten Ansätze entsprechen denjenigen der «Maschinenkosten 2003» (FAT-Bericht 589). Je nach Höhe der jährlichen Auslastung zeigt sich, ob aus wirtschaftlicher Sicht Zumietung, Lohnarbeit oder Eigentum sinnvoll sind. Mit steigender Auslastung werden die unabhängig vom Einsatz anfallenden fixen Kosten auf mehr Arbeitseinheiten überwältigt, was tiefere Kosten pro Hektare zur Folge hat. Ohne Berücksichtigung der Gebäudekosten fallen beim Verfahren «PF eigen» (siehe Tabelle 3) pro Jahr 7190 Franken fixe Kosten an. Bei einer Auslastung von 20 Hektaren pro Jahr sind dies CHF 360.– pro Hektare. Die variablen Kosten, ohne Berücksichtigung der Wartung, betragen inklusive Traktor mit 70 kW (95 PS) CHF 170.– pro Hektare. Die zuteilbaren Kosten pro Hektare betragen somit CHF 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 CHF 10 600.– fixe Kosten pro Jahr. Demgegenüber fallen bei einem Typ mit 50 kW (68 PS) zirka CHF 7300.– fixe Kosten an. Ausschlaggebend für die Differenz von CHF 3300.– sind im wesentlichen die höheren Kosten für Zins und Abschreibung, wobei beim Neupreis von

einem Unterschied von CHF 31 000.– ausgegangen wird. Im Vergleich zu einer Eigenmechanisierung ist bei tiefen Auslastungen die Arbeiterleistung 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. (Details im vollständigen Bericht)
- 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.

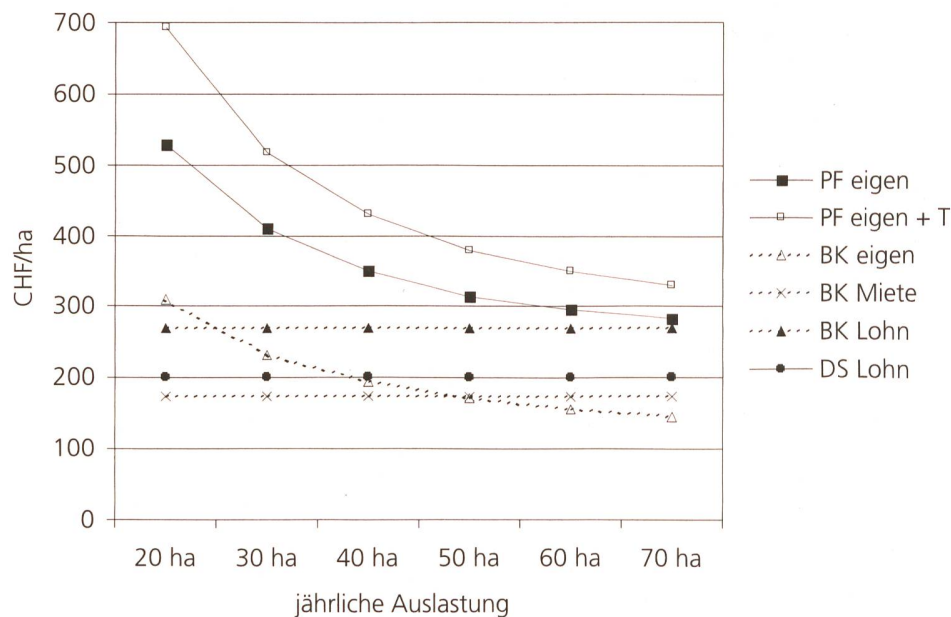


Abb. 9: Verfahrenskosten verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren bei unterschiedlichen jährlichen Auslastungen. Bei tiefen Auslastungen sind Zumietung und Lohnarbeit günstiger als die Anschaffung einer eigenen Mechanisierung (Legende siehe Tabelle 3).