

Einfluss von organischer und mineralischer Düngung auf die Nährstoffauswaschung

Ernst Spiess, Volker Prasuhn und Werner Stauffer,
Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zürich
Auskünfte: Ernst Spiess, E-Mail: ernst.spiess@art.admin.ch, Tel. +41 44 377 73 49



Lysimeteranlage Bern-Liebefeld mit Eiweisserbsen und Winterweizen. (Foto: ART)

Einleitung

Die Nitratauswaschung ist neben der Ammoniakverflüchtigung und der Denitrifikation der wichtigste Verlustpfad für Stickstoff (N) aus der Landwirtschaft. Nach Heldstab *et al.* (2011) wurden in der Schweiz im Jahr 2005 zwischen 27 000 und 41 000 t N unter den landwirtschaftlich genutzten Böden ausgewaschen. Die Auswaschung wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst, von denen nachfolgend nur die wichtigsten genannt werden: Niederschlagsmenge und -verteilung, Wasserspeichervermögen des Bodens, Evapotranspiration (Einfluss von Witterung und Kultur), Düngung, Mineralisierung der organischen Bodensubstanz (Einfluss von Bodenbearbeitung und Humusgehalt) und Nährstoffaufnahme der Pflanzen. Bei der

Düngung spielt neben der Nährstoffmenge, dem Zeitpunkt und dem Ausbringungsverfahren die Düngerform eine wichtige Rolle.

Auf den meisten Landwirtschaftsbetrieben der Schweiz werden neben Mineraldüngern auch Mist und Gülle im Ackerbau eingesetzt. Führt eine ausschliessliche Düngung mit Mineraldüngern (z. B. auf Ackerbaubetrieben ohne Tierhaltung) oder mit Hofdüngern (z. B. auf Ackerbaubetrieben mit intensiver Schweine- und Geflügelhaltung oder im Biolandbau) zu einer Veränderung in der Nährstoffauswaschung? In einem Lysimeterversuch über eine siebenjährige Fruchtfolge wurde untersucht, ob sich Verfahren mit rein mineralischer (= min), rein organischer (= org) sowie kombinierter organisch-mineralischer Düngung (= org-min) voneinander unterscheiden.

Material und Methoden

Lysimeter

Der Versuch wurde in den Jahren 2002 bis 2009 auf neun Lysimetern der Anlage Bern-Liebefeld durchgeführt (Furrer und Stauffer 1980). Es handelt sich um nichtmonolithische Lysimeter, welche eine Oberfläche von 1 m² und eine Tiefe von 1,50 m aufweisen. Für die Messung des Sickerwassers wurden Kippwaagen nach dem Prinzip von Joss-Tognini verwendet. Bei der vorliegenden Lysimetergrösse können Sickerwassermengen von über 100 Liter pro Monat auftreten. Es wurde deshalb eine Einrichtung geschaffen, die eine abflussproportionale Entnahme einer kleinen Probe erlaubt (Furrer und Stauffer 1980). Die Ablesung der Sickerwassermenge und die Probenahme für die chemische Analyse erfolgten monatlich.

Boden

Die neun Lysimeter wurden 1982 mit Boden vom Standort Bern-Liebefeld gefüllt (Tab. 1). Der Boden wurde schichtweise und volumengetreu eingefüllt, indem er gemäss der im Feld gemessenen Lagerungsdichte rückverdichtet wurde. Die Bodeneigenschaften der Parabraunerde sind typisch für das schweizerische Mittelland.

Fruchtfolge

Zwischen 1982 und 2000 wurden die Lysimeter in unterschiedlichen Versuchen verwendet. Zum Ausgleich wurden deshalb im Frühling 2001 Kartoffeln gepflanzt und nach deren Ernte eine Kleeegrasmischung angesät. Im März 2002 startete der Düngungsversuch mit einer siebenjährigen Fruchtfolge (Silomais – Winterweizen 1 – Zuckerrüben – Winterweizen 2 – Eiweisserbsen – Wintergerste – Kunstwiese). Die Kunstwiese wurde nach der Gerstenernte angesät und im übernächsten Frühling kurz vor der Maissaat umgebrochen. Nach Winterweizen 1 wurde abfrierender Bastard-Ölrettich (*Raphanus sativus* x *Brassica oleracea*) angesät und auf Winterweizen 2 folgten winterharte Chinakohlrübsen (*Brassica chinensis* x *Brassica rapa*; Spiess et al. 2011). Bei beiden Zwischenkulturen wurde das Erntegut im Oktober vom Lysimeter abgeführt. Bei allen abgeführten pflanzlichen Haupt- und Nebenprodukten wurden Ertragerhebun-

Tab. 1 | Eigenschaften des Lysimeterbodens (Oberboden vor Versuchsbeginn 2001, Unterboden nach Versuchsende 2009)

	Ton (%)	Schluff (%)	Sand (%)	pH _{H2O}	C _{org} (%)	N _{tot} (%)
Oberboden	17	25	58	6,2	1,3	0,17
Unterboden	14	21	65	8,1	0,3	0,07

Zusammenfassung ■ Auf der Lysimeteranlage Bern-Liebefeld wurde zwischen 2002 und 2009 der Einfluss der Düngerform auf den Sickerwasseranfall und die Nährstoffauswaschung in einer Fruchtfolge untersucht. Mit rein organischer Düngung wurden leicht höhere Pflanzenerträge erzielt als mit rein mineralischer oder organisch-mineralischer Düngung. Dies dürfte unter anderem eine Folge davon sein, dass in einem Lysimeterversuch ein optimales Hofdüngermanagement möglich ist. Die drei Düngungsverfahren unterschieden sich hingegen nur wenig in den Sickerwassermengen, den Nitratkonzentrationen des Sickerwassers sowie den ausgewaschenen Nährstofffrachten. Diese wurden viel stärker durch die klimatischen Bedingungen und die angebaute Kultur beeinflusst. Mit einer längeren Versuchsdauer hätte vermutlich infolge der langen Nachwirkung des organischen Stickstoffs eine stärkere Differenzierung der Verfahren erzielt werden können. Einerseits führt diese Nachwirkung im Laufe der Jahre zu leichten Ertragssteigerungen, andererseits muss aber infolge der stärkeren Humusmineralisierung auch mit einer Zunahme der Auswaschungsverluste gerechnet werden.

gen durchgeführt und die N- und Mineralstoffgehalte analysiert, damit der Nährstoffentzug durch die Pflanzen berechnet werden konnte.

Bodenbearbeitung

Der Boden wurde in der Regel vor Hauptkulturen 20 cm tief und vor Zwischenkulturen 10 cm tief von Hand bearbeitet. Wo keine Zwischenkultur auf die Hauptkultur folgte, blieb die Parzelle bis zur Bodenbearbeitung für die nächste Hauptkultur unbearbeitet (Stoppelfeld oder Nachverunkrautung).

Düngung

Die Düngung der Kulturen richtete sich nach den damals geltenden Düngungsempfehlungen der Eidgenössischen Forschungsanstalten (Fliß et al. 2001). Die N-Düngung zu den Hauptkulturen wurde in Teilgaben verabreicht. Es wurde angestrebt, alle Verfahren mit der gleich grossen Menge an verfügbarem Stickstoff zu düngen (Tab. 2). Im mineralischen Verfahren wurde Stickstoff in Form von Ammonsalpeter, Phosphor in Form von Supertriple und Kalium in Form von Patentkali und Kali 60 ausgebracht. Bei der organisch-mineralischen Düngung wurde Mist

Tab. 2 | Düngung in den drei Verfahren über die ganze Fruchtfolge (in kg ha⁻¹ Jahr⁻¹)

Verfahren	N _{tot}	N _{lös}	P	K	Ca	Mg
min	123	123	36	156	21	28
org-min	157	112	41	193	50	37
org	213	102	26	305	76	25

N_{tot} = Gesamtstickstoff; N_{lös} = löslicher Stickstoff (v. a. Ammonium)

zum Silomais, zu den Zuckerrüben und zur Kunstwiesenansaat eingesetzt. Gülle wurde im Silomais sowie auf die Kunstwiese ausgebracht. Das Getreide, die Eiweisserbsen und die Zwischenkulturen wurden dagegen ausschliesslich mineralisch gedüngt. Im organischen Verfahren wurden die Zuckerrüben mit Mist, das Getreide sowie die erste Zwischenkultur mit Gülle und der Silomais, die Kunstwiese und die zweite Zwischenkultur mit Mist und Gülle gedüngt. Für die Düngungsplanung wurde bei den Mineraldüngern der angegebene Gehalt und bei Mist und Gülle die Werte der Nährstoffanalysen verwendet.

Niederschläge

Die angegebenen Niederschlagsmengen stammten bis Juni 2006 von der 300 m entfernten Station von Meteo-Schweiz und nach deren Verlegung von dem 7,5 km entfernten Standort Bern-Zollikofen. Die Berechnung der Jahressummen erfolgte jeweils vom 1. April des laufenden Jahres bis zum 31. März des Folgejahres. Der Jahresniederschlag betrug im Mittel der sieben Jahre 1046 mm und schwankte zwischen 867 mm (2003/04) und 1274 mm (2006/07; Abb. 1).

Resultate und Diskussion

Erträge

Die Erträge auf den Lysimetern fielen im Allgemeinen hoch aus (Tab. 3) und übertrafen bei Silomais am stärksten den Durchschnitt der schweizerischen Landwirtschaft. Die optimale Bewirtschaftung und der durch die kleine Lysimeter-

oberfläche von 1 m² verursachte «Oaseneffekt» haben wesentlich zu den hohen Pflanzenerträgen beigetragen.

Das organische Verfahren wies tendenziell die höchsten Erträge auf. Da die Bemessung der Gülle- und Mistgaben vor allem aufgrund des Ammoniumgehalts erfolgte, erhielt das organische Verfahren weniger Phosphor (P) und deutlich mehr Kalium (K) als die beiden anderen Verfahren (Tab. 2), bei denen der alleinige beziehungsweise der zusätzliche Einsatz von Mineraldüngern eine gezieltere Düngung ermöglichte. Die höhere K-Düngung im organischen Verfahren dürfte sich angesichts der eher geringen K-Gehalte des Bodens auf die Ertragshöhe ausgewirkt haben. In langjährigen Lysimeterversuchen mit Ackerkulturen beobachteten sowohl Gutser und Dosch (1996) als auch Ryser und Pittet (2000) gleich hohe Erträge bei mineralischer und organisch-mineralischer Düngung.

Die guten Erträge in unserem Versuch bei organischer Düngung sind sicherlich auch eine Folge des Hofdüngermanagements. Dieses kann in einem Kleinversuch besser gestaltet werden als in der landwirtschaftlichen Praxis, weil Kosten und Zeitaufwand von geringerer Bedeutung sind. In der Praxis ist es oftmals schwierig, die Menge und den Nährstoffgehalt der Hofdünger richtig einzuschätzen (Menzi *et al.* 1994). Gerade die Gehalte der Gülle können stark variieren. Beim Mist ist es anspruchsvoll, das Volumen und das spezifische Gewicht zu schätzen. In einem Versuch werden hingegen die Hofdünger vor dem Ausbringen gewogen und die Nährstoffgehalte im Labor analysiert. Während in der Praxis die Bewirtschaftung mit schweren Maschinen erfolgt und bei ungünstigen Witterungsbedingungen mit Bodenverdichtungen verbunden ist, werden in den Lysimetern alle Kulturmassnahmen von Hand und bei guten Witterungsbedingungen durchgeführt. Die Gülle dringt dank der besseren Bodenstruktur schneller in den Boden ein und der Mist kann unmittelbar nach dem Ausbringen eingearbeitet werden, so dass weniger Ammoniak verloren geht. Durch dieses optimale Hofdüngermanagement wird eine bessere Wirkung des mineralischen und organischen Stickstoffs erreicht.

Tab. 3 | Erträge der verschiedenen Haupt- und Zwischenkulturen in den drei Düngungsverfahren (in dt Frischsubstanz ha⁻¹; kursive Werte in dt Trockensubstanz ha⁻¹)

Verfahren	KWF	SM	WW1	ZK1	ZR	WW2	ZK2	EE	WG	KWA	KW1
	2002	2002	2003	2003	2004	2005	2005	2006	2007	2007	2008
min	13	259	59	54	910	71	23	47	78	24	112
org-min	8	250	63	45	933	75	24	45	73	36	155
org	10	259	57	56	1043	81	41	48	71	34	180

EE = Eiweisserbsen; KW1 = 1. Hauptnutzungsjahr der Kunstwiese; KWA = Kunstwiesenansaat im Herbst; KWF = Nutzung der Kunstwiese im Frühling vor der Maissaat; SM = Silomais; WG = Wintergerste; WW1 bzw. WW2 = Winterweizen 1 bzw. 2; ZK1 bzw. ZK2 = Zwischenkultur 1 bzw. 2; ZR = Zuckerrüben

Der Entzug der Pflanzen war im organisch gedüngten Verfahren bei allen Nährstoffen am höchsten (Tab. 4). Dies ist auf die höheren Erträge und beim Kalium zusätzlich auf die höheren Gehalte – insbesondere bei vegetativen Produkten wie Gras, Weizenstroh und Zuckerrübenlaub – zurückzuführen.

Sickerwasserbildung

Die Sickerwassermenge hing stark von der Niederschlagshöhe ab (Abb. 1a). In den beiden Jahren mit den höchsten Niederschlägen (2002/03 und 2006/07) fiel am meisten Sickerwasser an, in den beiden Trockenjahren (2003/04 und 2004/05) am wenigsten. Auffallend ist, dass die Jahresschwankungen bei der Sickerwassermenge fast doppelt so stark ausfielen wie beim Niederschlag. Neben der angebauten Kultur spielte hier die Temperatur (z. B. Hitzesommer 2003) sowie Änderungen im Wasservorrat des Bodens im Laufe des Jahres eine Rolle. Das organische Verfahren wies in den meisten Jahren leicht höhere Sickerwassermengen auf als die beiden anderen Verfahren trotz tendenziell höherer Erträge und Nährstoffentzüge.

Nitratkonzentration des Sickerwassers

Die Nitratkonzentrationen variierten von Jahr zu Jahr sehr stark mit Werten zwischen ungefähr 10 mg NO₃⁻ L⁻¹ im niederschlagsarmen Jahr 2003/04 und rund 100 mg NO₃⁻ L⁻¹ im regenreichen Jahr 2006/07 (Abb. 1b). Neben den Niederschlägen übte hier die Kultur einen wesentlichen Einfluss aus. In drei von sieben Jahren sowie im Durchschnitt der gesamten Untersuchungsperiode wurde der Toleranzwert für Trinkwasser (40 mg NO₃⁻ L⁻¹) in allen Verfahren überschritten, wobei zu beachten ist, dass die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser in 1,50 m Bodentiefe und nicht in einer Trinkwasserfassung gemessen worden sind. Von den drei Verfahren wies die organisch-mineralische Düngung im Mittel den höchsten Wert auf.

Ausgewaschene Stickstoffmenge

Die Jahresschwankungen waren bei der ausgewaschenen N-Menge noch viel grösser als bei der Sickerwassermenge und der Nitratkonzentration des Sickerwassers. 2006/07 wurde mit rund 200 kg N ha⁻¹ fast 40-mal mehr Stickstoff ausgewaschen als 2003/04 mit etwa 5 kg N ha⁻¹

Tab. 4 | Nährstoffentzug der Pflanzen in den drei Verfahren über die ganze Fruchtfolge (in kg ha⁻¹ Jahr⁻¹)

Verfahren	N	P	K	Ca	Mg
min	228	39	210	92	32
org-min	250	43	241	101	33
org	263	45	302	111	34

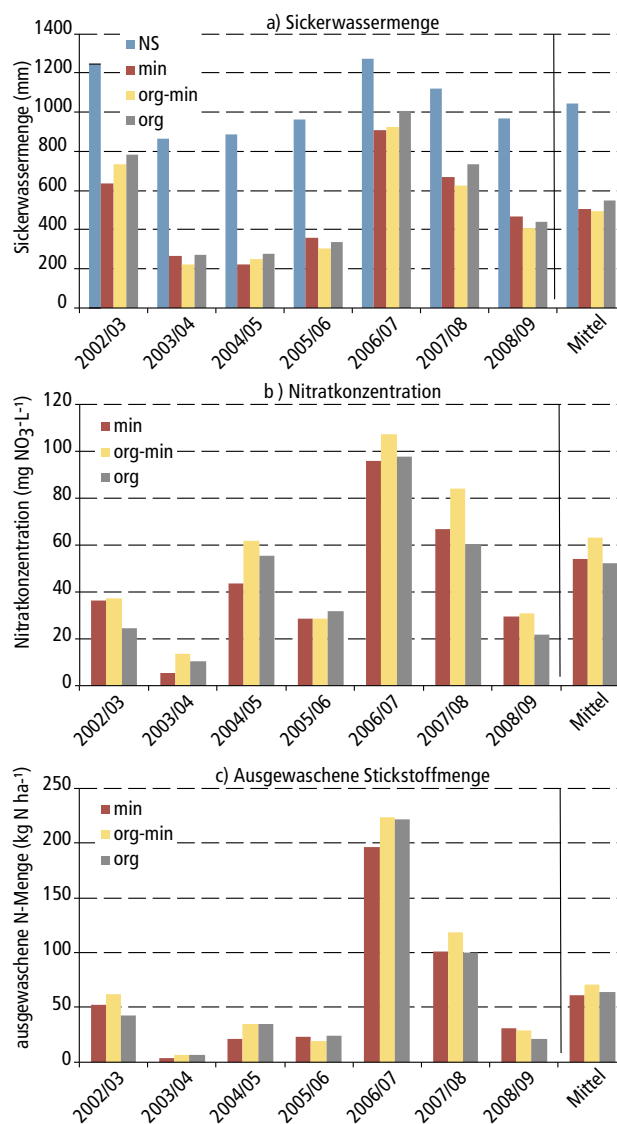


Abb. 1 | Sickerwassermengen, Nitratkonzentrationen und ausgewaschene N-Mengen der drei Verfahren sowie Niederschläge (= NS) in den sieben Versuchsjahren.

(Abb. 1c). Die grösste N-Fracht wurde im niederschlagsreichsten Jahr sowie unter einer auswaschungsgefährdeten Kulturkombination (Eiweisserbsen – Wintergerste) gemessen. Sowohl die Sickerwassermenge als auch die Nitratkonzentration waren in diesem Jahr am höchsten. Wenig Nitrat wurde dagegen in Jahren mit geringen Niederschlagsmengen und guter Winterbedeckung (Kunstpflanze bzw. Zwischenkulturen; Spiess *et al.* 2011) ausgewaschen. In unserem Lysimeterversuch dürften die Auswaschungsverluste leicht höher sein als unter Praxisbedingungen, weil die N-Mineralisierung aufgrund der guten Bodenstruktur erhöht ist. Auf eine starke Mineralisierung weist auch der trotz guter Fruchtfolge leicht sinkende Humusgehalt im mineralischen Verfahren hin.

Bei allen drei Düngungsverfahren wurden über die >

Tab. 5 | Ausgewaschene Kalium-, Calcium- und Magnesiummengen der drei Verfahren im Mittel der sieben Versuchsjahre (in kg ha⁻¹ Jahr⁻¹)

Verfahren	Kalium	Calcium	Magnesium
min	3,4	265	9,7
org-min	2,7	279	10,1
org	2,2	234	10,8

gesamte Versuchsperiode etwa gleich hohe N-Mengen ausgewaschen. Auch bei Kalium, Calcium und Magnesium fielen die Verfahrensunterschiede gering aus (Tab. 5). Ähnliche Resultate fanden auch Ryser und Pitet (2000) in einem Versuch mit mineralischer und organisch-mineralischer Düngung, wobei die Nitrat- auswaschung im organisch-mineralischen Verfahren leicht höher ausfiel. Ebenfalls höhere Nitratverluste bei organisch-mineralischer gegenüber rein mineralischer Düngung fanden Gutser und Dosch (1996) sowie Thomsen und Christensen (1999). Letztere führten die höhere Auswaschung auf den organischen Stickstoff der Gülle zurück, welcher den Ertrag der während zehn Jahren in Monokultur angebauten Gerste nicht erhöhen konnte.

Nachwirkung des organischen Stickstoffs

Die N-Wirkung organischer Dünger ist schwieriger vorherzusagen als jene der Mineraldünger. Nach dem Ausbringen kann sich ein Teil des mineralischen Stickstoffs als Ammoniak verflüchtigen. Der grösste Teil des organischen Stickstoffs geht in den Bodenvorrat ein und führt zu steigenden Humusgehalten, wobei es Jahrzehnte gehen kann, bis der Humushaushalt ein neues Gleichgewicht erreicht hat (Gutser und Dosch 1996). Der Humus wird im Laufe der Jahre und Jahrzehnte nur langsam mineralisiert. Im englischen Rothamsted erhielt eine Parzelle im Dauerversuch «Hoosfield» in den 20 Jahren von 1852 bis 1871 Mist und nachher keinen Dünger mehr. Mehr als 100 Jahre nach der letzten Düngergabe enthielt diese Parzelle immer noch mehr Humus als die dauernd ungedüngte Nullparzelle (Jenkinson *et al.* 1991). Wenn im Humus gebundener Stickstoff aus organischen Düngern nun nach Jahren mineralisiert wird, nehmen die Pflanzen einen Teil davon auf. Deshalb dürfte die N-Wirkung eines organischen Düngers auch noch Jahrzehnte nach dem Ausbringen geringfügig zunehmen. Bei organischer Düngung beobachteten Gutser und Dosch (1996) sowie Vulliod *et al.* (2006) mit zunehmender Dauer ihrer Feldversuche steigende Erträge und eine bessere N-Ausnutzung dank der Nachwirkung des organischen Stickstoffs.

Die Mineralisierung des organischen Stickstoffs ver-

läuft aber nicht immer synchron mit dem Pflanzenbedarf (Dahlin *et al.* 2005) und fällt daher oft in die Herbstperiode, was die N-Auswaschung während des Winters erheblich erhöhen kann (Hofer und Jäggli 1975). Wenn nun infolge steigender Humusgehalte immer mehr organischer Stickstoff mineralisiert wird, dürften auch die Auswaschungsverluste im Laufe der Zeit leicht zunehmen. Dies trifft auch für die Denitrifikationsverluste zu. In einem Feldversuch wurde eine Maisparzelle acht Jahre lang mit Gülle gedüngt. Im neunten Jahr erhielt sie keine Gülle mehr. Trotzdem waren die N₂O-Emissionen höher als im nie gegüllten Kontrollverfahren (Gutser *et al.* 2010).

Alle diese Erkenntnisse legen den Schluss nahe, dass bei einer längeren Dauer unseres Lysimeterversuchs eine stärkere Differenzierung der Verfahren hinsichtlich der Erträge und der ausgewaschenen Nährstoffmengen hätte erreicht werden können und dass bei organischer Düngung Erträge und Auswaschungsverluste vermutlich leicht zugenommen hätten.

Schlussfolgerungen

- In einem siebenjährigen Lysimeterversuch wurden bei rein organischer Düngung leicht höhere Pflanzenerträge erzielt als bei rein mineralischer oder organisch-mineralischer Düngung. Die guten Erträge bei organischer Düngung dürften auch dadurch zustande gekommen sein, dass in einem Kleinversuch ein optimales Hofdüngermanagement möglich ist.
- Die Sickerwassermengen, Nitratkonzentrationen des Sickerwassers und ausgewaschenen Mengen von Stickstoff, Kalium, Calcium und Magnesium waren von grossen Schwankungen von Jahr zu Jahr geprägt, welche vor allem durch die angebaute Kultur und die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen verursacht worden waren.
- Die Düngerform beeinflusste die Sickerwasserbildung und die Nährstoffauswaschung nur wenig.
- Mit zunehmender Versuchsdauer dürften die pflanzenbaulichen Erträge infolge der Nachwirkung des organischen Stickstoffs und die ausgewaschenen Nitratmengen wegen der höheren Humusgehalte bei organischer Düngung leicht ansteigen. ■

Riassunto**Effetto della concimazione organica e minerale sul dilavamento delle sostanze nutritive**

Tra il 2002 e il 2009 si è studiato presso l'impianto lisimetrico di Berna-Liebefeld, l'influsso di forme di concimazione sulla loro percolazione nelle acque freatiche ed il dilavamento di elementi nutritivi in una parcella sottoposta a rotazione colturale. La concimazione puramente organica ha fornito rese vegetali leggermente superiori a quelle raggiunte con una concimazione puramente minerale o organico-minerale. Tale differenza potrebbe essere stata influenzata dall'uso dei lisimetri e dalla conseguente ottimale gestione del concime aziendale. Tuttavia, i tre metodi di concimazione si differenziavano soltanto in maniera marginale per quanto concerne la loro percolazione nelle acque freatiche, le concentrazioni di nitrati contenuti in essa ed il carico di sostanze nutritive dilavate. Sono state, al contrario, le condizioni climatiche ed il tipo di coltura ad avere un impatto maggiore su tali fattori. Se la sperimentazione fosse stata condotta su un arco di tempo maggiore, si sarebbero riscontrate maggiori differenze tra i metodi di concimazione, dovute al protrarsi dell'azione dell'azoto organico. Quest'ultima da un lato determina lievi aumenti di resa nel corso degli anni, ma dall'altro comporta anche un aumento delle perdite dovute a dilavamento a causa di una maggiore mineralizzazione dell'humus.

Summary**Influence of organic and mineral fertilizers on nutrient leaching**

Between 2002 and 2009 the influence of fertilizer type on drainage water formation and nutrient leaching was investigated in one crop rotation at the Bern-Liebefeld lysimeter station. Slightly higher crop yields were obtained with purely organic fertilizer than with pure mineral or organic-mineral fertilizers. One of the reasons for this may be that optimum manure management is possible in a lysimeter trial. However the three fertilizer methods differed only slightly in amounts of drainage water, drainage water nitrate concentrations and leached nutrient loads. These were much more strongly influenced by climatic conditions and the crop cultivated. A greater differentiation between the treatments could presumably have been achieved with a longer trial period because of the long-term after-effects of organic nitrogen. On the one hand these after-effects produce slight yield increases over the years, but on the other hand an increase in leaching losses can be expected owing to greater humus mineralization.

Key words: drainage water, fertilization, leaching, lysimeter, nitrate.

Literatur

- Dahlin S., Kirchmann H., Kätterer T., Gunnarsson S. & Bergström L., 2005. Possibilities for improving nitrogen use from organic materials in agricultural cropping systems. *Ambio* **34**, 288–295.
- Flisch R., Sinaj S., Charles R. & Richner W., 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF). *Agrarforschung* **16** (2), 1–100.
- Furrer O. J. & Stauffer W., 1980. Die neue Lysimeteranlage der Forschungsanstalt Liebefeld-Bern. *Jb. Schweiz. Naturforsch. Ges.*, Wiss. Teil Nr. 1, 53–57.
- Gutser R. & Dosch P., 1996. Cattle-slurry – ¹⁵N turnover in a long-term lysimeter trial. Fertilizers and environment (Eds. C. Rodriguez-Barrueco). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 345–350.
- Gutser R., Ebertseder T., Schraml M., von Tucher S. & Schmidhalter U., 2010. Stickstoffeffiziente und umweltschonende organische Düngung. *KTBL-Schrift* **483**, 31–50.
- Heldstab J., Reutimann J., Biedermann R. & Leu D., 2010. Stickstoffflüsse in der Schweiz. Stoffflussanalyse für das Jahr 2005. Umwelt-Wissen Nr. 1018, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. 128 S.
- Hofer H. & Jäggli F., 1975. Probleme bei der umweltgerechten Anwendung von Düngemitteln. *Mitt. Schweiz. Landw.* **23**, 89–111.
- Jenkinson D.S., 1991. The Rothamsted long-term experiments: are they still of use? *Agron. J.* **83**, 2–10.
- Menzi H., Besson J.-M. & Frick R., 1994. Specific norm values: a tool to optimize nutrient efficiency of manure and to reduce ammonia emissions. In: Animal waste management (Ed. J. Hall). Proc. of the 7th technical consultation on the ESCORENA network on animal waste management, Bad Zwischenahn (D), 17–20 May 1994, FAO, Rome, REUR Technical Series No. 34, 345–350.
- Ryser J.-P. & Pittet J.-P., 2000. Influence du sol et de la fumure sur les cultures et le drainage des éléments fertilisants. *Revue suisse Agric.* **32**, 159–164.
- Spiess E., Prasuhn V. & Stauffer W., 2011. Einfluss der Winterbegrünung auf Wasserhaushalt und Nitratauswaschung. In: Bericht über die 14. Gumpensteiner Lysimetertagung. LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdring, 213–215. Zugang: http://www.raumberg-gumpenstein.at/c/index.php?option=com_docman&Itemid=100139&task=download&gid=4383&lang=de [7.6.2011].
- Thomsen I.K. & Christensen B.T., 1999. Nitrogen conserving potential of successive ryegrass catch crops in continuous spring barley. *Soil Use Manage.* **15**, 195–200.
- Vuilliod P., Neyroud J.-A. & Mercier E., 2006. Efficacité de différents apports organiques et d'un engrais minéral azoté à Changins (1976–2004). *Revue suisse Agric.* **38**, 173–183.