

Einfluss der Witterung auf die Auswaschung unter einer Fruchtfolge

Ernst Spiess^{1*}, Werner Stauffer¹, Clay Humphrys¹ und Volker Prasuhn¹

Zusammenfassung

Auf der Lysimeteranlage Bern-Liebefeld wurde zwischen 2002 und 2009 der Einfluss einer siebenjährigen Fruchtfolge, die dreimal zeitversetzt angebaut worden ist, auf den Ertrag, den Stickstoffentzug, die Sickerwasserbildung und die Nitrat Auswaschung untersucht. Über die gesamten sieben Jahre variierte die Sickerwassermenge zwischen den drei zeitversetzten Fruchtfolgen nur wenig. Dagegen war die Streuung bei der Nitratkonzentration des Sickerwassers und der ausgewaschenen Stickstoffmenge etwas größer. Die Niederschlagsmenge und -verteilung beeinflussten die Sickerwassermenge und die Nitrat Auswaschung deutlich; beide Größen nahmen bei den meisten Kulturkombinationen mit steigenden Niederschlägen zu. Im Mittel der siebenjährigen Fruchtfolge wurden die gesetzlichen Anforderungen bezüglich Nitrat im Trinkwasser nicht eingehalten.

Schlagwörter: Düngung, Fruchtfolge, Grundwasser, Niederschlag, Nitrat Auswaschung

Summary

On the lysimeter station Bern-Liebefeld, the influence of a seven-year crop rotation, grown three times displaced in time, was investigated on yield, N offtake, seepage volume and nitrate leaching between 2002 and 2009. Over the entire period of seven years seepage volume varied only little between the three rotations displaced in time. In contrast variation in nitrate concentration of seepage water and in the amount of nitrate leached was larger. The influence of the amount and distribution of precipitation on seepage volume and nitrate leaching was in evidence, whereas in most crop sequences seepage volume and nitrate leaching increased with rising rainfall. On average of the seven-year crop rotation legal standards concerning nitrate in drinking water could not be complied with.

Keywords: crop rotation, fertilization, groundwater, nitrate leaching, precipitation

Einleitung

Die Auswaschung von Nitrat (NO_3^-) unter landwirtschaftlichen Kulturen ist ein komplexer Prozess, der von einer Vielzahl von Faktoren abhängig ist (LEU et al. 1986, SAUERBECK 1979). Einzelne Faktoren wie Kulturwahl oder Zeitpunkt und Art der Bodenbearbeitung können gut gesteuert werden, andere wie Humusgehalt oder Gründigkeit des Bodens nicht oder nur mit sehr grossem Aufwand. Zu letzterer Gruppe gehört auch die Witterung. Ausbleibende Niederschläge können zwar mit Bewässerung kompensiert werden, übermässige Regenfälle aber nicht verhindert werden. Auch die Lufttemperatur kann praktisch nicht beeinflusst werden.

In empirisch-statistischen Modellen wie MODIFFUS (PRASUHN und SIEBER 2005) werden aus Versuchen abgeleitete, kulturspezifische Auswaschungswerte benötigt. In mehrjährigen Versuchen zur Nitrat Auswaschung wird eine bestimmte Kultur häufig nur einmal angebaut. Die Sickerwasserbildung und die ausgewaschene Menge an Stickstoff (N) können aber durch die Witterungsbedingungen beeinflusst werden. Die Wechselwirkung zwischen Witterung und Kulturart kann deshalb nicht erfasst werden. Unter Umständen wirkt sich ein extremes Ereignis wie zum Beispiel ein starkes Niederschlagsereignis in einem empfindlichen Vegetationsstadium bei einer bestimmten Kultur so stark aus, dass das Ergebnis der gesamten Untersuchungsperiode

beeinflusst wird. Um diesen Einfluss auf einzelne Kulturen und eine gesamte Fruchtfolge besser studieren zu können, wurde ein Versuch mit einer Fruchtfolge, die dreimal zeitlich versetzt angebaut wurde, durchgeführt.

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 m^2 sowie eine nutzbare Tiefe von $1,35 \text{ m}$ aufweisen (eine zusätzliche Quarzsandschicht von $0,15 \text{ m}$ über dem Auslass dient als Sickerhilfe). Für die Messung des Sickerwassers wurden Kippwaagen nach dem Prinzip von Joss-Tognini verwendet. Die Impulse der einzelnen Kippungen wurden in einer zentralen Zählleinheit registriert. 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.

¹ Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Reckenholzstrasse 191, CH-8046 ZÜRICH

* Ansprechpartner: DI Ernst Spiess, ernst.spiess@art.admin.ch



Tabelle 1: Eigenschaften des Bodens (0-20 cm bei Versuchsbeginn, 30-140 cm bei Versuchsende).

Bodenhorizont	Ton (%)	Schluff (%)	Sand (%)	pH _{H₂O}	P-Test ¹⁾	K-Test ¹⁾	C _{org} ²⁾ (%)	N _{tot} ²⁾ (%)
0-20 cm	17	25	58	6,0	17,1	1,1	1,2	0,17
30-50 cm	22	27	51	6,6	13,2	0,4	0,9	0,15
60-90 cm	14	21	65	8,1	1,1	0,4	0,3	0,06
120-140 cm	14	21	65	8,1	0,8	0,5	0,3	0,07

¹⁾ Untersuchung der P- und K-Versorgung des Bodens nach der Methode Dirks-Scheffer mit CO₂-gesättigtem Wasser als Extraktionsmittel (FAL und RAC 2001); ²⁾ C_{org} = organischer Kohlenstoff; N_{tot} = Gesamtstickstoff

Tabelle 2: Verfahren mit den zeitlich versetzt angebauten Hauptkulturen (Silomais als erste Kultur der Fruchtfolge ist fett markiert).

Verfahren	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
A	SM	WW1	ZR	WW2	EE	WG	KW1
B	KW1	SM	WW1	ZR	WW2	EE	WG
C	EE	WG	KW1	SM	WW1	ZR	WW2

Boden

Die Lysimeter wurden 1982 mit einer schwach entwickelten Parabraunerde vom Standort Bern-Liebefeld gefüllt (Tabelle 1). Der Boden, ein sandiger Lehm, wurde volumengetreu eingefüllt, indem er gemäss der im Feld gemessenen Lagerungsdichte rückverdichtet wurde. Die Versorgung des Bodens mit Phosphor (P) war hoch, diejenige mit Kalium (K) dagegen nur mässig.

Fruchtfolge und Verfahren

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 Kleegrasmischung angesät. Im März 2002 startete der Fruchtfolgeversuch mit der folgenden siebenjährigen Fruchtfolge: Silomais (SM) - Winterweizen 1 (WW1) + Zwischenfrucht 1 (ZF1) - Zuckerrüben (ZR) - Winterweizen 2 (WW2) + Zwischenfrucht 2 (ZF2) - Eiweibers (EE) - Wintergerste (WG) + Kunstwiesenansaat (KWA) - Kunstwiese 1 (KW1; Kleegrasmischung) + Kunstwiesennutzung im Frühling (KWF). Als Zwischenfrucht wurde abfrierender Bastard-Ölrettich (*Raphanus sativus* x *Brassica oleracea*) nach Winterweizen 1 und winterharte Chinakohlrüben (*Brassica chinensis* x *Brassica rapa*) nach Winterweizen 2 angesät. Die Zwischenfrüchte wurden als Zwischenfutter verwendet, d.h. die oberirdische Biomasse wurde als Futter im Oktober vom Lysimeter abgeführt.

Die Fruchtfolge wurde in den drei Verfahren zeitversetzt angebaut, beginnend mit Silomais, Kunstwiese 1 bzw. Eiweibers (Tabelle 2). Somit wurden in jedem Jahr drei verschiedene Fruchtfolgeglieder angebaut. Alle drei Verfahren wurden in dreifacher Wiederholung durchgeführt.

Bodenbearbeitung und Düngung

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

Die Düngung der Kulturen richtete sich nach den damals geltenden Düngungsempfehlungen der Eidgenössischen Forschungsanstalten (FAL und RAC 2001). Die N-Düngung erfolgte bei Silomais und Kunstwiese mit Mist, Gülle und Ammoniumnitrat, bei Zuckerrüben mit Mist und Ammoniumnitrat sowie beim Getreide und bei den Zwischenfrüchten ausschließlich mit Ammoniumnitrat. Die Eiweibers erhielten keinen N-Dünger. Die N-Düngung zu den einzelnen Hauptkulturen wurde in Teilgaben verabreicht. Bei der Bemessung der Hofdüngergaben wurde auf den pflanzenverfügbaren Stickstoff und nicht auf den Gesamtstickstoff abgestellt.

Bezugsperiode

In zahlreichen Publikationen werden Nitratauswaschungswerte für Kulturen angegeben, ohne dass explizit definiert wird, während welcher Zeitperiode die Messungen erfolgt sind. In anderen Studien wird meistens eine der folgenden Zeitperioden gewählt: Kalenderjahr, Vegetationszeit einer Kultur oder Periode zwischen dem Saatzeitpunkt einer Kultur und dem Saatzeitpunkt der folgenden Hauptkultur. Für all diese Perioden werden aber meistens die Vor- und/oder die Nachkultur nicht angegeben. Versuche zeigen aber klar, dass die Vorkultur einen Einfluss auf die Auswaschung unter der Nachkultur hat (NIEVERGELT 2002, STAUFFER und SPIESS 2001). NIEVERGELT (2002) schlug deshalb vor, die ausgewaschene N-Fracht nicht einer einzelnen Kultur, sondern einer Kulturkombination (= Vorkultur + eventuelle Zwischenkultur - Nachkultur) zuzuordnen. In der vorliegenden Arbeit wurde dieser Ansatz übernommen und als Bezugsperiode der Zeitabschnitt zwischen dem 1. April des laufenden Jahres und dem 31. März des Folgejahres

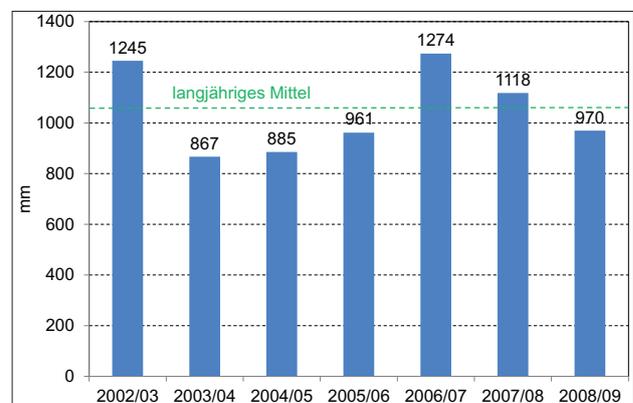


Abbildung 1: Niederschlagsmengen in den einzelnen Versuchsjahren.

gewählt. Bei diesem Ansatz können gewisse Carryover-Effekte nicht ausgeschlossen werden, wie beispielsweise die Folgewirkung des extremen Trockensommers 2003 auf die folgenden Jahre.

Niederschlag

Die Niederschlagsmengen wurden bis Juni 2006 der 300 m entfernten Station von MeteoSchweiz entnommen und nach deren Verlegung nach Bern-Zollikofen dem neuen, 7,5 km entfernten Standort. Die Niederschlagsmenge betrug im Durchschnitt der sieben Jahre 1046 mm und lag somit leicht über dem langjährigen Mittel der Periode 1961-90 von 1028 mm. Die Jahre 2002/03 und 2006/07 waren überdurchschnittlich nass, die beiden Jahre 2003/04 und 2004/05 dagegen sehr trocken (Abbildung 1).

Ergebnisse und Diskussion

Ertrag und Stickstoffentzug der Pflanzen

Die Durchschnittserträge fielen bei den Kulturen Silomais, Zuckerrüben, Wintergerste und Kunstwiese hoch aus (Tabelle 3). Beim Weizen und bei den Eiweißerbsen lagen sie in der Nähe des Normwerts der „Grundlagen für die Düngung“ (FAL und RAC 2001). Der vergleichsweise niedrige Silomais-ertrag im Verfahren B dürfte auf die starke Trockenheit im Sommer 2003 zurückzuführen sein.

Die hohen Erträge in unserem Versuch sind sicherlich auch eine Folge von Randeffekten bei kleinen Versuchsflächen und der guten Bewirtschaftung. Diese kann in einem Kleinversuch besser gestaltet werden als in der landwirtschaftlichen Praxis, weil Kosten und Zeitaufwand von geringerer Bedeutung sind. Während in der Praxis die Bewirtschaftung

Tabelle 3: Erträge der angebauten Hauptkulturen (in dt/ha; SM und KW1 in dt Trockensubstanz/ha; ohne Nebenprodukte wie Stroh und Laub).

Verfahren	SM	WW1	ZR	WW2	EE	WG	KW1
A	250	63	933	75	45	73	155
B	155	75	949	48	65	79	142
C	244	65	971	52	36	72	165

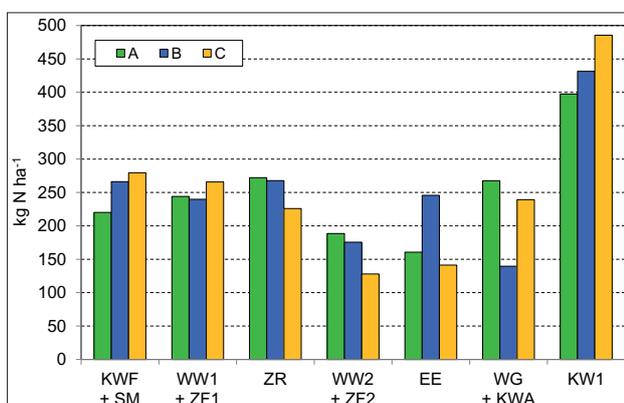


Abbildung 2: N-Entzüge der verschiedenen Kulturkombinationen in den drei Verfahren.

Tabelle 4: Sickerwassermenge, Nitratkonzentration des Sickerwassers und ausgewaschene Stickstoffmenge der drei Verfahren im Mittel der sieben Versuchsjahre.

Verfahren	A	B	C	Variationskoeffizient
Sickerwassermenge (mm Jahr ⁻¹)	495	537	512	4%
Nitratkonzentration (mg NO ₃ L ⁻¹)	63	63	83	17%
ausgewaschene N-Menge (kg N ha ⁻¹)	70	76	96	17%

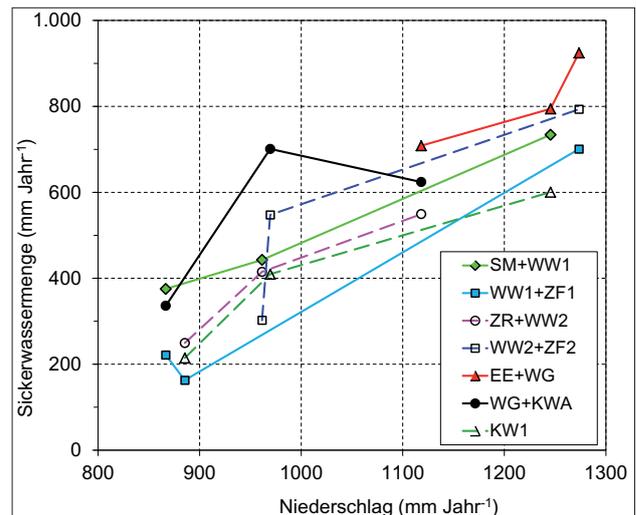


Abbildung 3: Jährliche Sickerwassermenge unter den Kulturkombinationen in den drei Verfahren in Abhängigkeit vom Niederschlag.

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.

Der N-Entzug der oberirdischen Biomasse über die gesamte Fruchtfolge war in allen Verfahren praktisch gleich hoch und lag mit Werten um die 250 kg N ha⁻¹ Jahr⁻¹ 5% über dem Normentzug. Die Kunstwiese wies die höchsten N-Entzüge auf (Abbildung 2), denn nicht nur Erträge waren überdurchschnittlich hoch, sondern auch die N-Gehalte. Diese Kultur nahm über 400 kg N ha⁻¹ auf, wobei ein großer Teil aus der biologischen N-Fixierung stammte. Silomais und Zuckerrüben dagegen erzielten zwar hohe Erträge, ihre N-Gehalte und auch ihre N-Entzüge lagen aber unter der Norm. Am wenigsten Stickstoff wurde mit dem Winterweizen 2 und den darauffolgenden Chinakohlrüben abgeführt.

Sickerwassermenge

Die Sickerwassermenge lag im Mittel der gesamten Fruchtfolge und der drei Verfahren bei 500 mm Jahr⁻¹ (Tabelle 4), was in der Größenordnung von RYSER und PITTET (2000) und leicht höher als bei NIEVERGELT (1999) ist. Vom durchschnittlichen Jahresniederschlag fiel 49% als Sickerwasser an. Die Unterschiede zwischen den Verfahren waren mit einem Variationskoeffizient von 4% sehr gering. Zwischen verschiedenen Jahren oder Kulturkombinationen traten dagegen viel größere Unterschiede auf (Abbildung

3). Zum Beispiel schwankte der Sickerwasseranfall bei der Kulturkombination „Silomais-Winterweizen 1“ zwischen 375 mm im trockenen Jahr 2003/04 und 734 mm im nassen Jahr 2002/03. Und innerhalb des Jahres 2006/07 (1274 mm Niederschlag) fiel zwischen 701 mm (WW1-ZF1) und 924 mm Sickerwasser (EE-WG) an. Tendenziell nahm die Sickerwassermenge mit steigendem Jahresniederschlag zu. Auch die Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflussten den Sickerwasseranfall. Im Herbst des Jahres 2008/09 wurden die Kunstwiese (nach Wintergerste) und die Zwischenfrucht 2 (nach Winterweizen 2) spät angesät und entwickelten sich nur zögerlich. Die dadurch entstandene längere Bracheperiode sowie die geringere Evapotranspiration während des langsamen Aufwuchses waren vermutlich der Hauptgrund dafür, dass in diesen Verfahren trotz unterdurchschnittlicher Niederschlagsmenge (970 mm) sehr viel Sickerwasser anfiel. Im dritten Verfahren mit Kunstwiese hingegen war die Sickerwassermenge nur leicht erhöht.

Nitratkonzentration des Sickerwassers

Die durchschnittliche Nitratkonzentration des Sickerwassers über die gesamte Fruchtfolgeperiode lag in den drei Verfahren zwischen 63 und 83 mg NO₃ L⁻¹ (Tabelle 4). Die Unterschiede zwischen den drei Verfahren waren mit einem Variationskoeffizient von 17% bedeutend größer als bei der Sickerwassermenge. Eine besonders starke Streuung der Nitratkonzentration wurde bei „Silomais-Winterweizen 1“ beobachtet (Abbildung 4).

In allen Kulturkombinationen wurde mindestens in einem Jahr der schweizerische Toleranzwert für Trinkwasser von 40 mg NO₃ L⁻¹ sowie der EU-Grenzwert von 50 mg NO₃ L⁻¹ überschritten. Auch im Mittel der Fruchtfolgeperiode wurden die gesetzlichen Werte deutlich übertroffen.

Ausgewaschene Stickstoffmenge

Die ausgewaschene N-Menge betrug im Mittel der drei Fruchtfolgen 81 kg ha⁻¹ und war damit im Vergleich zu Versuchen auf anderen Lysimeteranlagen (NIEVERGELT 1997, RYSER und PITTET 2000) eher hoch. Die Unterschiede zwischen den drei Verfahren waren mit einem Variationskoeffizient von 17% gleich groß wie bei der

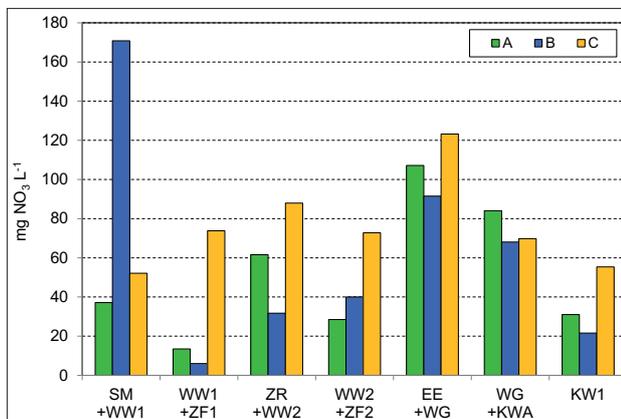


Abbildung 4: Durchschnittliche Nitratkonzentration des Sickerwassers unter den Kulturkombinationen in den drei Verfahren.

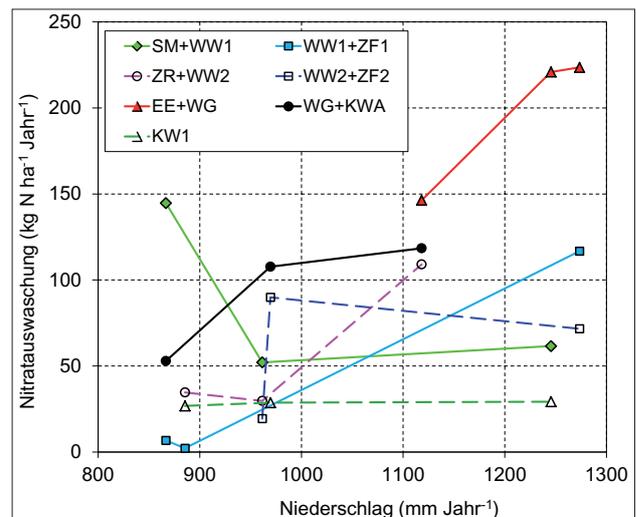


Abbildung 5: Ausgewaschene Stickstoffmenge unter den verschiedenen Kulturkombinationen in den drei Verfahren.

Nitratkonzentration (Tabelle 4). Bei den einzelnen Kulturkombinationen schwankte die Nitratauswaschung je nach Anbaujahr enorm (Abbildung 5). Zum Beispiel wurden unter Winterweizen 1+Zwischenfrucht 1 in zwei Jahren nur geringe N-Mengen ausgewaschen; im dritten Anbaujahr, welches mit 1274 mm mit Abstand am niederschlagsreichsten war, traten dagegen im Frühjahr infolge außergewöhnlich hoher Regenfälle beträchtliche N-Verluste unter Weizen auf. Bei den meisten Kulturkombinationen nahm die Nitratauswaschung mit steigender Niederschlagsmenge zu, bei der Kunstwiese hingegen verharrten sie auf einem Niveau von 30 kg ha⁻¹.

Bei „Silomais-Winterweizen 1“ zeigte sich, dass nicht nur die absolute Menge der Niederschläge, sondern auch deren Verteilung von großer Bedeutung ist. Im trockenen Jahr 2003/04 mit nur 867 mm Niederschlag traten im Januar hohe Niederschläge auf, wodurch außergewöhnlich viel Nitrat unter dem Weizen ausgewaschen wurde. Die N-Verluste waren in diesem Jahr viel höher als in den beiden anderen Anbaujahren mit bedeutend mehr Niederschlägen (961 bzw. 1245 mm).

Soll eine Kulturkombination bezüglich ihrer Auswaschungsgefährdung eingestuft werden, indem sie mit einer anderen verglichen wird, dürfen nicht die Ergebnisse von Jahren beigezogen werden, in denen nur eine der beiden Kulturkombinationen angebaut worden ist. Zum Beispiel wurden unter „Eiweißerbsen-Wintergerste“ im Mittel der drei Verfahren 197 kg N ha⁻¹ ausgewaschen, während es unter „Wintergerste-Kunstwiesenansaat“ 93 kg N ha⁻¹, also 104 kg N ha⁻¹ weniger, waren. Die beiden Kulturkombinationen wurden nur im Jahr 2007/08 (mit 1118 mm Niederschlag) gleichzeitig angebaut. Dabei wurden unter „Eiweißerbsen-Wintergerste“ im Verfahren B nur 28 kg N ha⁻¹ mehr ausgewaschen als unter „Wintergerste-Kunstwiesenansaat“ im Verfahren A (Abbildung 5). Erstere Kulturkombination wurde ausschließlich in niederschlagsreichen Jahren angebaut, während bei Letzterer in zwei von drei Anbaujahren wenig bzw. sogar sehr wenig Niederschlag fiel. Beide Kulturkombinationen dürften zu den auswaschungsgefährdeten

gehören. Erbsen hinterlassen nach der Ernte eine große N-Menge im Boden, was zu hohen Nitratverlusten bei der Nachkultur führen kann (ADAS 2007, JOHNSON et al. 1997, MAIDL et al. 1996, SIMMELSGAARD 1998). Unter der Kunstwiese hingegen wurde wenig Nitrat ausgewaschen, was auch in anderen Studien festgestellt worden ist (EDER 1988, STAUFFER und SPIESS 2001, 2005).

Schlussfolgerungen

Die Witterung beeinflusste den Prozess der N-Auswaschung maßgeblich. Die Streuung war bei der Nitratkonzentration des Sickerwassers und der ausgewaschenen N-Menge größer als bei der Sickerwasserbildung. Über eine gesamte Fruchtfolge betrachtet war die Variation viel geringer als bei einzelnen Fruchtfolgegliedern, wo die Unterschiede extrem hoch ausfallen können.

Die Ergebnisse zeigen, dass drei Anbaujahre zur Ableitung kulturspezifischer Auswaschungswerte für die Modellierung nicht ausreichen und dass bedeutend mehr Versuchsjahre unter verschiedensten Witterungsbedingungen notwendig sind.

Im Allgemeinen nehmen die Sickerwassermenge und die Nitratauswaschung mit steigenden Niederschlägen zu. Die gesetzlichen Anforderungen bezüglich Nitrat im Trinkwasser wurden im Mittel der siebenjährigen Fruchtfolge nicht eingehalten.

Literatur

- ADAS, 2007: Diffuse nitrate pollution from agriculture - strategies for reducing nitrate leaching. ADAS report to Defra - supporting paper D3 for the consultation on implementation of the Nitrates Directive in England. 52 pp.
- EDER, G., 1988: The influence of increasing amounts of cattle slurry as fertilizer for grassland on percolation water and leaching losses. In: Vetter H., Steffens G. and L'Hermite P. (Eds.): Safe and efficient slurry utilization. Joint FAO-COST Meeting at Liebefeld. Commission of the European Communities, 45-55.
- FAL (Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz) und RAC (Eidgenössische Forschungsanstalt für Pflanzenbau, Nyon-Changins), 2001: Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau 2001. Agrarforschung 8 (6), 80 pp.
- FURRER, O.J. und W. STAUFFER, 1980: Die neue Lysimeteranlage der Forschungsanstalt Liebefeld-Bern. Jb. Schweiz. Naturforsch. Ges., Wiss. Teil Nr. 1, 53-57.
- JOHNSON, P.A., M.A. SHEPHERD and P.N. SMITH, 1997: The effects of crop husbandry and nitrogen fertilizer on nitrate leaching from a shallow limestone soil growing a five course combinable crop rotation. Soil Use Manage. 13, 17-23.
- LEU, D., R. BIEDERMANN, J. DETTWILER, J. HOIGNÉ und F.X. STADELMANN, 1986: Berichte über Nitrate im Trinkwasser - Standortbestimmung 1985. Mitt. Lebensm. Hyg. 77, 227-315.
- MAIDL, F.X., F.X. HAUNZ, A. PANSE and G. FISCHBECK, 1996: Transfer of grain legume nitrogen within a crop rotation containing winter wheat and winter barley. J. Agron. Crop Sci. 176, 47-57.
- NIEVERGELT, J., 1997: Lysimeterversuch 1981 bis 1996: N-Auswaschung in Fruchtfolgen. Agrarforschung 4, 209-212.
- NIEVERGELT, J., 1999: Lysimeter-Ergebnisse 1. April 1996 bis 31. März 1998. Agrarforschung 6, 149-150.
- NIEVERGELT, J., 2002: Nitrat und Fruchtfolgen 20 Jahre lang beobachtet. Agrarforschung 9, 28-33.
- PRASUHN, V. and U. SIEBER, 2005: Changes in diffuse phosphorus and nitrogen inputs into surface waters in the Rhine watershed in Switzerland. Aquat. Sci. 67, 363-371.
- RYSER, J.-P. et J.-P. PITTET, 2000: Influence du sol et de la fumure sur les cultures et le drainage des éléments fertilisants. Revue suisse Agric. 32, 159-164.
- SAUERBECK, D., 1979: Der Stickstoffkreislauf in Agrarökosystemen. Landbauforschung Völkensrode, Sonderheft 47, 44-62.
- SIMMELSGAARD, S.E., 1998: The effect of crop, N-level, soil type and drainage on nitrate leaching from Danish soil. Soil Use Manage. 14, 30-36.
- STAUFFER, W. und E. SPIESS, 2001: Einfluss unterschiedlicher Fruchtfolgen und nachwachsender Rohstoffe auf die Nitratauswaschung. In: Gebietsbilanzen bei unterschiedlicher Landnutzung. Bericht über die 9. Gumpensteiner Lysimetertagung. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein (BAL), Irnding, 47-50.
- STAUFFER, W. und E. SPIESS, 2005: Einfluss unterschiedlicher Nutzung und Düngung auf Sickerwassermenge und Nitratauswaschung. In: Lysimetrie im Netzwerk der Dynamik von Ökosystemen. Bericht über die 11. Gumpensteiner Lysimetertagung. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irnding, 213-215.