

Einfluss unterschiedlicher Fruchtfolgen und nachwachsender Rohstoffe auf die Nitratauswaschung

W. STAUFFER und E. SPIESS

Abstract

Lysimeters (1 m² surface, 1.4 m depth, filled in 1982 with a low humus, loamy sand soil) were used during seven years (April 1993 - March 2000) to investigate the influence of six different crop rotations, grass-clover mixture, China reed (*Miscanthus sinensis* „Giganteus“) and bare soil on the amount of drainage runoff and nitrate losses to the groundwater. The data for drainage runoff and nitrate leaching revealed differences in relationship to precipitation, crop sequence and the degree of vegetation cover.

Over the seven years, nitrate leaching was reduced by about 50% with rotations including ley, relative to those without ley for which an average nitrate loss of 130 kg N/ha and year was measured during the seven experimental years. The sequence of cultivated crops played a dominant role with respect to nitrate losses. Potatoes and peas followed by winter wheat and green fallow to be unfavorable because nitrate losses reached 300 kg N/ha and year. Thus cropping systems can be optimized in terms of the crop sequence within a rotation. Furthermore, the potential for nitrate losses can be estimated based on precipitation intensity and crop sequence.

Einleitung

Finanzielle Anreize für den ökologischen Leistungsnachweis, welcher unter anderem eine geregelte Fruchtfolge und einen geeigneten Bodenschutz (optimale Bodenbedeckung) beinhaltet, haben in der Schweiz zu veränderten Fruchtfolgen geführt. Durch die agrarpolitisch bedingte Extensivierung der Landwirtschaft werden zudem auch immer mehr alternative Kulturen wie Grünbrache, Hanf und Chinaschilf angebaut. Welchen Einfluss haben diese auf die Umwelt? Besteht eine Gefahr für das Grundwasser? Viele Faktoren der Sickerwasserbil-

dung und der Nitratauswaschung sind für einzelne Kulturen bekannt. Hingegen sind über Kulturübergänge und gesamte Fruchtfolgen nur wenig Resultate verfügbar (NIEVERGELT 1997, RYSER und PITTET 1999).

Die Höhe der Nitratauswaschung aus einem Boden wird einerseits von der anfallenden Sickerwassermenge und andererseits von der Nitratkonzentration im Sickerwasser bestimmt. Je tiefer und intensiver der Boden von den Kulturpflanzen durchwurzelt werden kann, desto geringer ist die Gefahr, dass Nitratstickstoff auch ausgewaschen wird (STAUFFER und ENGGIST 1990). Eine möglichst lückenlose Bepflanzung reduziert die Nitratauswaschung. Die Wahl der Fruchtfolge spielt hier eine zentrale Rolle.

Material und Methoden

Lysimeter

Der Versuch wurde auf 26 Lysimetern der Lysimeteranlage Bern-Liebefeld durchgeführt. Es handelt sich um nicht-monolithische Lysimeter, welche eine Oberfläche von 1 m² und eine nutzbare Tiefe von 1,40 m aufweisen. Für die Messung des Sickerwassers wurden Niederschlagsmesser nach dem System Joss-Tognini (SMA Locarno-Monti) verwendet. Die Impulse der einzelnen Kippungen werden in einer zentralen Zähl-einheit registriert. Bei der vorliegenden Lysimetergrösse können Abflussmengen 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 Lysimeter wurden 1982 mit schwach humosem, lehmigem Sand eingefüllt

(Tabelle 1). Die Parabraunerde Liebefeld gilt als normal bis gut durchlässig und ist ein in der Schweiz weit verbreiteter Boden. Der Boden wurde volumengetreu, das heisst, gemäss der im Feld gemessenen Lagerungsdichte eingefüllt.

Verfahren

Vorgeschichte: Auf den gleichen Gefässen wurden von 1985 bis 1990 Versuche mit Hofdüngern durchgeführt (STAUFFER 1993). 1992 wurden die Lysimeter mit einer Kleegras Mischung angesät, um eine homogene, gleichmäßige Versuchsdurchführung zu gewährleisten. Im Frühjahr 1993 startete der hier beschriebene Versuch.

In Tabelle 2 sind die einzelnen Verfahren und die Kulturenabfolge, welche jeweils in dreifacher Wiederholung angelegt wurden, aufgelistet. Die Verfahren 1 bis 6 sind praxisübliche Fruchtfolgen. In den Fruchtfolgen 1 und 3 wurde viel Zwischenfrucht, in den anderen Fruchtfolgen dagegen wenig oder keine Zwischenfrucht angebaut. In die Fruchtfolgen einbezogen wurden auch Grünbrache und Hanf. Die Fruchtfolgen wurden so gewählt, dass einerseits verschiedene Kulturübergänge und andererseits die gesamten Fruchtfolgen beurteilt werden konnten. Auf ein- oder zweijährige Kunstwiesen innerhalb der siebenjährigen Fruchtfolgen wurde verzichtet. Als Vergleich dienten drei weitere Verfahren mit Kunstwiese, Chinaschilf und Schwarzbrache. Mit den Erhebungen bei Chinaschilf wurde erst im Jahr 1995 begonnen. Es war zu diesem Zeitpunkt bereits seit vier Jahren angepflanzt.

Bodenbearbeitung und Düngung

Die Bodenbearbeitung und Düngung haben einen Einfluss auf den Ertrag, die Sickerwassermenge und die Nitratauswaschung. Die Bodenbearbeitung erfolgte in der Regel vor der Saat der Hauptkultur im Herbst oder Frühjahr. Das Zwischenfutter und die Gründüngung wur-

Autoren: Dr. Werner STAUFFER und Dr. Ernst SPIESS, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Liebefeld, CH-3003 BERN

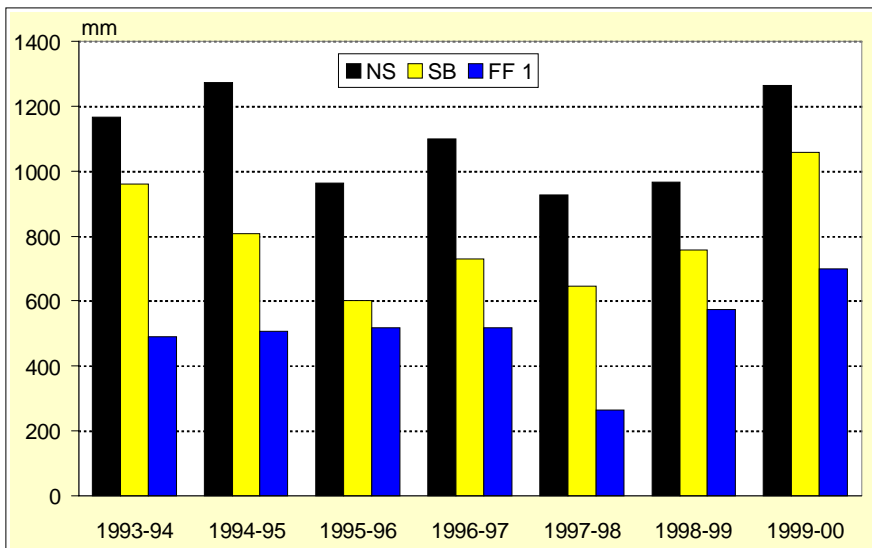


Abbildung 1: Niederschlag (NS) und Sickerwassermengen bei Schwarzbrache (SB) und Fruchtfolge 1 (FF 1) während der siebenjährigen Versuchsdauer

Tabelle 1: Bodenkenndaten der Lysimeter

Tiefe cm	pH	Org. C %	N %	Ton %	Schluff %	Sand %
0-30	7,5	1,72	0,15	15	26	59
30-140	7,9	0,69	0,06	12	21	67

den jeweils unmittelbar nach der Ernte der Hauptkultur angesät. Wo keine Zwischenkultur auf die Hauptkultur folgte, blieb die Parzelle bis zur nächsten Hauptkultur unbearbeitet (Stoppelfeld oder Nachverunkrautung).

Die Düngung der Kulturen erfolgte aufgrund der jeweils geltenden Düngungsrichtlinien der Eidgenössischen Forschungsanstalten (WALTHER et al. 1987 und 1994). Für die mineralische Stickstoffdüngung wurde ausschließlich Ammonsalpeter verwendet. Die Stickstoffgaben zu den einzelnen Kulturen wurde in Teilgaben verabreicht. In der Regel wurde Rottemist zu Kartoffeln und Vollgülle (1:1 mit Wasser verdünnt) zu Dauerwiese und Chinaschilf ausgebracht. Die mittleren Stickstoffgehalte betragen

beim Mist 4,2 kg/t Gesamt-N und 0,2 kg/t Ammonium-N, bei der Gülle 1,9 kg/m³ Gesamt-N und 0,9 kg/m³ Ammonium-N.

Niederschläge

Die jährlichen Niederschlagsmengen wurden der örtlichen Meteo-Station entnommen. Die Berechnung der Jahressummen erfolgte jeweils von April des laufenden Jahres bis März des Folgejahres (hydrologisches Jahr). Aus Abbildung 1 geht hervor, dass die Jahre 1993/94, 1994/95 und 1999/00 im Vergleich zum langjährigen Mittel (1000 mm) sehr reich an Niederschlägen waren, während 1997/98 ein ausgesprochen trockenes Jahr war.

Tabelle 2: Angebaute Kulturen in den neun Verfahren

Verfahren	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1 Fruchtfolge 1 (FF1)	SM/WW	WW/ZF	KA/WG	WG/GB	GB	GB/KA/ZF/WW	WW/ZF
2 Fruchtfolge 2 (FF2)	SM m.U.	GB	GB/KA/WG	WG/GD	HA	ZR/WW	WW
3 Fruchtfolge 3 (FF3)	SW/ZF	KA/ZF	EE/GB	GB/RA	RA/ZF	HA	GB
4 Fruchtfolge 4 (FF4)	SW/GD	KA	EE/WW	WW/RA	RA	SM/WW	WW
5 Fruchtfolge 5 (FF5)	KA/GB	GB	GB/SM	HF	KA/GB	GB/WG	WG
6 Fruchtfolge 6 (FF6)	GB/RA	RA/ZF	ZR/WW	WW	SM/WW	WW	HA
7 Kunstwiese (KW)	Kleegrass	Kleegrass	Kleegrass	Kleegrass	Kleegrass	Kleegrass	Kleegrass
8 Chinaschilf (CS)	CS	CS	CS	CS	CS	CS	CS
9 Schwarzbrache (SB)	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine

CS = Chinaschilf, EE = Eiweißerbse, GB = Grünbrache, GD = Gründüngung (Sonnenblumen/Sommerwicken), HA = Hanf, HF = Hafer, KA = Kartoffeln, RA = Körnermais, SM = Silomais, SM m.U. = Silomais mit Untersaat, SW = Sommerweizen, WG = Wintergerste, WW = Winterweizen, ZF = Zwischenfutter (Wicken, Hafer, Erbsen), ZR = Zuckerrüben

Ergebnisse

Erträge

In den Lysimetern waren die Erträge der einzelnen Kulturen (Tabelle 3) in der Regel aufgrund der optimalen Standortverhältnisse (kleine Fläche, Randeffekt) etwas höher als im Feld. Für die Höhe des Trockensubstanz (TS)-Ertrages in einem bestimmten Jahr war vor allem die Kulturart verantwortlich. So wurden zum Beispiel bei Kartoffeln mit einem Ertrag von 450 dt/ha und einem TS-Gehalt von 20 % nur 90 dt TS/ha in die Berechnung einbezogen. Das Kartoffelkraut wurde als Nebenprodukt aufgeführt. Die mittlere TS-Produktion pro Jahr war bei den Fruchtfolgen 1, 2, 4 und 6 sehr ähnlich. Die Verfahren mit zweimaliger Grünbrache (FF 3 und 5) erreichten die Höhe der anderen Verfahren nicht. Die Grünbrache wurde jährlich zweimal gemulcht, das Erntegut blieb auf der Parzelle und wurde nicht erfasst. Kleegrass (Verfahren 7) wurde mittelintensiv genutzt (4 Schnitte, in Ausnahmefällen 5 Schnitte) und erreichte mit durchschnittlich 110 dt/ha pro Jahr einen niedrigeren TS-Ertrag als die meisten Fruchtfolgen. Bei Kleegrass treten im Lysimeter erfahrungsgemäss eher geringere Randeffekte auf als z.B. bei Silomais und der Topfeffekt und allfällige Trockenheit wirken sich negativ auf den Ertrag aus. Die sehr hohen Silomaiserträge waren auf die optimalen Standortverhältnisse im Lysimeter zurückzuführen.

Die Stengeldicken waren wesentlich stärker als diejenigen unter Feldbedingungen. Ebenso war der Kolbenanteil mit 2-3 Kolben pro Pflanze überdurchschnittlich hoch. Chinaschilf erzielte mit 198 dt TS/ha pro Jahr die deutlich höchsten Erträge.

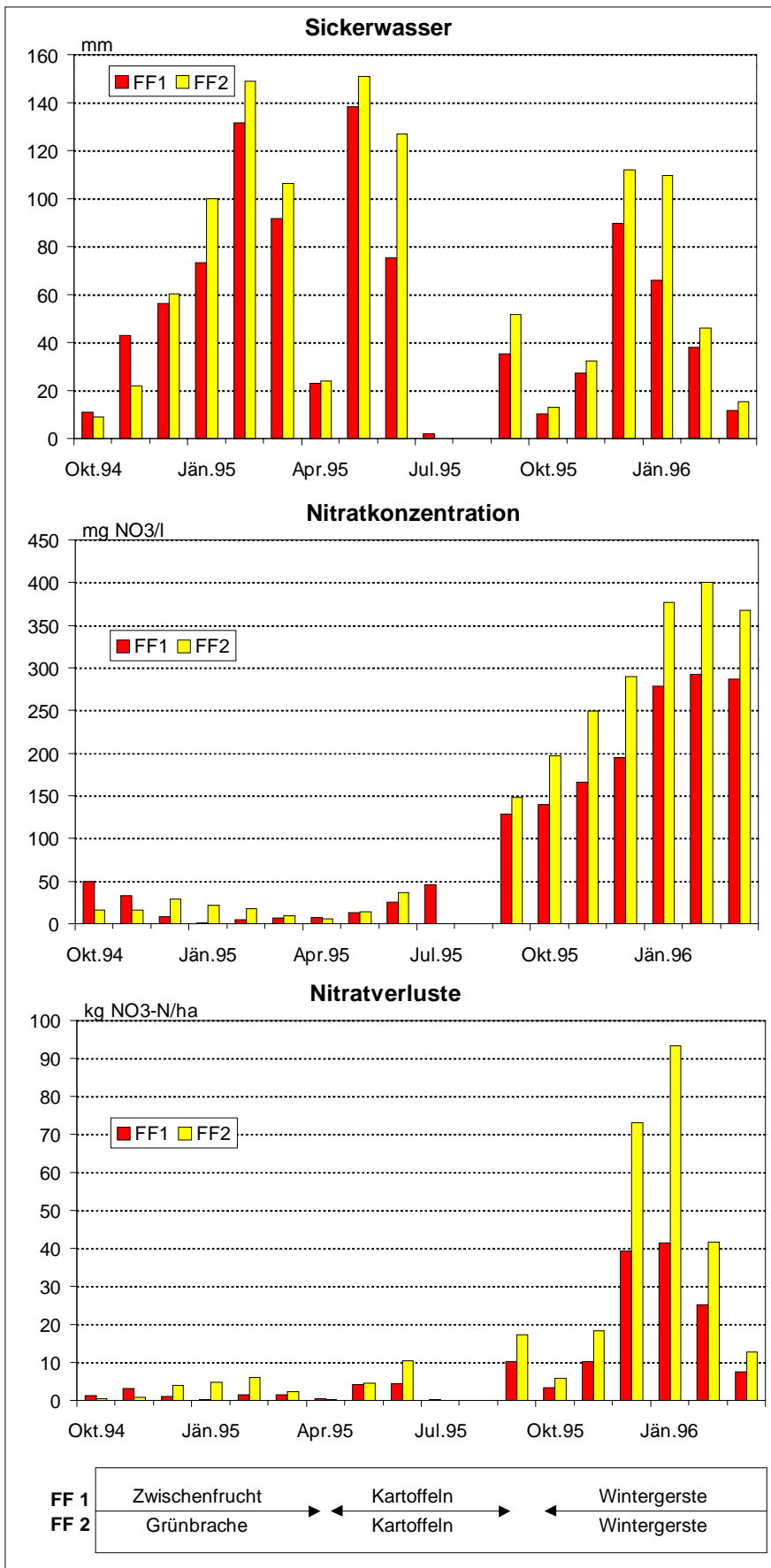


Abbildung 2: Sickerwasser, Nitratkonzentrationen und -verluste in den Kulturabfolgen Zwischenfrucht - Kartoffeln - Wintergerste (FF 1) und Grünbrache - Kartoffeln - Wintergerste (FF 2)

Sickerwasser

Die einzelnen Verfahren zeigen, dass einerseits die Niederschlagsmenge und andererseits der Bedeckungsgrad und die Zeit der Bedeckung einer bestimmten Kultur für die Höhe der Sickerwassermenge verantwortlich ist. Unter Schwarzbrache verlief die Sickerwassermenge weitgehend analog zur Niederschlagsmenge (Abbildung 1). Unterschiedliche Kulturen konnten dies einerseits vollständig überdecken (z.B. fast gleiche Sickerwassermengen bei unterschiedlichen Niederschlägen bei FF 1 1993/94 bis 1996/97). Andererseits konnte auch hier der Niederschlagseinfluss größer sein als der Kultureinfluss (z.B. FF 1: 1997/98 bis 1999/00). Die jährliche Niederschlagsverteilung im Zusammenspiel mit der Entwicklung und des Wasserverbrauchs der Kulturen war hierfür entscheidend.

Nitratkonzentrationen

Ähnliche Tendenzen wie beim Sickerwasser sind auch bei der Nitratkonzentration zu finden (Tabelle 4). In den Jahren mit Kartoffeln (FF 5: 1993/94, FF 1 und FF 2: 1995/96), Eiweißerbse (FF 4: 1995/96) und Grünbracheansaat (FF 5: 1997/98) waren häufig und bei Wintergetreide (FF 1, FF 2 und FF 6: 1996/97) gelegentlich hohe Werte zu verzeichnen. Bei Kulturübergängen mit Zwischenfrucht wurden die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser stark vermindert. Ebenfalls geringe Nitratkonzentrationen wurden unter Kunstwiese und Chinaschilf beobachtet, dagegen wurden bei der Schwarzbrache jedes Jahr hohe Werte gemessen.

Kulturübergänge

Es zeigt sich, dass die Kulturübergänge einerseits einen sehr großen Einfluss auf die Sickerwassermenge und andererseits auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser hatten. Eine Abfolge Winterweizen - Zwischenfrucht - Kartoffeln - Wintergerste (FF 1) vermochte die Nitratverluste im Vergleich zu Grünbrache - Kartoffeln - Wintergerste (FF 2) um rund 50 % zu vermindern (Abbildung 2). Die Nitratverluste unterschieden sich bis zum November 1995 nur wenig. Danach wurde aber viel mehr Nitrat ausgewaschen, wenn den Kartoffeln eine Grünbrache vorausging, deren hohe TS-Men-

Tabelle 3: Durchschnittliche Erträge in den einzelnen Verfahren (in dt TS/ha und Jahr)

	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	KW	CS	SB
Hauptprodukt	96	110	50	80	79	101	110	198	0
Nebenprodukt	33	28	34	51	22	38			
Zwischenfutter	13		20			4			
Total	142	138	104	130	101	143	110	198	0

Hauptprodukt: Körner, Kartoffelknollen usw., Nebenprodukt: Stroh, Rübenblätter usw.

Tabelle 4: Nitratkonzentrationen (in mg NO₃/l) Abflussproportionaler Mittelwert pro Jahr (April bis März)

Jahr	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00
FF 1	87	21	125	120	21	89	56
FF 2	86	20	180	147	98	68	50
FF 3	77	27	62	40	84	103	56
FF 4	101	66	210	75	23	93	48
FF 5	173	10	26	59	115	26	24
FF 6	100	24	33	150	55	41	45
KW	49	7	13	11	17	29	15
CS	—	—	3	1	2	3	0
SB	264	143	240	230	225	205	124

Tabelle 5: Niederschlag (NS), Sickerwasser (SW), Nitratkonzentration (Konz.) und -verluste im Mittel der siebenjährigen Versuchsperiode

Verfahren	NS mm	SW mm	SW/NS %	Konz. mg NO ₃ /l	Verluste kg NO ₃ -N/ha
FF 1		510	47	77	89
FF 2		612	56	91	125
FF 3		539	49	71	86
FF 4		722	66	88	143
FF 5	1094	621	57	64	90
FF 6		489	45	70	77
KG		590	54	22	29
CS		534	49	2	2
SB		794	73	200	359

ge nicht weggeführt wurde und mit einigen Monaten Verzögerung zu einer verstärkten N-Mineralisierung führte. Bei Winterweizen und Zwischenfutter als Vorkulturen wurden dagegen die Weizenkörner, das Stroh sowie das Zwischenfutter abgeführt, so dass mit den Ernterückständen nur eine geringe N-Menge im Boden verblieb.

Eiweissbensen und Kartoffeln sind vor Winterweizen und Grünbrache als ungünstige Vorkulturen zu beurteilen. In den Sommermonaten wird in der Regel unter der Hauptkultur während zwei bis fünf Monaten kein Sickerwasser gemessen.

Beurteilung der Fruchtfolgen

Je nach Fruchtfolge traten in gewissen Jahren zum Teil massive Unterschiede bei den Sickerwassermengen auf. Zum Beispiel im sehr feuchten Jahr 1994/95 war die Sickerwassermenge unter Kartoffeln (FF 4) mit 1077 mm um mehr als

dreimal größer als unter Raps/Zwischenfutter (FF 6) mit 352 mm. Aber auch im sehr trockenen Jahr 1997/98 traten Unterschiede in der Größenordnung von Faktor drei bei Kartoffeln/Grünbrache (FF 5) mit 501 mm gegenüber Raps/Zwischenkultur (FF 3) mit 161 mm auf. Zwischenkulturen und Winterbedeckung mit einer Hauptkultur bildeten rund 10 - 15 % weniger Sickerwasser als solche mit wenig oder keinem Zwischenfutter. Dies wirkte sich auch auf die Nitratkonzentration und die Nitratverluste aus. In Fruchtfolgen ohne Zwischenfutter (FF 2 und FF 4) waren die Nitratverluste mit 125 resp. 143 kg N/ha rund 50 % höher als in Fruchtfolgen mit Zwischenfutter (Tabelle 5). Bei Schwarzbrache wurde 73 % des Niederschlags als Sickerwasser gemessen. Die Nitratauswaschung war mit einem durchschnittlichen Verlust von 358 kg N/ha und Jahr sehr hoch. Bei Chinaschilf hingegen be-

trug die durchschnittliche Auswaschung nur 2 kg N/ha und Jahr.

Zusammenfassung

Mit Lysimetern (1 m² Oberfläche und 1,4 m nutzbare Tiefe, 1982 mit einem schwach humosen, lehmigen Sand eingefüllt) wurden während sieben Jahren (April 1993 - März 2000) untersucht, wie sechs unterschiedliche Fruchtfolgen, Klee gras, Chinaschilf und Schwarzbrache die Sickerwassermenge und die Nitratverluste ins Grundwasser beeinflussen. Die Erhebungen bezüglich Sickerwasser und Nitratauswaschung zeigen Unterschiede je nach Niederschlag, Kulturabfolge und Bedeckungsgrad.

Fruchtfolgen mit Zwischenfutter wiesen im Mittel von sieben Jahren rund 50 % weniger Nitratverluste auf als solche ohne Zwischenfutter, wo die Auswaschung im Mittel der sieben Versuchsjahre rund 130 kg N und Jahr betrug. Die Kulturübergänge spielen eine zentrale Rolle für die Nitratverluste. Kartoffeln und Eiweissbensen sind ungünstige Vorkulturen von Winterweizen und Grünbrache, weil die Verluste im Winterhalbjahr bis 300 kg N/ha betragen können. Aufgrund zahlreicher Kulturabfolgen können optimale Fruchtfolgen zusammengestellt werden. Andererseits kann aufgrund der Niederschlagsintensität und der Kulturabfolge das Nitratauswaschungspotential abgeschätzt werden.

Literatur

- FURRER, O. J. und W. STAUFFER, 1980: Die neue Lysimeteranlage der Forschungsanstalt Liebefeld. Jb. der Schw. Naturf. Ges., wiss. Teil 1/53-57.
- NIEVERGELT, J., 1997: Lysimeterversuche 1981-1996: N-Auswaschung in Fruchtfolgen. Agrarforschung 4 (5), 209-212.
- RYSER, J.-P., J.-P. PITTET, 1999: Effet des fumures organiques sur les cultures et les pertes par drainage. Revue suisse Agric. 31 (6), 271-276.
- STAUFFER, W. und A. ENGGIST, 1990: Einfluss von Gülleausbringtermin, Kultur und Wiesenumbuch auf die Nitratauswaschung in einem Lysimeterversuch. Landw. Schweiz 3 (7), 373-393.
- STAUFFER, W., 1993: Einfluss von Bepflanzung, Gülleanwendung und Güllegrubengröße auf die Nitratauswaschung. Schweiz. Landw. Fo. 32 (1/2), 229-234.
- WALTHER, U. et al., 1987: Düngungsrichtlinien für den Acker und Futterbau. Herausgeber: Eidg. Forschungsanstalten FAP, RAC, FAC.
- WALTHER, U. et al., 1994: Grundlagen für die Düngung im Acker und Futterbau. Herausgeber: Eidg. Forschungsanstalten FAP, RAC, FAC.