

Der Einfluss von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Stickstoffverluste im NÖ-Alpenvorland

G. DERSCH und J. HÖSCH

Abstract

In a lysimeter study in the humid region of Lower Austria the contribution of cover crops to reduce nitrate leaching was evaluated in a rotation consisting of 50% maize over a 4 years period. The presence of frost susceptible cover crops or winter hardy cover crops reduced N-losses and nitrate concentration in the seepage water by 35 or more than 70% compared with fallow at a medium fertilised level, where 28 kg NO₃-N per hectare and year were lost and the nitrate concentration at 42 mg/l was just below the limit level.

N leaching was not intensified by cattle slurry doses of 30 m³ to the cover crops. Slurry application before sowing of frost susceptible cover crops resulted mostly in significant yield effects for the subsequent maize. However positive yield effects of slurry applied in the late autumn to well established winter hardy species could only be found, when the incorporation of the plant residues took place at least three to four months before the intensive N uptake period of the succeeding crop.

Also the mixture of legume with non-legume cover crops had positive yield and environmental effects (N losses reduction of 40% compared to fallow at medium fertilised level) and is favourable for organic farming systems, when N-inputs from manure are generally low or not available.

With continuous cover cropping, especially in combination with slurry application, a positive N input to the soil is indicated, which may be held as immobilised organic N. Therefore the farmers should reduce the nitrogen inputs to the subsequent crops at the same degree to maintain the effective contributions of cover crops for the improvement of ground water quality in the long run.

1. Einleitung

Zu den Bewirtschaftungsmaßnahmen, die den Stickstoffverlust von Ackerflächen am deutlichsten beeinflussen, zählt ohne Zweifel die Anlage von Begrünungen nach der Ernte. Gerade seit Einführung des ÖPUL hat diese Maßnahme in der breiten landwirtschaftlichen Praxis Eingang gefunden. In welchem Ausmaß Begrünungen geeignet sind Nährstoffverluste über den Winter gegenüber Schwarzbrache hintanzuhalten kann mit Hilfe von Lysimeterstudien untersucht werden. Denn nur mit einer solchen experimentellen Ausstattung besteht die Möglichkeit, die Nitratkonzentrationen des anfallenden Sickerwassers und die damit einhergehenden N-Verluste zu quantifizieren.

Mit dem Anbau von Begrünungen besteht zugleich die Möglichkeit, die anfallende Gülle im Sommer, aber auch noch im Herbst pflanzenbaulich effizient einzusetzen. Im Idealfall wird der hohe Anteil des mineralischen Stick-

stoffs der Gülle von den wachsenden Begrünungspflanzen aufgenommen, in der Biomasse über den Winter konserviert und steht - nach dem Mulchen und der Einarbeitung in den Oberboden - nach erfolgter Mineralisierung der Folgefrucht ertragswirksam zur Verfügung (STEFFENS und VETTER, 1983; BERTILSSON, 1988).

2. Material und Methode

Der Versuchsstandort Wolfpassing, 10 km westlich von Wieselburg im niederösterreichischen Alpenvorland, liegt im Übergangsbereich zwischen dem schwach humiden bis mäßig humiden Klimagebiet auf einer Seehöhe von 320 m und weist eine mittlere jährliche Niederschlagssumme (1961 - 1990) von 900 mm auf (HARLFINGER und KNEES, 1999). Die durchschnittlichen monatlichen Niederschlagsmengen sind in *Tabelle 1* enthalten. Im Verlauf der knapp 5-jährigen Versuchsperiode gab es nur im Hochwasserjahr 2002 eine deutliche Abweichung vom langjährigen Mittel (1998: 979 mm; 1999: 1011 mm; 2000: 877 mm; 2001: 878 mm; 2002: 1169 mm).

Der Bodentyp, eine pseudovergleyte Parabraunerde, ist in dieser Region häufig anzutreffen. Die Bodenart ist ein toniger Schluff (9% Sand; 74% Schluff; 17% Ton;), wobei mit zunehmender Tiefe die Tongehalte zu- und die Sandanteile abnehmen (S/Z/T = 7/73/20 im

Tabelle 1: Niederschläge und im Verlauf des Versuchszeitraumes (Juli 1998 bis Dez. 2002) sowie langjährige mittlere monatliche Niederschläge auf dem Standort Wolfpassing in mm.

Monat	Jän.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1998	22	15	79	62	56	121	231	60	125	91	65	52
1999	20	46	25	99	201	91	87	94	137	130	62	22
2000	52	69	95	12	68	60	120	138	69	89	33	71
2001	33	34	71	66	54	66	109	83	169	14	87	93
2002	19	66	122	32	26	114	111	252	113	108	124	83
lj Mittel	65	57	65	75	88	95	99	86	69	52	72	86

Autoren: Dr. Georg DERSCH und Dipl.-Ing. Johannes HÖSCH, Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Landwirtschaftliche Produktionsgrundlagen, Spargelfeldstraße 191, A-1226 WIEN

Tabelle 2: Versuchsplan: Anlage von Begrünungen im Spätsommer (mit und ohne Gülle vor dem Anbau bzw. in den wachsenden Bestand), Umbruch der Begrünungen im Frühjahr vor Anbau der Testkultur.

Prüf- glied	Begrünungsvarianten	Rindergülle (m ³ /ha)	Mineral. N-Gabe zur nachfolgenden Hauptfrucht Mais (S-Gerste) in kg/ha	
1	Standardbegrünung	0	0	(0)
2	Leguminosenbetonte Begrünung	0	0	(0)
3	Standardbegrünung	30 ^{a)}	0	(0)
4	Winterharte Begrünung	30 ^{b)}	0	(0)
5	Standardbegrünung	0	70	(50)
6	Winterharte Begrünung	0	70	(50)
7	Schwarzbrache im Winter	0	70	(50)
8	Standardbegrünung	0	140	(100)

^{a)} Applikation vor Anbau der Begrünung im Spätsommer; ^{b)} Applikation in den wachsenden Bestand im Herbst

Tabelle 3: Zusammensetzung der Begrünungsmischungen (in Gewichtsprozent).

Begrünungsvariante	Kultur	Anteil	Aussaatsmenge
Standardbegrünung	Buchweizen	70 %	20 kg pro ha
	Senf	10 %	
	Ölrettich	10 %	
	Phazelia	10 %	
Winterharte Begrünung	Perko PVH (Chinakohlrübsenbastard)	100 %	15 kg pro ha
Leguminosenbetonte Begrünung (1998 und 1999)	Saatwicke	45 %	67 kg pro ha
	Platterbse	15 %	
	Alexandrin- und Perserklee	je 4 %	
	Senf	2 %	
Leguminosenbetonte Begrünung (2001)	Körnererbse	40 %	100 kg pro ha
	Saatwicke	30 %	
	Platterbse	20 %	
	Buchweizen	9 %	
	Phazelia	1 %	

Unterboden 30-60 cm bzw. 6/70/24 % im Untergrund 60-90 cm). Der Boden neigt nach höheren Niederschlägen periodisch zu Staunässe, daher gelten solche Standorte bei Ackernutzung als etwas ertragsunsicher.

Auf der Versuchsfläche stehen 24 Sickerwassersammler zur Verfügung. Das anfallende Sickerwasser wird in 1,4 m Tiefe in einer Plastikwanne (0,2 m² Oberfläche) gesammelt und über eine darin befindliche 0,06 m² große Keramikplatte mittels Unterdruck von ca. 0,3 bar abgesaugt. Nähere Details sind bei DACHLER (1992) enthalten.

Den unten angeführten Ergebnissen liegt ein Versuchsplan mit 8 Prüfgliedern (ungeordneter Block) und 3 Wiederholungen zugrunde. Auf Basis aller 24 Sammler wurde eine mittlere standortspezifische Sickerwassermenge ermittelt. Für die Berechnung der Nitratausträge wurde diese dann mit den jeweiligen Nitratkonzentrationen der einzelnen Sammler

verknüpft. Dieses Verfahren wurde angewendet, da zwischen den einzelnen Begrünungsvarianten sehr häufig keine signifikanten Unterschiede bei den Sickerwassermengen (auch nicht mit der unbegrünten Variante) auftraten. Dies wurde primär durch die zumeist mehr als ausreichenden Niederschläge in dieser Region verursacht.

Der Versuchsplan umfasst die folgenden in *Tabelle 2* beschriebenen Varianten. Bei Prüfglied 3 wird die Gülle vor dem Anbau der Begrünung gegeben, bei Prüfglied 4 in den wachsenden Bestand im Oktober. Die mineralische N-Gabenhöhe orientiert sich bei Prüfglied 8 nach den Empfehlungen für die sachgerechte Düngung, die Prüfglieder 5 - 7 erhalten 50%, die übrigen Prüfglieder keine mineralische Ergänzungsdüngung. Der Versuch enthält somit eine N-Steigerungsreihe (PG 1, 5 und 8), die N-Düngungsintensität der übrigen Varianten ist insgesamt eher niedrig veranschlagt, um die

Effekte der einzelnen Begrünungs- und Güllevarianten eindeutig zuordnen zu können. Die Fruchtfolge bestand aus dem einheitlich geführten Winterweizen (1997/98) gefolgt von den unterschiedlichen Begrünungsvarianten, Prüfkultur Sommergerste (1999) mit anschließender Begrünung, Prüfkultur Mais (2000), einheitlich geführter Winterweizen (2000/2001) mit nachfolgender Begrünung und Prüfkultur Mais (2002).

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Erträge und N-Entzug

Sommergerste 1999

Die Witterung für die Sommergerste im Frühjahr 1999 (*Tabelle 1*) war eher zu feucht, durch die hohen Niederschläge im Mai dürfte es auf dem Standort vorübergehend zu Staunässe gekommen sein, wodurch die N-Mineralisierung und das Pflanzenwachstum beeinträchtigt wurden. Das erzielte Ertragsniveau wird als niedrig eingestuft.

Durch die mineralischen N-Gaben kam es zu signifikanten Ertragseffekten (+ 10 dt/ha bei 50 kg N; +16 dt bei 100 kg N). Bei Verzicht auf mineralische N-Gaben war nur mit der leguminosenbetonten Begrünung (PG 2) ein signifikant höherer Kornertrag festzustellen (+6,3 dt/ha), während die Varianten mit Gülleapplikationen zur Begrünung sich nicht signifikant von der Standardvergleichsvariante (PG 1) unterschieden. Bei suboptimaler N-Düngung (50 kg N/ha) waren zwischen den unterschiedlichen Begrünungsvarianten keinerlei Ertragsunterschiede feststellbar. Während ein Effekt des legumen N der Begrünung auf den Ertrag und N-Entzug der Folgekultur deutlich vorlag, war dies bei der im Sommer bzw. im Herbst applizierten Gülle weder im Ertrag noch im N-Entzug nachweisbar (*Tabelle 4*).

Körnermais 2000

Die Maiserträge lagen zwischen 80 und 111 dt/ha. In Abhängigkeit von den Düngungsintensitäten traten durchwegs signifikante Ertragsunterschiede auf. Ohne Düngung bei 80 dt, die leguminosenbetonte Begrünungsmischung bzw. die Gülleapplikation zur Begrünung führten

Tabelle 4: Kornerträge (dt/ha) und N-Entzüge (kg/ha) der Hauptkulturen in vier Versuchsjahren.

Prüfglied	1999 Sommergerste		2000 Körnermais		2001 Winterweizen		2002 Körnermais	
	Ertrag	Entzug	Ertrag	Entzug	Ertrag	Entzug	Ertrag	Entzug
1	24,7	33	80,33	96	62,5	136	76,1	96
2	31,1	42	92,19	119	63,8	137	81,7	104
3	26,8	36	92,56	120	64,2	138	85,5	117
4	25,2	35	87,63	110	64,0	134	74,9	98
5	34,5	45	103,11	143	64,6	137	100,0	134
6	34,5	44	102,39	148	63,7	128	95,8	151
7	34,1	46	104,48	147	63,5	136	106,1	143
8	40,7	55	111,17	168	64,4	133	114,9	177
GD5%	4,5		6,7		4,2		7,1	

zu Erträgen von 88 - 93 dt/ha. Die späte Gülleapplikation bei der winterharten Begrünung konnte nicht so effizient in einen höheren Ertragszuwachs umgesetzt werden wie bei der abfrostenden Begrünung. Mit 70 kg mineralischem N-Dünger wurden 102-104 dt/ha geerntet, unabhängig davon, welche Form der Begrünung verwendet wurde. Durch weitere N-Zufuhr konnte der Ertrag signifikant auf 111 dt gesteigert werden.

Winterweizen 2001

Zur Prüfung der Nachwirkung der unterschiedlichen Begrünungsvarianten wurde der Winterweizen einheitlich mit 130 kg N pro ha gedüngt. Es konnte ein hohes einheitliches Ertragsniveau um 63 dt/ha erreicht werden. Ein Effekt der unterschiedlichen Varianten war nicht gegeben.

Körnermais 2002

Die Effekte der mineralischen N-Gaben waren deutlich ausgeprägt. Der Ertrag lag zwischen 75 und 115 dt/ha und pro kg mineralischem N wurde ein Ertragszuwachs von 34 kg Körnermais bis zur 1. N-Stufe (PG 5) erzielt bzw. von 21 kg bei erhöhtem N-Input von 70 auf 140 kg N. Die Düngewirkung der Gülle war hingegen nur teilweise gegeben: Während bei PG 3 eine durchaus signifikante N-Wirkung der im Spätsommer des Vorjahres applizierten Gülle zu bemerken war, die mit der des Jahres 2000 vergleichbar ist (+9,5 dt/ha entsprechen einem Ertragszuwachs von 16 kg pro kg anrechenbarem N der Rindergülle), konnte bei PG 4 kein Effekt festgestellt werden. Durch den späten Umbruch (Anfang April unmittelbar vor dem Maisanbau) wurde bei der Variante mit der winterharten Begrü-

Tabelle 5: Sickerwassermenge (SW) in mm (in % des Niederschlages); mittlere Nitratkonzentration (NK) in mg/l und Nitrat-N-Austrag (NA) in kg N/ha pro im Verlauf der 4,5 Versuchsjahre.

Periode	Juli 1998- Juni 1999		Juli 1999- Sept. 2000		Okt.2000- Sept. 2001		Okt. 2001- Dez. 2002		Juli 1998- Dez. 2002	
SW	459 (42%)		301 (25%)		206 (23%)		369 (27%)		1335 (29%)	
PG	NK	NA	NK	NA	NK	NA	NK	NA	NK	NA
1	3	4	28	19	35	16	29	24	21	63
2	13	13	32	22	38	18	26	21	25	74
3	7	7	29	19	41	19	24	20	22	65
4	3	3	30	20	32	15	12	10	16	48
5	4	4	29	20	67	31	32	27	27	81
6	4	4	12	8	27	13	11	9	11	34
7	10	10	63	43	67	31	45	37	40	122
8	4	5	31	21	69	32	32	27	28	85
GD 5%	4	4	16	11	25	12	17	14	8	25

nung die N-Mineralisierung nicht mehr ertragswirksam, nur der N-Gehalt war erhöht, wodurch ein höherer N-Entzug zustande kam. Auch der mineralische N, der zu PG 6 verabreicht worden war, wurde zunächst immobilisiert und erst im späteren Vegetationsverlauf freigesetzt. Dadurch wurde der Ertrag im Vergleich zur unbegrünten Variante signifikant verringert, das erst später einsetzende höhere N-Angebot führte noch zu höheren N-Gehalten im Korn und entsprechend höheren N-Entzügen. Auf die temporäre Immobilisierung von mineralischem Boden-N nach der Einarbeitung von Begrünungen wird häufig hingewiesen (BAGGS et al., 2000; SCHRÖDER, EC-contract No. AIR3 CA2108).

3.2 Nitratgehalte im Sickerwasser und Nitrat-N-Austräge

In der 1. Periode (Juli 98 - Juni 99: Begrünung, Umbruch im Dezember, Folgefucht Sommergerste) lagen die Nitratkonzentrationen zumeist deutlich unter 10 mg/l (Tabelle 5) und die kumulierten

Nitrat-N-Verluste - auch als Folge der Vorfrüchte Zuckerrübe und des deutlich unter dem Entzug gedüngten Winterweizen - generell auf sehr niedrigem Niveau (bei etwa 3-7 kg N/ha). Nur die unbegrünte Variante und die leguminosenbetonte Begrünung wiesen signifikant höhere, jedoch aus Sicht des Gewässerschutzes unproblematische Werte auf: Nitratgehalte knapp über 10 mg/l und N-Austräge von 10-13 kg/ha. Die N-Fixierungsleistung dieser Variante (PG 2) führte zu einem höheren Sommergerstenertrag. Weil sich bei dieser Kultur die Periode intensiver N-Aufnahmeraten jedoch nur über wenige Wochen erstreckt und zugleich ungünstige Witterungsverhältnisse nur ein mäßiges Ertragsniveau zuließen, konnten die im Boden vorliegenden mineralischen N-Mengen nicht vollständig aufgenommen und verwertet werden.

In der 2. Periode von Juli 1999 - Sept. 2000 (Begrünung, Umbruch Anfang März und anschließend Mais) waren bei PG 6 signifikant niedrigere N-Verluste

(8 kg/ha) und bei der Variante ohne Begrünung (PG) signifikant höhere N-Verluste (über 40 kg/ha) aufgetreten. Alle übrigen Varianten lagen trotz sehr unterschiedlicher N-Inputs in einem einheitlich mittleren Bereich von etwa 20 kg N-Verlust bei Konzentrationen im Sickerwasser um 30 mg/l. Durch den frühen Umbruch (1. März 2000) der Begrünungen etwa 3 Monate vor Beginn der intensiven N-Aufnahme wurde ein hoher Anteil der in der Biomasse zwischengespeicherten N-Mengen rechtzeitig mineralisiert und konnte in Ertragszuwachs umgesetzt werden. Die damit einhergehenden Nitratgehalte im Sickerwasser liegen noch deutlich unterhalb des Grenzwertes und die N-Austräge bewegten sich im Bereich der als unvermeidbar angesehenen naturgegebenen N-Verluste in humiden Gebieten (VD-LUFA, 1998).

In der 3. Periode (Prüfung der Nachwirkung der unterschiedlichen Behandlungen mit Winterweizen bei einheitlicher Bewirtschaftung) wurden bei PG 7 und PG 8 signifikant höhere Nitratgehalte oberhalb des Grenzwertes (67 bzw. 69 mg/l) und höhere N-Verluste (über 30 kg N/ha) ermittelt. Auch bei PG 5 liegen die Werte in dieser Größenordnung. Die übrigen Varianten wiesen deutlich niedrigere Gehalte (bis 41 mg/l) und N-Verluste (kleiner 20 kg N/ha) auf, wobei die winterharten Begrünungen sich auch noch in der Periode 6 - 18 Monate nach dem Umbruch zumindest tendenziell hinsichtlich der Grundwasserbelastung als am vorteilhaftesten erwiesen (Konz. um 30 mg/l; N-Verluste um 15 kg/ha). Die positiven Effekte von Begrünungen und die negativen Folgen von Schwarzbrache bzw. hoher N-Zufuhr sind auch in humiden Regionen nicht nur unmittelbar, sondern auch noch im Folgejahr wirksam.

In der 4. Periode (Prüfung unterschiedlicher Begrünungen mit/ohne Gülle, Umbruch Mitte April, Folgekultur Mais) wurde der Vorteil der winterharten Begrünungen und das hohe Nitratverlustpotential bei fehlendem Pflanzenbewuchs während der Herbst- und Wintermonate deutlich bestätigt.

Die Kumulierung der N-Verluste über die gesamte Beobachtungsperiode von 4,5 Jahren belegt die Überlegenheit der win-

terharten Begrünungen (N-Verlust von 10 kg/ha und Jahr; Nitrat-Konz. im Bereich von 11 - 16 mg/l) gegenüber den abfrostenden Arten (N-Verluste von 15-20 kg/ha und Jahr; Nitrat-Konz. im Bereich von 25 mg/l) hinsichtlich einer raschen und effizienten Grundwassersanierung. Auch GOULDING (2000) betont in diesem Zusammenhang, dass eine Gründecke auf Acker- und Gartenbauflächen solange wie nur möglich bestehen soll. Ohne jede Begrünung liegen bereits bei mäßiger Düngungsintensität die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser nur knapp unterhalb des Grenzwertes (N-Verluste von 30 kg/ha und Jahr; Nitratgehalte um 40 mg/l). Leguminosenbetonte Begrünungen sind hinsichtlich Grundwasserbelastung mit abfrostenden Begrünungsmischungen vergleichbar, die zugleich mit einer Güllegabe oder einer mäßigen mineralischen N-Gabe gedüngt werden.

3.3 Ertragswirkung und Ausnutzungsgrad der eingesetzten Dünger

Für die folgenden Berechnungen wurde unterstellt, dass mit einer leguminosenbetonten Begrünung 40 kg N/ha fixiert werden, wie in den einschlägigen Tabellen für Bilanzierungskalkulationen angegeben. Beim Gülle-N wurde mit der anrechenbaren N-Menge von 60 kg/ha kalkuliert.

Bei mittlerer mineralischer N-Intensität (PG 5, 6, 7) wird der deutlichste Ertrags-

effekt erzielt, weil hier die Ertragsfunktion noch im stark steigenden Bereich liegt. Bei höheren N-Gaben (PG 8) ist die Wirkung "naturgemäß" geringer, der Ertragszuwachs sinkt. Während in den Jahren 1999 und 2000 bei der mittleren mineralischen N-Gabe kein Unterschied bezüglich der vorangegangenen Begrünung bestand, war im Jahr 2002 - ausgelöst durch den späten Umbruch - ein unterschiedlicher Effekt gegeben, auf den bereits bei den Ertragsergebnissen hingewiesen wurde. Günstige Ertragseffekte wurden mit dem legumen N (PG 2) sowie mit dem Gülle-N zur abfrostenden Begrünung (PG 3) erzielt. Der Gülle-N, der relativ spät im Herbst zur winterharten Begrünung ausgebracht wurde (PG 4), war nur im Jahr 2000 (in vergleichsweise geringem Ausmaß) ertragswirksam (Tabelle 6).

Nach dem Verfahren der Differenzmethode (Mehrentzug der gedüngten Varianten im Vergleich zur ungedüngten Standardvariante PG 1 bezogen auf jeweiligen N-Input) wird die gleiche Reihung erzielt: Je nach Düngungsintensität wurden im Mittel zwischen 46 bis über 60 % des ausgebrachten mineralischen N bei den PG 5-8 im Erntegut wiedergefunden (Tabelle 7).

Beim Gülle-N zu einer abfrostenden Begrünung (PG 3) ist der Ausnutzungsgrad deutlich niedriger (27%), zu einer winterharten Begrünung im Spätherbst (PG 4) nur noch bei 9%. Wegen der schwer abschätzbaren N-Mineralisie-

Tabelle 6: Ertragseffekt durch N-Input (legumen N, Gülle-N; mineral. N) in kg Korn pro kg N.

Prüfglied	SG-99	Mais-2000	Mais-2002	Mittel
2	15,9	29,7	14,2	19,9
3	3,5	20,4	15,8	13,2
4	0,7	12,2	-2,0	3,6
5	19,6	32,5	34,2	29,7
6	19,6	31,5	28,2	27,1
7	18,7	34,5	42,9	33,4
8	16,0	22,0	27,7	22,5

Tabelle 7: N-Ausnutzungsgrad (%) nach der Differenzmethode.

Prüfglied	1999	2000	2002	1999 - 2002
2	21	56	20	32
3	5	41	35	27
4	3	23	3	9
5	24	68	54	51
6	22	75	79	62
7	25	73	67	58
8	22	52	58	46

nung nach der Einarbeitung von Begrünungen wird deshalb vor allem für schwerere Böden vorgeschlagen, den N-Austrag durch den erhöhten Anteil von Winterungen in der Fruchtfolge zu minimieren (CATT et al., 1998). Der Ausnutzungsgrad des legumen N der Begrünung (PG 2) liegt im Mittel bei 32% und streut in einem weiten Bereich. Der Zeitpunkt des Umbruches der Begrünungen, die Jahreswitterung und die Kulturart sind mitentscheidend, in welchem Umfang der in der Biomasse gebundene N mobilisiert wird.

3.4 Stickstoffbilanz

Ausgehend von dem bereits angesprochenen niedrigen Düngungsniveau des Versuches liegen für alle Varianten - kumuliert über die 4 Vegetationsperioden - deutlich negative bis annähernd ausgeglichene einfache N-Bilanzen vor. Positive N-Salden waren nur im Jahr 1999 wegen der niedrigen Sommergerstenerträge gegeben. Im Bereich suboptimaler und optimaler N-Düngungsintensitäten, wenn negative bis fast ausgeglichene N-Salden erzielt werden, steht der N-Austrag primär mit der Bewirtschaftungsweise während der Perioden nach der Ernte bis zum Anbau der Folgekultur in Zusammenhang. Die PG 6 und 7 weisen jeweils einheitlich einen kumulierten N-Saldo von knapp über minus 150 kg N auf, der kumulierte N-Austrag liegt mit 34 kg N/ha bei PG 6 (winterharte Begrünung in 3 von 4 Jahren) bzw. 122 kg N/ha bei PG 7 (Schwarzbrache über den Winter in 3 von 4 Jahren) jedoch diametral auseinander (Tabelle 8).

Über den gesamten Beobachtungszeitraum wurde bei PG 1 wegen der völlig unterlassenen Düngung und der doch beträchtlichen N-Auswaschungen die deutlichste negative Gesamtbilanz (incl. Auswaschungsverluste) festgestellt, knapp gefolgt von PG 7, bei dem sich die hohen Auswaschungen aufgrund der Schwarzbrache auswirken. Bei PG 4 (winterharte Begrünung plus Gülle-N im Spätherbst, der fast nicht ertragswirksam war) wurde der N-Bodenpool am wenigsten beansprucht. Wenn man die N-Depositionen schätzungsweise mit 30 bis 50 kg/ha und Jahr und die bei üblicher Bewirtschaftung deutlich höheren N-Düngungsintensitäten mitberücksichtigt, dann kann vermutet werden, dass der

Tabelle 8: Einfache N-Bilanz (N-Input minus N-Output) der 4 Kulturen (kg/ha), kumulierte Bilanz, N-Austrag und Gesamtbilanz (einfache Bilanz incl. Austrag) im Verlauf von 4,5 Jahren.

Prüfglied	S-Gerste 1999	Mais 2000	W-Weizen 2001	Mais 2002	Kumulierte N-Bilanz	N-Austrag	Gesamtbilanz
1	-33	-96	-6	-96	-231	-63	-294
2	-2	-78	-7	-64	-150	-74	-225
3	24	-60	-8	-57	-101	-65	-166
4	25	-49	-4	-38	-65	-48	-114
5	5	-73	-6	-64	-138	-81	-219
6	6	-78	2	-81	-152	-34	-185
7	4	-77	-6	-73	-151	-122	-274
8	45	-28	-3	-37	-23	-85	-108

organische N-Bodenpool mittel- bis längerfristig durch die regelmäßige Anlage vor allem von winterharten Begrünungen ansteigt. Auch GARWOOD et al. (1999) finden bei regelmäßigem Begrünungsanbau einen positiven N-Input, der in organisch gebundener Form im Boden gehalten wird. HANSEN et al. (2000) geben an, dass nach langjähriger, häufiger Begrünung höhere N-Austräge auftreten können. Es ist daher zunächst, wenn Begrünungen in Ackerfruchtfolgen erstmals integriert werden, durchaus gerechtfertigt, N-Gaben zu Begrünungen bis zu einer Höhe von 20 kg N/ha der nachfolgenden Hauptkultur nicht anzurechnen, nur darüber hinausgehende N-Mengen sind zu berücksichtigen. Wenn die positiven Effekte der Begrünungen zur Reduzierung der N-Auswaschung jedoch auch mittel- und längerfristig Bedeutung haben sollen, dann sind dementsprechend die N-Inputs für die Folgekultur zu vermindern.

3.5 Effizienz der Bewirtschaftungsmaßnahmen

Um die Effizienz von Bewirtschaftungsmaßnahmen zu bewerten, sind jedoch nicht nur die Nitrat-N-Verluste pro Flächeneinheit heranzuziehen, es soll auch eine Beziehung zur produzierten Menge hergestellt werden, z.B. N-Austrag in kg pro Tonne Erntegut. Diese Betrachtungsweise weist die winterharte Begrünung in Kombination mit einer suboptimalen mineralischen N-Versorgung (PG 6) als die günstigste Bewirtschaftungsform aus: Pro Tonne Ertrag wurden lediglich 1,2 kg N ausgewaschen (Tabelle 9). Wird stattdessen eine leguminosenbetonte Begrünung (PG 2) oder eine abfrostende Begrünung verwendet, liegt der entsprechende Wert bereits auf wesentlich höherem Niveau zwischen 2,4 -

Tabelle 9: Kumulierter Ertrag und Nitrat-N-Auswaschungsverluste pro Tonne Ertrag im Verlauf von 4 Jahren.

Prüfglied	Kumulierter Ertrag (t in 4 Jahren)	N-Austrag (kg N/t Korn)
1	24,36	2,6
2	26,87	2,8
3	26,91	2,4
4	25,16	1,9
5	30,22	2,7
6	29,64	1,2
7	30,81	4,0
8	33,12	2,6

2,8 kg N/t, jedoch ohne Zusammenhang mit der mineralischen Düngungsintensität (vgl. PG 1, 5 und 8). Wird die Ackerfläche über den Winter als Schwarzbrache geführt, ergeben sich bereits bei mäßiger mineralischer N-Düngung erhöhte N-Verluste von 4 kg/t.

Bei Gülleapplikation wird ebenfalls ein günstigeres Ergebnis für die winterharte Begrünung (PG 4) im Vergleich zu der abfrostenden Variante (PG 3) ausgewiesen. In diesem Zusammenhang ist jedoch der sehr geringe Ertragseffekt der Gülle bei winterharter Begrünung für die nachfolgende Hauptkultur anzuführen, wodurch möglicherweise mittelfristig ein höheres Nitratverlustpotential im Boden etabliert wird (GARWOOD et al. 1999; HANSEN et al. 2000).

4. Literatur

- BAGGS, E.M., C.A. WATSON and R.M. REES, 2000: The fate of nitrogen from incorporated cover crops and green manure residues. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56, 153-163.
- BERTILSSON, G., 1988: Lysimeter studies of nitrogen leaching and nitrogen balances as affected by agricultural practises. *Acta Agr. Scand.* 38, 3-11.
- CATT, J.A., K.R. HOWSE, D.G. CHRISTIAN, P.W. LANE, G.L. HARRIS and M.J. GOSS,

- 1998: Strategies to decrease nitrate leaching in the Brimstone Farm Experiment. *Plant and Soil* 203, 1, 57-69.
- DACHLER, M., 1992: Was können Krumenlysimeter? Bericht 2. Lysimetertagung, 33-38.
- GARWOOD, T.W.D., D.B. DAVIES and A.R. HARTLEY, 1999: The effect of winter cover crops on yield of the following spring crops and nitrogen balance in a calcareous loam. *Journal of Agricultural Science* 132, 1, 1-11.
- GOULDING, K., 2000: Nitrate leaching from arable and horticultural land. *Soil Use and Management* 16, 145-151.
- HANSEN, E.M., J. DJURHUUS and K. KRISTENSEN, 2000: Nitrate leaching as affected by introduction or discontinuation of cover crop use. *Journal of Environmental Quality* 29, 4, 1110-1116.
- HARLFINGER, O. und G. KNEES, 1999: Klimahandbuch der österreichischen Bodenschätzung. Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft, Heft 58, Wien.
- SCHRÖDER, J.J.: Reduction of Nitrate Leaching - the Role of Cover Crops. Final Brochure of a Project funded by the European Commission Directorate-General VI, Agriculture Contract No. AIR3 CA2108.
- SÖRENSEN, J.N., 1992: Effect of catch crops on the content of soil mineral nitrogen before and after winter leaching. *Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde* 155, 61-66.
- STEFFENS, G. und H. VETTER, 1983: Stickstoffverlagerung nach Gülledüngung mit und ohne Zwischenfruchtanbau. *Landwirtschaftliche Forschung, Sonderheft* 40, 354-362.
- VDLUFA, 1998: Standpunkt "Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung".