

Einfluss legumer Zwischenfrüchte in Maisfruchtfolgen auf die Sickerwassermenge und die Nitratauswaschung anhand von Lysimeteruntersuchungen

Nadine Tauchnitz^{1*}, Joachim Bischoff¹, Matthias Schrödter¹, Holger Rupp² und Ralph Meissner²

Zusammenfassung

Mit dem Ziel einer Verbesserung von Bodenstruktur, Nährstoffversorgung und Bodengesundheit wurden legume Zwischenfrüchte (ZF) in Maisfruchtfolgen integriert. Dabei wurden verschiedene Bewirtschaftungsvarianten mit mehrjährigem Luzernegras (LG), abfrierenden und umgebrochenen Sommerzwischenfrüchten (ZF_{abfr.}; ZF_{Umbr.}), einer konventionellen Variante ohne ZF (Konv.) und einer Schwarzbrache (SB) auf ihre Sickerwassermengen und Nitratauswaschungen in Lysimetern untersucht.

Anhand bisheriger vierjähriger Untersuchungen wurden bei der Variante mit mehrjährigem Leguminosenanbau (LG) die niedrigsten und bei der Variante SB von allen Bewirtschaftungsvarianten die höchsten mittleren Sickerwassermengen und Nitratauswaschungen erfasst. Die Sommerzwischenfruchtvarianten ZF_{abfr.} und ZF_{Umbr.} zeigten nur sehr geringe Unterschiede mit etwas höheren Sickerwassermengen und Nitratausträgen bei der Variante mit abfrierenden ZF. Während bei allen Varianten mit legumen ZF sehr stark zeitlich verzögert nach Umbruch bzw. Abfrieren der ZF mit einsetzendem Sickerwasser- austritt nur kurzzeitig hohe Nitratpeaks auftraten, zeigten die Varianten SB und Konv. in allen Versuchsjahren hohe Nitratauswaschungen. Das Ausbleiben von Sickerwasser über einen längeren Zeitraum nach mehrjährigem Anbau von Luzernegras und die im Vergleich zu den anderen Varianten niedrigeren Erträge bei der Folgefrucht Mais deuten das Problem eines hohen Wasserverbrauches der Leguminose an.

Schlagwörter: EU-Wasserrahmenrichtlinie, Leguminosen, Mineralisierung, Sommerzwischenfrucht, Wasserverbrauch

Summary

Study aimed to improve soil structure, soil health and nutrient availability by integration of legume catch crops in crop rotations with maize. Thereby nitrate leaching and seepage water amounts of the management variants multiannual alfalfa grassland cultivation, legume summer-catch crops with and without ploughing of plants in autumn, conventional cultivation without catch crops and bare fallow were determined by lysimeter studies.

Previous results of a 4-year study period showed the lowest seepage water amounts and nitrate leaching at alfalfa grassland and the highest ones at bare fallow. The seepage water amounts and nitrate leaching of the non-ploughed summer-catch crops had slightly higher seepage water amounts and nitrate leaching than the ploughed one. While at the variants with legumes only short-time nitrate peaks with a strong timely delay were observed the conventional cultivation without catch crops and bare fallow showed high nitrate leaching throughout the whole study period. Missing seepage water formation over a long time after multiannual alfalfa grassland cultivation and lower yields of the main crop compared to the other management variants showed the problem of high water consumption of the legume feed crop.

Keywords: EU-Water Framework Directive, legumes, mineralization, summer-catch crop, water consumption

Einleitung

Mit dem Ziel einer umweltverträglicheren Bewirtschaftung von Maisfruchtfolgen werden Leguminosen in die Fruchtfolgen integriert. Die positiven Effekte des Zwischenfruchtanbaus hinsichtlich einer Verbesserung der Bodenstruktur, Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit, Anreicherung des Bodens mit Nährstoffen, Verminderung der Bodenerosion sowie Unkraut- und Schaderregerunterdrückung wurden bereits vielfach beschrieben (z.B. KOLBE et al. 2004, UR-BATZKA et al. 2012). Andererseits können auch Probleme mit dem Anbau von Leguminosen verbunden sein. Die

symbiotische N₂-Fixierung aus der Luft birgt ein schwer kalkulierbares Risiko der Nitratauswaschung. So zeigten verschiedene Untersuchungen hohe Nitratauswaschungsverluste in Verbindung mit einem hohen Leguminosenanteil in den Fruchtfolgen insbesondere nach Herbststumpfbruch der Zwischenfrüchte (z.B. LOGES und TAUBE 2011). Zudem wurde der zusätzliche Wasserverbrauch von Zwischenfrüchten insbesondere bei nicht abfrierenden Winterzwischenfrüchten, der zu einem Wassermangel bei den folgenden Hauptfrüchten und zu Ertragseinbußen führen kann, vielfach in der Literatur diskutiert (z.B. LÜTKE-ENTRUP 1992, KOLBE et al. 2004, NEFF 2008).

¹ Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau, Strenzfelder Allee 22, D-06406 BERNBURG

² Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung-UFZ, Dep. Bodenphysik, Falkenberg 55, D-39615 ALTMÄRKISCHE WISCHE

* Ansprechpartner: Dr. Nadine Tauchnitz, nadine.tauchnitz@llfg.mlu.sachsen-anhalt.de



Ziel des Projektes war es, den Einfluss legumer Zwischenfrüchte (ZF) in Maisfruchtfolgen auf die Sickerwassermenge und den Nitrataustrag anhand von Lysimeteruntersuchungen zu ermitteln. Dabei wurden verschiedene Bewirtschaftungsvarianten, bei denen mehrjährige Leguminosen sowie abfrierende und im Herbst umgebrochene legume Zwischenfrüchte (=Sommerzwischenfrucht) in die Maisfruchtfolgen integriert. Die Varianten wurden im Vergleich zu einer Schwarzbrache und einer konventionellen Variante ohne ZF auf die anfallenden Sickerwassermengen und ausgetragenen Nitratfrachten untersucht.

Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden in der Lysimeterstation Falkenberg des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung-UFZ durchgeführt. Falkenberg befindet sich im nördlichen Teil des Landkreises Stendal in Sachsen-Anhalt und liegt 21 m über NN. Die langjährige (1961-90) Jahresmitteltemperatur (Klimastation des DWD in Seehausen) beträgt 8,5 °C und der mittlere langjährige (1961-90) Jahresniederschlag 539 mm.

Für die Untersuchungen wurden nicht wägbare Gravitationslysimeter mit einer quadratischen Oberfläche von 1 m² und einer Tiefe von 1,25 m genutzt. Die Lysimeter wurden manuell schichtweise befüllt. Als Füllboden diente eine Pseudogley-Parabraunerde (lehmgiger Sand, KA 5) (GODLINSKI 2005). Das Sickerwasser wurde über ein Dränrohr abgeleitet und in Kanistern gesammelt. Die Sickerwassermengen wurden in monatlichen Abständen manuell ermittelt. Die Nitrat(NO₃⁻)-Konzentrationen der Sickerwasser-Sammelproben wurden ebenfalls monatlich bestimmt (ionenchromatographisch DIN EN ISO 10304-1). Zudem wurden die Erträge (FM, TM) sowie die N-Entzüge des Pflanzenbewuchses der einzelnen Lysimeter erfasst. Die Austauschrate des Bodenwassers wurde nach RENGER (2002) mit Hilfe folgender Formel berechnet:

Austauschrate des Bodenwassers in % =

$$\frac{\text{Sickerwassermenge unterhalb Wurzelraum in mm} \cdot 100}{\text{Wassergehalt bei FK im Wurzelraum in mm}}$$

Dabei wurde für den Oberboden (0-30 cm) des Füllbodens der Lysimeter die ermittelte FK von 28 Vol. % und für den Unterboden (30-100 cm) von 22 Vol. % berücksichtigt.

Folgende Versuchsvarianten wurden in den Lysimetern untersucht:

- Variante 1: Schwarzbrache (SB)

- Variante 2: Mehrjähriges Luzernegras (LG)
- Variante 3: Abfrierende Zwischenfrüchte (ZF_{abfr.})
- Variante 4: Umbruch Zwischenfrüchte (ZF_{Umbr.})
- Variante 5: Konventionelle Bewirtschaftung ohne ZF (Konv.)

Die Varianten wurden in zweifacher Wiederholung mit den aus *Tabelle 1* ersichtlichen Fruchtfolgen angelegt.

Bei der Variante ZF_{abfr.} erfolgte die Aussaat von Mais im Direktsaatverfahren in den abgefrorenen Zwischenfruchtbestand ohne vorhergehende Bodenbearbeitung. Demgegenüber wurde bei der Variante ZF_{Umbr.} nach den ZF im Herbst ein Umbruch und eine wendende Bodenbearbeitung vor der Aussaat vorgenommen.

Ergebnisse und Diskussion

Sickerwassermengen und Bodenwasseraustauschhäufigkeit

Im Untersuchungszeitraum (2010-2014) wurden im Mittel jährliche Sickerwassermengen von 76 bis 274 mm bei den unterschiedlichen Bewirtschaftungsvarianten erfasst (*Tabelle 2*). Dabei zeigte die Variante SB die höchsten und die Variante LG die niedrigsten Sickerwassermengen. Im jahreszeitlichen Verlauf wurden bei allen Varianten die höchsten Sickerwassermengen im Winterhalbjahr mit einem Anteil von 63 % (ZF_{Umbr.}) bis 99 % (LG) an der gesamten jährlichen Sickerwassermenge beobachtet. In diesem Zeitraum wurde ein Zusammenhang zwischen Sickerwassermenge und Niederschlag nachgewiesen, der am stärksten bei den Varianten SB und Konv. (r= 0,5; n=24) und am schwächsten bei den Varianten ZF_{Umbr.} und ZF_{abfr.} (r= 0,2; n=24) ausgeprägt war.

Bei den Varianten mit ZF wurden mit Ausnahme des ersten Versuchsjahres (2010) die niedrigsten Sickerwassermengen in den Jahren, in denen Mais in Fruchtfolgestellung nach ZF stand, registriert. Die Varianten ZF_{Umbr.} und ZF_{abfr.} zeigten nur sehr geringe Unterschiede mit geringfügig höheren Sickerwassermengen bei der Variante ZF_{abfr.}.

In der Variante LG wurde in den Jahren 2012 und 2014 bei Anbau von Mais nach mehrjährigem Luzernegrasanbau bzw. nach ZF-Anbau kein Sickerwasseraustritt erfasst. Eine Ursache hierfür könnte der hohe Wasserverbrauch des Luzernegrases sein. Es ist aus der Literatur bekannt, dass Luzerne aufgrund des tiefreichenden Wurzelsystems auch

Tabelle 1: Fruchtfolgen der Versuchsvarianten (SB: Schwarzbrache, LG: mehrjähriges Luzernegras, ZF_{abfr.}: abfrierende und ZF_{Umbr.}: umgebrochene Zwischenfrüchte, Konv.: konventionell ohne Zwischenfrüchte).

Jahre	SB	LG	Variante ZF _{abfr.}	ZF _{Umbr.}	Konv.
2009	SB	LG	Lupine* ¹	Lupine* ²	SG
2010	SB	LG	Mais	Mais	WRo
2011	SB	LG*	WRo/Felderbse* ¹	WRo/Felderbse* ²	W-Raps
2012	SB	Mais	Mais	Mais	WW
2013	SB	WRo/Lupine	WRo/Lupine* ¹	WRo/Lupine* ²	Mais
2014	SB	Mais	Mais	Mais	WRo

*Umbruch im Dezember, ¹abfrierend, ²Umbruch im Herbst, WRo: Winterroggen, SG: Sommergerste, W-Raps: Winterraps, WW: Winterweizen

Tabelle 2: Sickerwassermengen der Versuchsvarianten und Niederschlag im Untersuchungszeitraum (SB: Schwarzbrache, LG: mehrjähriges Luzernegras, ZF_{abfr.}: abfrierende und ZF_{Umbr.}: umgebrochene Zwischenfrüchte, Konv.: konventionell ohne Zwischenfrüchte).

Parameter	Jahre	SB	LG	Varianten			Niederschlag [mm]
				ZF _{abfr.}	ZF _{Umbr.}	Konv.	
Sickerwasser [mm/a ¹] (01.11.-31.10.)	2010	297	159	215	170	177	667
	2011	326	148	175	179	190	595
	2012	174	0	0	2	81	533
	2013	345	74	78	75	118	646
	2014	228	0	25	12	45	688
Mittelwert		274	76	98	88	122	626
[mm/U-Zeitraum]	Kumuliert	1370	381	492	439	611	3096

U-Zeitraum: Untersuchungszeitraum

Tabelle 3: Austauschrate des Bodenwassers (SB: Schwarzbrache, LG: mehrjähriges Luzernegras, ZF_{abfr.}: abfrierende und ZF_{Umbr.}: umgebrochene Zwischenfrüchte, Konv.: konventionell ohne Zwischenfrüchte).

Parameter	Jahre	Varianten				
		SB	LG	ZF _{abfr.}	ZF _{Umbr.}	Konv.
Austauschrate des Bodenwassers [%]	2010	125	67	90	71	74
	2011	137	62	73	75	80
	2012	73	0	0	1	34
	2013	145	31	33	32	49
	2014	96	0	11	5	19
Mittelwert		115	32	41	37	51

tiefe Bodenbereiche ausschöpft und folglich einen hohen Wasserverbrauch und einen der höchsten Transpirationskoeffizienten unter den Kulturpflanzen besitzt (EHLERS 1997). Die Varianten mit Sommerzwischenfrüchten (ZF_{Umbr.}; ZF_{abfr.}) zeigten ebenfalls im Jahr 2012 bei einem relativ trockenen Frühjahr keinen bzw. einen sehr geringen Sickerwasseranfall, der sich jedoch im Vergleich zur Variante LG in den Folgejahren bei gleicher Fruchtfolgegestaltung auszugleichen scheint.

Das Problem des Wasserverbrauches von ZF wird in der Literatur oft kontrovers diskutiert. Dabei stehen insbesondere die Winterzwischenfrüchte im Fokus, die bei trockenen Frühjahren aufgrund geringer Bodenwassergehalte die Keimung der Nachfrucht beeinträchtigen können (NEFF 2008, KOLBE et al. 2004). Beim Sommerzwischenfruchtanbau hingegen frieren die ZF meist vor Winter ab und verbleiben als Verdunstungsschutz auf dem Acker liegen. Die über den Winter anfallenden Niederschläge reichen dann in der Regel aus, um den pflanzenverfügbaren Bodenwassergehalt aufzufüllen. Da in vorliegenden Untersuchungen bei der Variante ZF_{Umbr.} nach dem Umbruch der ZF im Herbst keine Winterung angebaut wurde, war hier vergleichbar zur Variante ZF_{abfr.} kein zusätzlicher Wasserverbrauch vorhanden. Jedoch war bei dieser Variante kein wirksamer Verdunstungsschutz durch abgestorbene Pflanzenreste über die Wintermonate gegeben. Dieser Nachteil scheint sich anhand etwas niedrigerer Sickerwassermengen im Vergleich zu ZF_{abfr.} widerzuspiegeln. Entgegen des diskutierten erhöhten Wasserbedarfes von ZF wird in der Literatur auf die insgesamt positiven Effekte von ZF im Hinblick auf die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens und den Verdunstungsschutz verwiesen, die den

als Problem dargestellten Wasserverbrauch kompensieren können (z.B. BODNER et al. 2011).

Die Variante SB wies von allen Bewirtschaftungsvarianten die höchste Austauschrate des Bodenwassers von durchschnittlich 115 % auf (Tabelle 3).

Der Anteil des Sickerwassers am Niederschlag betrug im Mittel der Versuchsjahre 44 %. Die Variante LG zeigte die niedrigste Austauschrate des Bodenwassers von durchschnittlich 32 %. In den Versuchsjahren 2012 und 2014 wurde bei dieser Variante kein Bodenwasser ausgetauscht.

Nitrat-Konzentrationen und -Frachten im Sickerwasser

Die niedrigsten NO₃-Konzentrationen im Sickerwasser wurden bei der Variante LG mit mittleren Konzentrationen von 289 mg/l im gesamten Untersuchungszeitraum erfasst (Tabelle 4).

Während in den Versuchsjahren 2010 bis 2012 sehr geringe Konzentrationen im Sickerwasser bzw. kein Sickerwasseranfall registriert wurde, zeigte die Variante im Versuchsjahr 2013 sehr hohe durchschnittliche NO₃-Konzentrationen, die ausschließlich auf die Sickerwasserkonzentrationen in den Monaten Januar bis Juni 2013 zurückzuführen sind (Abbildung 1). Nachdem im Dezember 2011 der mehrjährige Luzernebestand umgebrochen wurde, erfolgte im Folgejahr der Anbau von Mais. Danach fiel bis zum Januar 2013 bedingt durch den Wasserverbrauch der Vor-(LG) und Hauptfrucht (Mais) kein Sickerwasser an. Die hohen NO₃-Peaks mit dann einsetzendem Sickerwasseraustritt nach hohen Niederschlägen im Dezember (74 mm) sind vermutlich auf eine verzögerte Auswaschung des nach Umbruch der Leguminosen akkumulierten Stickstoffs (N) im Boden zurückzuführen.

Sehr hohe NO₃-Auswaschungen nach Herbstumbruch von Leguminosen wurden ebenfalls in anderen Untersuchungen beobachtet (z.B. LOGES und TAUBE 2011). Auch PIETSCH (2004) ermittelte in ihren Untersuchungen hohe Rest-N_{min}-Gehalte nach Anbau von Leguminosen, die bei entsprechenden Bedingungen ein hohes Auswaschungsrisiko darstellen.

Ein ähnlicher Verlauf wurde auch bei den anderen Varianten mit legumen ZF beobachtet. Dabei zeigte sich, dass bei der Variante ZF_{abfr.} ohne Umbruch der ZF ab Januar 2013

Tabelle 4: Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser und Nitrat-N-Frachten (SB: Schwarzbrache, LG: mehrjähriges Luzernegras, ZF_{abfr.}: abfrierende und ZF_{Umbr.}: umgebrochene Zwischenfrüchte, Konv.: konventionell ohne Zwischenfrüchte).

Parameter	Jahre	SB	LG	Varianten		
				ZF _{abfr.}	ZF _{Umbr.}	Konv.
Nitrat-Konzentration [NO ₃ ⁻ mg/l]	2010	177	62	158	173	249
	2011	313	62	157	144	336
	2012	665	k.SW	k.SW	317	395
	2013	330	745	917	785	571
	2014	237	k.SW	169	141	128
	Mittelwert	344	289	350	280	336
Nitrat-N-Fracht [NO ₃ -N kg/ha*a]	2010	138	27	93	79	62
	2011	372	18	67	74	182
	2012	247	0	0	2	73
	2013	307	143	171	145	202
	2014	106	0	9	4	14
	Mittelwert	234	37	68	61	107
[NO ₃ -N kg/ha*U-Zeitraum]	Kumuliert	1170	187	341	303	533

U-Zeitraum: Untersuchungszeitraum, k.SW: kein Sickerwasser

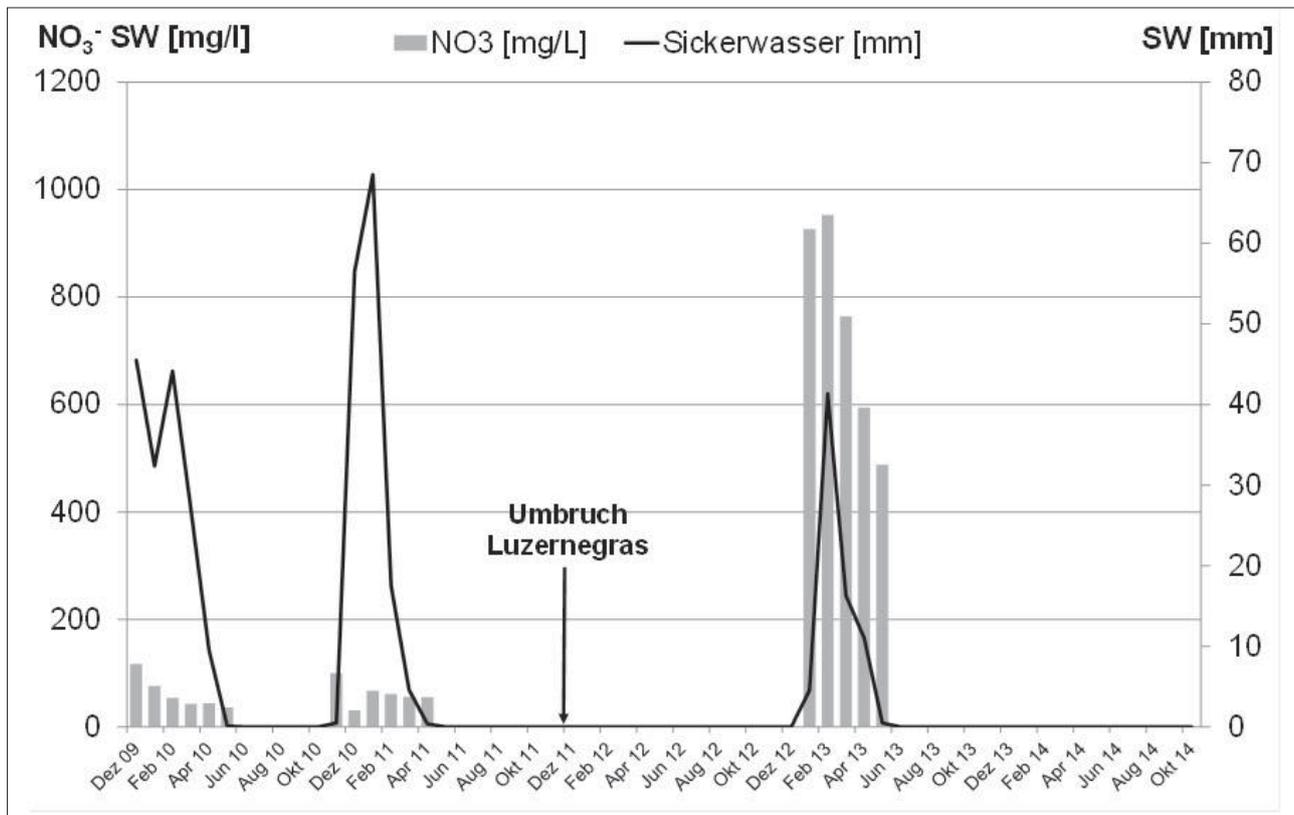


Abbildung 1: Verlauf der Nitratkonzentrationen in Sickerwasser (SW) und Sickerwassermengen der Variante mehrjähriges Luzernegras.

nach ausbleibendem Sickerwasseraustritt im Versuchsjahr 2012 im Vergleich zur Variante ZF_{Umbr.} zum Teil höhere NO₃-Konzentrationen auftraten. Demgegenüber wurde bei der Variante ZF_{Umbr.} nach Herbstumbruch im Frühjahr des Folgejahres bereits ein geringer Sickerwasseranfall mit vergleichsweise hohen NO₃-Konzentrationen und dann ab Januar 2013 ebenfalls sehr hohe NO₃-Peaks registriert. Bei den Varianten SB und Konv. wurden in allen Versuchsjahren NO₃-Konzentrationen im Sickerwasser, die den

EU-Grenzwert der WRRL von 50 mg/l um ein Vielfaches überschreiten, erfasst.

Die höchsten NO₃-Auswaschungen von im Mittel 234 kg/ha*a wurden bei der Variante SB ermittelt (Tabelle 4). Diese sind vermutlich auf die fehlende Pflanzenaufnahme bei gleichzeitiger Freisetzung von NO₃ aus der Mineralisation zurückzuführen. Hohe NO₃-Austräge aus stillgelegten und ungedüngten Flächen werden ebenfalls in der Literatur beschrieben (z.B. HAFERKORN 2013). Bei der konventi-

Tabelle 5: Trockenmasseerträge der Bewirtschaftungsvarianten (SB: Schwarzbrache, LG: mehrjähriges Luzernegras, ZF_{abfr.}: abfrierende und ZF_{Umbr.}: umgebrochene Zwischenfrüchte, Konv.: konventionell ohne Zwischenfrüchte).

Jahre	LG		ZF _{abfr.}		ZF _{Umbr.}		Konv.	
	Kulturart	Ertrag [dt/ha]	Kulturart	Ertrag [dt/ha]	Kulturart	Ertrag [dt/ha]	Kulturart	Ertrag [dt/ha]
2010	LG ¹	106	Mais	209	Mais	190	WRo	36
2011	LG ¹	108	WRo	64	WRo	58	W-Raps	30
2012	Mais	179	Mais	190	Mais	223	WW	74
2013	WRo	56	WRo	53	WRo	56	Mais	240

¹4 Schnitte/pro Jahr, WRo: Winterroggen, W-Raps: Wintererbsen, WW: Winterweizen

Tabelle 6: N-Zufuhr, N-Entzüge und N-Salden der Bewirtschaftungsvarianten (SB: Schwarzbrache, LG: mehrjähriges Luzernegras, ZF_{abfr.}: abfrierende und ZF_{Umbr.}: umgebrochene Zwischenfrüchte, Konv.: konventionell ohne Zwischenfrüchte).

	Jahre				
	2010	2011	2012	2013	MW
N-Zufuhr^[1] [kg/ha*a]					
LG	240	208	180	137	191
ZF _{abfr.}	212	143	180	137	168
ZF _{Umbr.}	212	143	180	137	168
Konv.	155	120	145	180	150
N-Entzug [kg/ha*a]					
LG	320	261	173	175	232
ZF _{abfr.}	266	133	172	153	181
ZF _{Umbr.}	254	126	183	161	181
Konv.	116	94	199	125	134
N-Saldo [kg/ha*a]					
LG	-79	-53	7	-38	-41
ZF _{abfr.}	-54	10	8	-16	-13
ZF _{Umbr.}	-42	17	-3	-24	-13
Konv.	39	26	-54	55	16

^[1]inklusive N-Fixierung über Leguminosen, N-Gehalte Pflanzen 2012/2013 nach Richtwerten: „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der DüV“, Fachinformation LLFG (Hrsg.), 2008

onellen Variante ohne ZF wurden ebenso vergleichsweise hohe NO₃-Frachten im Sickerwasser registriert. Hier lagen die NO₃-Auswaschungsverluste im Mittel der Versuchsjahre bei 107 kg/ha*a. Die Varianten mit legumen ZF zeigten insgesamt die niedrigsten NO₃-Austräge. Dabei war die Variante LG mit NO₃-Frachten von im Mittel 37 kg/ha*a besonders vorteilhaft im Hinblick auf die Auswaschungsverluste. Damit werden anhand vorliegender Ergebnisse nicht die von einigen Autoren beschriebenen erhöhten NO₃-Auswaschungen unter Leguminosen bestätigt (z.B. LOGES und TAUBE 2011, HEYN 2013). Andere Untersuchungen zeigten demgegenüber ebenfalls eine Reduktion der NO₃-Austräge aufgrund der Zwischenspeicherung von Nitrat in auswaschungsgefährdeten Zeiten (z.B. BAUMGÄRTEL und SCHÄFER 2003). Dabei war bei legumen ZF entscheidend, dass der nach Umbruch der Leguminosen freigesetzte N für die Folgefrucht erhalten werden kann (EICHLER und ZACHOW 2004). Bei allen Versuchsvarianten mit Ausnahme von ZF_{Umbr.} wurden die höchsten NO₃-Auswaschungen im Winterhalbjahr mit einem Anteil von 79 % (SB) bis 94 % (LG, Konv.) an der gesamten jährlichen Auswaschung beobachtet. Die Bedeutung des Winterhalbjahres für den

NO₃-Austrag wird ebenfalls in anderen Untersuchungen beschrieben (z.B. KAHLE et al. 2008). Bei der Variante ZF_{Umbr.} trug aufgrund der zeitlich verzögerten Auswaschung nach Umbruch der ZF im Herbst ebenfalls das Frühjahr zum NO₃-Austrag bei.

Erträge, N-Salden und –Entzüge

Die Maistrockenmasseerträge der unterschiedlichen Bewirtschaftungsvarianten lagen im Bereich von 179 dt/ha (LG) bis 240 dt/ha (Konv.) in den verschiedenen Versuchsjahren (Tabelle 5). Bei der Variante LG wurden nach insgesamt dreijährigem Luzernegrasanbau im Versuchsjahr 2012 die niedrigsten Maiserträge erfasst. Eine Ursache hierfür könnte der hohe Wasserverbrauch des Luzernegrases sein, der sich gleichfalls in einem fehlenden Sickerwasseraustritt in 2012 zeigte (Tabelle 2).

Im Mittel der Versuchsjahre wurden für alle Varianten mit legumen ZF negative N-Salden im Bereich von -41 (LG) bis -13 kg N/ha *a (ZF_{abfr.}, ZF_{Umbr.}) berechnet (Tabelle 6).

Bei der konventionellen Variante ohne ZF wurde im Durchschnitt der Versuchsjahre ein leicht positiver N-Saldo von 16 kg N/ha *a mit einer jährlichen Schwankungsbreite von -54 bis 55 kg N/ha *a ermittelt. Die Variante Konv. zeigte eine positive Korrelation zwischen jährlichem N-Saldo und der entsprechenden NO₃-Auswaschung (r=0,5; n=4). Demgegenüber wurde bei den Varianten mit legumen ZF kein Zusammenhang zwischen N-Saldo und NO₃-Auswaschung festgestellt.

Schlussfolgerungen

Vorliegende Untersuchungen zeigten, dass die Integration von legumen ZF in Maisfruchtfolgen nicht zu erhöhten NO₃-Auswaschungen führte. Im Vergleich zur Schwarzbrache und konventionellen Variante ohne ZF traten NO₃-Peaks nur sehr kurzzeitig und zum Teil stark zeitlich verzögert auf. Diese kurzzeitig erhöhten NO₃-Austräge sind nur schwer vermeidbar, da sie nicht nur nach Herbstumbruch sondern auch nach Abfrieren der ZF erfasst wurden und nur durch eine geeignete Fruchtfolgegestaltung, bei der der freigesetzte N für die Folgefrucht genutzt werden kann, reduziert werden können. Im Hinblick auf den Wasserverbrauch zeigte sich die Variante mit mehrjährigem Luzernegras nicht vorteilhaft, da sie im Vergleich zu den anderen Varianten geringere Erträge der Hauptfrucht aufwies und folglich vermutlich weniger von dem nach Leguminosenanbau im Boden akkumuliertem N profitieren konnte. Fortführende

Untersuchungen, insbesondere auch die Berücksichtigung des Bodenfeuchteverlaufes sind jedoch erforderlich, um diesbezüglich gesicherte Aussagen zu treffen.

Literatur

- BAUMGÄRTEL, G. und W. SCHÄFER, 2003: Auswirkungen unterschiedlicher Stickstoffdüngesysteme und Fruchtfolgen auf den Pflanzenertrag und die Nitratauswaschung in Dauerversuchen. VDLUFA-Schriftenreihe 58, Kongressband 2002, ISBN 3-922712-87-8, 598-601.
- BODNER, G., H. SUMMERER, F. ECKER und J. ROSNER, 2011: Zwischenfruchtbau ist auch im Trockengebiet machbar. Ländlicher Raum 09, Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 1-13.
- EHLERS, W., 1997: Zum Transpirationskoeffizienten von Kulturpflanzen unter Feldbedingungen. Pflanzenbauwissenschaften 1 (3), 97-108.
- EICHLER, B. und B. ZACHOW, 2004: Möglichkeit der Reduzierung von Stickstoff- und Phosphatausträgen aus der Landwirtschaft durch den Zwischenfruchtanbau. VDLUFA-Schriftenreihe 59, Kongressband 2003, ISBN 3-922712-89-4, 73-74.
- GODLINSKI, F., 2005: Abschätzung der Phosphorausträge aus der ungesättigten Bodenzone anhand numerischer Interpretationen von Lysimeterversuchen. Dissertation, Universität Rostock, UFZ.
- HAFERKORN, U., 2013: N-Auswaschung unter Ackernutzung auf Böden der Sächsischen Lössgefilde. In: Wirkung landwirtschaftlicher Nutzung auf die N-Auswaschung anhand langjähriger Lysimetermessungen in Mittel- und Nordostdeutschland und Schlussfolgerungen für die Minimierung der N-Befruchtung der Gewässer. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), 117-140.
- HEYN, J., 2013: Bewirtschaftungsmodelle im Vergleich - Lysimeterversuch in Kassel-Harleshausen. Aspekte: Produktivität, Wasser- und Stickstoffeffizienz. In: Wirkung landwirtschaftlicher Nutzung auf die N-Auswaschung anhand langjähriger Lysimetermessungen in Mittel- und Nordostdeutschland und Schlussfolgerungen für die Minimierung der N-Befruchtung der Gewässer. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), 44-66.
- KAHLE, P., B. TIEMEYER und B. LENNARTZ, 2008: Einfluss von Skalen-ebenen auf Stoffausträge gedränter Flächen. In: Drängung – Nährstoffausträge, Flächenerfassung und Management. DWA-Themen, 39-46.
- KOLBE, H., M. SCHUSTER, M. HÄNSEL, A. GRÜNBECK, I. SCHLIESSER, A. KÖHLER, W. KARALUS, B. KRELLIG, R. POMMER und B. ARP, 2004: Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), internet:<http://orgprints.org/15102/2/Zwischenfruechte.pdf>.
- LOGES, R. und F. TAUBE, 2011: Nitratauswaschung, Ertrag und N-Bilanz zweier Fruchtfolgen mit unterschiedlichem Leguminosenanteil im mehrjährigen Vergleich. In: Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Firschinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P. und Williges, U. (Hrsg.): Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Justus-Liebig-Universität Gießen, 15.-18. März 2011, Band 1, Verlag Dr. Köster, Berlin, 89-92.
- LÜTKE-ENTRUP, N., E. LÜTKE-ENTRUP und W. RENIUS, 1992: Zwischenfruchtanbau zur Futtergewinnung und Gründüngung – Ein Baustein zur Bodenfruchtbarkeit und zum Umweltschutz, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- PIETSCH, G., 2004: N₂-Fixierungsleistung und Wasserverbrauch von Futterleguminosen im Ökologischen Landbau unter den klimatischen Bedingungen der pannonischen Region Österreichs. Dissertation, Universität Wien, 218 S.
- RENGER, M., 2002: Sicker- und Fließzeiten von Nitrat aus dem Wurzelraum ins Grundwasser. Institut für Biologie und Ökologie, Fachgebiet Bodenkunde, TU Berlin, Arbeitsbericht 223.
- NEFF, R., 2008: Zwischenfruchtanbau, In: <http://www.gartenbauberatung.de/llhessen/landwirtschaft/pflanzenbau/ratgeber2007/zwischenfruchtanbau.pdf> (Stand 29.08.2008).
- URBATZKA, P., R. GRASS, T. HAASE, C. SCHÜLER, D. TRAUTZ und J. HESS, 2012: Grain yield and quality characteristics of different genotypes of winter pea in comparison to spring pea for organic farming in pure and mixed stands. *Organic Agr.* 1, 187-202.