

# Grünlanddüngung und Gewässerschutz - Versuchsergebnisse aus Bayern

Michael Diepolder<sup>1\*</sup> und Sven Raschbacher<sup>1</sup>

## Zusammenfassung

Bei zwei Düngungsversuchen im Allgäuer Alpenvorland und im Oberbayerischen Altmoränen-Hügelland wurden in den Jahren 2008-2010 mit dort fest installierten Saugkerzenanlagen die Nitrat-, Phosphor- und Schwefelkonzentrationen des Bodenwassers unter Dauergrünlandparzellen gemessen. Die Ergebnisse zeigen, dass bei fachgerechter, intensiver Grünlandwirtschaft die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser und damit die N-Frachten sehr niedrig und auf gleichem Niveau wie bei extensiver Bewirtschaftung liegen können. Sie zeigen allerdings auch, dass bei einer (stark) überhöhten N- und S-Düngung die Gefahr von Austrägen signifikant und deutlich ansteigt.

Bei Untersuchungen zu P-Austrägen bei Grünland in Hanglage wurden auf einer viermal pro Jahr geschnittenen und praxisüblich mit Gülle gedüngten Wiese mit 14 % Hangneigung im Allgäuer Alpenvorland die durch natürliche Niederschlagsbedingungen bewirkten Wasserabflüsse von der Bodenoberfläche sowie die Art und Höhe des dadurch verursachten P-Austrags gemessen. Ebenfalls wurde untersucht, inwieweit sich der P-Austrag durch ungedüngte Randstreifen mindern lässt. Im Gesamtmittel des siebenjährigen Untersuchungszeitraumes (2003-2009) floss nur ein sehr geringer Anteil (3 %) des Niederschlagswassers direkt von der Oberfläche ab. Der damit einhergehende und vorwiegend auf Starkregen beruhende P-Austrag lag in Relation zu dem mit Gülle ausgebrachten Phosphor weit unter 1 %, erfolgte jedoch überwiegend in gelöster Form. Des Weiteren zeichneten sich deutlich positive Effekte für den Gewässerschutz durch Anlage von ungedüngten Randstreifen ab, welche sich allerdings in diesem Versuch – anders als in früheren

Feldversuchen mit künstlicher Beregnung – aufgrund kleinräumiger Bodenunterschiede statistisch nicht absichern ließen.

*Schlagwörter:* Güllendüngung, Sickerwasser, Nitrat, Wasserabfluss, P-Austräge, Gewässerrandstreifen

## Summary

In this fertilizer experiment, conducted at two sites in Bavaria (Germany), we measured from 2008 to 2010 the concentration of nitrate, phosphorus and sulphur in the seepage water of grassland soils. For the collection of seepage water we used suction cups. Our results show that in the case of a site-adapted, intensive grassland management the nitrate concentration in the seepage water and consequently the N-loads are low and are on a level comparable with soils of extensively used grassland. But, in the case of an excessive application of nitrogen and sulphur fertilizers to permanent grassland the risk of enhanced leaching losses increases significantly. Furthermore, in a meadow on a slope with 14 % inclination we measured over a period of 7 years the phosphorus losses due to surface runoff. The meadow with four cuts every year was fertilized with slurry as in practice. Additionally, we analysed the importance of unfertilized buffer-strips for reducing phosphorus losses. During the investigation period (2003-2009) only a small proportion (on an average 3 %) of the annual precipitation led to surface runoff. Primarily heavy rain caused phosphorus losses due to surface runoff. These losses were lower than 1 % of the total phosphorus applied to the grassland soil with slurry and they occurred mainly in the form of dissolved phosphorus. Finally, our findings suggest that unfertilized buffer-strips can reduce these unwanted losses.

## Einleitung

Mit dem Inkrafttreten der EG-Richtlinie Nr. 80/778/EWG vom 15. Juli 1980 wurde ab August 1985 der bis dahin für die Bundesrepublik Deutschland gültige nationale Grenzwert von 90 mg Nitrat je Liter Trinkwasser aus Gründen der Vorsorge auf den EG-Wert von 50 mg NO<sub>3</sub>/l (= 11,3 mg NO<sub>3</sub>-N) abgesenkt. Die bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) untersucht im Rahmen der Forschung zur N-Dynamik und zum vorbeugenden Grundwasserschutz seit rund 30 Jahren, inwieweit sich im Grünland unterschiedliche Intensitätsstufen der Bewirtschaftung auf den Nitratgehalt des Sickerwassers und damit auf das Potenzial von vertikalen N-Austrägen auswirken. Im Focus stehen dabei Fragen

zu Art, Höhe und Terminierung der Düngung, vor allem eines fachgerechten Gülleeinsatzes. Die in den vergangenen Jahrzehnten auf zwei Standorten in Südbayern mittels dort installierter Saugkerzenanlagen gewonnenen Versuchsergebnisse wurden von DIEPOLDER und RASCHBACHER (2011 b) im Rahmen der Internationalen Tagung zur Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland zusammengefasst und diskutiert. Als Fazit konnte festgehalten werden, dass die mittlere Nitratkonzentration im dränenden Bodenwasser bei sachgerecht bewirtschaftetem Wirtschaftsgrünland und güllebetonter Düngung in einem niedrigen Bereich von ca. 1-9 mg NO<sub>3</sub>/l liegt. Dies entspricht einem geschätzten mittleren N-Austrag aus dem Wurzelraum von rund 2-12 kg N/ha pro Jahr und ist damit im Einklang mit anderen Arbeiten

<sup>1</sup> Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischer Landbau und Bodenschutz, Lange Point 12, D-85354 FREISING

\* Ansprechpartner: Dr. Michael Diepolder, michael.diepolder@lfl.bayern.de



(EDER 2000, DIEPOLDER et al. 2006, BUCHGRABER et al. 2010) deutlich weniger bzw. nur ein Bruchteil als bei Grünland mit Nutzungsaufgabe oder bei Ackerkulturen. Ebenfalls ergaben sich bisher für südbayerische Standortverhältnisse keine Anhaltspunkte dafür, dass eine moderate Gülledüngung im Herbst nach dem letzten Schnitt im Vergleich zu einer Frühjahrsdüngung vor dem ersten Schnitt zu einem Anstieg der Nitratgehalte im Sickerwasser führt. Im ersten Teil des vorliegenden Beitrags werden nun Ergebnisse eines noch laufenden und bisher unveröffentlichten Versuchsvorhabens vorgestellt und diskutiert. In diesem wird u.a. die N-Düngung bewusst über die fachliche Empfehlung (LFL 2011) hinaus gesteigert.

Wirtschafteigener Dünger wird auf Grünland mit Schnittnutzung vorwiegend in Form von Gülle ausgebracht. Naturgemäß haben im Voralpenland und Mittelgebirgsraum viele Wiesen eine geneigte Oberfläche. Die Jahresniederschläge sind in den Regionen meist hoch, durch den Klimawandel dürfte die Wahrscheinlichkeit von Starkniederschlägen zunehmen. Daher gilt es vor allem in Hinblick auf Gewässerschutzstrategien, die Art und Höhe von P-Frachten aus praxisüblich bewirtschafteten hängigen Grünlandflächen in angrenzende Gewässer zu quantifizieren. Ebenfalls sollen datengestützte Aussagen getroffen werden, ob und inwieweit sich durch landwirtschaftliche Maßnahmen eine Reduzierung erreichen lässt. Beregnungsversuche zeigen, dass intensive Niederschläge nach Gülledüngung bei hängigem Grünland zu einem starken Anstieg des oberflächlichen P-Austrages führen, jedoch ungedüngte Randstreifen die P-Belastung signifikant mindern können (DIEPOLDER und RASCHBACHER 2008). Um diese unter Extremsituationen („worst case“) gewonnenen Erkenntnisse mit natürlichen langjährigen Niederschlagssituationen zu vergleichen, wurde ein noch laufender Langzeitversuch durchgeführt, dessen Ergebnisse im zweiten Teil dieses Artikels beschrieben werden. Damit werden auch Untersuchungen von POMMER et al. (2001) fortgesetzt, die sich thematisch ebenfalls mit

dem P-Austrag vom Grünland durch Oberflächenabfluss beschäftigten.

## Versuchsergebnisse zur Nitratbelastung des Sickerwassers

### Material und Methoden

Die Versuche stehen im Allgäuer Alpenvorland am Spitalhof in Kempten (730 m ü. NN, 1290 mm ø Jahresniederschlag, Parabraunerde aus uL, Grünlandbestand mit Deutschem Weidelgras als Leitgras) sowie in Puch bei Fürstfeldbruck (550 m ü. NN, 920 mm ø Jahresniederschlag, Parabraunerde aus tU, Leitgras ist ebenfalls Deutsches Weidelgras).

In *Tabelle 1* sind die jeweiligen Versuchsvarianten und die gedüngten Nährstoffmengen aufgeführt. In Puch wird jedes Versuchsglied in dreifacher Wiederholung, dagegen am Spitalhof aus versuchstechnischen Gründen nur in zweifacher Wiederholung geprüft. Wie zudem aus *Tabelle 1* zu entnehmen ist, liegt somit zwar kein identischer Versuchsaufbau vor, jedoch ist beiden Versuchen folgender Kernansatz gemeinsam: Ausgehend von Variante 2 mit ausschließlicher Gülledüngung, bei der die Höhe des organischen N-Einsatzes in Anlehnung an die „170er“-Regelung (Puch) bzw. „230er-Regelung“ (Spitalhof) der bundesdeutschen Düngeverordnung (DÜV, BUNDESGESETZBLATT, 2007) erfolgt, wird die N-Zufuhr bei Variante 3 und 4 am Spitalhof bzw. bei Variante 3 in Puch mit Kalkammonsalpeter (KAS) weiter gesteigert. Dabei ist vorgesehen, dass die insgesamt ausgebrachte N-Menge bei Variante 3 in Puch bzw. bei Variante 4 am Spitalhof die fachliche Empfehlung (LFL 2011) deutlich überschreitet. Mit Variante 1, die durch eine mineralische PK-, jedoch fehlende N-Düngung sowie durch eine reduzierte Nutzungsintensität charakterisiert ist, sollen Effekte einer „reduzierten“ gegenüber einer intensiven Bewirtschaftungsintensität untersucht werden. Verwiesen sei auch darauf, dass bei Variante 1 im Zusammenhang mit

*Tabelle 1: Versuchsvarianten und Nährstoffzufuhr*

Variante	Schnitte [n a <sup>-1</sup> ]	N	Ø Nährstoffzufuhr <sup>1)</sup>			
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O [kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	S	MgO
<b>Standort: Spitalhof/Kempten</b>						
1 Ohne N-Düngung <sup>1)</sup>	3	0	75	255	71	38
2 „230 kg N/ha aus Viehhaltung“ <sup>1)</sup>	5	225	91	315	~ 45	~ 65
3 Wie 2 plus 90 kg N/ha (KAS) <sup>1,2)</sup>	5	315	91	315	~ 45	~ 65
4 Wie 2 plus 230 kg N/ha (KAS) <sup>1,2)</sup>	5	455	91	315	~ 45	~ 65
<b>Standort Puch</b>						
1 Ohne N-Düngung <sup>1)</sup>	3	0	90	225	70	30
2 „170 kg N/ha aus Viehhaltung“ <sup>1)</sup>	4	176	90	209	~ 20	~ 80
3 Wie 2 plus 183 kg N/ha (KAS) <sup>1,2)</sup>	4	359	90	209	~ 20	~ 80

#### Spitalhof/Kempten:

<sup>1)</sup> Gesamt-Nährstoffzufuhr; bei Var. 1 als mineralische PK-Düngung (S und Mg als Begleitstoffe) in 3 Teilgaben pro Jahr; bei Var. 2-4 als Gülledüngung mit jährlich 4 Gaben à ca. 25 m<sup>3</sup>/ha (ø 4,1 % TS) zum 2., 4. und 5. Aufwuchs sowie im Herbst nach dem letzten Schnitt; S- und MgO-Zufuhr über Gülle geschätzt. Bei Var. 3 und 4 zusätzliche mineralische N-Düngung als KAS.

<sup>2)</sup> 90 kg N/ha zum 3. Aufwuchs; bei Var. 4 zusätzlich 4 x 35 kg N/ha kurz nach den einzelnen Güllegaben.

#### Puch:

<sup>1)</sup> Gesamt-Nährstoffzufuhr; bei Var. 1 als mineralische PK-Düngung (S und Mg als Begleitstoffe) in 3 Teilgaben pro Jahr; bei Var. 2 und 3 als Gülledüngung mit jährlich 3 Gaben à 16-22 m<sup>3</sup>/ha (ø 7,0 % TS) zum 2. und 4. Aufwuchs sowie im Herbst nach dem letzten Schnitt; S- und MgO-Zufuhr über Gülle geschätzt.

<sup>2)</sup> Bei Var. 3 zusätzlich 180 kg N/ha in 3-4 Teilgaben à 45-95 kg N/ha als KAS.

der PK-Düngung im Vergleich zu den anderen Versuchsgliedern mit Abstand die höchsten Schwefelgaben verabreicht wurden, die deutlich über einer geschätzten S-Abfuhr von rund 20-35 kg S/ha mit dem Erntegut liegen.

Die Versuche befinden sich über Saugkerzenanlagen nach CZERATZKI (1971). Bei diesen Anlagen wird das unter den Parzellen versickernde Bodenwasser durch dauerhaft im Boden installierte Keramik-Saugkerzen, an die mit einer automatisch gesteuerten Vakuumpumpe mehrmals am Tag ein Unterdruck von 0,5 bar angelegt wird, kontinuierlich aufgefangen. Die Saugkerzen sind in ca. 60 cm und 120-130 cm Bodentiefe eingebaut. Pro Variante stehen in diesem Versuchsvorhaben insgesamt 8 Saugkerzen am Spitalhof und 20-24 Saugkerzen in Puch zur Wassergewinnung zur Verfügung. In regelmäßigen Abständen (ca. 1-3 Wochen) werden bei den Proben die Nitratkonzentration sowie die Gehalte an Phosphor und Schwefel analysiert. Zur näherungsweise Umrechnung auf mittlere jährliche Nährstofffrachten wird die mittlere jährliche Sickerwassermenge (ca. 630 l/m<sup>2</sup> am Spitalhof bzw. ca. 300 l/m<sup>2</sup> in Puch) nach klimatischen Literaturangaben geschätzt.

Die Verrechnung der Daten erfolgte mit SAS, wobei die Mittelwerte der Erträge und Nährstoffkonzentrationen unter Anwendung einer Grenzdifferenz von 5% Irrtumswahrscheinlichkeit (GD<sub>5%</sub>) verglichen werden. Unterschiedliche Kleinbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Varianten.

## Ergebnisse und Diskussion

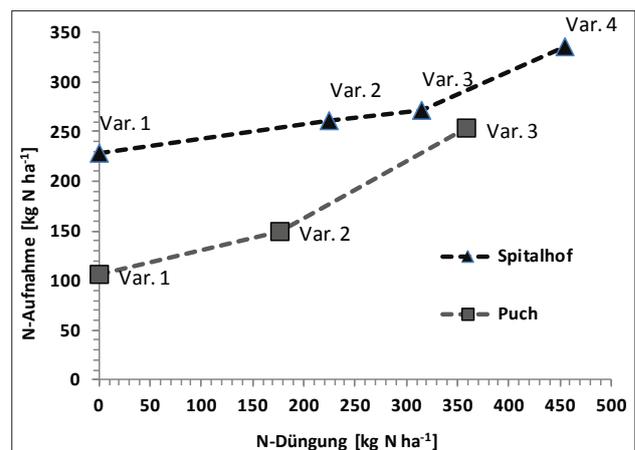
Die in *Tabelle 2* aufgeführten Daten zu den Pflanzenbeständen und Erträgen sowie die in *Abbildung 1* dargestellten Beziehungen zwischen der Höhe der N-Düngung und der N-Aufnahme durch die oberirdische Biomasse zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Standorten und den Varianten.

Der Vergleich der TM- und Rohprotein-Erträge der in beiden Versuchen „extensiv“ bewirtschafteten Variante 1 mit drei Schnitten und unterlassener N-Düngung lässt auf wesentlich bessere Standortvoraussetzungen am Spitalhof schließen. So lagen im Untersuchungszeitraum die TM-Erträge um ca. 75 % und die Rohprotein-Erträge um 116 % höher als in Puch. In Puch konnte sich trotz jährlicher PK-Düngung der Klee nicht

**Tabelle 2: Bestandszusammensetzung und Erträge (Mittel 2008-2010)**

Ort Variante	Ø Artenanteile im 1. Aufwuchs <sup>1)</sup>			Erträge	
	Gräser [% in der Frischmasse]	Kräuter	Klee	TM [dt/ha]	Rohprotein [kg RP/ha]
<b>Spitalhof</b>					
1 (0 N)	63	29	8	102,6 b	1428 c
2 (225 N)	60	32	8	97,3 b	1630 bc
3 (315 N)	59	36	5	102,8 b	1697 b
4 (455 N)	74	23	3	120,2 a	2092 a
<b>Puch</b>					
1 (0 N)	79	20	1	58,7 b	660 b
2 (176 N)	83	16	1	73,4 b	936 b
3 (359 N)	90	9	1	104,4 a	1581 a

<sup>1)</sup> Spitalhof: Mittelwert der Bestandsaufnahmen 2008-2010; Puch: Mittelwert der Bestandsaufnahmen 2008/09



**Abbildung 1: Beziehung zwischen der N-Düngung und der N-Aufnahme durch die oberirdische Biomasse an den Standorten Spitalhof und Puch**

etablieren. Bemerkenswert ist, dass selbst bei völlig unterlassener N-Düngung am Spitalhof im Mittel rund 230 kg N/ha in die oberirdische Biomasse eingelagert werden konnten, während in Puch das Niveau bei rund 105 kg N/ha lag. Die Ursachen hierfür dürften neben dem bereits erwähnten höheren Kleeanteil, dem humusreicheren alten Grünlandboden am Spitalhof u.U. auch in der Nachwirkung von vorherigen Düngungsversuchen zu suchen sein. Jedenfalls weisen gerade die am Spitalhof erzielten Resultate darauf hin, dass im Falle regelmäßiger PK-Düngung auch bei ausgesetzter N-Düngung bei mittlerer Nutzungsintensität zumindest für eine gewisse Zeit ein hohes Ertragsniveau ohne nachteilige Veränderung des Pflanzenbestands möglich ist. Wird jedoch auch die PK-Düngung ausgesetzt, so ist mit einem starken Ertragsabfall und einer nachteiligen Veränderung der Pflanzenbestände zu rechnen. Dies belegen Untersuchungen von DIEPOLDER und RASCHBACHER (2011 a) in einem früheren Versuch (2000-2004) auf demselben Teilschlag, wo bei gleicher Nutzungsintensität, jedoch mehrjährig völlig fehlender Düngung der Kräuteranteil auf rund 55 % angestiegen war, während der Gräseranteil auf 33 % abgenommen und das Ertragsniveau auf 57 dt TM/ha gesunken war.

Völlig unterschiedlich fiel auf beiden Standorten auch die Reaktion auf eine Erhöhung der Bewirtschaftungsintensität (Steigerung der Schnitzzahl, Gülledüngung) aus, was anhand des Vergleichs der Varianten 1 und 2 ersichtlich wird. In Puch konnte bei vier Nutzungen und 176 kg Gülle-N pro Jahr bei Variante 2 der TM-Ertrag um 25 % bzw. der Rohprotein-Ertrag um ca. 42 % gegenüber Variante 1 zumindest tendenziell – wenngleich nicht statistisch absicherbar – angehoben werden. Dagegen wurde am Spitalhof bei fünf Schnitten und 225 kg Gülle-N pro Jahr bei der Biomasse keine Steigerung und nur eine wesentlich geringere Erhöhung (14 %) des Rohprotein-Ertrags festgestellt. Obwohl bei diesem Vergleich auch die unterschiedlichen Niveaus der Realerträge zu berücksichtigen sind, erstaunt dennoch die schlechte Umsetzung des Gülle-Stickstoffs am Spitalhof in diesem Versuch. Zwar ist gemeinhin bekannt, dass für die Sicherung hoher Erträge und Futterqualität bei Intensivierung der Schnittnutzung auch eine entsprechende Anpassung der Düngung vorgenommen werden muss. Dennoch kann

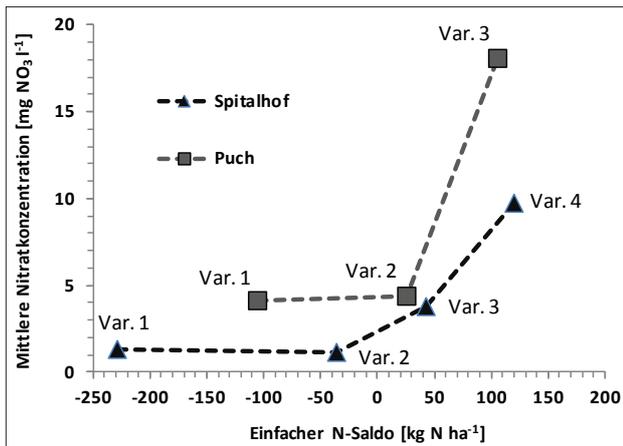


Abbildung 2: Beziehung zwischen dem einfachen N-Saldo (N-Düngung minus N-Abfuhr) und der mittleren Nitratkonzentration im aufgefangenen Bodenwasser

für das Ertragsverhalten von Variante 2 am Spitalhof keine völlig schlüssige Erklärung gegeben werden. Die Höhe der in mehreren Teilgaben aufgebrauchten gesamten Güllegabe sowie der niedrige TS-Gehalt der Gülle (4,1 % TS) hätte ein anderes Ergebnis erwarten lassen. Auch wurden am Spitalhof auf den Parzellen eines Versuchs auf einem anderen Teilschlag bei gleichfalls fünf Schnitten pro Jahr, jedoch niedrigerem Gülleeinsatz im langjährigen Mittel rund 113 dt TM/ha bzw. 1950 kg Rohprotein geerntet (DIEPOLDER und RASCHBACHER 2010 b; DIEPOLDER und RASCHBACHER 2011 c). Daher bleibt nur zu vermuten, dass die Ursachen für die vergleichsweise niedrige Nährstoffumsetzung der Gülle in einer Kombination von bereits sehr hohen N-Nachlieferungsraten durch den Standort, ggf. einer nicht ganz optimalen Gülleverteilung (Sommer/Herbstbetonte Düngung) und ggf. weiteren unbekanntem Bodeneigenschaften des Versuchsfeldes gelegen haben.

Zu erwähnen ist ferner, dass bei Variante 2 in Puch bereits rund 25 kg N/ha mehr Stickstoff über Gülle auf die Parzellen gelangte als durch das Erntegut im Jahresmittel abgefahren wurde, was auch den *Abbildungen 1* und *2* zu entnehmen ist. Am Spitalhof dagegen wurde trotz höherem Gülleeinsatz bei Variante 2 jährlich um ca. 35 kg N/ha mehr abgefahren als zugeführt. In beiden Fällen lagen die Nitratkonzentrationen im aufgefangenen Bodenwasser jedoch auf gleicher Höhe wie bei Variante 1 mit reduzierter Bewirtschaftungsintensität (siehe auch *Tabelle 3*). Festzuhalten bleibt auch, dass trotz der suboptimalen N-Verwertung der eingesetzten Gülle die gegebenen 230 kg N/ha über den Wirtschaftsdünger am Spitalhof zu keiner Gefährdung des Grundwassers führten, was frühere Resultate am gleichen Standort (DIEPOLDER und RASCHBACHER 2011 a) bestätigten.

Bei Variante 3 am Spitalhof wurde zusätzlich zum dritten Aufwuchs 90 kg N/ha als Kalkammonsalpeter gedüngt. Diese Gabe trug jedoch weder bei der Trockenmasse-, noch beim Rohproteintrag (siehe *Tabelle 2*) zu einer signifikanten Steigerung bei. Die errechnete N-Verwertung des mineralischen Stickstoffs war mit 12 % ausgesprochen niedrig, was auch aus *Abbildung 1* hervorgeht. Diese Düngung erhöhte daher den N-Saldo bzw. die N-Bilanz beträchtlich und führte im aufgenommenen Bodenwasser zu einer zwar geringfügigen,

jedoch signifikanten Zunahme der mittleren Nitratkonzentration sowie der Nitratspitzen (90 %-Quantile, *Tabelle 3*). Eine alleinige und hohe N-Düngung zum dritten Aufwuchs erwies sich in diesem Versuch als sehr ungünstige Düngungsstrategie. Dies gerade deswegen, weil die bei Variante 4 verabreichten zusätzlichen mineralischen N-Gaben kurz nach den einzelnen Güllegaben den TM-Ertrag um 17 % und den Rohproteintrag um 23 % anhoben. Somit führte eine anders verteilte, jedoch insgesamt höhere N-Düngung nochmals zu einem kräftigen Anstieg der N-Aufnahme (*Abbildung 1*).

In beiden Versuchen führte der jeweils höchste N-Einsatz signifikant zu den höchsten Erträgen. In Puch weisen die Realerträge zwar ein deutlich niedrigeres Niveau als am Spitalhof auf (*Tabelle 2*). Relativ gesehen jedoch konnte durch den Mineraleinsatz ein größerer Einfluss auf den Ertragsanstieg als am Spitalhof genommen werden.

Sowohl bei Variante 4 am Spitalhof als auch bei Variante 3 in Puch lag das Niveau der N-Düngung um ca. 100-120 kg N/ha über der N-Abfuhr durch das Erntegut, was aus *Abbildung 2* hervorgeht. Wenn man in einem erweiterten Bilanzansatz zusätzlich Nährstoffverluste bei der Gülleausbringung sowie die N-Nachlieferung durch Leguminosen mit einbezieht (*Tabelle 3*, links), ergeben sich um rund 20-30 kg N/ha geringere jährliche N-Überhänge, die jedoch mit 92 bzw. 79 kg N/ha immer noch als sehr hoch zu bezeichnen sind. *Tabelle 3* zeigt, dass mit diesen Bilanzüberhängen ein signifikanter und ausgeprägter Anstieg der mittleren Nitratkonzentration im aufgefangenen Bodenwasser einherging. Ebenfalls nahm die Wahrscheinlichkeit sehr hoher Nitratwerte stark zu, was aus den 90%-Quantilen hervorgeht.

Hingewiesen sei auch darauf, dass bei Variante 1, wo über die mineralische Grunddüngung jährlich erhebliche Schwefelmengen von rund 70 kg S/ha in Form von Sulfat zugeführt wurden, die S-Konzentrationen um rund das Drei- bis Vierfache gegenüber den Varianten mit organisch/mineralischer Düngung ohne mineralischen Schwefeleinsatz anstiegen.

Erkennbar ist zudem der Einfluss des Standortes auf die Nitrat-, Phosphor- und Schwefelkonzentrationen im aufge-

Tabelle 3: N-Bilanz und Nährstoffkonzentrationen im aufgefangenen Bodenwasser

Ort Variante	N-Bilanz <sup>2)</sup> [kg N/ha]	Nährstoffkonzentrationen <sup>1)</sup>			
		Ø Nitrat	Q <sub>90%</sub> [mg/l]	Ø P	Ø S
<b>Spitalhof</b>					
1 (0 N)	-196	1,3 c	2,87	0,07 a	1,7 a
2 (225 N)	-44	1,1 c	2,07	0,06 a	0,3 b
3 (315 N)	23	3,8 b	11,18	0,05 a	0,4 b
4 (455 N)	92	8,7 a	21,90	0,04 a	0,5 b
<b>Puch</b>					
1 (0 N)	-102	4,1 b	7,7	0,33 a	8,6 a
2 (176 N)	-1	4,4 b	12,2	0,32 a	2,3 b
3 (359 N)	79	18,1 a	43,5	0,32 a	2,7 b

<sup>1)</sup> Angefallene / untersuchte Wasserproben bei den einzelnen Varianten/ Untersuchungsparametern; Spitalhof: ca. 355-365 (1, 2, 4), 295 (3); Puch: ca. 490-505 (1), ca. 380-390 (2), ca. 370-385 (3)

<sup>2)</sup> N-Bilanz = N-Zufuhr minus N-Abfuhr unter Berücksichtigung von N-Verlusten bei Gülledüngung in Anlehnung an die Düngeverordnung (DüV) sowie N-Lieferung durch den Kleeanteil; N-Bilanz = [(Gesamt-N<sub>Gülle</sub> × 0,824 + N<sub>KAS</sub> + 4 kg N/ha × % Klee) - N-Abfuhr]

fangenen Bodenwasser (*Tabelle 3* rechts), was maßgeblich auf die unterschiedlichen Sickerwassermengen zurückzuführen sein dürfte.

Für eine möglichst exakte Umrechnung der Nährstoffkonzentrationen in jährliche Nährstofffrachten ist eine zeitlich eng aufgelöste Zuordnung des tatsächlichen Sickerwasseranfalles mit entsprechenden Konzentrationswerten erforderlich. Daher kann die Multiplikation von mittleren Nährstoffkonzentrationen mit langjährigen standortbezogenen Sickerwasserabschätzungen mit mehr oder weniger großen Fehlern behaftet sein. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkung sei dennoch als grobe Frachtabschätzung festgestellt, dass mit Ausnahme der ungünstigsten Düngungsstrategie der mittlere jährliche N-Austrag aus dem Wurzelraum auf beiden Standorten in einem Bereich von rund 2-5 kg N/ha, dagegen bei stark überbilanzierter Düngung bei 12 kg N/ha lag. Die Höhe der mittleren P-Austräge dürfte pro Jahr bei 0,2-1,0 kg P (0,5-2,3 kg  $P_2O_5$ ) und die Höhe der S-Austräge bei 2-10 kg S/ha (Spitalhof) bzw. 10-25 kg S/ha (Puch) anzusetzen sein.

### Schlussfolgerung und Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse lassen darauf schließen, dass im Wirtschaftsgrünland bei fachgerechter Bemessung der Düngung mit keiner negativen Beeinträchtigung des Grundwassers zu rechnen ist, hingegen eine deutlich über

der Nährstoffabfuhr liegende N-Düngung zu einem signifikanten Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser führen kann. Gleiches trifft für die Schwefeldüngung zu. Daher sollte die vorherrschende Meinung, dass es unter Grünland kaum zu Nährstoffausträgen kommt, differenziert gesehen werden, zumal es auch Hinweise darauf gibt, dass in intensiv bewirtschafteten grünlandbasierten Regionen hohe Nitratgehalte in Wassergewinnungsanlagen nicht auszuschließen sind. Hier ist weiterer Forschungsbedarf gegeben, in dem auch ungünstigere Standort- und Bewirtschaftungsverhältnisse (Bodenart, Gründigkeit, Niederschlagsverteilung, überhöhte Düngung im Herbst und vor Vegetationsbeginn) als in den bisherigen Versuchen Berücksichtigung finden sollten.

### Versuchsergebnisse zu oberflächlichen P-Austrägen bei begüllten Grünlandflächen in Hanglage

#### Material und Methoden

Der Versuch steht im Allgäuer Alpenvorland am Standort Spitalhof/Kempten (730 m ü. NN, Ø Jahresniederschlag im langjährigen Mittel 1290 mm, Ø Jahrestemperatur 7,0 °C). Der ortsfeste Dauerversuch besteht aus vier 30 m breiten und 70 m langen Parzellen. Er ist auf einer Grünlandfläche

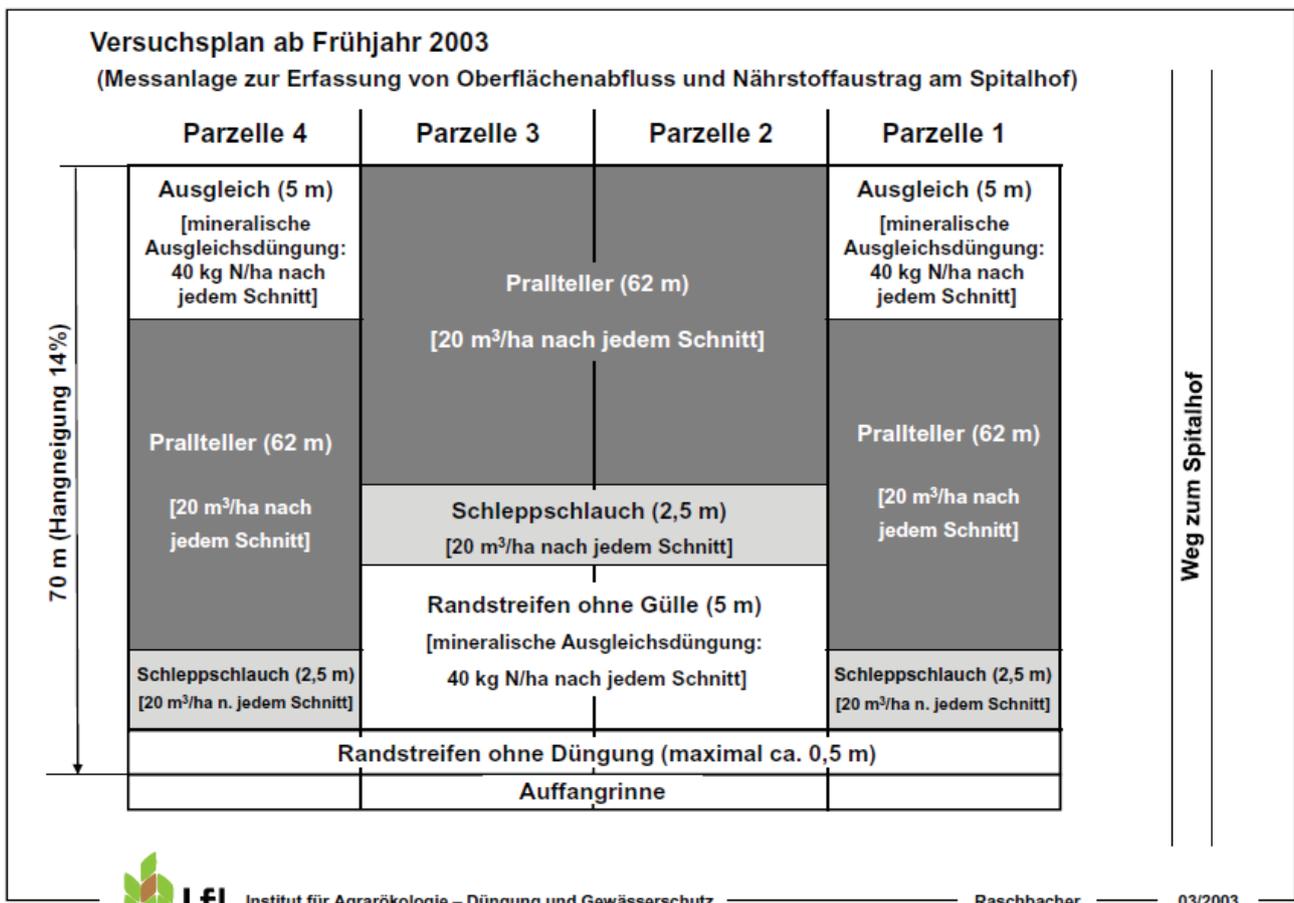


Abbildung 3: Ortsfeste Versuchsanlage zur Erfassung von Oberflächenabfluss

mit 14 % Hangneigung und gleichmäßigem Relief über Parabraunerde aus Moränenmaterial angelegt. *Abbildung 3* zeigt die Varianten und das Prinzip der Versuchsanlage.

Die Düngung erfolgte ausschließlich in Form von Gülle zu allen vier geernteten Aufwüchsen in praxisüblicher Weise mit dem Prallteller. Damit wurden durchschnittlich pro Hektar und Jahr 49 kg Phosphor (=112 kg  $P_2O_5$ /ha) gedüngt, wobei dieser Wert geringfügig über der in Bayern veranschlagten Düngung (LFL 2011) von Vierschnittwiesen in Gunstlagen liegt. Es wurde darauf geachtet, dass bei allen Parzellen mit dem Prallteller die gleiche Fläche gedüngt wurde, was die mineralischen Ausgleichsflächen bei der Variante „ohne Randstreifen“ (Parzellen 1 und 4) in *Abbildung 3* erklärt. Um eine exaktere Abgrenzung zwischen begüllten und nicht begüllten Flächen zu gewährleisten, wurde bei allen Parzellen die Gülle auf den letzten 2,5 m quer zum Hang mit Schleppschlauchtechnik (Versuchsgerät) ausgebracht. Einen weiteren Schutz vor Direkteinträgen bot ein schmaler ungedüngter Randstreifen von 0,5 m Breite direkt vor der Auffangrinne. Die Abflüsse der vier Parzellen wurden in einer Auffangrinne am Hangfuß getrennt gesammelt. Von dort gelangten sie in ein in einer Grube befindliches Kippgefäß. Ein einfaches mechanisches Zählwerk registrierte jede Kippung (50 l). Außerdem wurde pro Kippung automatisch eine Probe zur Nährstoffanalyse entnommen. Die Untersuchung der Wasserproben erfolgte auf Gesamt-Phosphor (TP) sowie auf „löslichen Phosphor“ (DTP), d.h. nach Passieren eines 45  $\mu$ m-Filters wurde der Gesamt-P des Filtrats bestimmt. Der partikuläre Phosphor (PP) wurde aus der Differenz berechnet. Zeitpunkt und Menge der Niederschlagsereignisse registrierte eine agrarmeteorologische Messstation am Standort.

Die Probenahme, Analyse und Auswertung umfasste drei Abstufungen: So wurden Wasserproben nach einem vorherigen Starkregenereignis extra aufgefangen. Als ein Starkregenereignis wurde definiert, wenn die Abflüsse über 2 l/m<sup>2</sup> betragen. Bei der Auswertung wurde weiterhin unterschieden, ob diesen Ereignissen ca. 1-2 Tage vorher eine Güllendüngung voranging oder diese schon länger zurücklag. Alle niedrigeren Abflüsse (unter 2 l/m<sup>2</sup>) gingen in eine Sammelprobe ein, die einmal jährlich auf TP und DTP untersucht wurde. Der dargestellte Untersuchungszeitraum umfasst die Jahre 2003-2009.

## Ergebnisse und Diskussion

### Niederschlag und oberflächlicher Wasserabfluss

Das mittlere Niveau der Jahresniederschläge lag im siebenjährigen Untersuchungszeitraum bei 1064 mm und damit deutlich unter dem langjährigen Standortmittel von 1290 mm a<sup>-1</sup>. Ein durchschnittlicher Abfluss von 32,4 l m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> (*Tabelle 4*) weist darauf hin, dass unter den gegebenen Reliefverhältnissen nur ein sehr geringer Anteil (3 %) der Niederschläge direkt von der Oberfläche abfloss. POMMER et al. (2001) stellten am gleichen Standort bei etwas höheren mittleren Jahresniederschlägen eine Abflussrate von etwa 6 % fest. Auffallend ist, dass innerhalb des Versuches die durchschnittlichen Wasserabflüsse trotz einheitlicher Reliefstruktur in einem weiten Bereich schwankten (*Tabelle 5*), wofür unterschiedliche Bodenverhältnisse (u.a. lokale Verdichtungen) verantwortlich waren.

Der Wasserabfluss von der Hangfläche war vorwiegend auf Starkregenereignisse zurückzuführen. Dabei ist bemerkenswert, dass solche Ereignisse im Versuchszeitraum (2003-2009) insgesamt nur 16mal auftraten. Dies entspricht nach der oben beschriebenen Definition einer durchschnittlichen „Wahrscheinlichkeit“ von 2,3 Starkregen mit Abfluss pro Jahr.

### P-Frachten, P-Fraktionen und mittlere TP-Konzentration

Aus dem Versuch wurden im siebenjährigen Mittel pro Hektar und Jahr 147 g an Gesamt-P (TP) durch Oberflächenabfluss ausgetragen (*Tabelle 4*), wobei sich die Spannweite der P-Fracht in den Einzeljahren zwischen 29 und 318 g TP/ha bewegte. Bemerkenswert ist, dass der durch hohe Wasserabflüsse 1-2 Tage nach Güllendüngung verursachte P-Austrag an der Gesamtfracht einen mittleren Anteil von über 50 % einnahm, obwohl solche Situationen im Untersuchungszeitraum nur viermal eintraten. Dies verdeutlicht den entscheidenden Beitrag einer an Wetterprognose und Bodenverhältnisse orientierten Güllendüngung auf Grünlandflächen im Hügelland für die potenzielle Reduzierung von P-Einträgen in Oberflächengewässer. Gleichfalls wie in Untersuchungen von DIEPOLDER und RASCHBACHER (2008, 2010 a) mit simulierten Starkregenereignissen (künstliche Beregnung) bildete auch bei den vorliegenden, hier unter natürlichen Niederschlagsbedingungen gewonnenen Resultaten stets der „lösliche Phosphor“ (DTP) die

**Tabelle 4: Jährliche Abflussmengen, P-Frachten und errechnete durchschnittliche TP-Konzentrationen im Gesamtversuch (Mittel 2003-2009)**

Herkunft Abfluss /P-Fracht	Ø Abfluss- menge [l m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ]	DTP	Ø P-Frachten <sup>4)</sup> PP [g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	TP	Ø TP- Konz. <sup>5)</sup> [µg/l]
Ohne Starkregenereignis <sup>1)</sup>	7,3	28	11	39	536
Starkregen ohne Güllendüngung <sup>2)</sup>	18,6	24	6	30	162
Starkregen mit Güllendüngung <sup>3)</sup>	6,5	62	16	78	1195
Σ bzw. Ø	Σ 32,4	Σ 114	Σ 33	Σ 147	Ø 454

<sup>1)</sup> Jahresproben (7)

<sup>2)</sup> Proben mit Abflüssen > 2 l/m<sup>2</sup>; ohne vorherige Güllendüngung: ø 1,7 Ereignisse pro Jahr

<sup>3)</sup> Proben mit Abflüssen > 2 l/m<sup>2</sup>; Güllendüngung max. 2 Tage vorher: ø 0,6 Ereignisse pro Jahr

<sup>4)</sup> TP und DTP gemessen, PP aus Differenz: PP = TP – DTP

<sup>5)</sup> ø TP-Konzentration: Errechnet aus ø TP-Fracht/ ø Abfluss

**Tabelle 5: Jährliche Abflussmengen, TP-Frachten und errechnete durchschnittliche TP-Konzentrationen der einzelnen Parzellen (Mittel 2003-2009)**

Herkunft Abfluss /P-Fracht	Ø Abfluss- menge [l m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ]	Ø TP- Fracht [g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	Ø TP-Konzen- tration errechnet [µg/l]
Parzelle 1 (ohne Randstreifen)	48,3	255	527
Parzelle 2 (mit 5 m Randstreifen)	29,0	111	383
Parzelle 3 (mit 5 m Randstreifen)	35,8	123	344
Parzelle 4 (ohne Randstreifen)	16,5	100	607
Mittel 1,4 (ohne Randstreifen)	32,4	177 <sup>1)</sup>	547
Mittel 2,3 (mit 5 m Randstreifen)	32,4	117 <sup>1)</sup>	362

<sup>1)</sup> Differenz der Mittelwerte ist nicht signifikant, siehe Text

überwiegende P-Fraktion. Dies bestätigt die These der Autoren, die einen „Auskämmeffekt“ des vorwiegend partikulären Güllephosphats durch die Grasstoppen für die Ursache halten. In Relation zum insgesamt mit der Gülle ausgebrachten Phosphor lag der Anteil des direkt durch Oberflächenabfluss in den Vorfluter eingetragenen TP in einer Größenordnung von ca. 0,3 %. Diese scheinbar geringe Menge führte jedoch zu einer mittleren TP-Konzentration im abfließenden Wasser von 454 µg TP/l (Tabelle 4), welche um mehr als das 20fache über dem Grenzwert lag, den VOLLENWEIDER (1982), zit. bei POMMER et al. (2001) für eine tragbare Belastung des Gewässerzuflusses angibt. Natürlich ist hierbei zu berücksichtigen, dass Vorfluter kaum ausschließlich vom Oberflächenabfluss gespeist werden und dieser nur einen geringen Anteil des gefallenen Niederschlags ausmacht, selbst wenn man die Evapotranspiration mit in Kalkül einbezieht. Anzumerken ist auch noch, dass mit der Versuchsanlage Wasserabflüsse und somit P-Frachten unter der Bodenoberfläche nicht erfasst werden konnten. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Im Mittel lag die TP-Fracht bei den beiden Parzellen 2 und 3, bei denen zusätzlich vor der Auffangrinne ein 5 m breiter Randstreifen ohne Gülledüngung vorgelagert wurde (Abbildung 3) um ca. ein Drittel unterhalb des Mittelwertes der beiden Parzellen ohne einen solchen Randstreifen (Tabelle 5, unten). Allerdings konnte diese Differenz aufgrund der bereits erwähnten Bodenunterschiede und der nur 2 Wiederholungen pro Variante in diesem ortsfesten Versuch statistisch nicht abgesichert werden, was sich auch anhand der Einzelwerte der TP-Frachten (siehe Tabelle 5, mittlere Spalte, insb. Parzellen 1 und 4) andeutet. Setzt man jedoch die mittleren jährlichen TP-Frachten in Relation zu den mittleren Jahresabflüssen, so fallen bei den so errechneten mittleren TP-Konzentrationen die Unterschiede der beiden Parzellen „ohne Randstreifen“ nicht so deutlich aus. Eine statistische Absicherung zwischen den Varianten unterblieb hier allerdings.

### Schlussfolgerung

Die Versuchsergebnisse belegen, dass P-Austräge aus Wirtschaftsgrünland in Hanglagen vorwiegend auf vergleichsweise wenigen Starkregenereignissen beruhen. Im Fall von Gülledüngung erfolgen die P-Belastungsspitzen in Oberflächengewässer hauptsächlich in Form von gelöstem und damit schnell verfügbarem Phosphor. Durch

ungedüngte Randstreifen vor dem Vorfluter können die P-Austräge teilweise deutlich vermindert werden, allerdings können auch kleinräumige Bodenunterschiede diesen für den Gewässerschutz positiven Effekt überlagern.

### Literatur

- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL), 2011: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland – Gelbes Heft, 9. Unveränderte Auflage 2011, 99. S.
- BUCHGRABER, K., M. HERNDL und J. PEINTNER, 2010: Trinkwasser – Verminderte Qualität bei Nutzungsaufgabe. Der fortschrittliche Landwirt, Heft 24, 28-29.
- BUNDESGESETZBLATT, 2007: Bekanntmachung der Neufassung der Düngeverordnung vom 27. Februar 2007. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I, ausgegeben zu Bonn am 5. März 2007, 221-240.
- CZERATZKI, 1971: Saugvorrichtung für kapillar gebundenes Bodenwasser. Landbauforschung Völkenrode 21, 13-14.
- DIEPOLDER, M., F. PERETZKI, L. HEIGL und B. JAKOB, 2006: Nitrat- und Phosphorbelastung des Sickerwassers bei Acker- und Grünlandnutzung – Ergebnisse von zwei Saugkerzenanlagen in Bayern. Schule und Beratung, Heft 04/06, III-3-10. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten.
- DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2008: Abschlussbericht des Forschungsprojekts Saubere Seen 2002-2005. Internetangebot der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz ([www.lfl.bayern.de/iab/duengung/](http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/); siehe unter Rubrik Düngung und Umwelt – Gewässerschutz).
- DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2010 a: Projekt „Saubere Seen“ - Untersuchungen zu Phosphorausträgen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen. Bericht über das 2. Umweltökologische Symposium „Boden- und Gewässerschutz in der Landwirtschaft“, 79-88. Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, A-Irdning.
- DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2010 b: Leistungsfähiges Grünland und Verzicht auf mineralische Düngung – sind hohe Erträge und Futterqualitäten möglich? Schule und Beratung, Heft 3-4/10, III-13-19. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2011 a: Erträge, Futterqualität und Nährstoffgehalte des Sickerwassers bei unterschiedlicher Grünlanddüngung. Schule und Beratung, Heft 3-4/11, III-18-23. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2011 b: Nitratbelastung unter Grünlandflächen – Versuchsergebnisse aus Bayern. In: Tagungsband Internationale Tagung „Gülle 11 – Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, 190-194, Hsg. Elsässer, Diepolder, Huguenin-Eli, Pötsch, Nußbaum, Meßner, Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg.
- DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2011 c: Effekte unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität – Güllegaben und Nutzungshäufigkeit – bei einem Standort im Allgäuer Alpenvorland. In: Tagungsband Internationale Tagung „Gülle 11 – Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, 81-85, Hsg. Elsässer, Diepolder, Huguenin-Eli, Pötsch, Nußbaum, Meßner, Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg.
- EDER, G., 2000: Stickstoffauswaschung schwankt stark. Der fortschrittliche Landwirt, Heft 2, 34-35.
- POMMER, G., R. SCHRÖPEL und F. JORDAN, 2001: Austrag von Phosphor durch Oberflächenabfluss auf Grünland. Wasser & Boden, 53/4, 34-38. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.
- VOLLENWEIDER, R. and J. KERKES, 2008: Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. OECD Paris.