

Untersuchungen zum Oberflächengewässerschutz

Reduzierung des P-Austrags nach Starkniederschlägen durch ungedüngte Randstreifen bei hängigen Grünlandflächen

von Dr. Michael Diepolder und Sven Raschbacher

Bei hängigem Grünland können Starkregenereignisse nach kurz zuvor ausgebrachter Gülledüngung zu hohen Phosphorausträgen führen und stellen somit für angrenzende Oberflächengewässer eine Belastungsspitze dar. Mittels Beregnungsversuchen auf Praxisflächen konnte nachgewiesen werden, dass ungedüngte 5 m breite Randstreifen eine signifikante Reduktion der Phosphor-Konzentration im abfließenden Wasser und damit eine wesentliche Minderung des Phosphor-Austrags bei Hanglagen mit Grünlandnutzung bewirken können.

Einleitung und Problemstellung

Zielsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist bei Oberflächengewässern die Herbeiführung ihres guten chemischen und ökologischen Zustands. Sie lässt generell eine Verschlechterung der Wasserqualität nicht zu.

Bei dem mittlerweile abgeschlossenen INTERREG-III-A-Projekt „Saubere Seen“ bestand die Aufgabe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft darin, den Phosphoreintrag in den Einzugsgebieten zweier eutropher Stauseen in der Oberpfalz zu quantifizieren, Erkenntnisse über die Bedeutung einzelner Eintragspfade – speziell aus landwirtschaftlichen Nutzflächen – zu gewinnen und in die Praxis umsetzbare bzw. auch auf andere Gebiete übertragbare Optimierungsansätze zu erarbeiten. Auf zwei Projektschwerpunkte wurde bereits in vergangenen Ausgaben von „SuB“ eingegangen. Dort sind die Ergebnisse zum P-Austrag aus landwirtschaftlichen Nutzflächen (DIEPOLDER und RASCHBACHER, 2007) und aus Drainagen unter Grünland bei unterschiedlicher Gülleapplikationstechnik (DIEPOLDER et al., 2005) beschrieben.

Ein drittes Teilprojekt beschäftigte sich mit der bislang teilweise kontrovers diskutierten Frage, ob bzw. inwieweit sich bei hängigen und an Oberflächengewässern angrenzende Grünlandflächen durch ungedüngte Randstreifen eine Minderung des P-Austrags erreichen lässt. Dies speziell bei Starkregenereig-

nissen, welche kurz auf eine Gülledüngung folgen. In einer einjährigen (2004) Versuchsserie wurden zu mehreren Terminen mit einer Beregnungsanlage Starkniederschläge unterschiedlicher Intensität simuliert.

Material und Methoden

Es wurden drei Versuchsglieder hinsichtlich ihres Abflussverhaltens und P-Austrages verglichen: Eine Kontrollvariante ohne Düngung (1) sowie bei zwei mit Gülle gedüngten Varianten eine solche ohne Randstreifen (2) und eine weitere, wo zwischen der begüllten Fläche und der Abflusserfassung ein 5 m breiter ungedüngter Randstreifen (3) lag.

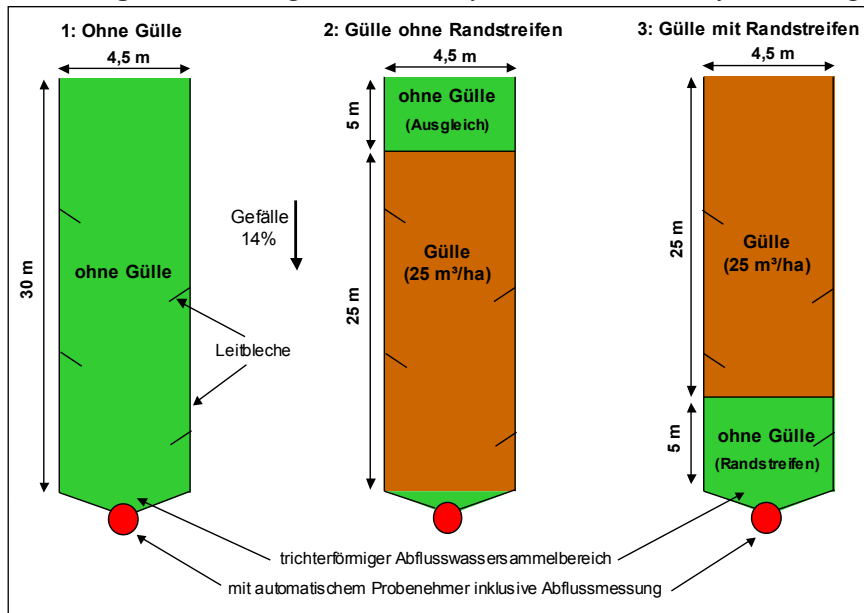
Das Versuchsprinzip und den Versuchsaufbau verdeutlichen die *Abbildungen 1* und *2*. Bei den Varianten 2 und 3 wurde die Gülle (ca. 25 m³/ha mit ca. 5,0% TS) per Hand mit einer Gießkanne kurz vor der Beregnung ausgebracht. Damit wurden durchschnittlich 12,2 kg Gesamt-P/ha (TP in Elementform) bzw. 28 kg P₂O₅/ha (Oxidform) gedüngt; knappe 30% des TP lagen als „löslicher“ - d. h. einen Mikrofilter passierbarer - Phosphor (DTP) vor.

Anzumerken ist, dass auf dem Praxis Schlag (ca. 3 ha mit 14 % Gefälle) die drei Varianten nicht zu einem einzelnen Beregnungstermin zusammen geprüft wurden. Vielmehr wurde die Untersuchungsreihe folgendermaßen durchgeführt: Während der jeweils mehrere Tage dauernden „Versuchsperioden“ vom Frühjahr bis Herbst 2004 wurde

zu den ortsüblichen Düngungsterminen (niedriger Grünlandbestand im Frühjahr bzw. kurz nach den Schnitten) pro Tag eine Variante durchgeführt. Die einzelnen Varianten waren auch nicht ortsgebunden, sondern wechselten über den Praxis Schlag, womit eine räumlich-zeitliche Randomisierung erreicht wurde. Pro Versuchsglied wurden während jeder Versuchsperiode in der Regel mehrere Wiederholungen durchgeführt. Die Versuchsanordnung erfolgte in der Weise, dass bei allen Varianten nicht nur die begüllte Fläche (25 x 4,5 m), sondern auch die beregnete Fläche (30 x 4,5 m) stets gleich war. Somit erklärt sich die in *Abbildung 1* ersichtliche Ausgleichsfläche bei Variante 2. Dadurch sollte erreicht werden, dass das Wasser bei allen drei Varianten stets über die gleiche Flächengröße läuft. Mittels eines Leitblechsystems (*siehe Abbildungen 1* sowie *2 links*) wurde das Wasser sowohl innerhalb der Versuchspartelle gehalten als auch die Ausbildung bevorzugter Fließwege entlang der Seitenleitbleche verhindert.

Mit einer Beregnungsanlage wurden künstlich Starkregenereignisse simuliert. Da während der einzelnen Versuchstage im Boden unterschiedliche Feuchteverhältnisse vorlagen, erwies es sich methodisch in Hinblick auf eine geeignete Auswertung am günstigsten, die Beregnung und Abflussmessung in folgender Weise durchzuführen: Es wurde so lange beregnet, bis der Abfluss begann und die bis dahin ausgebrachte Wassermenge festgehalten. So konnten „einheitliche

Abbildung 1: Darstellung von Versuchsaufbau, Varianten und Abflussmessung



Ausgangsvoraussetzungen“ geschaffen werden. Dann wurde die Wassermenge stufenweise um je 5 l/m^2 erhöht. Pro Stufe wurde jeweils der entsprechende Abfluss aufgefangen, dann erst weiter berechnet. Dadurch erhielt man eine einheitliche Beregnungssteigerungsreihe (5, 10, 15, 20, 25, 30 l/m^2) „nach Abflussbeginn“. Durch Stichproben wurde untersucht, ob diese gewählte Vorgehensweise zu keinen Verfälschungen führte. Dabei wurden die Wasserabflüsse und P-Frachten der „durchgehenden“ Beregnungsintensitäten mit den entsprechenden „Beregnungssteigerungsreihen“ verglichen. Es zeigte sich, dass die Parameter bei beiden Verfahren gut miteinander vergleichbar waren – die Abweichungen zwischen den Ergebnissen lagen innerhalb des natürlichen Fehlerbereiches.

Abbildung 2: Beregnungsanlage mit Windschutz und Leitblechen (links) Detailaufnahme vom trichterförmigen Abflusssammelbereich (rechts)



Die Erfassung des Wasserabflusses und die Probenahme erfolgte automatisch. Im aufgefangenen Wasser wurden die Konzentrationen an Gesamt-P (TP) und an „löslichem“, Phosphor (DTP) bestimmt. Dadurch konnten die dazugehörigen, auf einen Hektar bezogenen TP/DTP-Frachten errechnet werden.

Ergebnisse und Diskussion

Zunächst wurde bei den drei Versuchsvarianten die Beziehung zwischen der Höhe des Wasserabflusses und der TP-Fracht analysiert. Dies erfolgte für alle sechs Beregnungsintensitäten jeweils einzeln. Exemplarisch ist davon in *Abbildung 3* für zwei Beregnungsmengen (10 bzw. 20 l/m^2 nach Abflussbeginn) die Abhängigkeit der TP-Fracht von der Höhe des Wasserabflusses und der

Variante graphisch dargestellt.

Erkennbar ist bei allen Varianten ein Anstieg des ausgetragenen Gesamt-Phosphors (TP) mit zunehmendem Wasserabfluss. Es wird zudem deutlich, dass der Anstieg der TP-Fracht mit zunehmendem Wasserabfluss bei der begüllten Variante ohne Randstreifen (2) am höchsten war und sich deutlich von der Randstreifenvariante (3) und dem ungedüngten Kontrollglied (1) abhob. Im Prinzip traf dieser Sachverhalt auch auf die übrigen vier Beregnungsintensitäten zu, deren Regressionen hier nicht explizit dargestellt sind.

Somit ist bereits bei dieser Form der Auswertung – die nachstehend beschriebenen Mittelwertsvergleiche ergänzend – der positive Effekt eines ungedüngten Randstreifens ersichtlich.

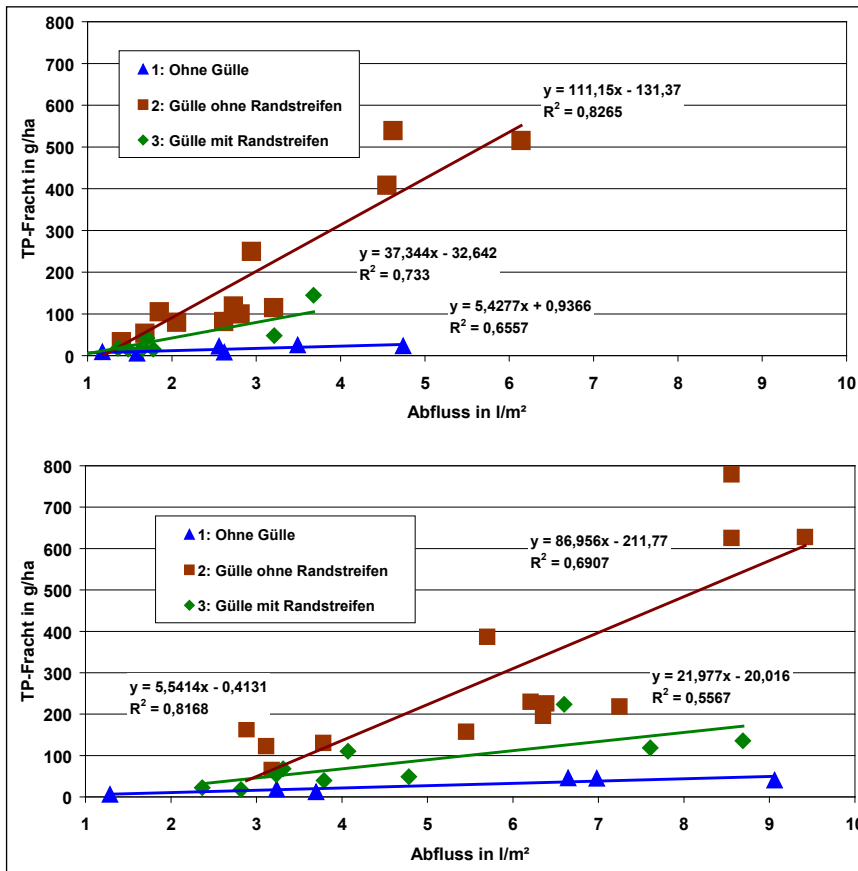
Erkennbar ist aber auch bei beiden Abbildungen die große Streuung zwischen den einzelnen Wiederholungen der Varianten. Diese Streuung erklärt sich aus der Versuchskonzeption unter Praxisbedingungen mit unterschiedlich räumlich-zeitlichen Boden- und vor allem Bodenfeuchte-Bedingungen während der Vegetationsperiode. Es wird daher verständlich, dass die Absicherung von quantitativen Aussagen zur Wirkung von Randstreifen in Form von durchgeführten Mittelwertsvergleichen nur über eine entsprechend hohe Anzahl an Wiederholungen möglich war.

Für die folgenden Betrachtungen wurden in einem zweiten Schritt der Auswertung die Einzelwerte der Wiederholungen innerhalb einer Variante und einer bestimmten Beregnungsintensität zu Mittelwerten zusammengefasst und diese unter Verwendung biometrischer Tests miteinander verglichen. In *Tabelle 1* sind Mittelwertsvergleiche für verschiedene Parameter dargestellt.

Wirkung des Randstreifens bei Starkregen

Bezogen auf die über die Gülle ausgebrachte durchschnittliche TP-Menge von $12,2 \text{ kg/ha}$ ließen sich die mit dem

Abbildung 3: Beziehung zwischen Abflussmenge und P-Fracht (TP) bei den drei Varianten bei Berechnungsmengen von 10 l/m² (oben) und 20 l/m² (unten) nach Abflussbeginn



Oberflächenabfluss ausgetragenen „scheinbaren“, das heißt berechneten mittleren TP-Verluste ohne Randstreifen [(Variante 2 – Variante 1)/Dünge-TP] auf 1,2 % bei der niedrigsten und auf 4,2 % bei der höchsten Berechnungsstufe quantifizieren.

Aus *Tabelle 1* kann entnommen werden, dass die Anlage eines 5 m breiten ungedüngten Randstreifens zwischen der begühten Fläche und der Auffangvorrichtung (*siehe Abbildungen 1 und 2*) bei allen Berechnungsstufen eine signifikante Minderung der Konzentrationen an Gesamtphosphor (TP) bzw. löslichem Phosphor (DTP) des abgeflossenen Wassers bewirkte. Dadurch konnte eine erhebliche Reduzierung der ausgetragenen P-Frachten erreicht werden. Es wurde zudem durch den ungedüngten Randstreifen umso mehr Phosphor (sowohl Gesamt-P als auch löslicher Phosphor) auf dem Grünland zurückgehalten, je intensiver beregnet

wurde. So lag der Rückhalt bei Beregnungsmengen von 5 - 10 l/m² nach Abflussbeginn in einer Größenordnung von ca. 135 - 155 g TP/ha und stieg bei Beregnungsmengen von 25 - 30 l/m² auf 340 - 365 g TP/ha an. *Abbildung 4* zeigt die oben erläuterten Zusammenhänge zwischen durchschnittlicher TP-Fracht, Variante und Beregnungsmenge.

Aus *Tabelle 1* ist ferner ersichtlich, dass innerhalb der sechs Beregnungsstufen sich die Differenzen der mittleren P-Frachten zwischen den drei Varianten fast ausschließlich auf Unterschiede in der P-Konzentration zurückführen ließen und nicht auf unterschiedliche Wasserabläufe zwischen den Varianten. Dies kann auch als ein Indiz für die Güte der gewählten Versuchsdurchführung gelten.

Randstreifen und ungedüngt

Rein statistisch gesehen bestanden weder bei den P-Frachten noch bei den P-Konzentrationen Unterschiede

zwischen der Variante mit Randstreifen und der ungedüngten Kontrolle. Dennoch geht zumindest tendenziell aus den Ergebnissen deutlich hervor, dass der Randstreifen den gedüngten Phosphor nach einem Starkniederschlag nicht vollständig zurückhalten konnte. Konzentrationen und Frachten lagen rund um das zwei- bis fünffache über der ungedüngten Kontrollvariante.

Ergänzend sei noch hinzugefügt, dass die simulierten Starkregenereignisse auf hängigen Grünlandflächen bereits ohne vorherige Güledüngung zu oberflächlichen P-Austrägen führten. Im Versuch wurden mit zunehmender Beregnungsmenge Frachten von 8 - 39 g/ha Gesamt-P (TP) gemessen. Die TP-Konzentration des abgeflossenen Wassers lag überwiegend bei rund 500 - 600 µg TP/l. Würde – rein hypothetisch betrachtet – ein Gewässer ausschließlich aus diesem Oberflächenabfluss (ohne vorherige Düngung!) gespeist, so läge damit seine P-Konzentration um das 25 - 30fache höher als der Grenzwert von 20 µg TP/l, den VOLLENWEIDER (1982) für eine tragbare Belastung des Gewässerzuflusses angibt.

Abfluss und P-Fractionen

Von der durch die künstliche Beregnung ausgebrachten Wassermenge flossen durchschnittlich in Abhängigkeit von Variante und Regenintensität oberflächlich nur 3 % bis 23 % ab; überwiegend betrug der Oberflächenabfluss unter 10 % der Niederschlagshöhe.

Interessant ist, dass der ausgetragene Phosphor bei allen Beregnungsintensitäten vorwiegend (meist zu ca. 60 - 70 %) aus löslichem Phosphor bestand, mit leicht zunehmender Tendenz bei höheren Niederschlagsmengen. Unterschiede zwischen den drei Varianten bestanden jedoch kaum; nur der Anteil an DTP bei der ungedüngten Kontrolle war tendenziell geringfügig etwas höher, er ließ sich jedoch in keinem Fall absichern.

Dieses Resultat eines P-Austrag in über-

Beratung und Bildung

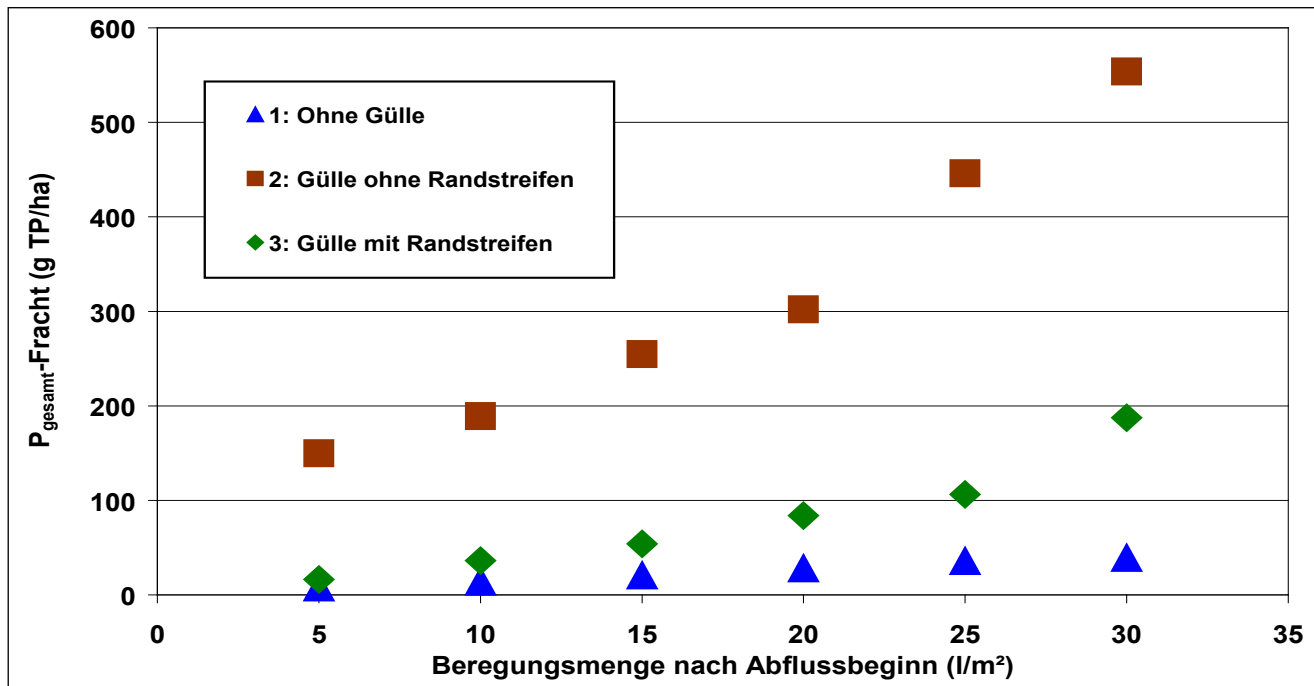
Abbildung 4: $\bar{\varnothing}$ P-Fracht (TP) in Abhängigkeit von Variante und Beregnungsmenge

Tabelle 1: Mittlere Beregnungsmengen, Wasserabflüsse, P-Konzentrationen und P_{gesamt} -Frachten sowie Anteil der löslichen P-Fracht an der TP-Fracht der drei Varianten bei unterschiedlichen Beregnungsmengen nach Abflussbeginn (unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikant unterschiedliche Mittelwerte)

Parameter	Varianten	Beregnungsmenge nach Abflussbeginn (l/m²)					
		5	10	15	20	25	30
Anzahl Messungen (n)	1: ohne Gülle 2: Gülle ohne Rand. 3: mit Randstreifen	7 12 10	7 13 10	6 12 9	6 13 10	5 8 8	3 7 8
$\bar{\varnothing}$ Beregnungsmenge _{insgesamt} (l/m²)	1: ohne Gülle 2: Gülle ohne Rand. 3: mit Randstreifen	37,1 ^a 28,8 ^a 31,0 ^a	42,1 ^a 35,4 ^a 36,0 ^a	45,0 ^a 38,8 ^a 37,8 ^a	50,0 ^a 45,0 ^a 45,0 ^a	50,0 ^a 41,3 ^b 46,3 ^{ab}	53,0 ^a 45,0 ^b 50,6 ^{ab}
$\bar{\varnothing}$ Abflussmenge (l/m²)	1: ohne Gülle 2: Gülle ohne Rand. 3: mit Randstreifen	1,3 ^{ab} 1,9 ^a 0,8 ^b	2,4 ^a 2,9 ^a 1,8 ^a	3,5 ^a 4,3 ^a 3,0 ^a	5,2 ^a 5,9 ^a 4,7 ^a	7,5 ^a 7,8 ^a 6,1 ^a	9,2 ^a 10,1 ^a 9,3 ^a
Verhältnis Abfluss zu Beregnung (%)	1: ohne Gülle 2: Gülle ohne Rand. 3: mit Randstreifen	4 ^{ab} 8 ^a 3 ^b	5 ^a 7 ^a 5 ^a	6 ^a 8 ^a 5 ^a	11 ^a 14 ^a 11 ^a	7 ^a 9 ^a 7 ^a	18 ^a 23 ^a 19 ^a
$\bar{\varnothing}$ P_{gesamt} -Konzentration (mg TP/l)	1: ohne Gülle 2: Gülle ohne Rand. 3: mit Randstreifen	0,7 ^b 6,6 ^a 1,6 ^b	0,6 ^b 5,7 ^a 1,6 ^b	0,6 ^b 5,3 ^a 1,6 ^b	0,5 ^b 4,7 ^a 1,7 ^b	0,5 ^b 5,3 ^a 1,6 ^b	0,4 ^b 5,1 ^a 1,8 ^b
$\bar{\varnothing}$ $P_{\text{löslich}}$ -Konzentration (mg DTP/l)	1: ohne Gülle 2: Gülle ohne Rand. 3: mit Randstreifen	0,4 ^b 3,7 ^a 1,0 ^b	0,4 ^b 3,4 ^a 1,0 ^b	0,4 ^b 3,3 ^a 1,0 ^b	0,4 ^b 3,1 ^a 1,2 ^b	0,3 ^b 3,5 ^a 1,1 ^b	0,3 ^b 3,5 ^a 1,3 ^b
$\bar{\varnothing}$ P_{gesamt} -Fracht (g TP/ha)	1: ohne Gülle 2: Gülle ohne Rand. 3: mit Randstreifen	8 ^b 150 ^a 16 ^b	14 ^b 189 ^a 33 ^b	21 ^b 255 ^a 54 ^b	28 ^b 302 ^a 84 ^b	36 ^b 446 ^a 106 ^b	39 ^b 554 ^a 188 ^b
$\bar{\varnothing}$ $P_{\text{löslich}}$ -Fracht (g DTP/ha)	1: ohne Gülle 2: Gülle ohne Rand. 3: mit Randstreifen	6 ^b 85 ^a 10 ^b	10 ^b 114 ^a 21 ^b	15 ^b 160 ^a 35 ^b	22 ^b 200 ^a 59 ^b	26 ^b 299 ^a 72 ^b	31 ^b 380 ^a 142 ^b
$\bar{\varnothing}$ DTP-Anteil an TP-Fracht (%)	1: ohne Gülle 2: Gülle ohne Rand. 3: mit Randstreifen	62 ^a 59 ^a 58 ^a	65 ^a 61 ^a 61 ^a	69 ^a 63 ^a 61 ^a	72 ^a 67 ^a 67 ^a	73 ^a 66 ^a 64 ^a	78 ^a 66 ^a 68 ^a

wiegender Form von leicht löslichem (und damit sehr reaktivem) Phosphor ist auch ist auch aus folgenden Gründen bemerkenswert: Zum Einen besteht der in der Michviehgülle enthaltene Phosphor vorwiegend (ca. 65 - 75 %) aus partikulärem Phosphor. Zum Anderen zeigen die Beregnungsversuche über drainiertem Grünland (DIEPOLDER, RASCHBACHER et al., 2005), dass bei Gülledüngung mit dem Pralltellerverfahren durchschnittlich 60 % des durch Starkregen vertikal ausgetragenen Phosphors in partikulärer Form vorlag, bei der flachen Gülleinjektion waren es immerhin etwas über 45 %. Daraus ergibt sich folgende mögliche Interpretation: Starkregenereignisse führen bei drainiertem, kurz vorher mit Gülle gedüngtem Wirtschaftsgrünland zu einem „Durchdrücken“ partikulärer Teile im Makroporensystem. Beim Oberflächenabfluss kommt es hingegen verstärkt zu einem „Auskämmeffekt“ durch die Grasstoppeln, so dass im Abfluss vorwiegend leicht löslicher Phosphor zu finden ist. Jedenfalls scheinen Starkniederschläge auf hängigem Grünland vorzugsweise P-Konzentrations- bzw P-Frachtspitzen in angrenzende Gewässer zu bewirken, die schnell für Umsetzungsprozesse verfügbar sind.

Fazit

Starkregenereignissenach Gülledüngung führen in hängigem Gelände zu einem erheblichen Anstieg der P-Konzentration des vom Grünland abfließenden Wassers. Im Versuch betrug die Konzentrationszunahme im Mittel ungefähr das Zehnfache gegenüber der ungedüngten Kontrollvariante. Damit ging bei Gülledüngung (ohne Randstreifen) in Abhängigkeit von der Niederschlagsintensität ein mittlerer P-Austrag von 0,15 bis 0,55 kg Gesamt-P (TP), entsprechend 0,34 bis 1,27 kg P₂O₅ einher. Aus den Ergebnissen geht jedoch ebenfalls hervor, dass bei hängigem Grünland ungedüngte fünf m breite Randstreifen eine signifikante Reduzierung des P-Eintragspfades „Oberflächenabfluss vom Grünland“ bewirken und damit einen wertvollen Beitrag zum Gewässerschutz leisten können. Dies gerade in Gebieten, die

durch hängige Flächen und eine hohe Gewässerdichte geprägt sind.

Hinweis

Der komplette 130seitige Forschungsbericht des Projektes „Saubere Seen 2002 - 2005“ findet sich unter der Adresse www.lfl.bayern.de/iab/duengung/ im Internet-Angebot des Instituts für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (IAB) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) unter der Rubrik „Düngung und Umwelt – Gewässerschutz“.

Danksagung

Den Autoren ist es ein Anliegen, allen Personen und Institutionen, die an diesem Forschungsprojekt mitgearbeitet haben, auch auf diesem Wege ganz herzlich zu danken. Ein Projekt dieser Größenordnung ist ohne Drittmittelfinanzierung nicht durchführbar. Besonderer Dank gehört daher unserem Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten sowie der Europäischen Union, welche jeweils 50 % der Kosten dieses Interreg-III-A-Projektes trugen.

Literatur

DIEPOLDER, M., RASCHBACHER, S. & EBERTSEDER, TH.: P-Austrag aus Draina-

gen unter Wirtschaftsgrünland – Versuchsergebnisse bei Düngerapplikation unmittelbar vor einem Starkregenereignis. „Schule und Beratung“, Heft 12/05, Seite III-6 ff, Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München, 2005.

DIEPOLDER, M. und RASCHBACHER, S.: Quantifizierung von P-Austrägen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen – Ergebnisse eines Forschungsprojektes. „Schule und Beratung“, Heft 8-9/07, Seite III-5 ff, Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München, 2007.

DIEPOLDER, M. und RASCHBACHER, S.: Abschlussbericht des Forschungsprojektes Saubere Seen 2002 - 2005. Internetausgabe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (www.lfl.bayern.de/iab/duengung/; siehe unter Rubrik Düngung und Umwelt – Gewässerschutz), 2008.

VOLLENWEIDER, R. und KEREKES, J.: Eutrophication of waters, monitoring, assessment and control. OECD Paris, 2008.

Dr. Michael Diepolder, Landwirtschaftsober-
rat; Sven Raschbacher, Landwirtschaftsamt-
mann; beide Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie,
Ökologischen Landbau und Bodenschutz,
Lange Point 12, 85354 Freising □