

### Nährstoffauswaschung aus dem Grünland und Gewässerbelastung

Von Gerhard Voigtländer  
(Eingegangen: 21. 9. 1977)

*Smaller quantities of plant nutrients are leached from permanent grassland than from intensively managed arable land. Nevertheless considerable amounts of nitrogen may be leached or washed down from slopes together with other nutrients if the stocking rate exceeds 3 livestock units per ha and if liquid manure is applied outside the vegetation period. Proposals are made which may be suitable to maintain water pollution connected with intensive livestock management on permanent grassland as low as possible.*

Vergleicht man Grünland mit Ackerland, dann ergeben sich im Hinblick auf die Nährstoffauswaschung für das Grünland einige Vorteile:

1. Die geschlossene, ausdauernde Pflanzendecke ist vom Beginn bis zum Ausklingen der pflanzlichen Entwicklung in der Lage, Nährstoffe aufzunehmen und vor der Auswaschung zu bewahren.
2. Der Gesamtdüngeraufwand liegt in der Bundesrepublik auf dem Grünland niedriger als auf dem Ackerland, ganz besonders der Handelsdüngeranteil. Dementsprechend zeigen die Ergebnisse von Bodenuntersuchungen, daß das Grünland durchschnittlich schlechter mit Nährstoffen versorgt ist als das Ackerland. Hierin ist insofern ein Vorteil zu sehen, als eine Verlagerung und Auswaschung von Düngernährstoffen umso mehr zu befürchten sind, je besser versorgt der Boden mit dem betreffenden Nährstoff ist.
3. Die Erosionsgefährdung von Grünlandflächen ist bis auf extreme Hanglagen gering. Das ist deswegen von Bedeutung, weil nach verschiedenen Autoren Düngerphosphorsäure auch aus Ackerböden praktisch nicht ausgewaschen wird, sondern nur in Form gebundener Phosphorsäure mit dem Boden abgeschwemmt werden kann. Es kommt hinzu, daß die erosionsgefährdeten Hanglagen unter Grünland praktisch nie gedüngt werden und meistens auch von Natur aus nährstoffarm sind.

Nachteile von Grünland gegenüber Ackerland ergeben sich insofern, als die ziemlich ausgedehnten Grünlandlagen in den Auen großer Flüsse, aber auch in Moorgebieten, grundwassernah und überschwemmungsgefährdet sind. So besteht die Gefahr, daß Dungstoffe direkt in die Gewässer gelangen. Auch die bereits erwähnten Hanglagen können bewirken, daß organische Dungstoffe aus den Lägern der geälpten Tiere oder aus schlecht gefaßten Dungstätten zu Tal gehen und letzten Endes ins Grundwasser geraten. Die hier in Frage stehenden Mengen dürften jedoch kaum ins Gewicht fallen, wenn man daran denkt, wieviel Haus- und Siedlungsabwässer mit ihren hohen

N- und P-Gehalten heute noch direkt und ungeklärt in Bäche und Flüsse eingeleitet werden.

Nun zu einigen konkreten Ergebnissen. Wenn man die Literatur daraufhin durchsieht, muß man feststellen, daß für das Dauergrünland nicht allzuviel vorliegt. Auch die ziemlich zahlreichen Lysimeterversuche wurden mehr mit Ackerböden und Ackerkulturen als unter Dauergrünland durchgeführt. Ich beziehe mich im folgenden hauptsächlich auf Untersuchungen und Zusammenstellungen von *Amberger* [1], *Czeratzki* [2], *Haber* [3], *Koblet* [4], *Kuntze* [5], *Küntzel* und *Zimmer* [6], *Schreiber* [7], *Vetter* und *Klasink* [8] und auf verschiedene von ihnen zitierte Autoren sowie auf eigene Beobachtungen.

Zunächst zum Stickstoff. Nach *Czeratzki* [2] läßt sich für mittel- und westeuropäische Klimaverhältnisse folgende Wichtung der Einflußgrößen auf die N-Auswaschung vornehmen: Art und Dauer des Bewuchses > Bodenart > Durchlässigkeit des Bodens > Bodenvorrat (in diesem Fall Humusgehalt) > N-Mobilisierungs- und Festlegungsvermögen des Bodens > aktuelle N-Düngung (Höhe, Art, Zeitpunkt). *Kolenbrander* [zit. in 2] fand auf Lehmboden unter Dauergrünland 1/6 der Nitratauswaschung von Ackerland; auf Sandboden betrug die Relation 9 kg zu 60 kg/ha. Weitere Ergebnisse enthält Tab. 1.

Tab. 1: N-Auswaschung auf Acker- und Dauergrünland (nach *Kolenbrander*).

Lysimeterbewuchs	%-Teilen < 16 µ	N-Düngung kg/ha/Jahr	N mg/l	N-Auswaschung kg/ha/Jahr
Dauergrünland	60	150	1,1	5
Dauergrünland	0	240	2,1	13
Ackerland	23	50	10,5	32

*Klett* und *Koepf* [zit. in 2] stellten im Einzugsgebiet der Stockacher Aach eine Auswaschung von 18 kg N/ha für Ackerland, 1,1 kg/ha für Grünland und damit ein wesentlich weiteres Verhältnis als *Kolenbrander* fest. Als Faustzahl kann man annehmen, daß Dauergrünland auch bei intensiver Düngung 10% und weniger der N-Auswaschung von vergleichbarem Ackerland aufweist.

Die bisher genannten Zahlen galten für Mineralböden. Im Gegensatz zu diesen verhältnismäßig geringen Mengen kann die bodenbürtige Stickstofflieferung und damit auch die Auswaschung aus stickstoffreichem Niedermoor ganz beträchtlich sein. So stellten wir auf Mähweiden im Erdinger Moos ohne jede mineralische oder organische N-Düngung bei nur geringem Weißkleeanteil, jedoch mit PK-Düngung,

einen nachhaltigen jährlichen Entzug um 400 kg N/ha in der Erntemasse fest. Es ist anzunehmen, und aus Ergebnissen auf ähnlichen Standorten auch zu schließen, daß aus solchen Böden in milden und niederschlagreichen Wintern überdurchschnittliche Stickstoffmengen ausgewaschen werden.

Es ist auch wahrscheinlich, daß unter kleereichen Grünlandnarben mehr Stickstoff ausgewaschen wird als unter grasreichen. Allerdings sind mir dazu keine exakten Vergleichsversuche bekannt. Jedenfalls konnten verschiedene Autoren eine verstärkte Auswaschung nach dem Anbau von Erbsen und Futterleguminosen feststellen (siehe auch Tab. 2).

Tab. 2: Einfluß von Klee, Gras und Brache auf die N-Auswaschung (nach Low und Armitage zit. in 2).

Zeitraum	N-Auswaschung kg/ha		
	Weißklee	Wiesen- fuchsschwanz	Brache
1951/52	38	5,0	137
1952/53	27	1,8	114
1953/54	26	1,3	113
1954/55	60*	3,9	105
1956	131**	2,0	41

\* Klee absterbend  
\*\* Klee entfernt

Da die Freisetzung des Leguminosenstickstoffs durch Bakterien unabhängig vom Pflanzenwachstum erfolgt, kann das Angebot dieses Stickstoffs nach Menge und Zeit unkoordiniert zum Stickstoffbedarf der Pflanzen verlaufen, z. B. im Herbst, wenn auf dem Ackerland keine Pflanzendecke vorhanden ist und auf dem Grünland das Wachstum stark nachläßt. Da auf dem Dauergrünland immerhin noch eine lebendige Grasnarbe vorhanden ist, könnte man annehmen, daß die Auswaschung von Leguminosenstickstoff auf dem Dauergrünland weniger ins Gewicht falle als auf dem Acker. Dem widerspricht der Befund von *Kolenbrander* [zit. in 2], allerdings auf Sandboden, nach dem während der Vegetationsruhe gedüngter Stickstoff bis zu 40% ausgewaschen werden kann. Nahezu gleiche Werte teilt *Furrer* [9] mit (siehe Abb. 1).

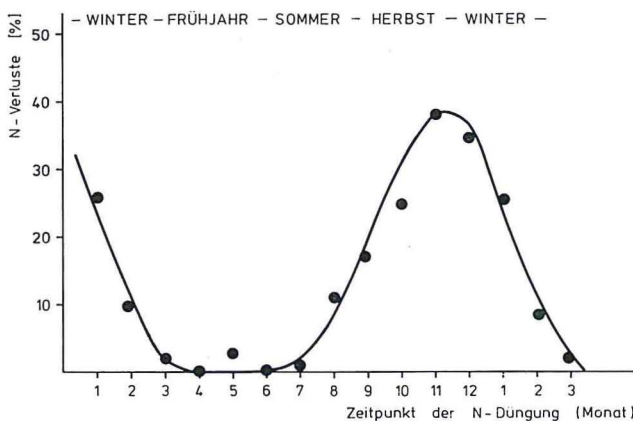


Abb. 1: Verluste an Dünger-Stickstoff in Abhängigkeit vom Zeitpunkt des Ausbringens [9].

Daß der Kleeanteil für die Stickstofflieferung nicht ohne Bedeutung ist, geht aus eigenen Ergebnissen

hervor. Fanden wir doch auf einer weißkleereichen Mähweideansaat auf Mineralboden ohne mineralische und organische Stickstoffdüngung bis 400 kg N/ha/Jahr in der oberirdischen Erntemasse.

In engem Zusammenhang mit der Auswaschung muß die Denitrifikation des Nitratstickstoffs gesehen werden. Obgleich der Anteil im Versuch schwer erfaßbar ist, ist doch sicher, daß sie unter anaeroben Bedingungen bei Wasserüberschuß und auf verdichteten Böden beträchtlich sein kann. Deswegen ist *Czeratzki* [2] zuzustimmen, wenn er bei gleicher Bodenart auf dem Dauergrünland eine schlechtere O<sub>2</sub>-Versorgung und höhere Denitrifikationsverluste als aus dem Ackerboden annimmt und damit z. T. die geringeren Auswaschungsverluste des Grünlandes erklärt.

Die N-Bindungsform scheint keine allzugroße Rolle bei der Auswaschung zu spielen. Nur bei sehr hohen Niederschlägen werden die Salpeterdünger stärker betroffen als Ammoniakdünger, Harnstoff und Kalkstickstoff.

Für das Dauergrünland haben auf Grund des Nährstoffkreislaufes, der in reinen Grünlandbetrieben fast geschlossen ist, die Wirtschaftsdünger eine große Bedeutung. Man kann davon ausgehen, daß die Stickstoffauswaschung aus organischen Dungstoffen größer ist als aus gleichen Handelsdünger-Stickstoffmengen, weil der Stickstoff aus Stallmist laufend, also auch während der Vegetationsruhe, mineralisiert wird, während Handelsdünger-Stickstoff nach Zeit und Menge gezielter angewendet werden kann und in der Praxis – schon aus Kostengründen – auch angewendet wird. In bezug auf die Gewässerbelastung kann also der Wirtschaftsdünger auf keinen Fall besser bewertet werden als der Handelsdünger. Zudem sind die indirekten Wirkungen des Stallmistes für den Wasserhaushalt – nämlich die Schaffung eines hohlraum- und krümelstabilen Bodens mit guter Sicker- und Speicherfähigkeit – für das Grünland nahezu bedeutungslos. Mit anderen Worten, der Stallmist ist für das Dauergrünland ein vielseitiger Nährstoffträger, aber als Humusdünger von geringer Wirkung, weil er einerseits nicht in den Boden eingebracht werden kann und weil sich andererseits eine gut gedüngte und genutzte Grasnarbe mit ihrem leistungsfähigen Wurzelsystem optimale Verhältnisse in der Rhizosphäre selber schaffen kann.

Im übrigen stellt *Vetter* [8] fest, daß Flüssigmist einer stärkeren Nährstoffauswaschung unterliegt als Festmist, weil Flüssigmist leichter abgewaschen werden kann und weil die im Flüssigmist enthaltenen Nährstoffe leichter löslich sind als die im Festmist.

Wenn man den Beitrag der Grünlandwirtschaft zur Gewässerbelastung mit Stickstoff quantifizieren will, dann kann man ihren Anteil mit 10 bis 15% des Ackerlandes schätzen. Für die Niederlande wurden folgende Anteile von Acker- und Grünland auf Sand- und Tonböden errechnet (Tab. 3).

Hierzu wird angegeben, daß zu den 29 kg N/ha der ungedüngte Boden bereits 18 kg/ha beiträgt. Die

Tab. 3: Schätzung der N-Auswaschung in den Niederlanden (nach Kolenbrander zit. in 2).

Kulturart	N-Auswaschung kg/ha		
	Sandboden	Tonboden	Durchschnitt Niederlande
Ackerland	75	36	54
Grünland	13	13	13
Durchschnitt	33	25	29

Zahlen gelten für einen durchschnittlichen und im wesentlichen von der Betriebsfläche getragenen Viehbesatz. Unter Einschluß der Massentierhaltung erhöht sich der Durchschnittswert auf 34 kg/ha. Bei den Phosphaten wird in der Schweiz damit gerechnet, daß die gesamte Landwirtschaft mit etwa 30% an der Gewässerbelastung beteiligt ist. Dabei sind aber die gedüngten Phosphate nicht von denen der Haus- und Hofabwässer getrennt. Dieselben Autoren beziffern den P-Verlust aus rein landwirtschaftlichem Kulturland auf 0,35 kg im Schweizer Mittelland und auf 0,69 kg P/ha in den Voralpengebieten. Unter 1 kg P/ha/Jahr liegen die Angaben von allen anderen Autoren, ohne daß ein Unterschied zwischen Acker- und Grünland gemacht wird (Tab. 4).

Nur Köhnlein u. M. [zit. in 7] geben für landwirtschaftlich genutzte Böden Maximalwerte von 1 kg P/ha/Jahr an. Es sei erwähnt, daß in Lysimeterversuchen deutlich höhere Werte festgestellt werden.

Die an sich schon geringen P-Mengen entstammen nach einheitlicher Meinung aber nicht einer direkten Auswaschung aus dem Boden, sondern zum größten Teil aus abgeschwemmtem Bodenmaterial, in dem sich gebundene Phosphate befinden. Ein direkter bodenbürtiger Austrag gelöster Phosphate ist offenbar, weitgehend unabhängig von der Bewirtschaftung, umso geringer, je kalkreicher Böden und Gesteinsuntergrund sind. So ermittelten Klett und Koepf (zit. in 7), daß aus kalkreicher Jungmoräne 6 g P/ha, aus tiefgründig entkalkter Altmoräne bis 20 g gelöste Phosphate je ha und Jahr in den Bodensee gelangen. Alle diese Angaben deuten darauf hin, daß die direkte P-Auswaschung aus Dauergrünland nicht ins Gewicht fällt, da der Bodenabtrag aus Grünlandflächen, auch in Überschwemmungsgebieten und in mäßigen Hanglagen, keine Rolle spielt. So nimmt es nicht wunder,

daß nach einer Feststellung des Instituts für Seenforschung in Langenargen die Phosphatzufuhr durch die Landbewirtschaftung aus den Landschaften um den Bodensee gegenüber früheren Jahrzehnten nicht zugenommen hat.

Auch zwei Wiesendüngungsversuche von Stocker\*) an steilen Osthängen (38 – 72% Hangneigung) bei Reichenhall und Berchtesgaden mit Jahresniederschlägen von 1500 mm deuten in die gleiche Richtung: Nach elfjähriger Versuchsanstellung war weder am Pflanzenbestand noch an den Ergebnissen der Bodenuntersuchung eine Abschwemmung von Phosphorsäure oder anderen Nährstoffen in die darunterliegenden Parzellen festzustellen. Lediglich in den Erträgen war 1962 bzw. 1965 mit über 200 mm Niederschlag jeweils im Monat nach der Düngung eine Phosphatabwaschung angedeutet Bärman [10]. Die bisherigen Angaben bezogen sich auf Mineralböden. Aus Moorböden können die P-Auswaschungsverluste bedeutend sein. So konnte Kuntze [5] im dünnbesiedelten Königsmoor im Wasser von Vorflutern eine deutliche P-Auswaschung konstatieren, weil in sauren Moorböden – ebenso in humosen Sandböden – eine P-Fällung nicht möglich ist.

Eine Ausnahmesituation kann auch dann eintreten, wenn zusätzlich zu hohen  $P_2O_5$ -Werten im Boden im Rahmen von Massentierhaltungen überhöhte Flüssigmistmengen gegeben werden, wozu sich Grünlandflächen häufig anbieten. Durch Erhebungsuntersuchungen stellte Vetter [8] fest, daß auf Sandböden schon bei Bodengehalten von 60 mg  $P_2O_5$ /100 g Boden eine Phosphatverfrachtung in größere Bodentiefen vonstatten geht, auf Tonböden ab etwa 100 mg  $P_2O_5$ . So enthielt die Bodenschicht in 60 – 90 cm Tiefe bei starker Gülledüngung 5 mg  $P_2O_5$ /100 g Boden bzw. 1000 kg  $P_2O_5$ /ha Gesamtphosphat mehr als bei schwacher Gülledüngung, ohne daß schon eine P-Anreicherung des oberflächennahen Grundwassers feststellbar war. Es fragt sich nur, wie lange man eine so massive Mistbeseitigung (hier bis 255 m<sup>3</sup>/ha) fortsetzen kann, ohne letzten Endes doch einen P-Eintrag in das Grundwasser zu bewirken.

\*) Die Versuche wurden von K. Stocker geplant, angelegt und durchgeführt und nach seinem Tode (1969) von Bärman [10] ausgewertet.

Tab. 4: Sickerverluste an Phosphaten (nach Koblet 4).

	kg P/ha	Mittel
Schweiz		
Lysimeterversuche Oerlikon nach Geering (1943)	Spur bis 0,4	
Drainagewasser Liebefeld (unveröffentlicht)	0,042 – 0,296	0,158
Arbeitsgruppe OECD bei 250 mm Wasserversickerung	0,05 – 0,72	0,22
Phosphatverlust aus landwirtschaftlichem Kulturland in untersuchten Einzugsgebieten Werte extrapoliert nach Einfach-Regressionen		
Schweiz (nach Gächter)		
Mittelland	0,35	
Voralpengebiete	0,69	
7 Länder Europas und Nordamerikas (Bericht OECD)	0,06 – 0,80	
Mittel	0,40	

Die große Masse der Grünlandflächen ist allerdings von diesen Bodengehalten und Düngermengen weit entfernt. Selbst wenn wir in der Krume von 0 – 10 cm eine gute P-Versorgung vorfinden, gehen die Gehalte schon in einer Tiefe von 10 – 20 cm in der Regel auf weniger als die Hälfte zurück, um unter 20 cm auf wenige mg oder 0 abzusinken.

Schließlich kann die Grünlandwirtschaft noch zur Belastung mit sauerstoffzehrenden Stoffen beitragen. Bei der Bereitung von Grassilage ist Sickersaftbildung meist nicht zu vermeiden, weil ein Vorwelken auf 30% TS oft nicht möglich ist. Die organische Substanz setzt sich aus niederen Fettsäuren des Gärprozesses, Aminosäuren der Proteolyse und einfachen Zuckern zusammen; sie macht etwa 75% der TS aus. Der hohe TS-Gehalt bedingt einen hohen Sauerstoffbedarf für den biologischen Abbau, so daß eine Reinigung von Sickersaft über die normalen Kläranlagen nicht praktikabel ist. Die Beseitigung des Sickersaftes geschieht deswegen meistens während der Vegetationsruhe im Gemisch mit Jauche oder Gülle und mit Mengen von 10 – 30 m<sup>3</sup>/ha. Der Zeitraum – während der Vegetationsruhe – erscheint jedoch nach allem, was bisher vorgebracht wurde, problematisch.

Die Schäden bei der Einleitung von Sickersaft in Gewässer und Grundwasser lassen sich wie folgt charakterisieren: Eutrophierung durch hohes Nährstoffangebot, besonders an P; Wachstum von Schmutzwasserpilzen, die Fischnahrung und Fischvermehrung beeinträchtigen; Fischsterben in Zusammenhang mit weiter abnehmendem O<sub>2</sub>-Gehalt und Zunahme toxisch wirkender Stoffe (organische Säuren, Ammoniak, Phenole); verstärktes Wachstum von Fäulnisbakterien, so daß das Wasser zum Tränken unbrauchbar wird *Küntzel und Zimmer* [6].

### Schlußfolgerungen

1. Die Höhe des Viehbesatzes sollte auf 3–6 DGV/ha begrenzt werden. Hierzu sei auf die Vorschläge von *Vetter* und des KTBL verwiesen.
2. Die Ausbringung von Gülle sollte auch im Grünlandbetrieb möglichst während der Vegetationszeit erfolgen, wenigstens auf leichten Böden und in Hanglagen. Hier sollte eine Düngung auf gefrorenen Boden oder auf eine Schneedecke auf jeden Fall vermieden werden, weil sonst oberflächliche Abschwemmungen eintreten.  
Die Winterausbringung könnte in gefährdeten Lagen durch die Vorschrift unterbunden werden, daß 7,5–10 cbm Grubenraum pro GV nachgewiesen werden müssen, um eine Lagerung der Gülle von 5 – 6 Monaten zu ermöglichen.
3. Die Düngung, besonders mit Gülle und mineralischem Stickstoff, ist dem Bedarf und dem aktuellen Leistungsvermögen der Grasnarbe anzupassen; Vorratsdüngung ist abzulehnen.
4. Überhöhte Bodenwerte von P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und K<sub>2</sub>O sind zu vermeiden; regelmäßige Bodenuntersuchungen sind angebracht.

5. Die wirtschaftseigene Futterproduktion ist nach Menge und Güte unter Einsatz wirtschaftseigener Düngstoffe zu verbessern. Hiermit könnte Kraftfutter eingespart und eine von Jahr zu Jahr wachsende P-Anreicherung des Nährstoffkreislaufs vermieden werden.
6. Silage-Sickersaft sollte nach sorgfältiger Sammlung, Aufbewahrung und Mischung mit Jauche in mäßigen Gaben auf die Grünlandfläche verteilt werden. Die Wirkung auf Zusammensetzung und Ertrag der Grasnarbe ist noch genauer zu untersuchen.
7. Tränkestellen auf der Weide direkt an und in Bachläufen sollten nicht mehr gestattet sein. Das Tränken sollte nur aus Tränkebecken erfolgen, die aus Weidepumpen, Wasserleitungen oder Tränkwagen gespeist werden.

### Zusammenfassung

Die Auswaschung von Pflanzennährstoffen aus dem Dauergrünland ist vergleichsweise geringer als aus intensiv bewirtschaftetem Ackerland. Dennoch können bei einem Viehbesatz von über 3 GV/ha und Ausbringung von Flüssigmist während der Vegetationsruhe erhebliche Stickstoffmengen ausgewaschen oder gemeinsam mit anderen Nährstoffen in Hanglagen abgewaschen werden. Es werden Vorschläge unterbreitet, die geeignet sein könnten, die mit intensiver Viehhaltung auf Dauergrünland verbundenen Gewässerbelastungen so gering wie möglich zu halten.

### Literaturverzeichnis

- [1] *Amberger, A.*: Belastung und Entlastung der Oberflächengewässer durch die Landwirtschaft. *Landwirtsch. Forsch.* **25**, Sh. 27/I, 13–24 (1972)
- [2] *Czeratzki, W.*: Die Stickstoffauswaschung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. *Landbauforsch. Völknerode* **23**, 1–18 (1973)
- [3] *Haber, W.*: Bedeutung des Landbaues für den Luft- und Wasserhaushalt. *Der Forst- und Holzwirt* **27**, 385–390 (1972)
- [4] *Koblet, R.*: Pflanzenbau und Umwelt. *Schweiz. landwirtsch. Forsch.* **12**, 1–19 (1973)
- [5] *Kuntze, H.*: Der Boden als Umweltfaktor. *Jb. der Wittheit zu Bremen* **18**, 189–214 (1974)
- [6] *Küntzel, U. und Zimmer, E.*: Ausmaß und Minderung von Umweltbelastungen durch Verarbeitungsrückstände der Futterkonservierung. *Ber. über Landwirtsch.* **50**, 682–692 (1972)
- [7] *Schreiber, K. F.*: Ökologische Probleme der Landschaftsnutzung und deren Konsequenzen für die Landschaftsplanung. In „8. Landwirtschaftlicher Hochschultag Mainz 1971“ (1972)
- [8] *Vetter, H. und Klasink, A.*: Einfluß starker Wirtschaftsdüngergaben auf Boden, Wasser und Pflanzen. *Landwirtsch. Forsch.* **28**, 249–268 (1975)
- [9] *Furrer, O.*: Umweltprobleme im Zusammenhang mit der Düngung. *Landw. Genoss. Kal.* 59–65 (1977)
- [10] *Bärmann, C.*: Zur Frage der Phosphatabwaschung auf Grünland in Hanglagen. *Die Phosphorsäure* **29**, Folge 1, 14–24 (1971).