

# Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumauswaschung bei Wirtschaftsdüngeranwendung im Grün- und Ackerland

G. EDER

## Abstract

In a lysimeter trial with nine lysimeter chambers investigations are made already from 1993 to 2000 about the amount of seepage water, its nutrient concentrations and the total nutrient leaching losses of  $\text{NO}_3$ , P and K. As fertilizers cattle slurry, farm yard manure, composted farm yard manure and dung water are used. The nine lysimeter variants are 4 variants with arable land and 5 variants with permanent grassland. The 4 variants from arable land are silage maize fertilized with cattle slurry from 3 large animal units per hectare, silage maize with composted farm yard manure from 3 large animal units, winter rye with cattle slurry from 2 large animal units and winter rye with composted farm yard manure from 2 large animal units. According to the Austrian Supplementary Water Law from 1990 one large cattle unit produces 60 kg nitrogen per year. The nitrogen content of the composted farm yard manure is lower than that of the original farm yard manure because of nitrogen losses during the composting period.

The five lysimeter variants with permanent grassland are grassclover fertilized with 90 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  and 200 kg  $\text{K}_2\text{O}$  of mineral fertilizer, green fallow without any fertilization, grassland fertilized with cattle slurry from 3 large animal units (180 kg N per hectare and year), grassland fertilized with composted farm

yard manure and dung water from 3 large cattle units and grassland fertilized with original farm yard manure and dung water from 3 large cattle units. See also *Table 1*. *Table 2* shows the annual amount of precipitation during the investigation period in mm and percentage of the 40-years average of 1018 mm precipitation.

On *Table 3* the annual maximum concentration and the average of  $\text{NO}_3$ -content in seepage waters of the different lysimeter chambers can be seen. The Austrian Regulation for Drinking Water Quality allows a maximum concentration of 50 ppm  $\text{NO}_3$ . This value was only exceeded once by the annual average from the variant winter rye dressed with cattle slurry in the year 1998. All other variants had an average annual nitrat concentration lower than 50 ppm in their seepage waters.

*Figure 1* and *2* shows the amounts of seepage water in mm and in percentage from the annual precipitation. *Figure 3* demonstrates the nitrogen freights in kg  $\text{NO}_3$ -N per ha and year leached out from each of these 9 lysimeter variants. Here the clear difference in nitrogen leaching losses between arable land and permanent grassland, because of the permanent ability of grassland to take up nitrogen, can be seen. The higher nitrogen leaching losses under rye than that under silage maize can be explained by the different times of fertilization of these va-

riants. Silage maize gets two thirds of its fertilization in spring, just before sowing and the third part four weeks later. But winter rye gets all its fertilization at sowing in September and during the late autumn and thaw in spring there are possibilities and time for leaching losses.

*Figure 4* depicts the P-leaching losses in gramm P per hectare and year and *Figure 5* the leaching losses of potassium in kg K per hectare and year.

## Einleitung und Fragestellung

An der BAL Gumpenstein läuft seit 1992 ein Forschungsprojekt mit dem Titel „Vergleichsuntersuchungen von landesüblichen bäuerlichen Stapel- und Kompostmisten bezogen auf die Gehalte und Mengen an Nährstoffen, Umsetzungsprozesse und ihre Wirkung auf Ertrag, Pflanzenbestand, Inhaltsstoffe des Futters sowie auf den Boden, am Grünland und am Acker in den inneralpinen Lagen“.

An diesem Projekt, welches von A. PÖLLINGER (2000) genau beschrieben wurde, arbeiten mehrere Abteilungen mit. Die Abteilung Bodenkunde betreut in diesem Projekt die sogenannte Gumpensteiner Kompostlysimeteranlage. Mit diesem Forschungsinstrument, einer gestört befüllten Lysimeteranlage, soll untersucht werden, welche Mengen an Sickerwässern die mit Stallmistkompost aus

**Tabelle 1: N-Düngung in kg N pro ha und Jahr**

Variante	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Silomais, Rindergülle 3 GVE	180 kg	180 kg	180 kg	180 kg	180 kg	180 kg	180 kg	180 kg
Silomais, Kompost 3 GVE	123 kg	154 kg	157 kg	133 kg	130 kg	80 kg	86 kg	93 kg
Winterroggen, Rindergülle 2 GVE	120 kg	120 kg	120 kg	120 kg	120 kg	120 kg	120 kg	120 kg
Winterroggen, Kompost 2 GVE	82 kg	103 kg	105 kg	100 kg	87 kg	53 kg	59 kg	62 kg
Klee gras	-	-	-	-	-	-	-	-
Grünbrache	-	-	-	-	-	-	-	-
Grünland, Rindergülle 3 GVE	121 kg*	197 kg	204 kg	153 kg	184 kg	202 kg	239 kg	198 kg
Grünland, Kompost aus Anbindehaltung+Jauche 3 GVE	84 kg*	175 kg	133 kg	189 kg	190 kg	127 kg	143 kg	148 kg
Grünland, Rottemist+Jauche 3 GVE	158 kg*	201 kg	166 kg	212 kg	175 kg	192 kg	163 kg	189 kg

\* 1. Düngung ist entfallen

**Autor:** Dr. Gerfried EDER, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, A-8952 IRDNING

Tabelle 2: Niederschlagssummen in mm und Prozenten

Versuchsjahre	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Niederschlagssumme in mm	1074	891	920	1138	1354	1164	836	1152
Niederschlagssumme in % vom langjährigen Mittel (1018 mm = 100 %)	106	88	90	112	133	114	82	113

Anbindehaltung, Rindergülle, Rottemist und Jauche gedüngten Lysimeterkammern verlassen, welche Nährstoffkonzentrationen die Sickerwässer besitzen, um so auf die Nährstoffverluste durch Auswaschung rückschließen zu können.

## Material und Methoden

Die verwendete Lysimeteranlage besteht aus neun betonierten Kammern, die mit Silolack innen ausgekleidet wurden und in welche die Bodensäulen in gestörtem Zustand im Jahr 1992 eingefüllt wurden. Das geschah in der Weise, dass der Boden am Standort in Horizonten von 10 zu 10 Zentimetern abgehoben wurde, um dann in die Lysimeterkammern wieder horizontorientiert und unter manueller Verdichtung eingefüllt zu werden.

Die Kammertiefen betragen 1 m und die quadratischen Kammeroberflächen 1 m<sup>2</sup>. Es sind das grundwasserfreie Schwerkraftlysimeter, also Lysimeter ohne künstlich angelegten Unterdruck, ohne also die Saugspannung eines langsam fließenden Grundwasserstromes zu imitieren. Der verwendete Boden ist vom Typ her eine kalkfreie Lockersedimentbraunerde aus fluvioglazialen Sedimen-

ten mit einem pH-Wert von 5,8 und einem Humusgehalt von 3,4 %. Die Bodenart ist sandiger Schluff mit 30 % Sand, 63 % Schluff und 7 % Ton. Von der Bodenart her zählt dieser Boden somit noch zu den leichteren Böden.

Die Ansaat der landwirtschaftlichen Kulturen auf diesen Schwerkraftlysimetern erfolgte im April 1993. Die durch die Bodensäulen hindurchtretenden Sickerwässer werden in Plastikgefäßen aufgefangen und durch Wiegung mengenmäßig erfasst.

Nach der Wiegung wird eine Probe gezogen, die zur Analyse ins Labor geht. Dort werden dann die Konzentrationen an Nitrit, Nitrat und Ammonium bestimmt, um so die Stickstofffrachten aus der Summe der Produkte Stickstoffkonzentrationen mal Sickerwassermenge errechnen zu können.

An landwirtschaftlichen Kulturarten werden in diesem Versuch Ackerland und Grünland verwendet. Die Varianten Ackerland bestehen aus den Feldfrüchten Mais und Winterroggen, wobei jede dieser einmal mit der Variante Kompostdüngung und einmal mit der Variante Rindergülldüngung vertreten ist. Die

Grünlandvarianten bestehen aus der Klee grasvariante, der sogenannten Grünbrache und den dreischnittigen Dauerwiesenvarianten Rindergülldüngung, Kompost+Jauchedüngung und Stallmist (Rottemist)+Jauchedüngung.

Die Düngermenge für die Ackerkultur Mais wurde am Niveau von 3 GVE gehalten, das entspricht einer Stickstoffmenge von 180 kg N pro Hektar und Jahr, wie sie in der österreichischen Wasserrechtsgesetznovelle 1990 definiert ist.

Die Düngermenge für den Winterroggen beträgt 120 kg N pro Hektar und Jahr, also ein Niveau von 2 GVE. Die Stickstoffmengen, welche auf die Kompostvarianten ausgebracht wurden, sind dementsprechend geringer, da durch die Kompostierung des Stallmistes Stickstoffverluste auftraten.

Die Klee grasvariante bekam nur eine mineralische Phosphor- und Kaliumdüngung im Ausmaß von 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und 200 kg K<sub>2</sub>O pro Hektar und Jahr, jeweils zu Vegetationsbeginn im Frühjahr ausgebracht. Die Grünbrachevariante blieb ungedüngt und die restlichen drei Dauergrünlandvarianten Rindergülldüngung, Stallmistkompost+Jauche, sowie Rottemist (Stallmist)+Jauche, wurden am Niveau von 3 GVE gedüngt.

Die Berechnung der Stickstoffdüngermengen für die letztgenannten drei Dauergrünlandvarianten unterscheidet sich jedoch von der für die Ackerkulturen.

Tabelle 3: Nitratkonzentrationen im Sickerwasser (Höchst- und Durchschnittswerte)

NO <sub>3</sub> in mg/l		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Silomais, Gülle 3 GVE	Höchstwert	65,30	69,55	43,19	51,74	78,01	78,81	42,66	8,02
	Durchschnitt	20,69	15,21	14,46	12,42	25,69	39,50	18,21	3,84
Silomais, Kompost 3 GVE	Höchstwert	30,35	13,16	15,28	27,60	51,74	68,71	35,66	6,56
	Durchschnitt	6,51	4,80	5,41	9,45	29,13	36,24	17,68	3,28
Winterroggen, Gülle 2 GVE	Höchstwert	58,17	27,91	36,46	53,87	84,26	109,69	75,89	56,79
	Durchschnitt	13,65	11,78	16,47	25,92	35,55	57,62	19,79	12,34
Winterroggen, Kompost 2 GVE	Höchstwert	37,08	20,56	33,54	60,29	139,99	147,25	51,61	35,66
	Durchschnitt	12,88	10,44	22,10	47,83	39,55	42,74	17,96	10,25
Klee gras	Höchstwert	68,35	4,30	3,15	13,11	19,94	30,26	4,56	4,25
	Durchschnitt	5,33	1,64	1,61	4,47	2,43	3,66	2,43	1,66
Grünbrache	Höchstwert	36,68	14,97	1,73	8,64	15,94	4,87	4,52	2,75
	Durchschnitt	10,25	1,53	0,89	1,45	1,64	1,92	2,96	0,90
Rindergülle 3 GVE	Höchstwert	15,77	3,46	1,64	7,00	4,78	3,41	7,93	2,30
	Durchschnitt	4,93	1,31	0,57	1,19	1,02	1,25	3,81	0,90
Kompost aus Anbindehaltung+Jauche 3 GVE	Höchstwert	13,02	6,82	3,06	5,23	9,39	5,05	9,04	2,44
	Durchschnitt	3,17	1,24	0,96	0,87	1,80	2,21	3,58	0,77
Rottemist+Jauche 3 GVE	Höchstwert	6,02	2,75	1,20	4,96	4,16	4,30	2,39	2,26
	Durchschnitt	1,76	1,31	0,96	0,93	1,24	1,30	1,32	0,71

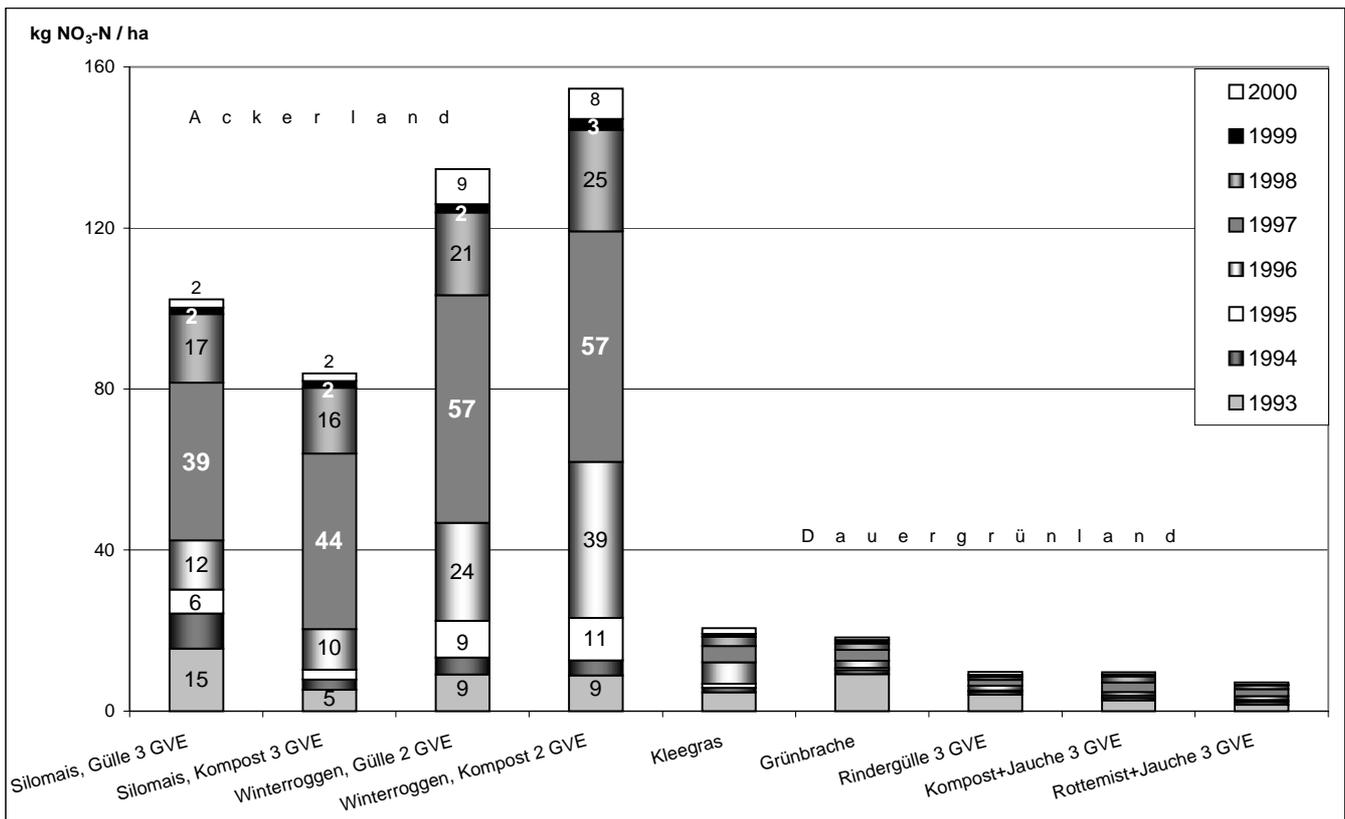


Abbildung 3: NO<sub>3</sub>-N Austrag durch Sickerwasser in Kilogramm pro Hektar

Während die Ackerkulturen die Dünger genau nach deren N-Gehalt berechnet, zu 180 kg N pro Hektar und Jahr beim Silomais mit Gülle und zu 120 kg N pro Hektar und Jahr beim Winterroggen mit Gülle bekamen, wurde bei den drei Dauergrünlandvarianten der jährliche mengenmäßige Wirtschaftsdüngeranfall pro Großvieheinheit am Betrieb erhoben und danach die auszubringende Düngermenge bemessen.

Zeitlich gesehen wurden die Dünger so ausgebracht, dass die Ackerkulturen ihre Düngung jeweils zum Anbau bekamen. Die Maisvariante Rindergülle somit jeweils im Frühjahr vor der Ansaat 120 kg N und die restlichen 60 kg N, die auf die 180 kg noch fehlten, als Kopfdüngung im Juni. Die Maisvariante Kompost bekam allen kompostierten Stallmist in einer einzigen Gabe zum Anbau. Der Winterroggen wurde ebenfalls zum Anbau, also bereits im Herbst, mit den gesamten Gülle- und Kompostmengen für das kommende Jahr versehen, was dann bei den N-Austrägen deutliche Spuren zeigt. Eine Zusammenstellung aller in den beschriebenen Versuchsjahren ausgebrachten Stickstoffmengen ist in *Tabelle 1* dargestellt.

*Tabelle 1* gibt die in kg N pro Hektar und Jahr über die Dünger ausgebrachten Stickstoffmengen an, die in aliquoten Mengen auf die Feldversuchspartellen und die 1 m<sup>2</sup> großen Lysimeteroberflächen ausgebracht wurden.

### Ergebnisse und Diskussion

Zuerst zu den Sickerwässern, die das Transportmittel für den Austrag der Nährstoffe aus dem Boden in das Grundwasser darstellen. Die Sickerwässer hängen in ihrer Menge von vielen Faktoren, wie der Niederschlagshöhe, der Niederschlagsverteilung, der Bodenart, der landwirtschaftlichen Nutzung, der Evapotranspirationsrate und anderen, ab.

In *Tabelle 2* sind die Niederschlagssummen in den Versuchsjahren in Millimeter und in Prozenten vom langjährigen Jahresmittel (=1018 mm) angegeben. Die Schwankungen reichen von 836 mm oder 82 % im Jahre 1999 bis zu 1354 mm oder 133 % im Jahre 1997. Also eine Schwankungsbreite von 51 Prozenten.

*Abbildung 1* gibt die Jahressummen der Sickerwassermengen in Millimeter an, die durch die entsprechenden Lysimetersäulen in den einzelnen Jahren hindurch-

getreten sind. Hier fällt auf, dass das Jahr 1997, es ist das das Jahr mit der bisher höchsten Niederschlagssumme, auch die höchsten Sickerwassermengen bei allen Versuchsvarianten liefert. Umgekehrt hat das Jahr mit der bisher kleinsten Niederschlagssumme, das Jahr 1999, die kleinsten Sickerwassermengen bei allen Varianten. Innerhalb der Varianten fällt auf, dass die beiden Grünlandvarianten Kleegrass und Grünbrache die höchsten Sickerwassermengen liefern. Das verwundert nicht, da sie wegen der fehlenden N-Düngung (Kleegrass) bzw. überhaupt ungedüngt, die geringste Produktion an Pflanzenmasse haben und somit auch die kleinste Evapotranspirationsrate. Daraus resultiert der geringste Wasserbedarf, was sich in den höchsten Sickerwassermengen und somit auch Grundwassererneuerungsraten unter diesen Varianten widerspiegelt.

Innerhalb der Ackerkulturen sind keine wesentlichen Unterschiede in den Sickerwassermengen festzustellen. Sie sind generell etwas geringer als die der Grünlandvarianten, da Ackerkulturen mehr Vegetationswasser benötigen als das Grünland. Der Vegetationswasserverbrauch des Winterroggens ist etwas hö-

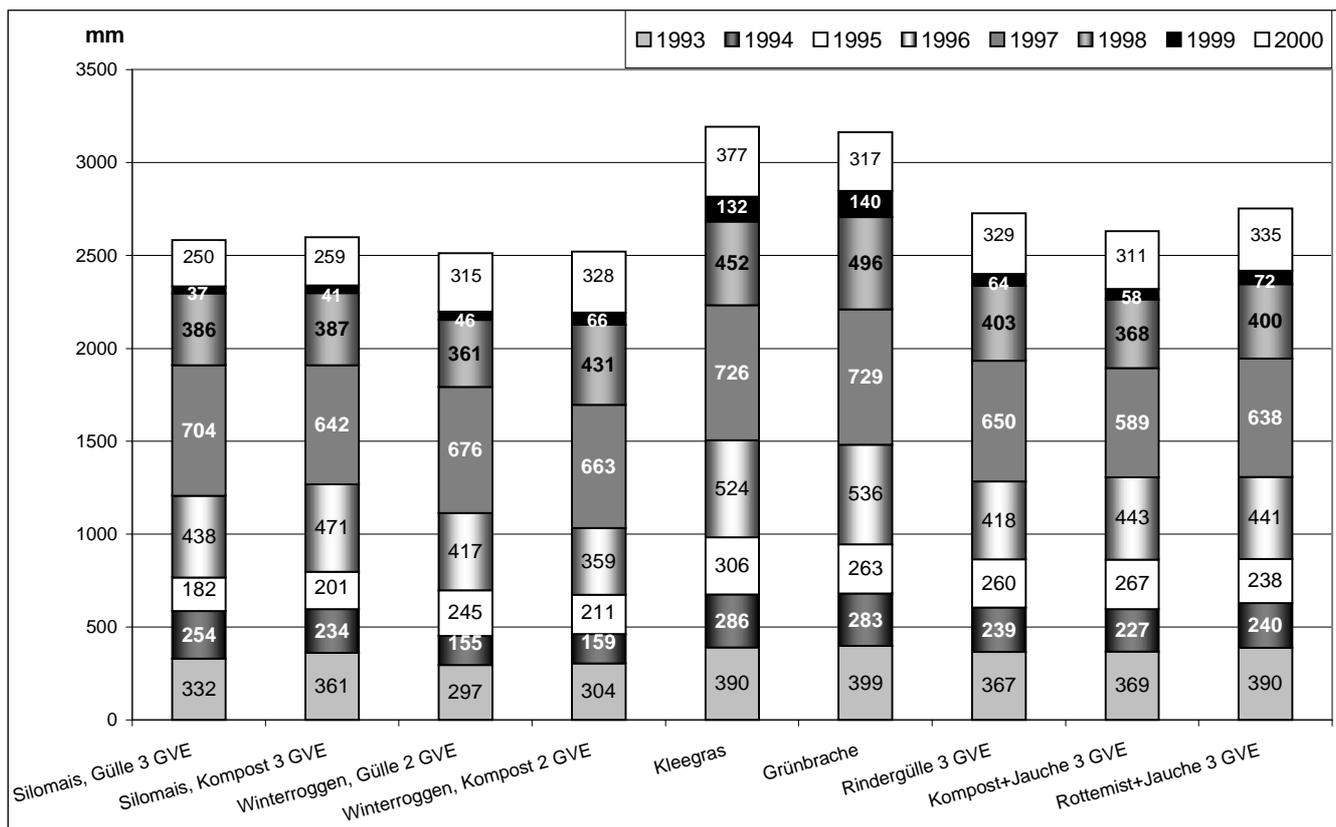


Abbildung 1: Sickerwassermengen in mm aus Acker- und Grünland in den Jahren 1993 - 2000

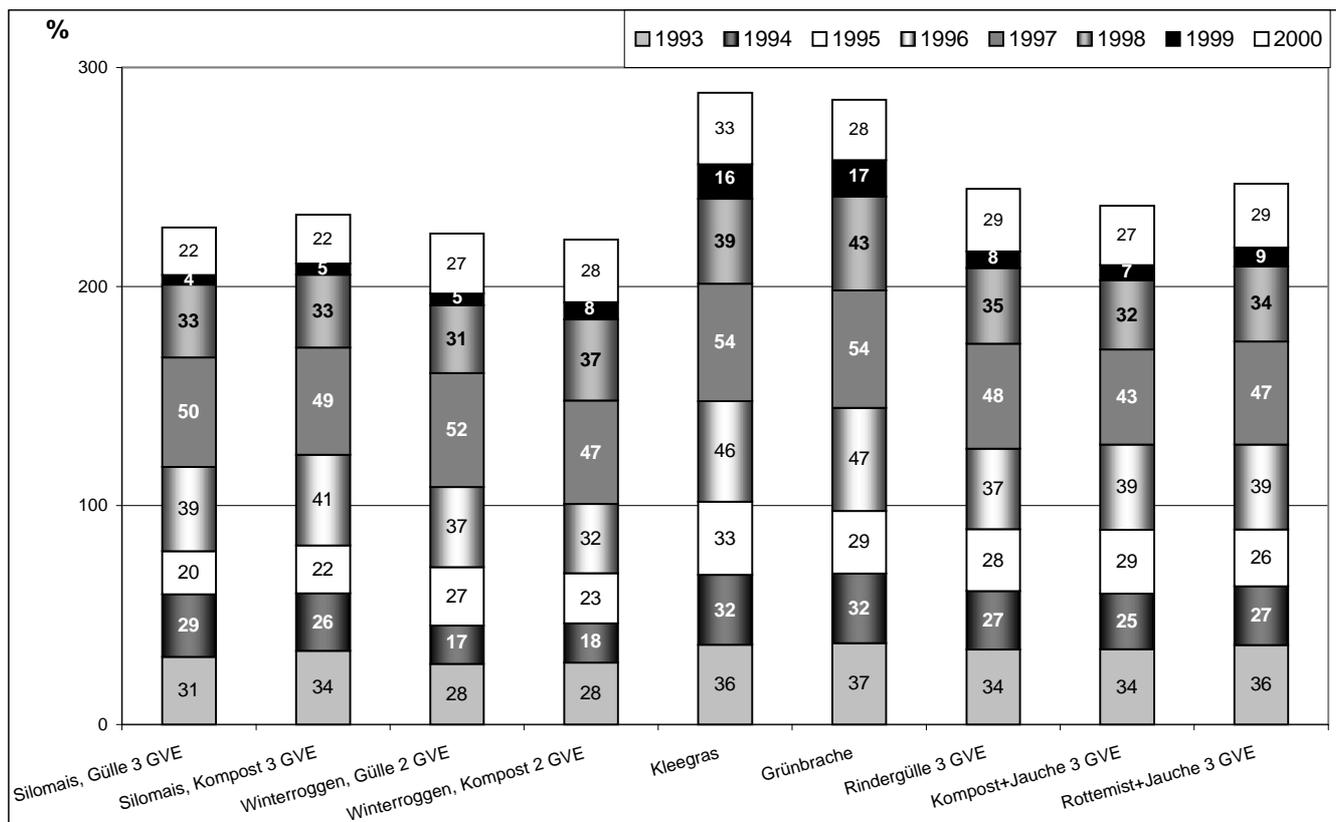


Abbildung 2: Sickerwassermengen ausgedrückt in Prozenten der jeweiligen Jahresniederschlagssumme

her als der des Silomaises (KOPEC 1993) und somit dessen Grundwassererneuerungsraten kleiner. Noch deutli-

cher kommen diese Verhältnisse zum Ausdruck, wenn man die Sickerwassermengen in Prozent des jeweiligen Jah-

resniederschlages ausdrückt, wie das in *Abbildung 2* zu sehen ist. Hier wird aufgezeigt, dass z.B. bei der Variante Silo-

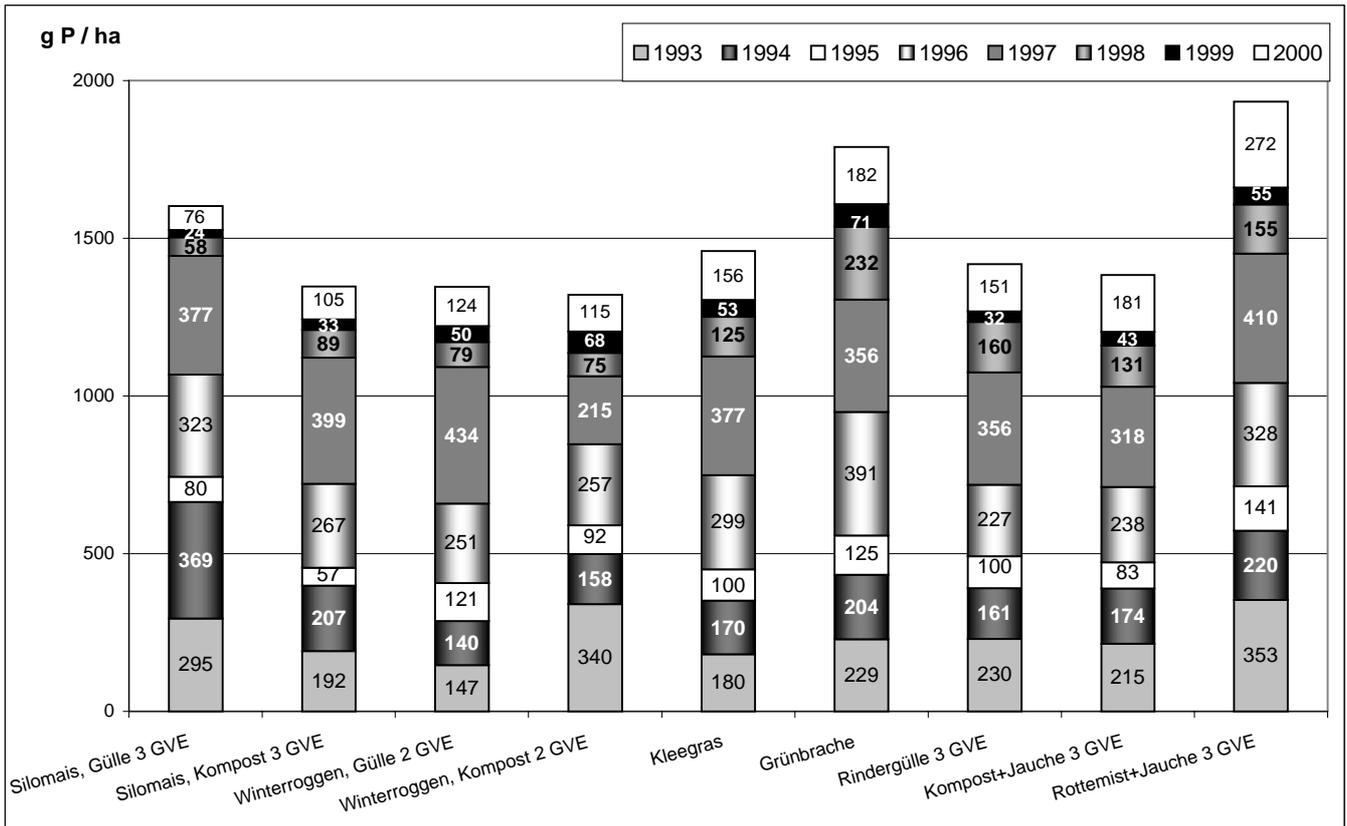


Abbildung 4: P-Austrag durch Sickerwasser in Gramm pro Hektar (1993-2000)

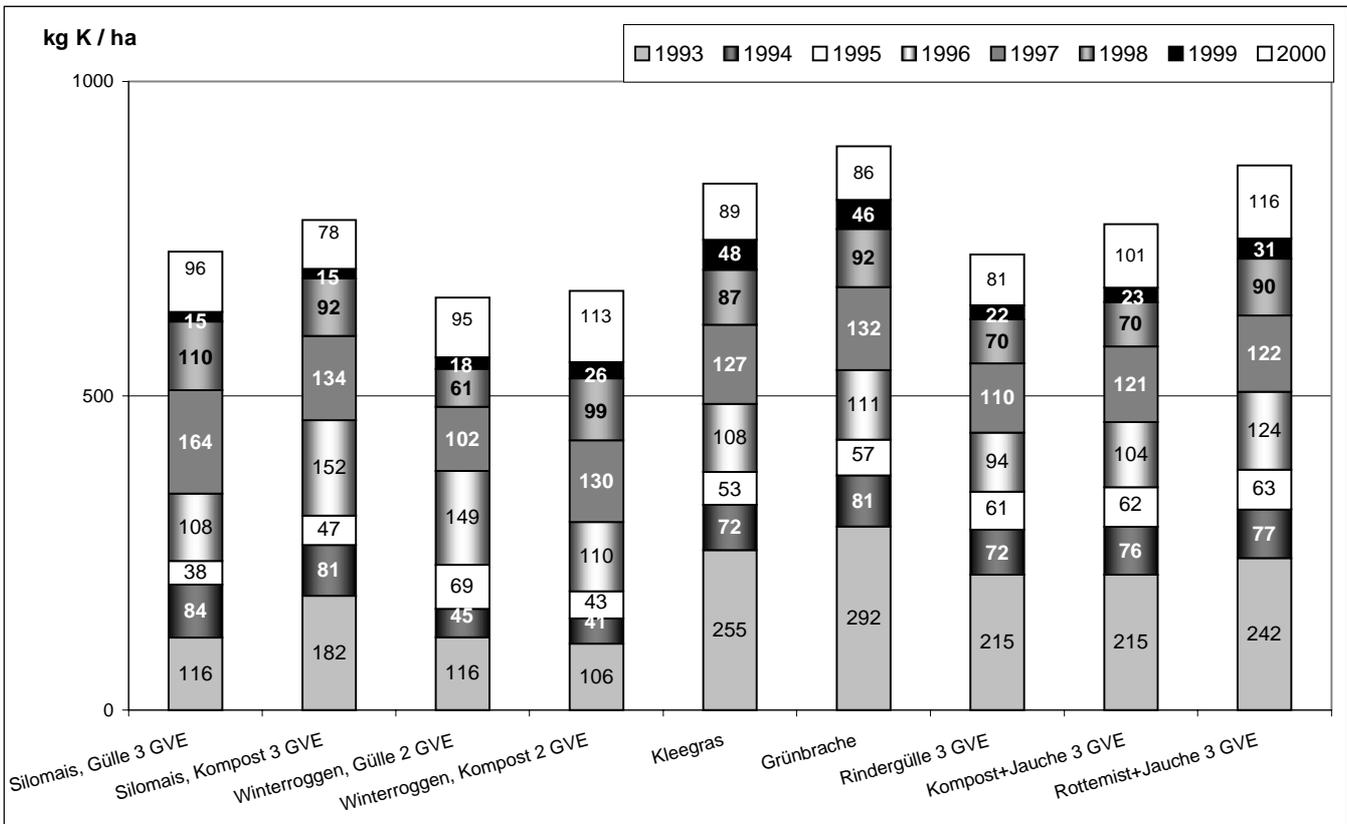


Abbildung 5: K-Austrag aus Sickerwasser in Kilogramm pro Hektar (1993 -2000)

mais mit Gülledüngung von 3 GVE im Jahr des Versuchsbeginnes 1993 31 % des Niederschlages als Sickerwasser

durch das Lysimeterprofil getreten sind, im Jahre 1997 waren es 50 % und im Jahre 1999 nur 4 %. So groß können also

die Schwankungsbereiche der Sickerwassermengen innerhalb einer Lysimetervariante sein.

Nach den Sickerwassermengen nun zu den Nährstoffausträgen, auch Nährstoffauswaschungen oder Nährstofffrachten genannt. Die Menge des jeweils ausgewaschenen Nährstoffes errechnet sich aus dessen Stoffkonzentration im Sickerwasser mal Sickerwassermenge. Hier zuerst zum Stickstoff, der in Form von Nitrit, Nitrat, Ammonium und organischen wasserlöslichen Stickstoffverbindungen ausgewaschen wird. Da im Rahmen des beschriebenen Lysimeterversuches die wasserlöslichen Stickstoffverbindungen nicht untersucht wurden, Nitrite nur in Spuren nachweisbar waren und die Ammoniumauswaschung in Bereichen unter 500 Gramm  $\text{NH}_4\text{-N}$  pro Hektar und Jahr blieb - von einer einzigen geringfügigen Überschreitung abgesehen - sollen nachfolgend einzig die Stickstoffausträge in Nitratform behandelt werden. Hier zuerst zu den Nitratkonzentrationen in den Sickerwässern. Diese sind der *Tabelle 3* zu entnehmen. Sie sind in Oxidform angegeben, in Milligramm  $\text{NO}_3$  pro Liter Sickerwasser. Der Trinkwassergrenzwert in der Trinkwassernitratverordnung beträgt 50 Milligramm  $\text{NO}_3$  pro Liter. In der *Tabelle 3* sind die jährlichen Höchst- und Durchschnittskonzentrationen angeführt, wie sie in den Sickerwässern jeder Lysimetervariante auftraten. Als Höchstwert ist die von allen Sickerwasserbewegungen eines Jahres höchste Nitratkonzentration angeführt und unter der Bezeichnung Durchschnitt der Quotient aus dem gesamten Jahresaustrag (Jahresfracht) an Nitrat, dividiert durch die gesamte Sickerwassermenge dieses Jahres. Diesem Durchschnittswert liegt die theoretische Frage zugrunde, welche Nitratkonzentration sozusagen das Grundwasser unter der, gemäß der betreffenden Lysimetervariante bewirtschafteten Fläche hätte, wenn es sich nur aus den Sickerwassermengen und Nitratfrachten des betreffenden Jahres zusammensetzte.

Der Trinkwassergrenzwert von 50 ppm  $\text{NO}_3$  wurde bei den Durchschnittswerten nur einmal mit 57,62 ppm von der Winterroggenvariante mit Gülledüngung von 2 GVE im Jahr 1998 überschritten. Sämtliche anderen Durchschnitte blieben unter diesem Grenzwert.

Die angeführten jährlichen Höchstwerte lagen bei den Ackerkulturen, wie der *Tabelle 3* zu entnehmen ist, mehrmals über diesem Grenzwert, niemals jedoch bei den Grünlandvarianten, wenn man von der Klee-grasvariante im ersten Ver-

suchsjahr 1993 absieht. In jenem lieferte diese Variante einen  $\text{NO}_3$  Höchstwert von 68,35 ppm. Hier spielt aber sicher, wie bei allen Varianten und Nitratwerten dieses Jahres, die verstärkte Stickstoffmineralisierung in den Lysimeterböden eine Rolle. Durch den gestörten Einbau war es zu einer intensiven Durchlüftung des Bodens mit nachfolgend verstärkter Stickstoffmineralisierung gekommen.

Da aus versuchstechnischen Gründen innerhalb dieses Anstaltsprojektes die üblicherweise von uns eingehaltenen zwei Jahre Ruhezeit für den Boden und den Pflanzenbestand, bevor die Lysimeter in einem Versuch eingesetzt werden, nicht eingehalten werden konnten, sind die Nitratwerte des ersten Versuchsjahres generell mit Vorsicht zu interpretieren.

Interessant sind als nächstes nun die in *Abbildung 3* zu sehenden Stickstofffrachten, welche im Versuchszeitraum aus den Lysimeterböden ausgetragen wurden. Sie sind in Kilogramm  $\text{NO}_3\text{-N}$  pro Hektar und Jahr angegeben. Beim Betrachten dieser *Abbildung 3* springt einem sofort der deutliche Unterschied ins Auge, der zwischen Ackerland und Grünland besteht. Die Auswaschungsverluste an Nitrat unter Ackerland sind ein Mehrfaches von denen unter Grünland. Innerhalb der Ackerkulturen ist wieder ein deutlicher Unterschied zwischen Silomais und Winterroggen. Silomais hat geringere Verluste, da er seine Düngung in zwei Gaben aufgesplittet, zum Anbau (2/3) und als Kopfdüngung (1/3) bekommt. Der Winterroggen jedoch erhält die gesamte Düngung zum Anbau im Herbst, sodass mehr Zeit für N-Auswaschung besteht.

Bei der Änderung des Düngungsregimes für Winterroggen, wie z.B. Aufsplitten der Düngegaben, wie das beim Mais gemacht wird, könnten die N-Auswaschungsverluste hier sicher deutlich reduziert werden.

In *Abbildung 3* fallen die hohen Austräge des Jahres 1997 auf. Der Hauptgrund dafür sind die in diesem Jahr hohen Niederschläge mit den daraus resultierenden höchsten Sickerwassermengen. Interessant ist auch, dass innerhalb der Grünlandvarianten die beiden Varianten Klee-gras und Grünbrache, obwohl nicht mit Stickstoff gedüngt, die höchsten N-Austräge haben. Bei den gedüngten Grünlandvarianten hingegen liegen die N-Frachten deutlich tiefer. Hier zeigt sich klar, was für ein großes Stickstoffein-

ungsvermögen ein hinreichend ernährter Grünlandbestand, weil standortsgemäß gedüngt, haben kann.

*Abbildung 4* bringt die Zusammenfassung der jährlichen Phosphorfrachten in Gramm pro Hektar. Da Phosphor als Minimumfaktor im Sickerwasser in Konzentrationen von Mikrogramm pro Liter auftritt, bewegen sich die jährlichen Frachten im Bereich von Gramm pro Hektar. Die deutlichen Unterschiede zwischen Ackerland und Grünland, wie sie beim Nitrataustrag zu sehen sind, kommen beim Phosphoraustrag nicht vor. Auffallend ist nur der relativ hohe Phosphoraustrag bei der Grünbrache, beim Rottemist+Jauche sowie beim Silomais mit Rindergülle. Bei der Grünbrachevariante ist dies verständlich, denn diese liefert auch die höchsten Sickerwassermengen. Bei Silomais mit Gülle von 3 GVE tritt die Erscheinung zutage, dass bei Güllegaben doch einige Mengen wasserlöslicher organischer Phosphorverbindungen mit den Sickerwässern in tiefere Bodenschichten und ins Grundwasser verlagert werden können. Für den höheren Phosphoraustrag bei der Variante Rottemist+Jauche ist derzeit kein Erklärungsmodell zur Verfügung.

Die mit Abstand höchsten Mengen an Nährstoffausträgen liefert die Kaliumauswaschung, wie sie in *Abbildung 5* zu sehen ist. Die Auswaschungsmengen werden in Kilogramm Kalium pro Hektar und Jahr angegeben. In den bisherigen sieben Versuchsjahren lagen die Auswaschungssummen bei allen Varianten über 500 kg. Innerhalb der Varianten haben wieder das Klee-gras und die Grünbrache die höchsten Kaliumausträge.

Ein deutliches Beispiel, wie sehr hohe Sickerwassermengen aus diesem Versuchsboden auch hohe Kaliumausträge verursachen. Die Kaliumausträge der anderen Varianten weisen keine wesentlichen Unterschiede sowohl nach Ackerland oder Grünland auf, noch nach den unterschiedlichen Wirtschaftsdüngertypen.

## Literatur

- KOPEC, S., 1993: Der Einfluss von Grünland und Ackernutzung auf die Nährstoffauswaschung in den polnischen Karpaten, 3. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter und ihre Hilfe zur umweltschonenden Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen“, BAL Gumpenstein, S. 49-52
- PÖLLINGER, A., 2000: Kompostprojekt Gumpenstein: Vorstellung des Projektes und Aspekte der Stoffbilanzierung, 6. Alpenländisches Expertenforum, BAL Gumpenstein, S.15-22