



Hochschule Neubrandenburg  
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften  
Studiengang Agrarwirtschaft

Erstbetreuer Prof. Dr. Bernhard Seggewiß  
Zweitbetreuer Dr. Axel Behrendt

## **Bachelorarbeit**

„Lysimeterversuch zum Einfluss unterschiedlicher  
Gaben Damwildlösung auf die Stickstoff- und Kaliumausträge“

urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2013-0923-8

von

*Dominic Richter*

September 2013

## Vorbemerkung

Innerhalb eines zwölfwöchigen Praktikums in der ZALF Forschungsstation Paulinenaue ergab sich für mich die Möglichkeit, viele Bereiche der dort praktizierten Grünland- und Moorforschung kennenzulernen. Besonders interessierte mich die landwirtschaftliche Wildhaltung in den dort vorhandenen Gattern, die zum Zwecke der Forschung betrieben wird. Wohl auch durch meine Passion zur Jagd hervorgerufen, fand ich viel Freude an der Arbeit in diesem Bereich. Da mein Interesse nicht unverborgten blieb, bot mir der Leiter der Forschungsstation Paulinenaue Herr Dr. Axel Behrendt an, in Absprache mit Herrn Prof. Dr. Bernhard Seggewiß – Professor an der Hochschule Neubrandenburg – University of Applied Sciences, meine Bachelorarbeit zum Thema Nährstoffverlagerung in Damwildgattern zu schreiben. Die nachfolgende von mir erstellte Arbeit befasst sich daher mit der Auswertung von langjährigen Lysimeterversuchen zu diesem Thema.

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinem Erstbetreuer Prof. Dr. Bernhard Seggewiß für die inhaltliche Lenkung des Themas und die Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit bedanken. Darüber hinaus möchte ich mich auch bei meinem Zweitbetreuer Dr. Axel Behrendt für die ebenfalls hervorragende Unterstützung und für die Bereitstellung der Versuchswerte und interner Materialien bedanken.

## Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung.....	II
Inhaltsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	IV
1 Einleitung .....	1
2 Material und Methoden.....	2
3 Stickstoffdynamik und -aufnahme.....	5
3.1 Kaliumdynamik und –aufnahme .....	6
4 Ergebnisse .....	7
4.1 Stickstoffeintrag.....	8
4.2 Ammonium- und Nitrataustrag.....	9
4.3 Ammonium- und Nitrataustrag in Bezug zum Sickerwasser .....	12
4.4 Trockenmasseertrag und Stickstoffentzug.....	15
4.5 Stickstoffbilanz der Lysimeter .....	18
4.6 Kaliumeintrag .....	19
4.7 Kaliumaustrag .....	20
4.8 Kaliumaustrag im Bezug auf das Sickerwasser .....	22
4.9 Trockenmasseertrag und Kaliumentzug .....	23
4.10 Kaliumbilanz der Lysimeter .....	25
4.11 Nährstoffgehalte im Sickerwasser .....	26
5 Diskussion.....	27
6 Zusammenfassung.....	33
Literaturverzeichnis .....	34
Anhang.....	37
Eidesstattliche Erklärung .....	43

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Lysimeteranlage in Paulinenaue, 2001, 30 Jahre Paulinenaue Grundwasserlysimeter-Eine Zusammenfassung Ausgewählter Ergebnisse: S. 54.....	5
Abbildung 2: Stickstoffeintrag in den Boden auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> (Mittel der Jahre 2003 bis 2011).....	8
Abbildung 3: Jährlicher Stickstoffeintrag in den Boden auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> im Versuchszeitraum 2003 bis 2011 .....	8
Abbildung 4: Ammoniumabfluss in das Grundwasser auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> (Mittel der Jahre 2003 bis 2011) .....	9
Abbildung 5: Nitratabfluss in das Grundwasser auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> (Mittel der Jahre 2003 bis 2011) .....	10
Abbildung 6: Jährlicher Nitratabfluss in das Grundwasser auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> im Versuchszeitraum 2003 bis 2011 .....	11
Abbildung 7: Jährlicher Ammoniumabfluss in das Grundwasser auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> im Versuchszeitraum 2003 bis 2011 .....	11
Abbildung 8: Einfluss der Niederschlagsmenge auf die Sickerwassermenge im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011 .....	12
Abbildung 9: Einfluss der Sickerwassermenge auf den Stickstoffabfluss in das Grundwasser im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011 .....	13
Abbildung 10: Einfluss der Sickerwassermenge auf den Nitratabfluss in das Grundwasser im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011 .....	14
Abbildung 11: Einfluss der Sickerwassermenge auf den Ammoniumabfluss in das Grundwasser im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011 .....	14
Abbildung 12: TM-Ertrag in g/m <sup>2</sup> auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> (Mittel der Jahre 2003 bis 2011).....	15
Abbildung 13: Jährliche TM-Ertrag in g/m <sup>2</sup> auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011.....	16

Abbildung 14: Stickstoffgehalt der von 1 m <sup>2</sup> geernteten Trockenmasse auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> (Mittel der Jahre 2003 bis 2011) .....	17
Abbildung 15: Jährlicher Stickstoffgehalt der von 1 m <sup>2</sup> geernteten Trockenmasse auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011 .....	17
Abbildung 16: Stickstoffbilanz der einzelnen Lysimeter im Mittel aus den Jahren 2003 bis 2011 .....	18
Abbildung 17: Kaliumeintrag in den Boden auf der simulierten Weide und Brache bei einer Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> (Mittel der Jahre 2003 bis 2011).....	19
Abbildung 18: Jährlicher Kaliumeintrag in den Boden auf der simulierten Weide und Brache bei einer Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> im Versuchszeitraum 2003 bis 2011 .....	19
Abbildung 19: Kaliumabfluss in das Grundwasser auf der simulierten Weide und Brache bei einer Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> (Mittel der Jahre 2003 bis 2011) .....	20
Abbildung 20: Jährlicher Kaliumabfluss in das Grundwasser auf der simulierten Weide und Brache bei einer Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> im Versuchszeitraum 2003 bis 2011.....	21
Abbildung 21: Einfluss der Sickerwassermenge auf den Kaliumabfluss in das Grundwasser im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011 .....	22
Abbildung 22: Kaliumgehalt der von 1 m <sup>2</sup> geernteten Trockenmasse auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> (Mittel der Jahre 2003 bis 2011) .....	23
Abbildung 23: Jährlicher Kaliumgehalt der von 1 m <sup>2</sup> geernteten Trockenmasse auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m <sup>2</sup> und 1000 g TS/m <sup>2</sup> im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011 .....	24
Abbildung 24: Kaliumbilanz der einzelnen Lysimeter im Mittel aus den Jahren 2003 bis 2011 .....	25
Abbildung 25: Gehalt an Ammonium, Nitrat und Kalium im Sickerwasser in mg/l (Mittel der Jahre 2003 bis 2011).....	26

# 1 Einleitung

Die landwirtschaftliche Wildhaltung verspürt seit ca. 30 Jahren in Deutschland einen Aufschwung, der in erster Linie auf das durch die sinkenden Tierbestände in der konventionellen Viehhaltung freiwerdende Grünland zurückzuführen ist. Desweiteren ist die optimale Nutzung von ertragsschwachen Grünlandstandorten zu nennen, denn das Wild stellt weniger große Ansprüche an den Standort, auf dem es gehalten wird.<sup>1</sup> „Bei der landwirtschaftlichen Wildhaltung handelt es sich in erster Linie um Damwildhaltung, geringere Bedeutung kommt dem Rotwild, dem Muffelwild sowie dem Sikawild und den Wildschweinen zu.“<sup>2</sup> Kritiker behaupten immer wieder, dass es bei dieser Tierhaltung auf den Flächen (insbesondere an den Zufütterungsplätzen) in den Gattern zu erheblichen Nährstoffverlagerungen und somit zu einer Beeinträchtigung des Grundwassers kommt.<sup>3</sup> Verantwortlich dafür sollen die Exkremete, die von dem Wild abgegeben werden, sein. In der Paulinenauer Versuchsreihe des ZALF wurde versucht, diese Aussage anhand der Lysimeterversuche zu widerlegen, wobei der Harn der Tiere nicht berücksichtigt werden konnte. Untersucht wurde der Austrag von Nitrat, weil die Vermutung einer besonders hohen Auswaschung bestand. Ammonium wurde aufgrund des hohen Gehaltes in der Losung betrachtet und das Kalium, weil es für die Pflanzenverfügbarkeit des freien Stickstoffs von besonderer Bedeutung ist.

Die nachfolgende Arbeit zeigt auf, wie sich die Nährstoffe nach Abgabe der Losung durch die Tiere innerhalb des Bodens verhalten und damit verbunden auch die Vegetation beeinflusst und ob sich daraus Beeinträchtigungen des Grundwassers ergeben.

---

<sup>1</sup> Golze, M. (2007): Landwirtschaftliche Wildhaltung. Eugen Ulmer KG; S. 11ff

<sup>2</sup> Golze, M. (2007): Landwirtschaftliche Wildhaltung. Eugen Ulmer KG; S. 7

<sup>3</sup> [http://www.herd-und-hof.de/index/cmd/catalogue\\_details/modul/portal/kernwert/willkommen/block/catalogue\\_1/field/1833/show/0/search//replace/1/](http://www.herd-und-hof.de/index/cmd/catalogue_details/modul/portal/kernwert/willkommen/block/catalogue_1/field/1833/show/0/search//replace/1/)

(03.09.13; 16:59 Uhr)

## 2 Material und Methoden

### Versuchsstandort ZALF Forschungsstation Paulinenaue

Die Forschungsstation Paulinenaue befindet sich im Westen des Bundeslandes Brandenburg und liegt direkt am Rande des 87.000 ha großen Rhin- und Havelluchgebietes. Das Rhin- und Havelländische Luchgebiet ist durch seine flach- bis mitteltiefgründige Niedermoorlandschaft gekennzeichnet und wird vorwiegend als Grünland genutzt. Das ZALF nutzt hier einige dieser Grünlandflächen zu Versuchszwecken, um Fragestellungen, die sich mit Grünland befassen, bearbeiten zu können. Durch die besondere Lage ist es möglich, hier Forschung auf Niedermoor, hydromorphen Mineralböden und auf Flussauengrünland zu betreiben. Zu Versuchszwecken werden in Paulinenaue mehrere Herden an Nutztierassen gehalten; unter anderem verschiedene Rinder- und Schafrassen sowie landwirtschaftlich nutzbare Wildtiere, zu denen Rotwild, Damwild und Muffelwild gehören. Außerdem gehört eine der größten Grundwasserlysimeteranlagen Europas mit 103 Einzellysimetern zu der Forschungsstation.<sup>4</sup> Die Lysimeteranlage wurde im Jahr 1968 mit etwa der Hälfte der heutigen Anzahl an Einzellysimetern in Betrieb genommen. In den Lysimetern befinden sich Bodenprofile aus 65 Niedermoorböden- und 38 Mineralböden, die hauptsächlich monolithisch entnommen wurden. Die Niedermoorböden weisen verschiedene Eigenschaften auf und finden ihren Ursprung im Havelländischen Luch, Rhinluch, in der Friedländer Großen Wiese und dem Peenehaffmoor. Die Mineralböden hingegen stammen aus der unteren Havelniederung und dem Elbstromtal bei Wittenberg.<sup>5</sup> Der Schwerpunkt der Lysimeteruntersuchungen in Paulinenaue liegt seit der Umstrukturierung im Jahr 1992 vorrangig bei der extensiven Grünlandnutzung, der Renaturierung der Niedermoore, dem Energiepflanzenanbau und dem Stoffaustrag belasteter Grünlandböden. Die Kulturen, die in den Lysimetern angebaut werden, sind Futterpflanzen, torfbildende Pflanzen und Pflanzen, die der Energiegewinnung dienen.<sup>6</sup>

Der Standort ist durch eine Jahresniederschlagsmenge von 536 mm und eine Jahresmitteltemperatur von 9,2 °C im langjährigen Mittel (1981-2010) gekennzeichnet. In der Vegetationsperiode (April-Oktober) lag die durchschnittliche Niederschlagsmenge bei 325 mm.<sup>7</sup>

---

<sup>4</sup> <http://www.zalf.de/de/forschung/services/fos/bereiche/Seiten/paulinenaue.aspx> (01.08.13; 15:00 Uhr)

<sup>5</sup> Behrendt, Axel et al (2009): Die Paulinenaue Grundwasserlysimeteranlage Entstehung, Funktion und Ergebnisse. In: Symposium 60 Jahre Wissenschaftsstandort Paulinenaue. Hrsg.: Paulinenaue Arbeitskreis Grünland und Futterwirtschaft e.V.. Paulinenaue. S. 62

<sup>6</sup> Behrendt, Axel et al (1999): 30 Jahre Paulinenaue Grundwasserlysimeter – eine Zusammenfassung ausgewählter Ergebnisse. Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., Forschungsstation Paulinenaue. S. 76f

<sup>7</sup> Siehe Tabelle Witterung im Anhang S. 38

### Versuchsbeschreibung

Der Lysimeterversuch zum Einfluss von Damwildlosung auf die Grundwasserqualität wird in Paulinenaue bereits seit dem Jahr 2003 in vier Lysimetern durchgeführt. Diese sind für die bessere Versuchsauswertung mit den Nummern 80 bis 83 versehen. Um einen nährstoffarmen Standort zu simulieren, befindet sich in den Lysimetern Sauerbraunerde; ein Sandboden, der 1977 mit intaktem Bodenprofil eingebracht wurde. Dieser Boden ist häufig im nordostdeutschen Tiefland verbreitet und durch eine geringe Bodenfruchtbarkeit gekennzeichnet. Die Zusammensetzung des verwendeten Bodens besteht aus Feinsand (84 %), Mittelsand (9 %), Grobschluff (2 %), Feinschluff (2 %) und Ton (3 %). Die Trockenrohichte beträgt  $1,44 \text{ g/cm}^3$ , der pH-Wert 4,41 und es sind 1,34 % organische Substanz im Boden enthalten. Der Grundwasserstand wurde in allen vier Lysimetern über die gesamte Vegetationsperiode auf 50 cm eingestellt. Auf den Lysimetern 80 und 81 wurde eine für Damwildgatter typische Menge an Losung ausgebracht ( $100 \text{ g TS/m}^2$ ) und auf den Lysimetern 82 und 83 die zehnfache Menge ( $1000 \text{ g TS/m}^2$ ). Die Ausbringung der Losung erfolgte zu fünf verschiedenen Zeiten im Jahr, um eine nahezu natürliche Verteilung der Losungsmengen zu simulieren. Die sich auf den vier Gefäßen befindenden Kulturen wurden bereits im Jahr 2002 ausgesät, sodass im Jahr 2003 mit der Datenerfassung begonnen werden konnte. Auf den Lysimetern 80 und 82 wurde eine Brache nachgeahmt, die den Zufütterungsplätzen in den Gattern gleichkommt. Die typische Weide wurde durch eine Gräsermischung (Deutsches Weidelgras, Wiesenrispe, Wiesenlieschgras) auf den beiden anderen Gefäßen dargestellt. Demzufolge wurden die beiden unterschiedlichen Standorte jeweils mit  $100 \text{ g TS/m}^2$  und mit  $1000 \text{ g TS/m}^2$  Losung versehen. Das abfließende Grundwasser, welches nach Niederschlägen entstand und durch den Boden floss, wurde aufgefangen und anschließend auf seine Inhaltsstoffe: Gesamtstickstoff, Ammonium, Nitrat, Phosphor, Kalium und Kalzium untersucht. Wobei zu sagen ist, dass in dieser Arbeit hauptsächlich Gesamtstickstoff, Ammonium sowie Nitrat betrachtet wurden. Um einige Versuchsergebnisse aus dieser Betrachtung zu verstärken, wurde auch Kalium, das sich ähnlich wie Ammonium verhält, miteinbezogen. Außerdem dokumentierte man täglich die Zufluss- und Abflusswassermengen. Die Niederschlagsdaten des Standortes wurden in der sich unmittelbar neben der Lysimeteranlage befindlichen Wetterstation ermittelt und registriert. Von den auf den Lysimetern wachsenden Kulturen wurden jährlich dreimal die Frischmasse- und Trockensubstanzerträge (ohne Wurzelmasse) ermittelt und auf ihre Inhaltsstoffe untersucht.



## Lysimeter

Die Bedeutung der Lysimeterversuche wurde von G. Schalitz<sup>8</sup> und A. Behrendt dargestellt und von A. Behrendt wie folgt zusammengefasst: „Lysimeteruntersuchungen sind unentbehrliche Bestandteile in der ganzheitlichen Betrachtungsweise von Agrarlandschaften, die Prozesse, die hier mit dem Raum-Zeit-Bezug erforscht werden, sind zwischen der Laborebene und dem landschaftsökologischen Experimentalgebiet einzuordnen. Wenn nur Laborergebnisse oder punktuelle Felduntersuchungen auf große Flächen umgerechnet werden, ergeben sich häufig falsche Bilder, weil wesentliche Zusammenhänge unerkannt bleiben.“<sup>9</sup> „Lysimeter sind ummantelte Ausschnitte aus der Bodendecke. Es sind Messeinrichtungen, mit deren Hilfe Größen des Wasserhaushaltes, Vorgänge der Verdunstung, der Versickerung und der vorübergehenden Speicherung im Boden untersucht und quantifiziert werden können. Lysimeter dienen der Messung der Prozesse des Wasser- und Stoffhaushaltes von Pflanzendecken und Boden.“<sup>10</sup> Die sich in der Forschungsstation Paulinenaue befindlichen Lysimeter sind nach oben hin offene Zylinder, die durch eine Oberflächengröße von 1 m<sup>2</sup> und einer Tiefe von 150 cm gekennzeichnet sind. Für die Befüllung der Lysimeter wurden verschiedene Niedermoor- und Gleyböden verwendet, die vorrangig in einem Stück entnommen wurden, ohne das Bodenprofil zu zerstören. In dem Lysimetergefäß können während der Vegetationsperiode durch Einspeisung von Zusatzwasser unterschiedliche Grundwasserstände simuliert werden. Die Einspeisung geschieht mit Hilfe von Glasballons, die oberhalb des Versuchsgefäßes aufgestellt sind und einen Zufluss in den Bereich des Grundwassers besitzen (vgl. Abb. 1: schematische Darstellung). Um den vorgesehenen Grundwasserstand auf dem gleichen Niveau zu halten, müssen diese täglich nach Bedarf mit Zusatzwasser befüllt werden. Niederschlagswasser, das den Boden durchfließt, lässt den Grundwasserpegel ansteigen, woraufhin das erhöhte Grundwasser abfließt, aufgefangen wird und auf seine Inhaltsstoffe analysiert werden kann. Anfallende Mengen an Zufluss- und Abflusswasser werden täglich dokumentiert. Zu der Lysimeteranlage gehört eine in unmittelbarer Nähe errichtete Wetterstation, in der Niederschlag, Lufttemperatur (in 2 m Höhe und 5 cm über dem Boden), relative Luftfeuchte, Bodentemperaturen, Globalstrahlung, Sonnenscheindauer, Windgeschwindigkeit und Kesselverdunstung gemessen werden.<sup>11</sup>

---

<sup>8</sup> Schalitz, Gisbert et al (1996): Zum Stellenwert der Lysimeteruntersuchungen in der Agrarlandschaftsforschung. In: ZALF-Bericht Nr. 26 Stoffhaushalt von Niedermooren und hydromorphen Mineralböden des nordostdeutschen Tieflandes. Hrsg.: Schalitz et al. Müncheberg S. 3

<sup>9</sup> Behrendt, Axel et al (1999): 30 Jahre Paulinenaue Grundwasserlysimeter – eine Zusammenfassung ausgewählter Ergebnisse. Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., Forschungsstation Paulinenaue. S. 74

<sup>10</sup> Behrendt, Axel et al (2009): Die Paulinenaue Grundwasserlysimeteranlage Entstehung, Funktion und Ergebnisse. In: Symposium 60 Jahre Wissenschaftsstandort Paulinenaue. Hrsg.: Paulinenaue Arbeitskreis Grünland und Futterwirtschaft e.V.. Paulinenaue. S. 62

<sup>11</sup> Schalitz, Gisbert et al (1996): 25 Jahre Lysimeterforschung in Paulinenaue und Neukonzipierung der Untersuchungen 1992. In: ZALF-Bericht Nr. 26 Stoffhaushalt von Niedermooren und hydromorphen Mineralböden des nordostdeutschen Tieflandes. Hrsg.: Schalitz et al. Müncheberg S. 6

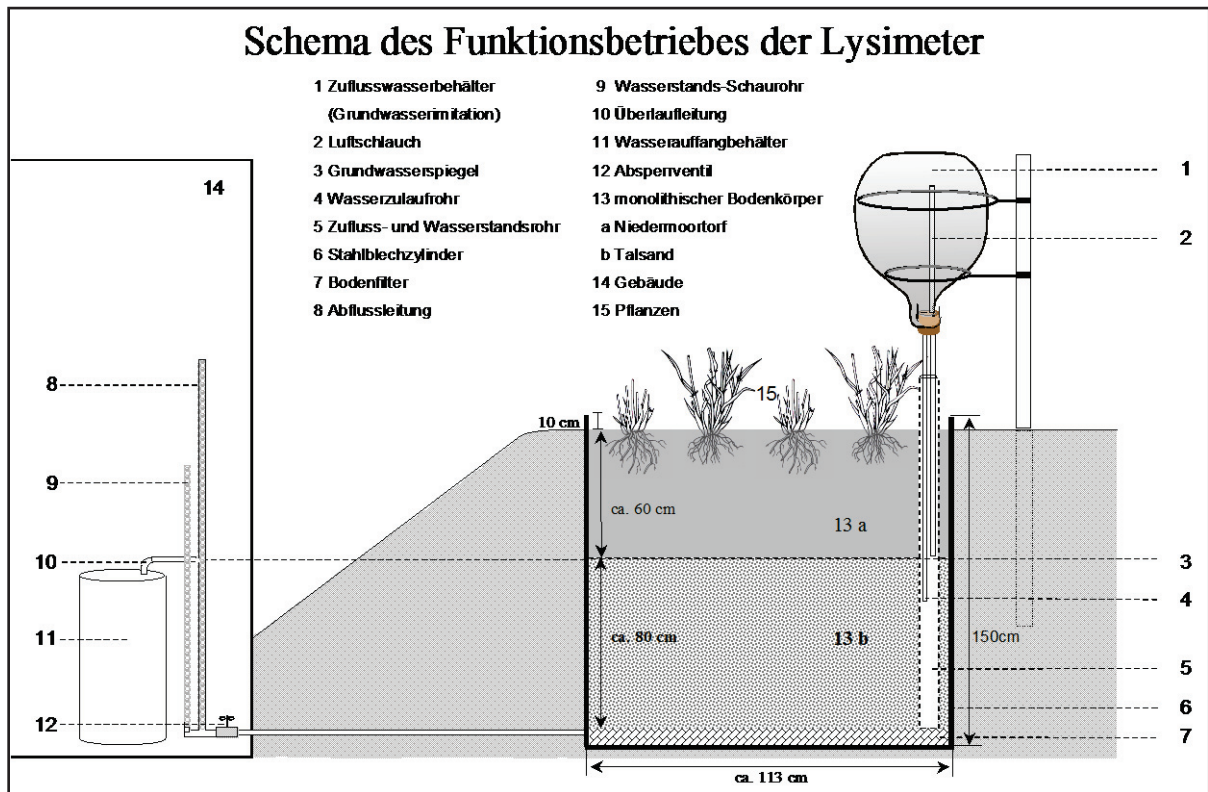


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Lysimeteranlage in Paulinenaue, 2001, 30 Jahre Paulinenaue Grundwasserlysimeter-Eine Zusammenfassung Ausgewählter Ergebnisse: S. 54

### 3 Stickstoffdynamik und -aufnahme

Stickstoff nimmt in Bezug auf die Bedeutung für die Agrarwirtschaft eine Sonderstellung in der Gruppe der mineralischen Pflanzennährstoffe ein. Als einer der wichtigsten Nährstoffe für das Pflanzenwachstum gilt Stickstoff häufig als der ertragsbegrenzende Faktor in der Landwirtschaft. Die verschiedenen Formen, in denen das Element im Boden vorkommt und die Tatsache, dass keinesfalls jede dieser Formen im gleichen Maße oder überhaupt von den Pflanzen aufgenommen werden kann, begründet die besondere Stellung in der Landwirtschaft. Außerdem werden die in der agrarökonomischen Produktion auftretenden Stickstoffverluste hinsichtlich der Umweltbelastung kritisch gesehen. Auch dies ist ein Grund für die Sonderstellung und ständige Betrachtung. Um nicht nur aus ökologischer Sicht, sondern auch aus wirtschaftlicher Sicht optimal zu handeln, ist eine möglichst verlustarme landwirtschaftliche Produktionsweise anzustreben.<sup>12</sup> Anders als viele andere Nährstoffe stammt der Stickstoff im Boden nur in einem sehr geringen Maße aus Mineralen. Er gelangt auf natürlichem Wege vorwiegend aus der Luft durch die biologische Stickstofffixierung

<sup>12</sup> Schubert, Sven (2006): Pflanzenernährung. Grundwissen Bachelor. 2. Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart: S 109, 113

in den Boden und ist dort hauptsächlich in organischer Substanz gebunden. Für die Pflanzen direkt verfügbar ist er überwiegend in Form von Ammonium und Nitrat. Das Ammonium entsteht durch die Ammonifikation von organischen Stickstoffformen mit Hilfe von Mikroben und das Nitrat wiederum entsteht aus der Nitrifikation von Ammonium, die ebenfalls mikrobiell gesteuert ist. Beide Vorgänge werden als Mineralisation bezeichnet und werden durch die Temperatur, die Wasserversorgung und den pH-Wert des Bodens beeinflusst. Auch durch elektrische Entladungen und durch Abgase kommt es in der Luft zur Bildung von Nitrat, welches durch Niederschlag in den Boden gelangt.<sup>13</sup> Der Stickstoff wird hauptsächlich in Form von Nitrat von den Pflanzen aufgenommen. Der Grund dafür liegt in der sofortigen Verfügbarkeit und in der hohen Mobilität des Nitrates. Es ist aufgrund seiner negativen Ladung nicht im Boden gebunden und somit in der Bodenlösung frei beweglich. Das ist allerdings auch die Ursache dafür, dass Nitrat unter bestimmten Bedingungen einer hohen Auswaschung unterliegt. Zu beachten sei jedoch, dass die Nitratverlagerung ein natürlicher Prozess ist, der auch auf nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen stattfindet. Begünstigt wird dieser Vorgang durch eine überhöhte Stickstoffkonzentration im Boden zu einem Zeitpunkt, zu dem Nitrat nicht oder nicht in ausreichender Menge von den Pflanzen aufgenommen werden kann. Besonders in der vegetationslosen niederschlagsreichen Zeit im Herbst und Winter ist die Gefahr der Nitratauswaschung erhöht. Wohingegen es in der Vegetationszeit sehr selten zu erhöhten Austrägen kommt. Das Ammonium hingegen unterliegt im Normalfall keiner hohen Auswaschung, da es durch seine positive Ladung in den Zwischenschichten von Tonmineralen ähnlich wie das Kalium gebunden oder meist sehr schnell zu Nitrat umgewandelt wird. Hier liegt auch der Grund dafür, dass es von den Pflanzen im weniger großen Maße aufgenommen wird. Es ist im Boden verankert und kann nur aufgenommen werden, wenn die Pflanzenwurzeln zum Nährstoff wachsen oder es muss in Nitrat umgewandelt werden, um so durch den Massenfluss zur Wurzel zu gelangen. Selten kommt es zu einer Auswaschung von Ammonium. Dies ist dann auf das durch die fehlenden Tonminerale geringe Nährstoffbindungsvermögen von sehr sandigen oder organischen Böden zurückzuführen.<sup>14</sup>

### **3.1 Kaliumdynamik und –aufnahme**

Kalium ist für viele Prozesse in der Pflanze verantwortlich und wird wie Stickstoff in einer hohen Größenordnung von den Pflanzen benötigt. Das sich im Boden befindliche Kalium stammt, ausgenommen von dem was durch die verschiedenen Düngemittel der Landwirtschaft zugeführt wird, aus primären Silikaten, wie zum Beispiel Feldspat oder Glimmer. Bei der sehr langfristig und im geringen Maße ablaufenden Verwitterung

---

<sup>13</sup> Schilling, Günther (2000): Pflanzenernährung und Düngung. Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart: S 256f

<sup>14</sup> Schubert, Sven (2006): Pflanzenernährung. Grundwissen Bachelor. 2. Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart: S 109ff

dieser Mineralien wird das Kalium als Kation ( $K^+$ ), wie es auch von den Pflanzen aufgenommen wird, freigesetzt. Der Gehalt im Boden variiert mit der unterschiedlichen Bodenart. In humiden Böden, besonders in Moorböden, ist das Kalium oft aufgrund der geringen Nachlieferung nicht in genügendem Maße vorliegend. Wohingegen in ariden Böden der Nährstoff häufig ausreichend vorhanden ist.<sup>15</sup> Die Verfügbarkeit des Kaliums für die Pflanzen ist abhängig von dem Kaliumnachlieferungsvermögen des vorzufindenden Mineralbodens. Kalium unterliegt in Abhängigkeit von der Bodenart besonders in tonhaltigen Böden einer hohen Bindung. Zu einer stärkeren Auswaschung des Nährstoffes kommt es aufgrund des geringen oder fehlenden Bindungsvermögens demzufolge eher auf organischen Böden und tonarmen Sandböden. Wie bereits erwähnt, liegt der Kaliumvorrat des Bodens fest in dem Kristallgitter von Feldspäten oder Glimmer eingebunden und wird nur sehr langsam durch die Verwitterung dieser freigesetzt und für Pflanzen verfügbar. Für die Dynamik des Kaliums sind die sekundären Tonminerale von großer Bedeutung (Illite, Vermiculite). In diesen Mineralien wird das Kalium durch seine positive Ladung gebunden und durch Verwitterung und Ionenaustausch wieder in die Bodenlösung freigegeben. Auf Moor- und Sandböden kann von einer sehr schwachen Nachlieferung und Dynamik des Nährstoffes ausgegangen werden.<sup>16</sup>

## 4 Ergebnisse

Ausgangspunkt für den Versuch war die Annahme, dass es auf Weiden in Damwildgattern und besonders an den Zufütterungsplätzen (Brache) in den Gattern, zu einem erhöhten Nährstoffeintrag in das Grundwasser kommt. Da es bei dem Versuch nicht nur um den Eintrag des Stickstoffes in das Grundwasser gehen sollte, sondern allgemein darum, ob es in den Gattern zu einem erhöhten Nährstoffeintrag kommt, wurden auch die in den neun Versuchsjahren ermittelten Werte des Kaliums analysiert. Außerdem können so auch die ausgewerteten Ergebnisse vom Stickstoffeintrag besser begründet und verstärkt werden. In den nachfolgenden Kapiteln (4.1 bis 4.11) werden die Versuchsergebnisse zu den verschiedenen Nährstoffeinträgen durch die Damwildlösung in den Boden und in das Grundwasser dargestellt.

---

<sup>15</sup> Finck, Arnold (2007): Pflanzenernährung und Düngung in Stichworten. 6. Auflage. Gebrüder Borntraeger Verlag, Berlin, Stuttgart: S 109ff

<sup>16</sup> aid Infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e.V. (2006): Düngung nach guter fachlicher Praxis. Phosphor Kalium Magnesium Kalk Schwefel Spurennährstoffe. Bonn: S. 18ff

## 4.1 Stickstoffeintrag

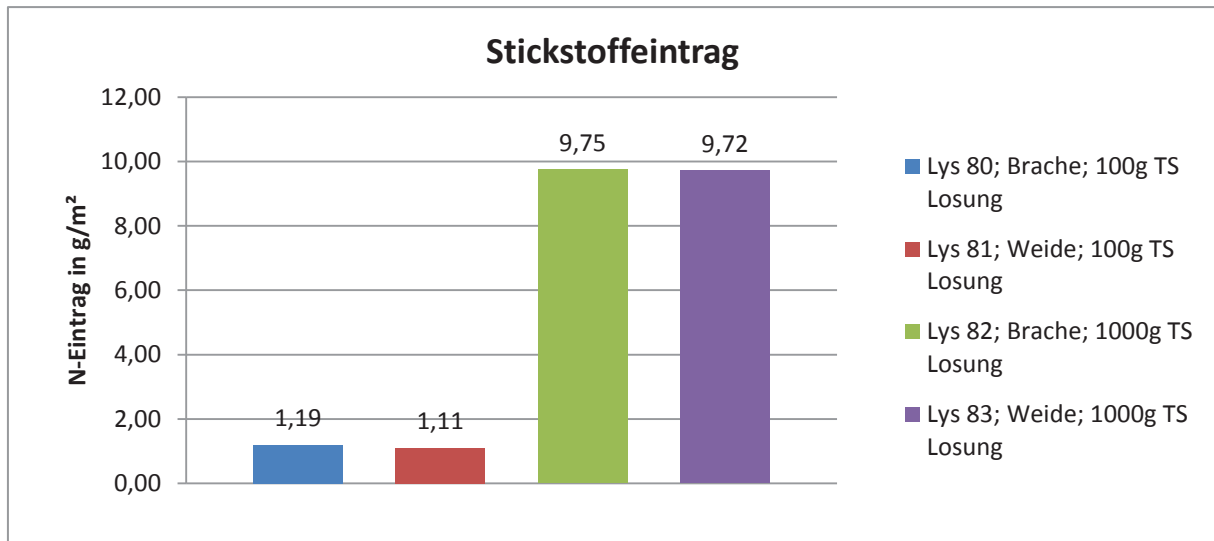


Abbildung 2: Stickstoffeintrag in den Boden auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m<sup>2</sup> und 1000 g TS/m<sup>2</sup> (Mittel der Jahre 2003 bis 2011)

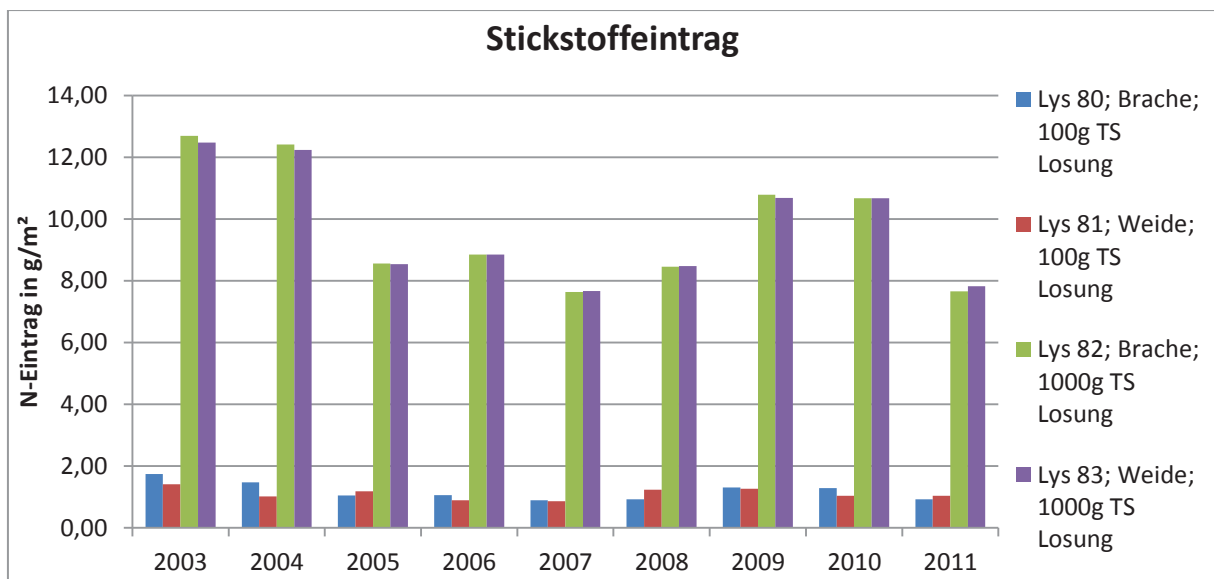


Abbildung 3: Jährlicher Stickstoffeintrag in den Boden auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m<sup>2</sup> und 1000 g TS/m<sup>2</sup> im Versuchszeitraum 2003 bis 2011

In der Abbildung 2 und der Abbildung 3 ist zunächst einmal der Stickstoffeintrag in den Boden bei der für Damwildgatter typischen Menge an Losung (100 g TS/m<sup>2</sup>) und bei der zehnfachen Menge (1000 g TS/m<sup>2</sup>) dargestellt. Dabei wurde in der Abbildung 2 für die einzelnen Lysimeter jeweils ein Mittel aus den Jahren 2003 bis 2011 gebildet, um die Größenordnung, in der Stickstoff durch die Losung in den Boden gelangt, deutlich zu machen. In den Lysimetern 80 und 82 wird eine Brache als typischer Zufütterungsplatz nachgeahmt und in den Lysimetern 81 und 83 die charakteristische Weide in Form einer Gräsermischung simuliert. Auf der Brache, die mit 100g TS Losung/m<sup>2</sup> versehen wurde, wurden im Durchschnitt 1,19 g N/m<sup>2</sup> in den Boden eingebracht und auf der

mit 1000 g TS Losung/m<sup>2</sup> versehenen Brache waren es 9,75 g N/m<sup>2</sup>. Auf den beiden Weiden sind es bei der Variante mit den 100 g TS Losung/m<sup>2</sup> 1,11 g N/m<sup>2</sup> und bei der Variante mit den 1000 g TS Losung/m<sup>2</sup> etwa 9,72 g N/m<sup>2</sup> im Mittel gewesen. Betrachtet man nun in Abbildung 2 den Stickstoffeintrag der einzelnen Jahre, wird deutlich, dass sich die Mengen über die Versuchszeit hinweg betrachtet, in der in Abbildung 2 wiedergegebenen Größenordnungen befinden. In den Lysimetern mit der normal anfallenden Menge an Losung von 100 g TS/m<sup>2</sup> liegen die Werte also in einem Bereich von unter 2 g N/m<sup>2</sup> über das Jahr verteilt; wohingegen in den Lysimetern mit der zehnfachen Menge an Damwildlosung Werte erreicht werden, die bis auf 12 g N/m<sup>2</sup> kommen. Aber es sei zu erwähnen, dass diese hohen Stickstoffeinträge nicht in jedem Jahr erreicht wurden und über die Versuchsjahre hinweg in einem Bereich zwischen ca. 7 g N/m<sup>2</sup> und 12 g N/m<sup>2</sup> schwankten. Rechnet man die Mengen, die im Durchschnitt an Stickstoff jährlich auf einem m<sup>2</sup> durch die Losung in den Boden eingetragen werden auf einen Hektar um, werden bei der normalen Damwildbesatzdichte Werte erzielt, die sich im Bereich von 12 kg N/ha bewegen. Bei der zehnfachen Besatzdichte wären es dann Werte um 100 kg N/ha. Durch die anfallende Losung würde also selbst bei dem viel zu hoch angesetztem Damwildbesatz über das Jahr verteilt eine Stickstoffmenge in den Boden gelangen, die von dem Pflanzenbestand ohne größere Stickstoffverluste aufgenommen werden müsste.

## 4.2 Ammonium- und Nitrataustrag

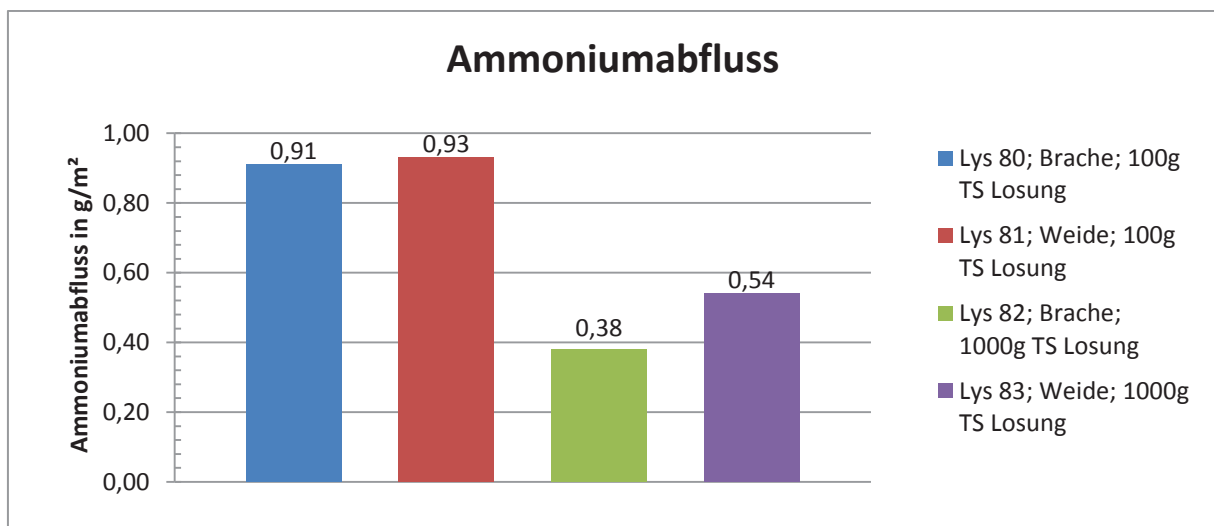


Abbildung 4: Ammoniumabfluss in das Grundwasser auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m<sup>2</sup> und 1000 g TS/m<sup>2</sup> (Mittel der Jahre 2003 bis 2011)

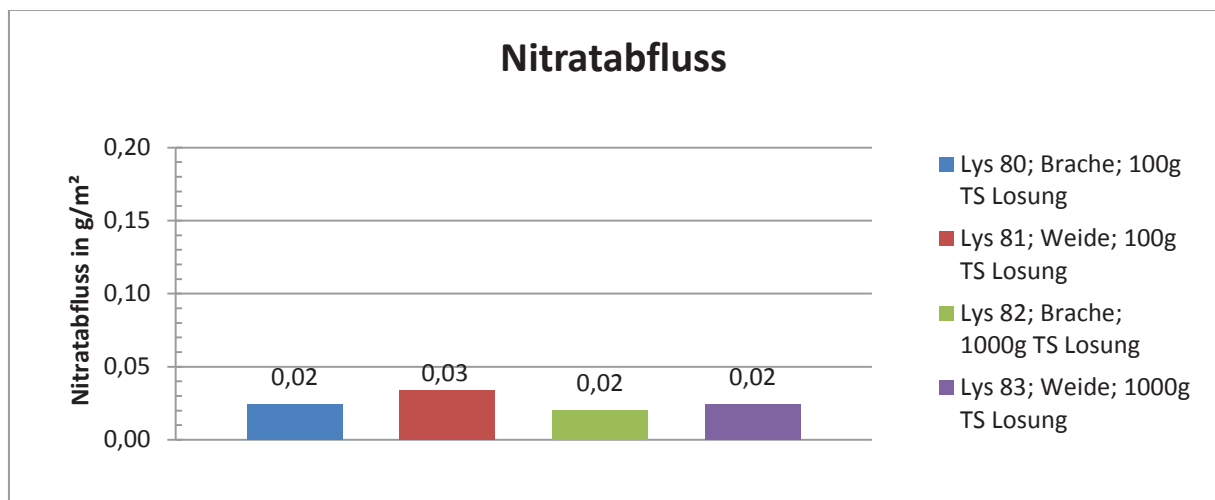


Abbildung 5: Nitratabfluss in das Grundwasser auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m<sup>2</sup> und 1000 g TS/m<sup>2</sup> (Mittel der Jahre 2003 bis 2011)

Bei der Untersuchung des N-Abflusses wurde Stickstoff in Form von Nitrat und Ammonium betrachtet. Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, hält sich der Nitratintrag trotz der extrem unterschiedlich hohen Düngung von 100 g TS und 1000 g TS Damwildlosung/m<sup>2</sup> und unabhängig von dem simulierten Standort (Weide, Brache) im Durchschnitt der Versuchsjahre in den vier Varianten auf einem in etwa gleich niedrigen Niveau von 0,02 g/m<sup>2</sup> bis 0,03 g/m<sup>2</sup>. Vergleicht man jedoch die Mengen an Nitrat mit den Mengen an Ammonium (Abb. 6), die in das Grundwasser abfließen, so wird ersichtlich, dass deutlich mehr Ammonium in das Grundwasser gelangt. Die durchschnittlichen Ammoniumwerte aus den Versuchsjahren liegen in Abhängigkeit von den verschiedenen Varianten zwischen 0,38 g/m<sup>2</sup> und 0,93 g/m<sup>2</sup>. Hierbei fällt allerdings auf, dass es bei den Lysimetern, die mit der geringeren Menge Damwildlosung versehen wurden, zu deutlich höheren Ammoniumwerten im Grundwasser kam. Die Werte sind etwa doppelt so hoch, wie die der Varianten, die mit 1000 g TS Losung/m<sup>2</sup> versehen wurden. Dieses unerwartete Ergebnis könnte auf einen schwach entwickelten Pflanzenbestand in den mit weniger Losung gedüngten Lysimetern zurückzuführen sein. Einen signifikanten Unterschied hinsichtlich des Ammonium- und Nitratabflusses in das Grundwasser zwischen den Lysimetern mit den Gräsermischungen und denen mit der Brache kann weder bei den normal, noch bei den sehr hoch gedüngten Gefäßen festgestellt werden.

Schaut man auf die Abbildungen 6 und 7, in der die jährlichen Werte des Nitrat- und Ammoniumabflusses dargestellt sind, wird noch einmal ersichtlich, dass sich die Werte langfristig betrachtet in der gleichen Größenordnung bewegen und die in Abbildung 4 und 5 angegebenen Durchschnittswerte keinesfalls verfälscht sind. Deutlich zu erkennen, ist auch hier der enorme Unterschied zwischen Ammonium und Nitrat in Hinsicht auf die jährlich abfließenden Mengen. Es ist klar zu erkennen, dass bei weitem mehr Ammonium

in das Grundwasser abfließt. Ein weiterer Punkt, der nur in der jährlichen Betrachtungsweise erkennbar wird, ist, dass die Werte sich zwar langfristig gesehen auf einem gleichen Niveau befinden, es aber dennoch, wenn auch selten, in einigen Jahren zu kleineren Extremen kommt. Betrachtet man auch in diesen beiden Darstellungen den Unterschied zwischen Weide und Brache, so kann hier weder bei der niedrig noch bei der hoch gedüngten Brache oder Weide eine Variante festgestellt werden, in der die Nitrat- und Ammoniumabflüsse konstant höher oder tiefer liegen.

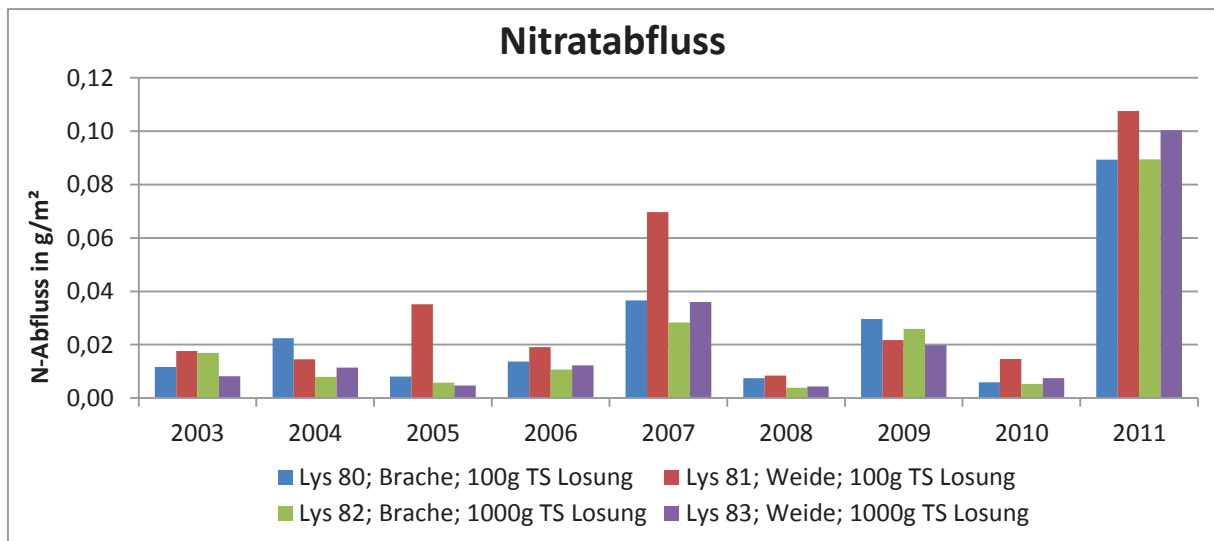


Abbildung 6: Jährlicher Nitratabfluss in das Grundwasser auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m<sup>2</sup> und 1000 g TS/m<sup>2</sup> im Versuchszeitraum 2003 bis 2011

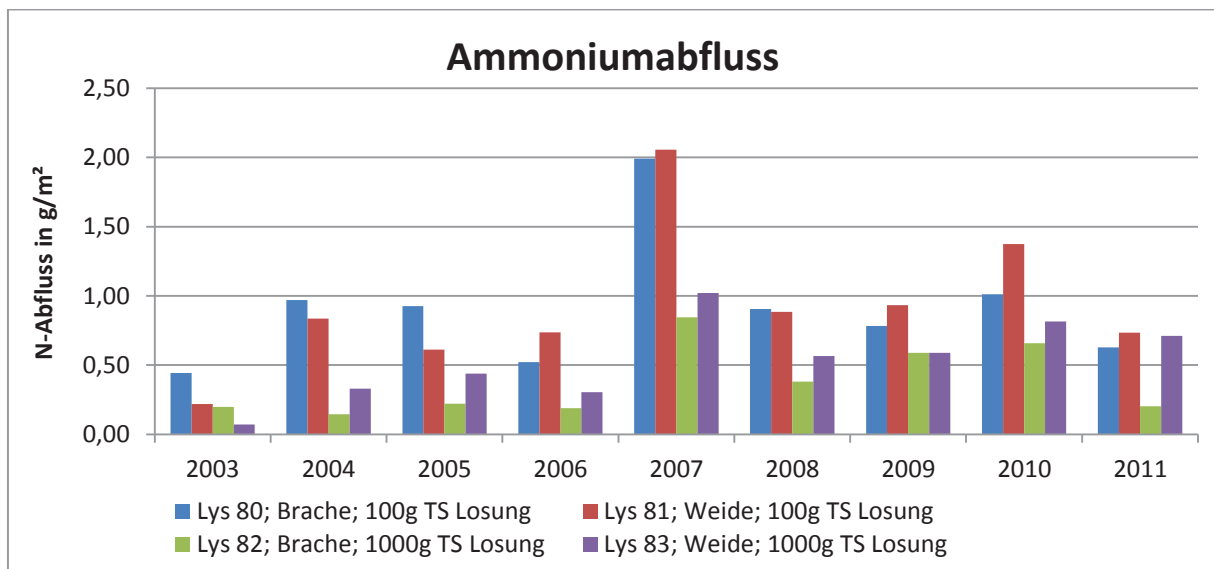


Abbildung 7: Jährlicher Ammoniumabfluss in das Grundwasser auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m<sup>2</sup> und 1000 g TS/m<sup>2</sup> im Versuchszeitraum 2003 bis 2011



### 4.3 Ammonium- und Nitrat austrag in Bezug zum Sickerwasser

Die Größenordnung, in der Stickstoff in das Grundwasser eingetragen wird, ist von vielen Faktoren abhängig und kann deshalb nur mit Betrachtung dieser begründet werden. In den folgenden Darstellungen wird der Zusammenhang des Stickstoffeintrages in Form von Ammonium und Nitrat in das Grundwasser mit diesen Faktoren aufgezeigt.

Zunächst wurde der Zusammenhang zwischen dem Gesamtstickstoffeintrag in das Grundwasser und der Sickerwassermenge betrachtet. Als erstes muss hierbei erwähnt werden, dass die Sickerwassermenge in einem positiven linearen Zusammenhang mit der Niederschlagsmenge steht und es mit ansteigender Niederschlagsmenge demzufolge auch höhere Sickerwassermengen gibt. Dieser direkte Zusammenhang ist in der Abbildung 8 gut zu erkennen. Schaut man auf das Mittel der Sickerwassermengen aus den neun Versuchsjahren, so sieht man, dass sich die Werte im Bereich zwischen 337 l/m<sup>2</sup> und 413 l/m<sup>2</sup> befinden (Siehe Tabelle Wasser Zufluss / Abfluss im Anhang S. 37).

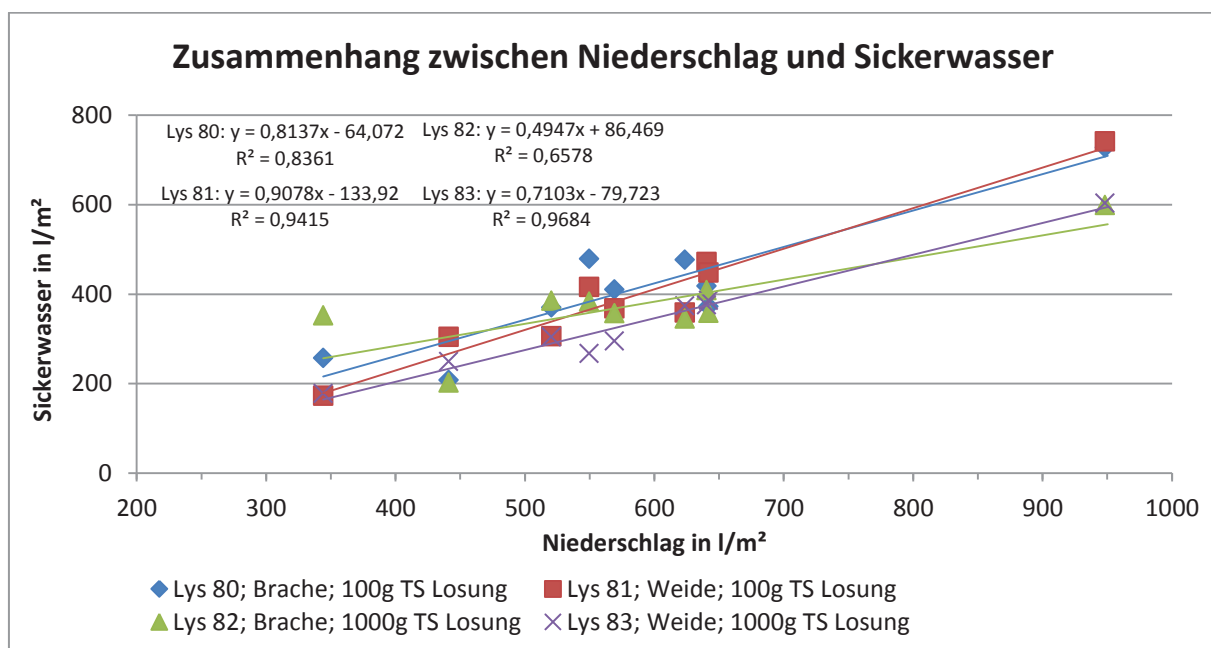
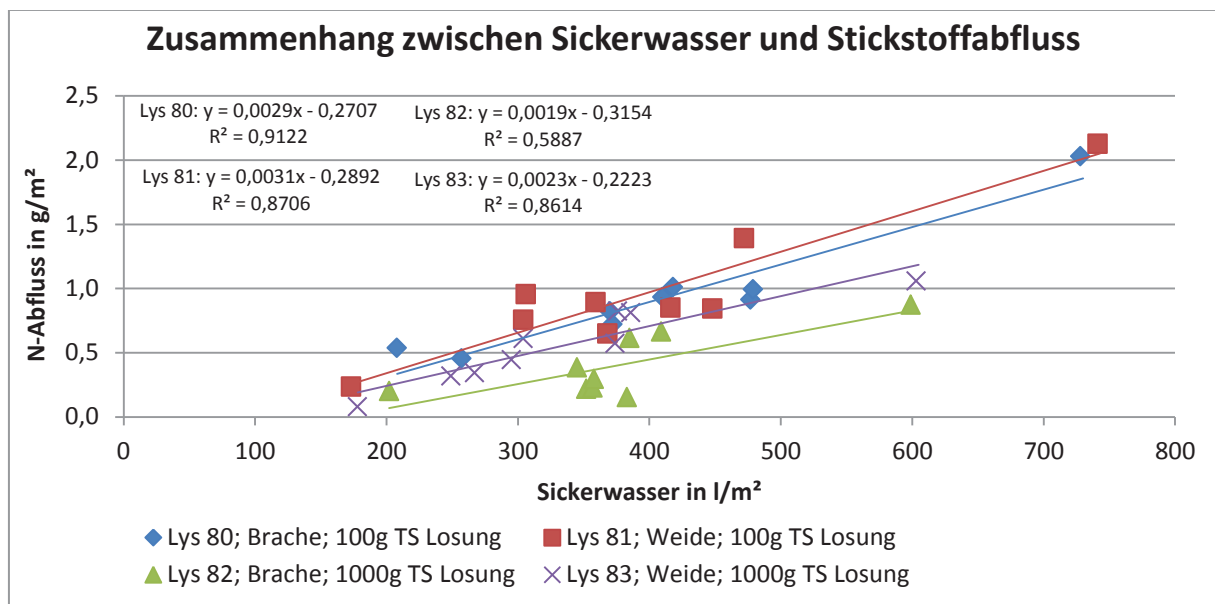


Abbildung 8: Einfluss der Niederschlagsmenge auf die Sickerwassermenge im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011

Die anfallende Menge an Sickerwasser hat einen großen Einfluss auf den Stickstoffeintrag aus dem Boden in das Grundwasser. Wird dieser in Abbildung 9 wiedergegebene Zusammenhang betrachtet, so wird ersichtlich, dass nicht in jedem Fall der Stickstoffeintrag mit zunehmender Sickerwassermenge angestiegen ist, es aber trotzdem langfristig gesehen eine hohe positive Korrelation der beiden Komponenten gibt. Diese Aussage trifft für jede der vier Varianten im unterschiedlich hohen Maße zu. Der Grund für diese Unterschiede liegt in der bereits erwähnten Variation der Faktoren, die einen Einfluss auf die Größe des Stickstoffeintrages haben und nachfolgend noch genauer beschrieben werden.



**Abbildung 9: Einfluss der Sickerwassermenge auf den Stickstoffabfluss in das Grundwasser im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011**

Betrachtet man nun diesen Zusammenhang noch genauer und geht auf die unterschiedlichen Formen des Stickstoffes ein, die in das Grundwasser gelangen, kann man aus den Abbildungen 10 und 11 entnehmen, dass bei dieser getroffenen Aussage zwischen Ammonium und Nitrat unterschieden werden muss. Ging man anfangs davon aus, dass das Nitrat in einer stärkeren Beziehung zum Sickerwasser steht als das Ammonium, so wurde diese Vermutung durch die Versuchsergebnisse widerlegt. Der Nitratabfluss in das Grundwasser, der in der Abbildung 10 in Abhängigkeit mit der Sickerwassermenge zu sehen ist, weist laut der Analyse der aus den Versuchsjahren zusammengefassten Werte, keinen Zusammenhang auf. In keiner der vier Varianten konnte ein Anstieg des Nitratabflusses mit zunehmender Sickerwassermenge festgestellt werden. Die Versuchsauswertung des Ammoniumabflusses in Beziehung zu dem jährlich anfallenden Sickerwasser, die in Abbildung 11 dargestellt ist, zeigt ein unerwartetes Ergebnis. Mit den ansteigenden Sickerwassermengen erhöhte sich der Anteil an Ammonium im Grundwasser. Betrachtet man das Bestimmtheitsmaß der vier dargestellten Funktionen, wird ersichtlich, welche signifikante Beziehung zwischen den beiden Faktoren besteht. Einen nennenswerten Unterschied hinsichtlich der durchgeführten Varianten „Brache“ und „Weide“, jeweils hoch und niedrig gedüngt, konnte nicht festgestellt werden. Festzuhalten ist demzufolge, dass entgegen der vorherigen Vermutung, der Nitratabfluss keinen engeren Zusammenhang zur Sickerwassermenge zeigt, das Ammonium jedoch umso stärker.

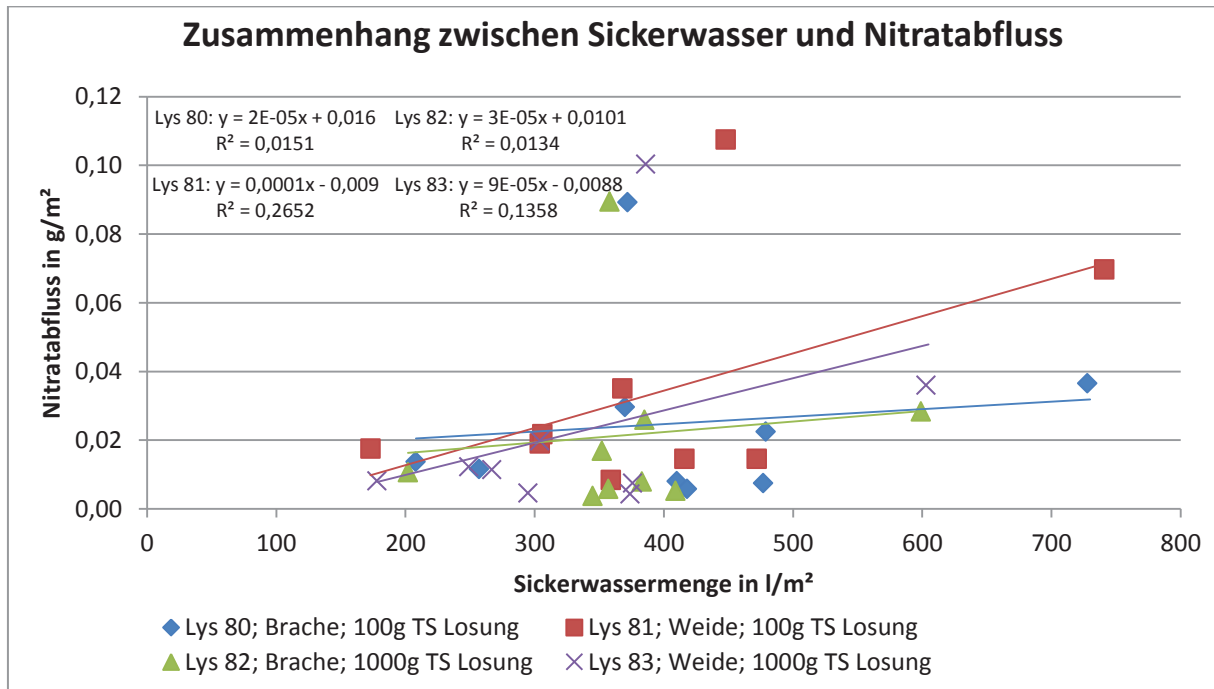


Abbildung 10: Einfluss der Sickerwassermenge auf den Nitratabfluss in das Grundwasser im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011

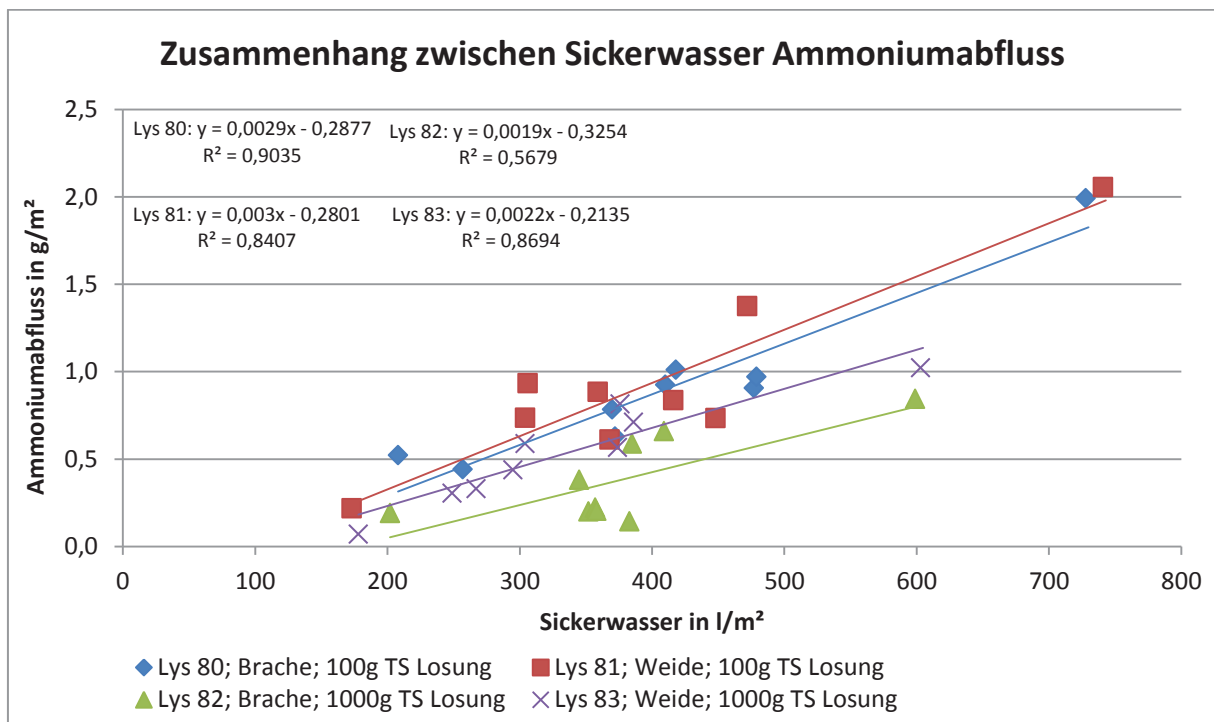


Abbildung 11: Einfluss der Sickerwassermenge auf den Ammoniumabfluss in das Grundwasser im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011

## 4.4 Trockenmasseertrag und Stickstoffentzug

Als einen weiteren Faktor, der einen Einfluss auf den Stickstoffeintrag in das Grundwasser hat, werden der Ertrag und der damit verbundene Stickstoffentzug über das Erntematerial vermutet. Wie die in Abbildung 12 aufgezeigten Erträge der vier Versuchsvarianten zeigen, wurden bei den höher gedüngten Lysimetern auch höhere Erträge erzielt. Für die Auswertung dieser Ergebnisse wurden die Erträge der vier Lysimeter zunächst als ein Mittel aus den neun Versuchsjahren zusammengefasst und dargestellt. Betrachtet man die Größenordnung, in der sich die Erträge voneinander abgrenzen, so wird ein erstaunlich hoher Unterschied zwischen den beiden Varianten (hoch und niedrig gedüngt) festgestellt. Auf der simulierten Weide, die mit 100 g TS Losung versehen wurde, liegt der Ertrag bei etwas mehr als einem Drittel von dem, der auf der hochgedüngten Weide erzielt wurde. Bei der dargestellten Brache ist ein analoges Ergebnis zu sehen. Hier liegt die niedrig gedüngte Brache hinsichtlich der Erträge bei etwas weniger als einem Drittel. Die auf den Lysimetern ausgebrachte Menge an Losung beeinflusst die Höhe der Ertragsbildung in einem beachtlichen Maße. Dies ist auch gut erkennbar, wenn man einmal nicht nur die zusammengefassten Mittel aus den Versuchsjahren, sondern auch die jährlichen Erträge der einzelnen Varianten betrachtet (Abb. 13). Hier kann in jedem der neun Versuchsjahre ein deutlich höherer Ertrag bei den mit der zehnfachen Menge an Losung gedüngten Lysimetern erkannt werden.

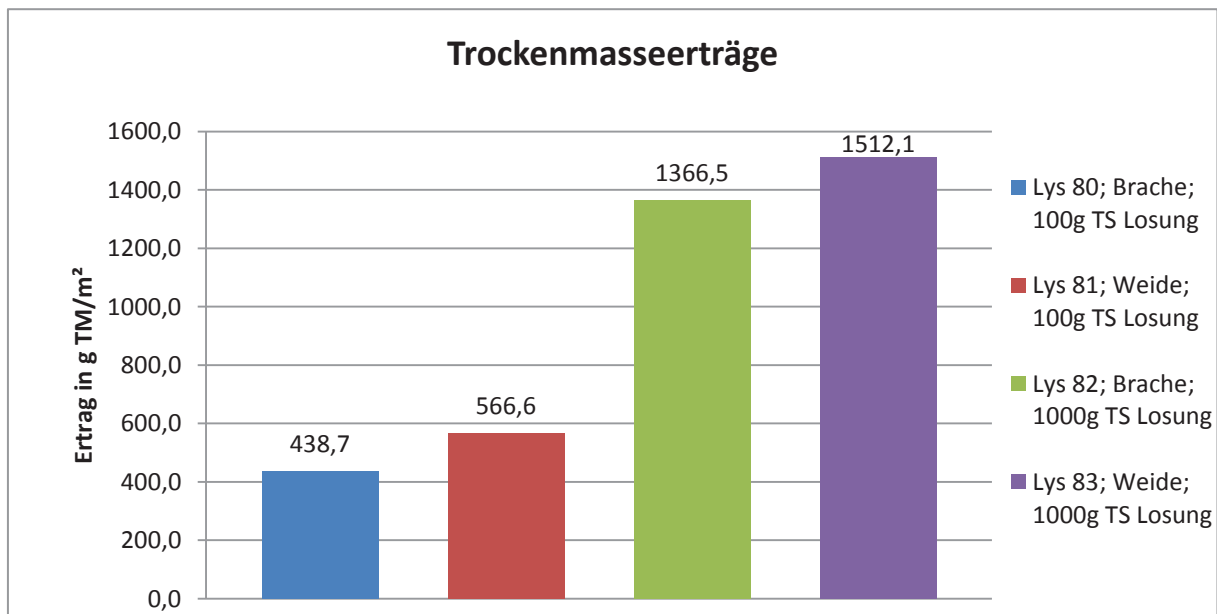


Abbildung 12: TM-Ertrag in g/m<sup>2</sup> auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m<sup>2</sup> und 1000 g TS/m<sup>2</sup> (Mittel der Jahre 2003 bis 2011)

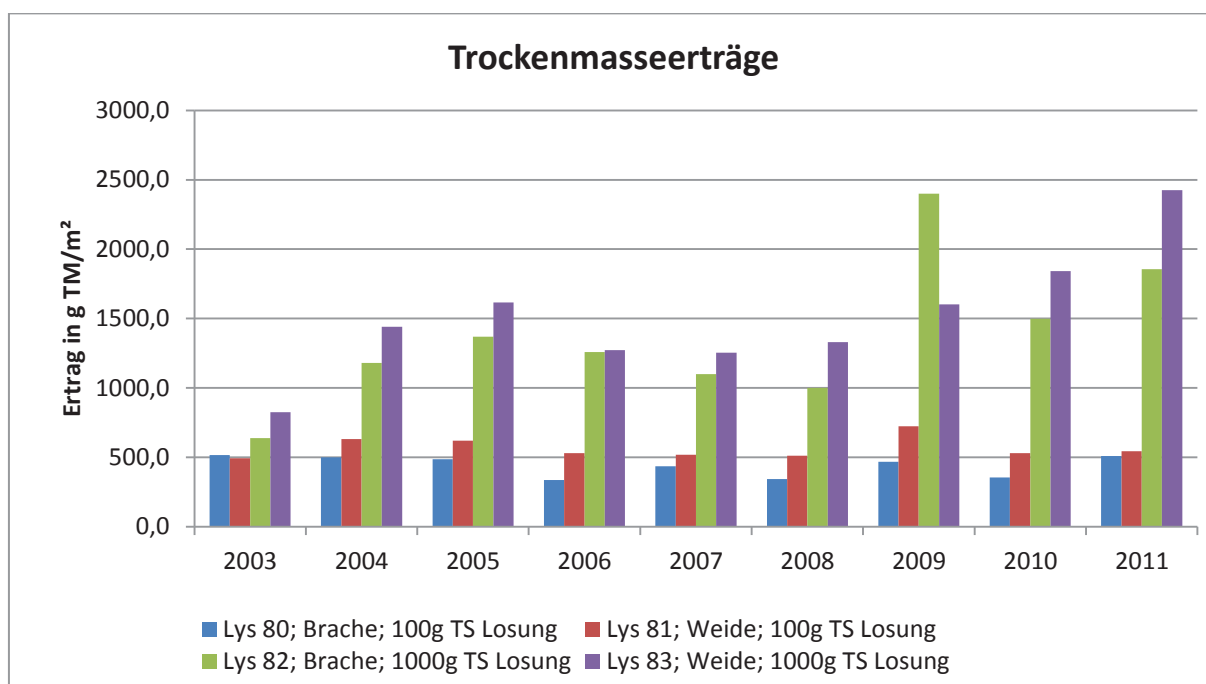


Abbildung 13: Jährliche TM-Ertrag in g/m<sup>2</sup> auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m<sup>2</sup> und 1000 g TS/m<sup>2</sup> im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011

Wird nun der durchschnittliche und jährliche Gehalt an Stickstoff, der durch die geerntete Pflanzenmasse entzogen wird, mit in die Auswertung einbezogen, so wird die Vermutung, dass bei einem höheren Ertrag auch gleichzeitig mehr Stickstoff entzogen wird, bestätigt. Schaut man auf die in Abbildung 14 wiedergegebenen Mittel aus den Versuchsjahren, so ist ein bemerkenswerter Unterschied zwischen den hoch und niedrig gedüngten Versuchen zu erkennen. Auf der Brache ist der Stickstoffentzug bei der mit 1000 g TS Losung versehenen Variante mit 27 g N/m<sup>2</sup> fast viermal so hoch wie auf der weniger gedüngten Variante. Auf der Weide kann ebenfalls ein solches Ergebnis beobachtet werden. Mit einem Entzug von 26,7 g N/m<sup>2</sup>, der fast dreimal so hoch ist. Auch bei dieser Betrachtung lohnt sich ein Blick auf die jährlichen Ergebnisse des durch das Abernten des Aufwuchses verursachten N-Entzuges (Abb. 15). Zwar sind innerhalb der Versuchsjahre deutliche Schwankungen der Werte zu erkennen, jedoch ist das Ausmaß des Entzuges über die Pflanzenmasse in den stärker gedüngten Versuchen in jedem Jahr deutlich höher.

Festzuhalten ist folgendes Ergebnis: Betrachtet man die ausgewerteten Darstellungen, so ist zu erkennen, dass in den mit der zehnfachen Menge an Losung versehenen Lysimetern die Erträge und auch die Stickstoffentzüge beachtlich höher sind als in den anderen Lysimetern. Werden nun die in Abbildung 4 aufgezeigten Werte des Ammoniumabflusses in das Grundwasser mit den Werten des Stickstoffentzuges über die geerntete Pflanzenmasse verglichen, so kann ein bemerkenswerter Zusammenhang festgestellt werden. In den extrem hoch gedüngten Lysimetern mit den weitaus höheren Erträgen und N-Entzügen sind auch die geringsten Werte an Stickstoff (Ammonium) im Grundwasser nachgewiesen worden.

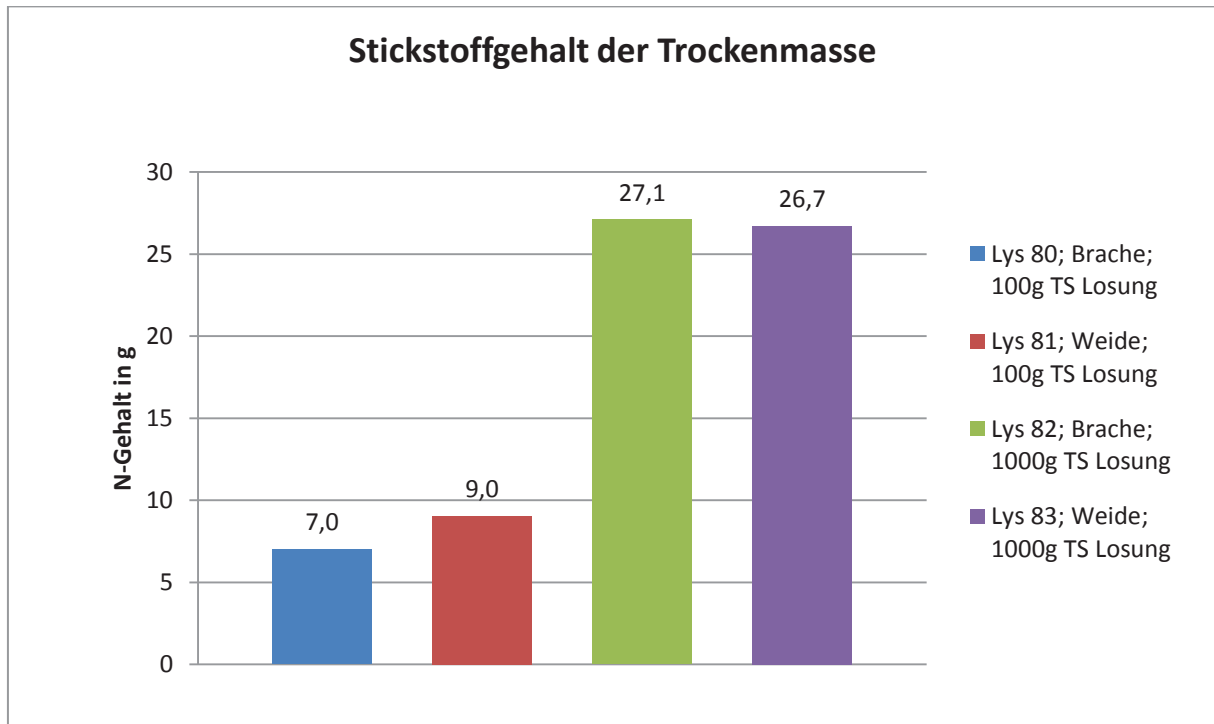


Abbildung 14: Stickstoffgehalt der von 1 m<sup>2</sup> geernteten Trockenmasse auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m<sup>2</sup> und 1000 g TS/m<sup>2</sup> (Mittel der Jahre 2003 bis 2011)

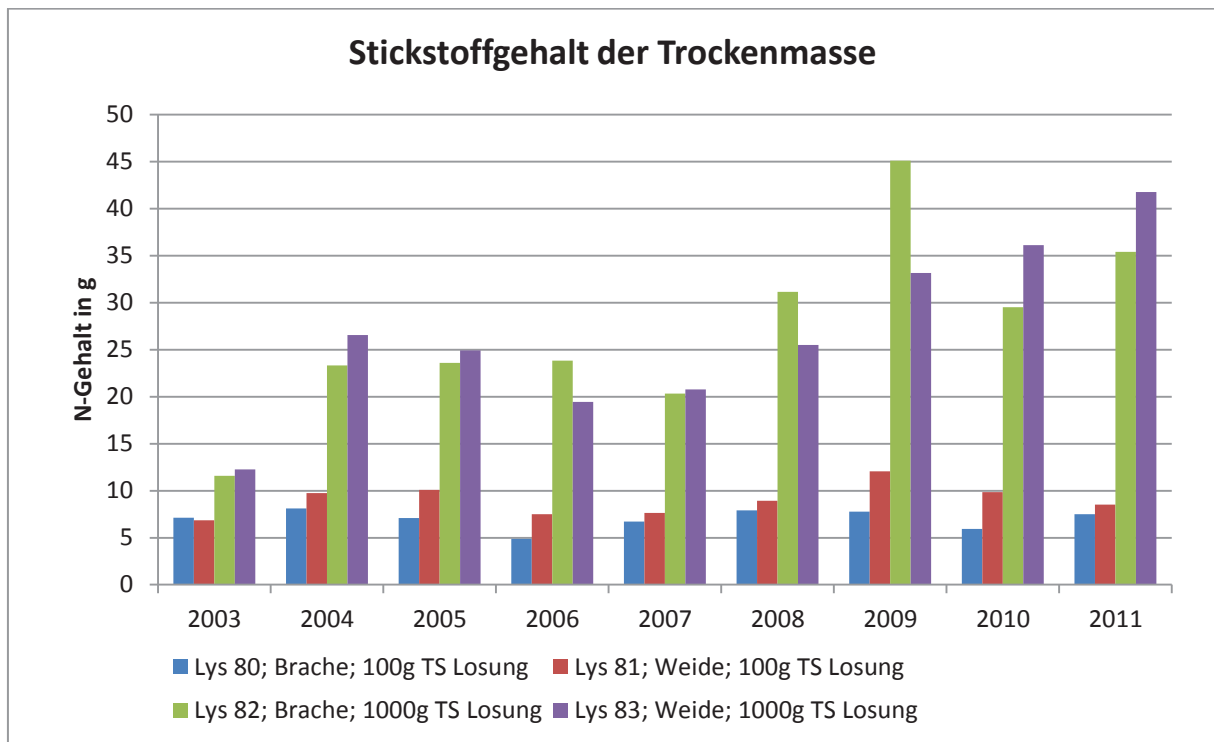


Abbildung 15: Jährlicher Stickstoffgehalt der von 1 m<sup>2</sup> geernteten Trockenmasse auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m<sup>2</sup> und 1000 g TS/m<sup>2</sup> im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011

## 4.5 Stickstoffbilanz der Lysimeter

Die folgende Bilanz wurde erstellt, um die Mengen an Stickstoff, die in den einzelnen Lysimetern ein- und ausgetragen wurden, in einer Darstellung genau miteinander vergleichen zu können und um ein Bild über die jeweiligen Größenordnungen sichtbar zu machen.

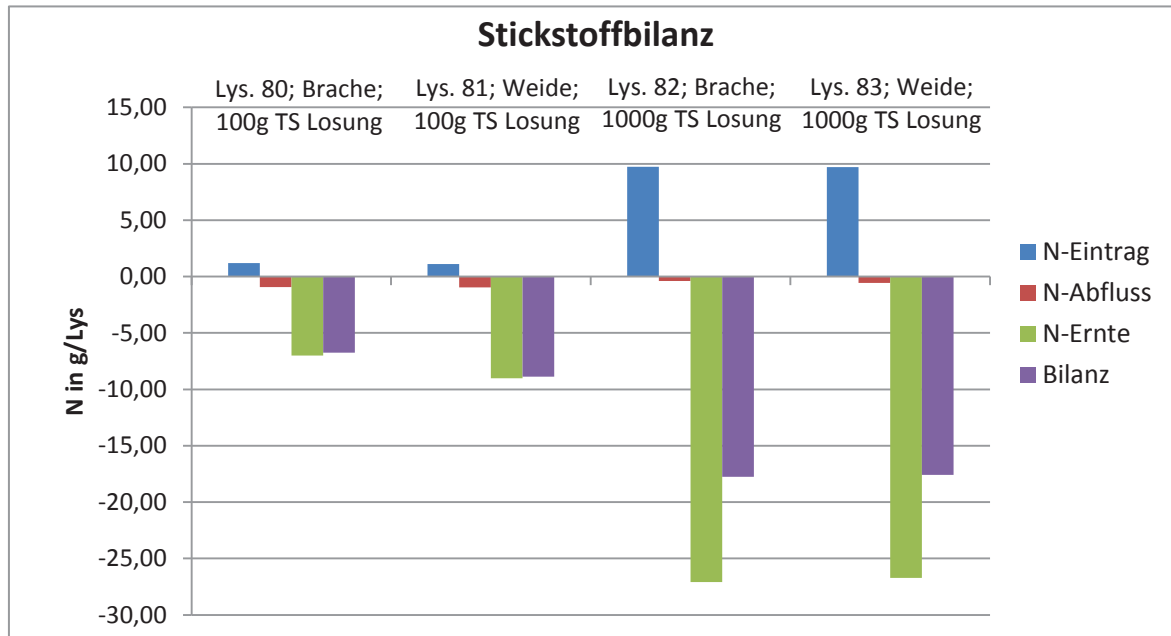


Abbildung 16: Stickstoffbilanz der einzelnen Lysimeter im Mittel aus den Jahren 2003 bis 2011

Um eine repräsentative Stickstoffbilanz der vier Varianten darzustellen, wurden die Werte von Stickstoffzufuhr und -abfuhr aus einem Bilanzierungszeitraum von neun Jahren zusammengefasst und als ein Mittel aus diesen in der Abbildung 16 aufgezeigt. Für die Stickstoffzufuhr wurde der N-Eintrag durch die Losung berücksichtigt und für die Stickstoffabfuhr wurden die Werte des N-Abflusses in das Grundwasser und außerdem die Werte des N-Entzuges über die geerntete Pflanzenmasse miteinberechnet. In dieser Abbildung ist zu erkennen, dass es sowohl bei der Düngung mit 100 g TS Losung/m<sup>2</sup> als auch bei der Düngung mit der zehnfachen Menge in jedem Fall zu einer eindeutig negativen Stickstoffbilanz kommt. Für die Lysimeter wurden folgende Bilanzen ermittelt: Lys. 80: -6,8 g/m<sup>2</sup>, Lys. 81: -8,9 g/m<sup>2</sup>, Lys. 82: -17,8 g/m<sup>2</sup> und Lys. 83: -17,6 g/m<sup>2</sup>. Der größte Faktor, der zu einer negativen Bilanz beiträgt, ist der Stickstoffentzug über das abgeerntete Pflanzenmaterial. Im Mittel lag dieser Wert in Betrachtung der beiden mit 100 g TS Losung/m<sup>2</sup> bestückten Varianten bei Lysimeter 80 bei 7 g/m<sup>2</sup> und bei Lysimeter 81 bei 9 g/m<sup>2</sup>. Die beiden höher gedüngten Versuche in Lysimeter 82 und 83 sind jeweils durch einen Stickstoffentzug von 27 g/m<sup>2</sup> gekennzeichnet. Betrachtet man den Stickstoffabfluss, so wird ersichtlich, dass dieser zwar in den weniger gedüngten Lysimetern einen

etwa doppelt so hohen Wert aufweist, wie in den sehr hoch gedüngten, er aber zu der negativen Bilanz mit Werten zwischen  $0,4 \text{ g/m}^2$  und  $1 \text{ g/m}^2$  nicht sonderlich viel beiträgt.

## 4.6 Kaliumeintrag

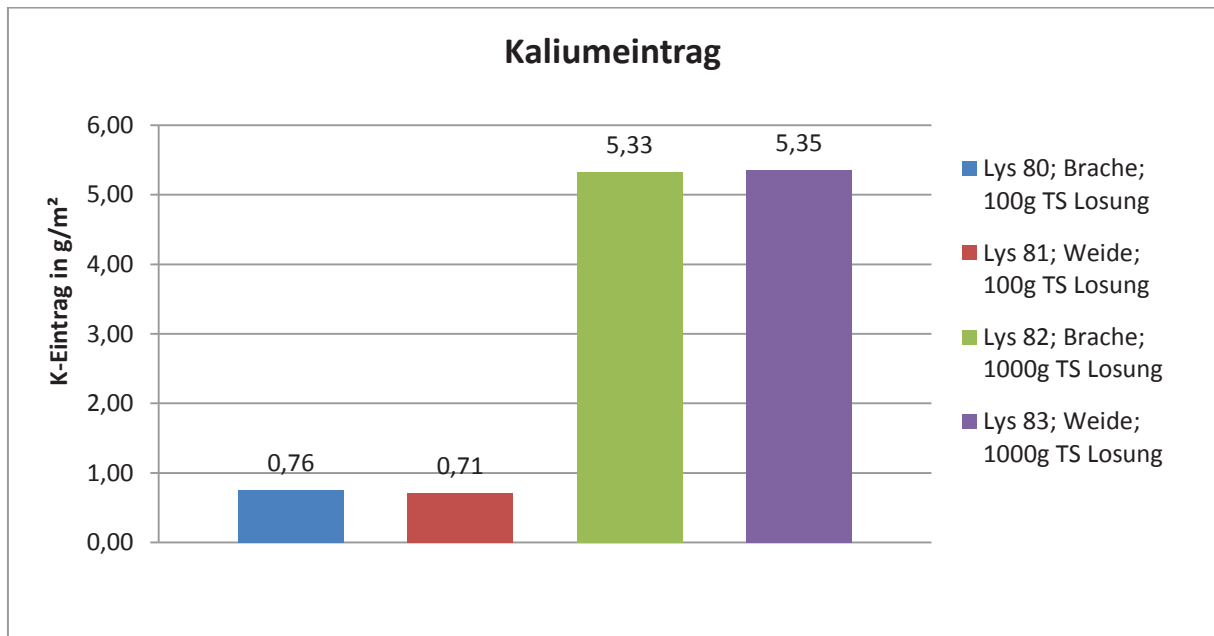


Abbildung 17: Kaliumeintrag in den Boden auf der simulierten Weide und Brache bei einer Menge an Losung von  $100 \text{ g TS/m}^2$  und  $1000 \text{ g TS/m}^2$  (Mittel der Jahre 2003 bis 2011)

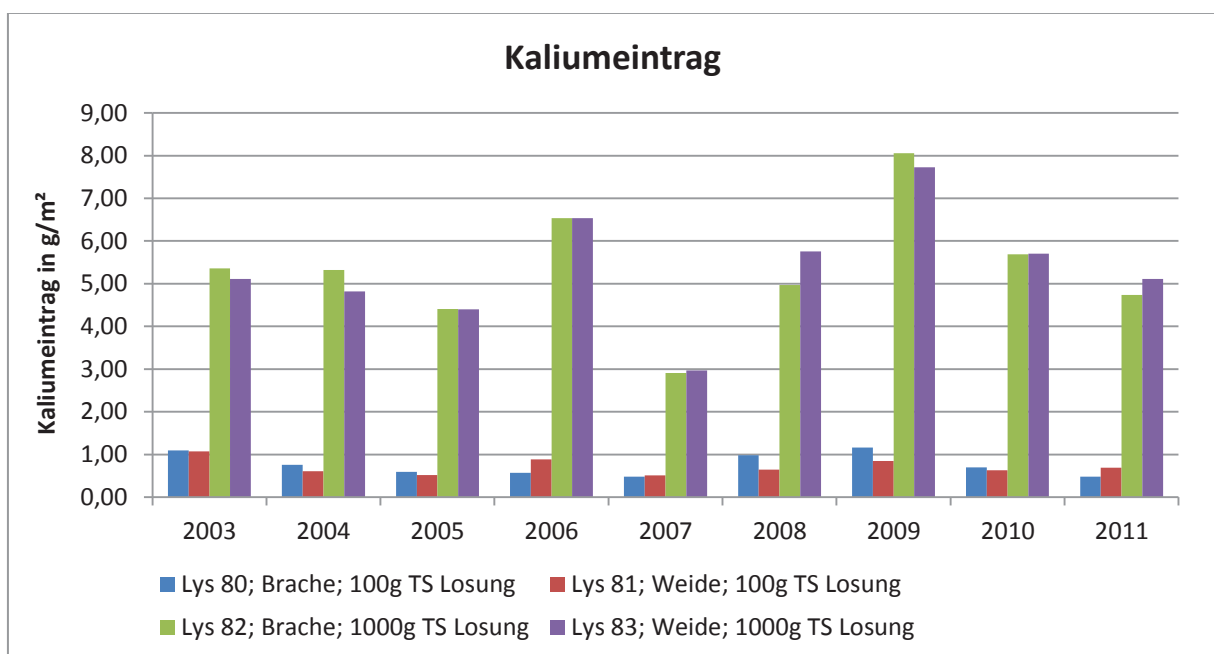


Abbildung 18: Jährlicher Kaliumeintrag in den Boden auf der simulierten Weide und Brache bei einer Menge an Losung von  $100 \text{ g TS/m}^2$  und  $1000 \text{ g TS/m}^2$  im Versuchszeitraum 2003 bis 2011

In den beiden Abbildungen 17 und 18 wird der Kaliumeintrag durch die Losung in den Boden dargestellt. Hierbei handelt es sich um Werte, die bei der Düngung mit  $100 \text{ g TS Losung/m}^2$  und bei der mit  $1000 \text{ g TS Losung/m}^2$  ermittelt wurden. Da es sich bei der Auswertung



um Ergebnisse aus denselben Lysimetern, wie beim bereits beschriebenen Stickstoffeintrag handelt, ist die Beschreibung der vier Varianten (Weide, Brache) mit der vom Stickstoff gleichzusetzen. Bereits erwähnt wurde, dass die Varianten mit 100 g TS, der für Damwildgatter typischen Menge an Losung entsprechen. In der Abbildung 17 wurden zunächst Durchschnittswerte aus den neun Versuchsjahren für jede der vier Varianten aufgezeigt, um deutlich zu machen, in welcher Größenordnung dem Boden Kalium durch die Losung zugeführt wird. Auf der mit 100 g TS Losung/m<sup>2</sup> versehenen Brache wurden im Mittel 0,76 g K/m<sup>2</sup> durch die Losung in den Boden eingetragen und auf der hochgedüngten Brache waren es 5,33 g K/m<sup>2</sup>. Schaut man auf die Mittel der auf den Weiden erzielten Kaliumeinträge, so lagen diese in Lysimeter 81 (100 g TS Losung) bei 0,71 g K/m<sup>2</sup> und in Lysimeter 83 (1000 g TS Losung) bei 5,35 g K/m<sup>2</sup>. Werden nun die in der Abbildung 18 wiedergegebenen jährlichen Werte des Kaliumeintrages in den Boden betrachtet, sieht man, dass sich die Werte der einzelnen Jahre immer im Bereich der in Abbildung 17 gebildeten Mittel bewegen und demzufolge relativ konstant sind. Spitzenwerte, die in einzelnen Jahren vorkamen, erreichten in den höher gedüngten Lysimetern Größen von bis zu 8 g K/m<sup>2</sup> und in den weniger gedüngten bis zu 1,16 g K/m<sup>2</sup>. Auch hier werden also jährlich Mengen an Kalium durch die Losung in den Boden eingetragen, die vermutlich ohne größere Verluste vom Pflanzenbestand aufgenommen werden könnten. Es kann verdeutlicht werden, indem man die Werte auf die in der Landwirtschaft übliche Größe umrechnet. Auf der Fläche mit der normalen Besatzdichte werden jährlich etwa 7 kg K/ha dem Boden zugeführt und bei der zehnfachen Besatzdichte wären es 53 kg K/ha.

## 4.7 Kaliumaustrag

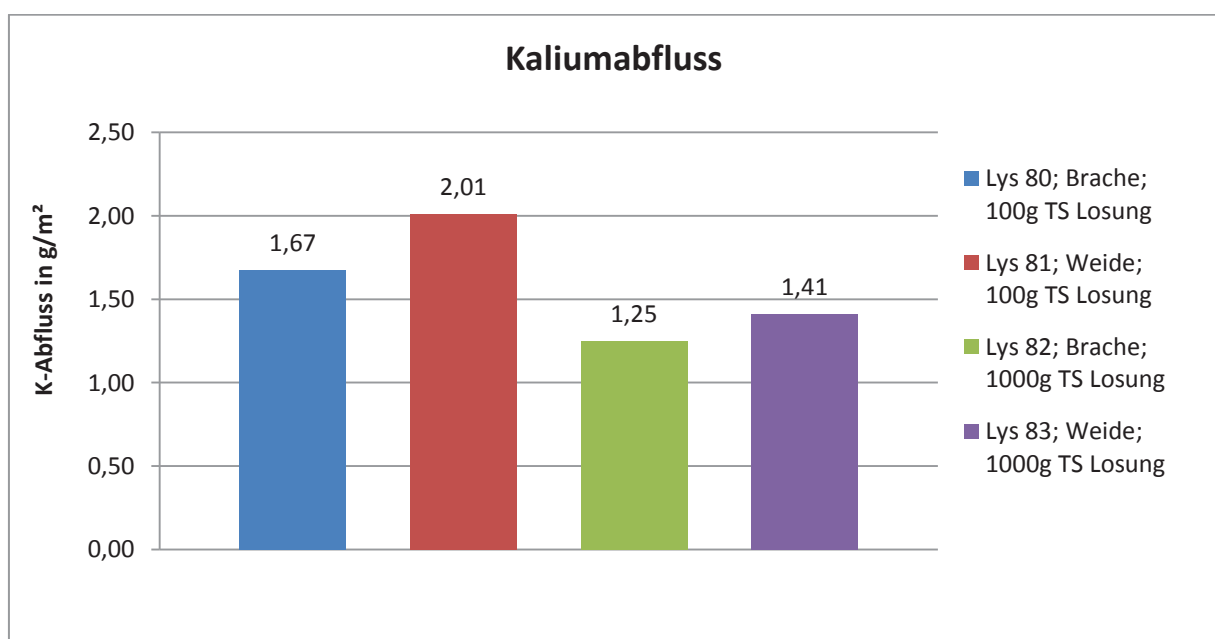


Abbildung 19: Kaliumabfluss in das Grundwasser auf der simulierten Weide und Brache bei einer Menge an Losung von 100 g TS/m<sup>2</sup> und 1000 g TS/m<sup>2</sup> (Mittel der Jahre 2003 bis 2011)

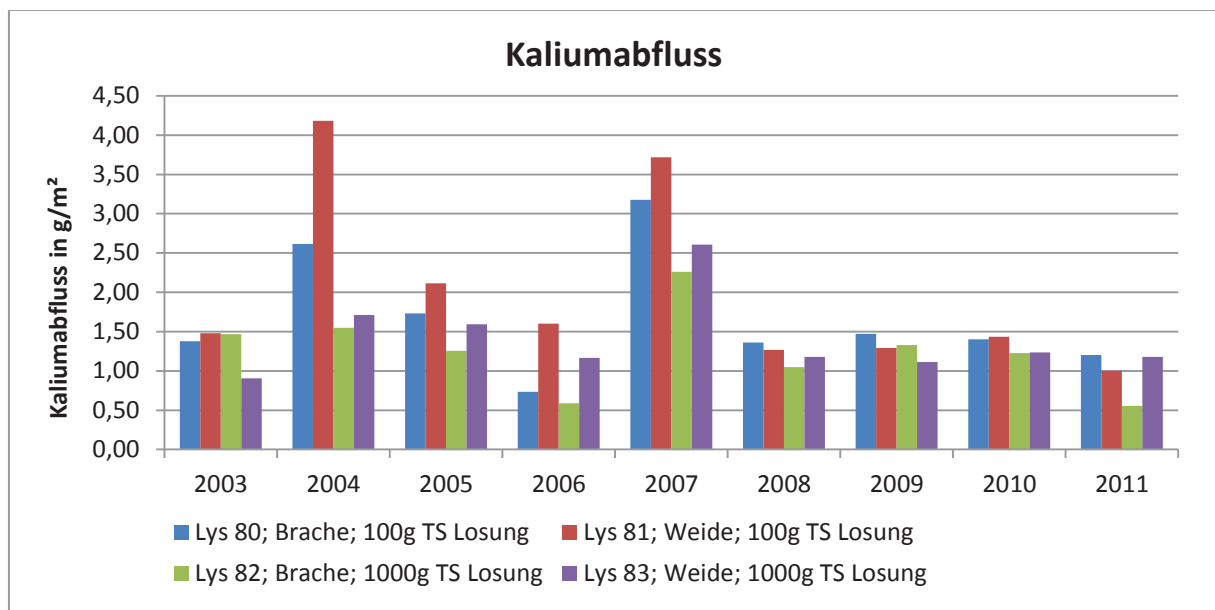


Abbildung 20: Jährlicher Kaliumabfluss in das Grundwasser auf der simulierten Weide und Brache bei einer Menge an Losung von 100 g TS/m<sup>2</sup> und 1000 g TS/m<sup>2</sup> im Versuchszeitraum 2003 bis 2011

Der durchschnittliche Kaliumeintrag in das Grundwasser ist in der Abbildung 19 aufgezeigt. Durch die dargestellten Mittelwerte aus den neun Versuchsjahren, kann entnommen werden, zu welchem Ausmaß es bei dem Kaliumeintrag durch die Losung in den Lysimetern kommt. Zu sehen sind erkennbare Unterschiede in den einzelnen Varianten. Es ist ein ähnliches Ergebnis erzielt worden, wie beim Ammoniumabfluss. Die Kaliumabflüsse sind auf den beiden niedrig gedüngten Flächen mit 1,67 g/m<sup>2</sup> auf der Brache und 2,01 g/m<sup>2</sup> auf der Weide höher, als die Abflüsse auf den hochgedüngten Flächen. Hier liegen die Werte bei 1,25 g/m<sup>2</sup> auf der Brache und bei 1,41 g/m<sup>2</sup> auf der Weide. Auch wenn sich die Ergebnisse beim Kalium nicht in so hohem Maße wie beim Ammoniumabfluss unterscheiden, so ist trotzdem eine erkennbare Differenz zwischen den niedrig und hoch gedüngten Lysimetern zu sehen. Auf der mit 100 g TS Losung/m<sup>2</sup> versehenen Brache ist der Kaliumaustrag um etwa ein Viertel höher, als auf der mit 1000 g TS Losung/m<sup>2</sup> versehenen Brache. Auf der Weide mit 100 g TS Losung/m<sup>2</sup> ist der Austrag etwa um ein Drittel höher. Werden nun noch die in Abbildung 20 aufgeführten jährlichen Kaliumabflüsse der Versuchsreihe mit in Betracht gezogen, so ist deutlich zu erkennen, dass die angegebenen Mittelwerte aus Abbildung 19 durchaus das reelle Maß des Kaliumabflusses widerspiegeln. Allerdings sind auch beim Kalium, ähnlich wie beim Stickstoffabfluss, in einzelnen Jahren kleinere Extreme von bis zu 4,2 g in den weniger gedüngten Lysimetern und bis zu 2,6 g in den höher gedüngten Lysimetern festzustellen. Außerdem gab es häufiger Jahre, in denen der Kaliumabfluss der weniger gedüngten Lysimeter den Werten der hochgedüngten nahekam. Ein eindeutiges Ergebnis zum Unterschied des Kaliumabflusses in Hinsicht auf die Variante Brache und Weide ist weder bei den hoch noch bei den niedrig gedüngten Lysimetern zu erkennen.

## 4.8 Kaliumaustrag im Bezug auf das Sickerwasser

Ähnlich wie beim Stickstoff ist die Größenordnung, in der Kalium in den Boden und in das Grundwasser eingetragen wird, von mehreren Faktoren abhängig. Durch die nachfolgenden Abbildungen wird diese Abhängigkeit genauer betrachtet und beschrieben. In der Abbildung 21 wird der Einfluss der anfallenden Sickerwassermenge auf den Kaliumabfluss dargestellt. Zunächst muss in Erwägung gebracht werden, dass es einen bereits in Abbildung 8 beschriebenen linearen Zusammenhang zwischen der Niederschlagsmenge und der Sickerwassermenge gibt. Bei der Analyse der Werte ist folgendes Ergebnis zu Stande gekommen: Ein Zusammenhang zwischen Sickerwassermenge und Kaliumabfluss konnte ausschließlich bei der simulierten Brache, sowohl hoch wie niedrig gedüngt, festgestellt werden. Zu bemerken sei, dass hier die Werte für die Bestimmtheit in beiden Fällen über 0,7 liegen und deshalb ein linearer Zusammenhang zwischen den beiden Größen besteht. Im Gegensatz zur Brache, ist bei den zwei Varianten der Weide in Betrachtung der Bestimmtheit, die sich für beide Fälle im Bereich um 0,2 bis 0,3 befindet, kein linearer Zusammenhang zu erkennen. Festzuhalten ist demzufolge, dass es einen Einfluss der Sickerwassermenge auf den Kaliumabfluss gibt, jedoch dieser nur in dem Versuch zur Brache festzustellen war. Das bedeutet, nicht in jedem Fall ist also diese Größe für den Austrag von Kalium verantwortlich.

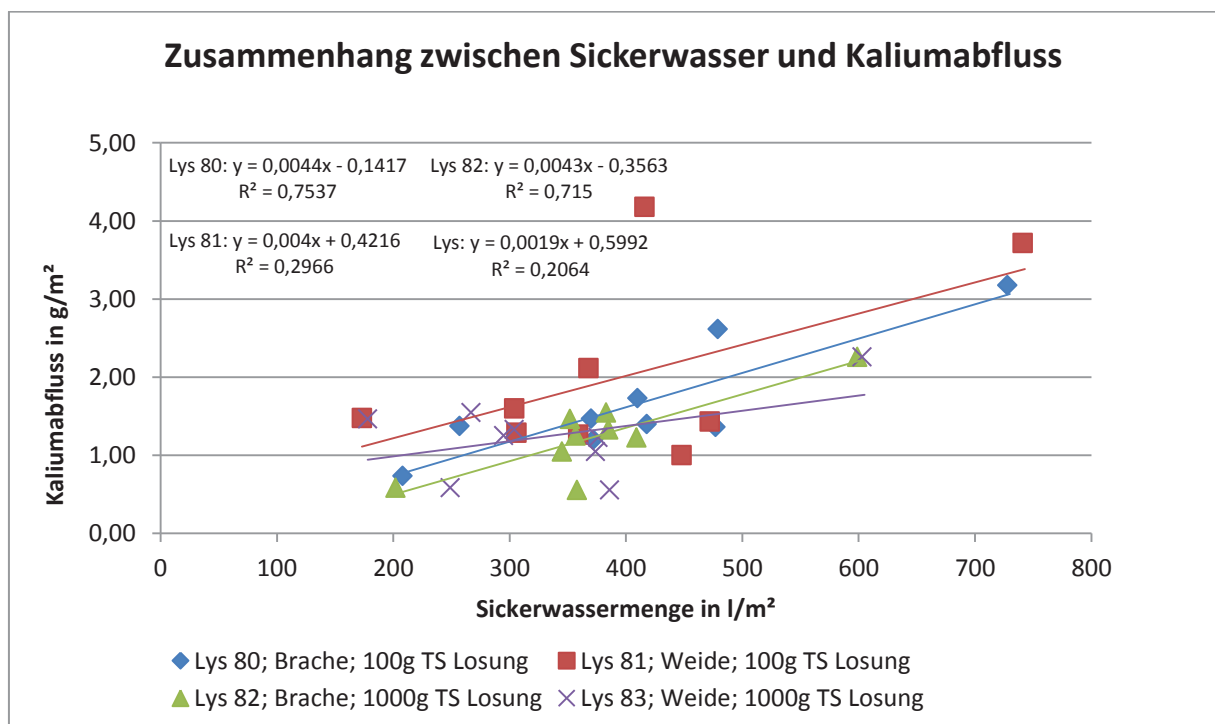


Abbildung 21: Einfluss der Sickerwassermenge auf den Kaliumabfluss in das Grundwasser im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011

## 4.9 Trockenmasseertrag und Kaliumentzug

Bevor es zu der Auswertung der Darstellungen zum Kaliumgehalt in der geernteten Trockenmasse kommt, muss eine für diese von hoher Wichtigkeit bereits im Zusammenhang mit dem Stickstoff getroffene Aussage aus der Abbildung 12 hinzugefügt werden. In dieser Abbildung wurden die auf den unterschiedlich hoch gedüngten Standorten erzielten Erträge in g TM/m<sup>2</sup> dargestellt. Das Ergebnis lautete wie folgt: Auf der simulierten Weide, die mit 100 g TS Losung versehen wurde, liegt der Ertrag bei etwas mehr als einem Drittel von dem, der auf der hochgedüngten Weide erzielt wurde. Bei der dargestellten Brache ist ein analoges Ergebnis zu sehen. Hier liegt die niedrig gedüngte Brache hinsichtlich der Erträge bei etwas weniger als einem Drittel. Der Ertrag und der damit verbundene Stickstoffentzug über das abgeerntete Pflanzenmaterial wird als eine weitere Größe vermutet, die einen Einfluss auf den Abfluss des Kaliums in das Grundwasser hat.

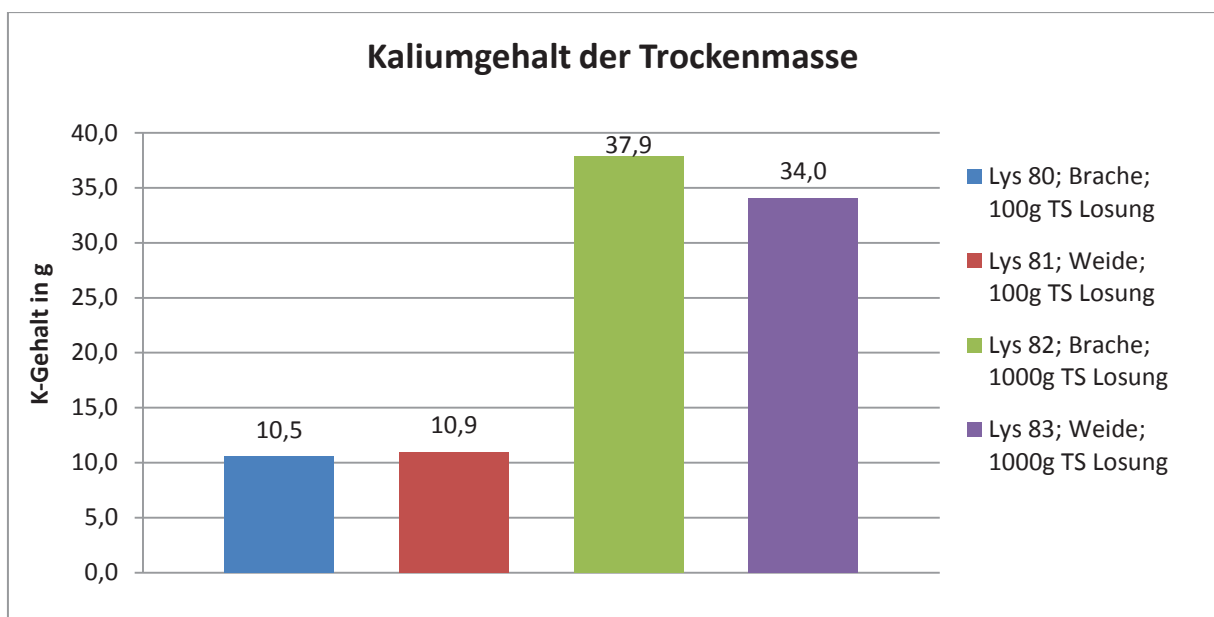
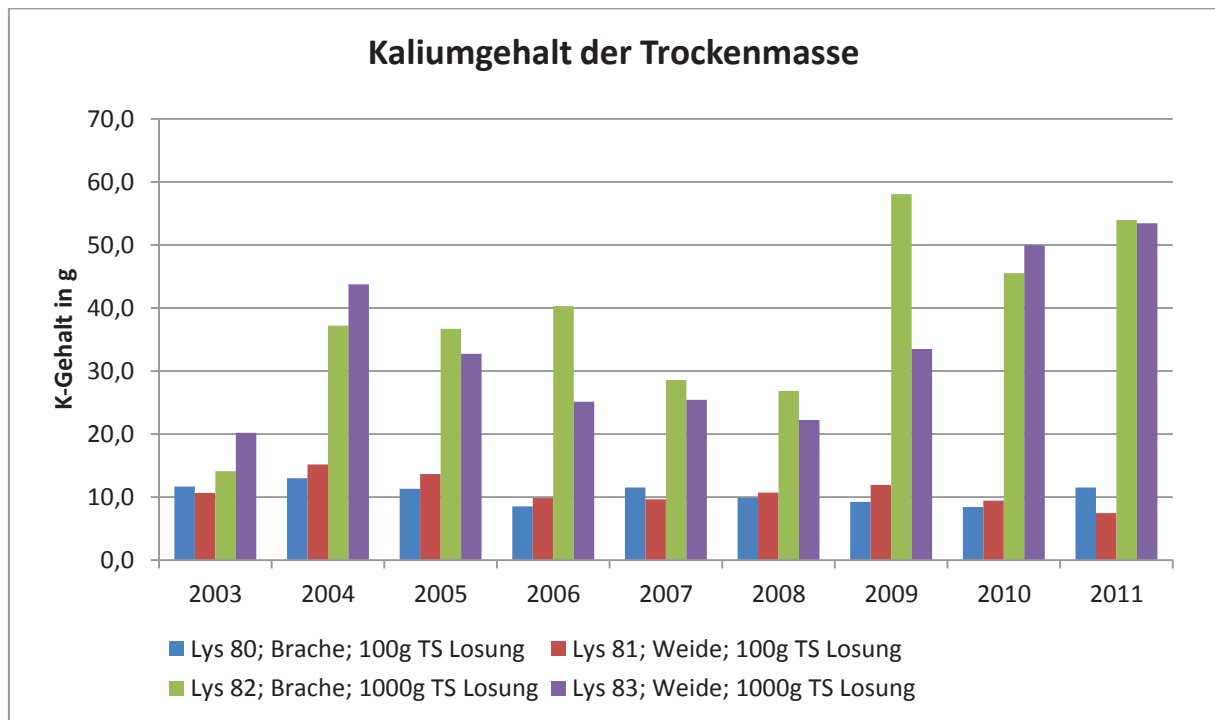


Abbildung 22: Kaliumgehalt der von 1 m<sup>2</sup> geernteten Trockenmasse auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m<sup>2</sup> und 1000 g TS/m<sup>2</sup> (Mittel der Jahre 2003 bis 2011)



**Abbildung 23: Jährlicher Kaliumgehalt der von 1 m<sup>2</sup> geernteten Trockenmasse auf der simulierten Weide und Brache bei einer gedüngten Menge an Losung von 100 g TS/m<sup>2</sup> und 1000 g TS/m<sup>2</sup> im Versuchszeitraum von 2003 bis 2011**

Betrachtet man die in der Abbildung 22 dargestellten Mittelwerte und die in der Abbildung 23 dargestellten jährlichen Werte an Kalium, die über das abgeerntete Pflanzenmaterial entzogen wurden, so ist ein eindeutiges Ergebnis zu erkennen.

Durch die aufgezeigten Mittel aus den Versuchsjahren wird auch bei dieser Darstellung gut ersichtlich, in welchem Ausmaß Kalium über die geerntete Pflanzenmasse entzogen wurde. Dabei wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den hoch und niedrig gedüngten Lysimetern festgestellt. Auf der Brache ist der Kaliumentzug bei der mit 1000 g TS Losung versehenen Variante mit 37,9 g K/m<sup>2</sup> fast viermal so hoch wie auf der weniger gedüngten Variante. Auf der Weide kann ebenfalls ein solches Ergebnis beobachtet werden, mit einem Entzug von 34 g K/m<sup>2</sup>, der mehr als dreimal so hoch ist. Der Kaliumentzug durch die Ernte der Kulturen in den Lysimetern ist wie gerade aus Abbildung 22 entnommen, bei den Varianten am höchsten, bei denen auch die höchsten Erträge (Abb.12) festgestellt wurden. Die Aussage, dass der Kaliumentzug über das Pflanzenmaterial in den höher gedüngten Lysimetern bei weitem stärker ist, als in den weniger gedüngten Lysimetern, wird auch bei der Betrachtung der in Abbildung 23 dargestellten jährlichen Ergebnisse verstärkt. Trotz der unregelmäßigen Schwankungen der Werte in einigen Jahren, ist die Größenordnung, in der Kalium entzogen wird, in jedem Jahr in den stärker gedüngten Varianten wesentlich höher. Festzuhalten ist auch hier ein ähnliches Ergebnis wie beim vorher analysierten Stickstoff. Aus den beschriebenen Darstellungen ist zu erkennen, dass es zu bemerkenswerten Erträgen und Kaliumentzügen, die weitaus höher sind, in den Lysimetern kommt, die mit der

zehnfachen Menge an Losung versehen wurden. Außerdem sind ebenfalls wie beim Stickstoff in den extrem hoch gedüngten Lysimetern mit den weitaus höheren Erträgen und K-Entzügen auch die geringsten Werte an Kalium im Grundwasser nachgewiesen worden. Dieser signifikante Zusammenhang zeigt sich, wenn die in der Abbildung 19 dargestellten Werte des Kaliumabflusses in das Grundwasser mit den Werten des Kaliumentzuges über das Pflanzenmaterial verglichen werden.

#### 4.10 Kaliumbilanz der Lysimeter

Um die Größenordnung, in der Kalium in Damwildgattern in das Grundwasser gelangt, noch einmal genau darzustellen, wurde für jeden der vier Lysimeter eine Kaliumbilanz erstellt.

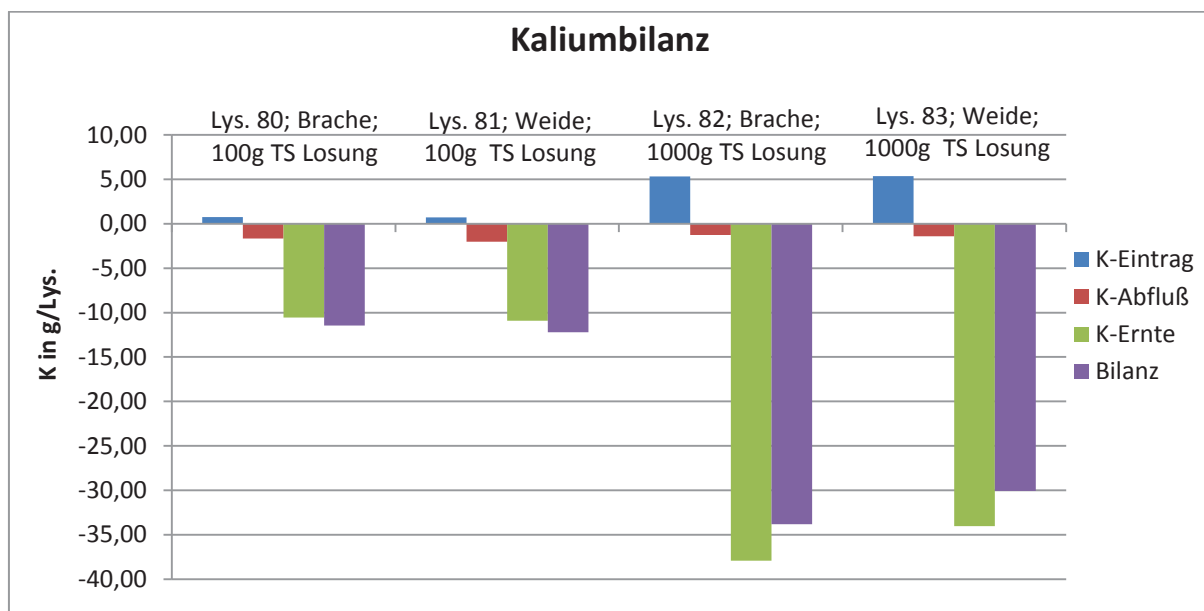


Abbildung 24: Kaliumbilanz der einzelnen Lysimeter im Mittel aus den Jahren 2003 bis 2011

In dieser Bilanz (Abb. 24) sind alle Werte, die zur Kaliumzufuhr und zur –abfuhr beitragen miteinbezogen. Die Werte wurden als ein Mittel aus den Ergebnissen der neun Versuchsjahre zusammengefasst dargestellt. Für die Kaliumzufuhr wurde der K-Eintrag durch die Losung berücksichtigt und für die Kaliumabfuhr wurden die Werte des K-Abflusses in das Grundwasser und außerdem die Werte des N-Entzuges über die geerntete Pflanzenmasse miteinberechnet. Betrachtet man die Bilanzen der vier Lysimeter, so wird sowohl bei der Düngung mit 100 g TS Losung/m<sup>2</sup> als auch bei der Düngung mit der zehnfachen Menge erkennbar, dass es bei jeder Variante zu einer negativen K-Bilanz kommt. Die nachfolgenden Bilanzen wurden für die einzelnen Lysimeter berechnet: Lys. 80: -11,46 g/m<sup>2</sup>, Lys. 81: -12,22 g/m<sup>2</sup>, Lys. 82: -33,84 g/m<sup>2</sup> und Lys. 83: -30,08 g/m<sup>2</sup>. In allen vier Bilanzen ist der Entzug über das Erntematerial offensichtlich der Faktor, der am stärksten zu der negativen Bilanz beiträgt. In den Lysimetern, die mit 100 g TS Losung/m<sup>2</sup>

versehen wurden, lagen diese Werte im Mittel auf der Weide bei 10,93 g /m<sup>2</sup> und auf der Brache bei 10,54 g/m<sup>2</sup>. In den beiden mit der zehnfachen Menge an Losung versehenen Lysimetern erreichten die Werte auf der Weide einen Entzug von 34,02 g/m<sup>2</sup> und auf der Brache einen Entzug von 37,92 g/m<sup>2</sup>. Hinsichtlich des Kaliumabflusses in das Grundwasser zeigt sich ein geringfügiger Beitrag zu der negativen Bilanz; in den vier Lysimetern werden Werte zwischen 1,25 g/m<sup>2</sup> und 2,01 g/m<sup>2</sup> ermittelt.

#### 4.11 Nährstoffgehalte im Sickerwasser

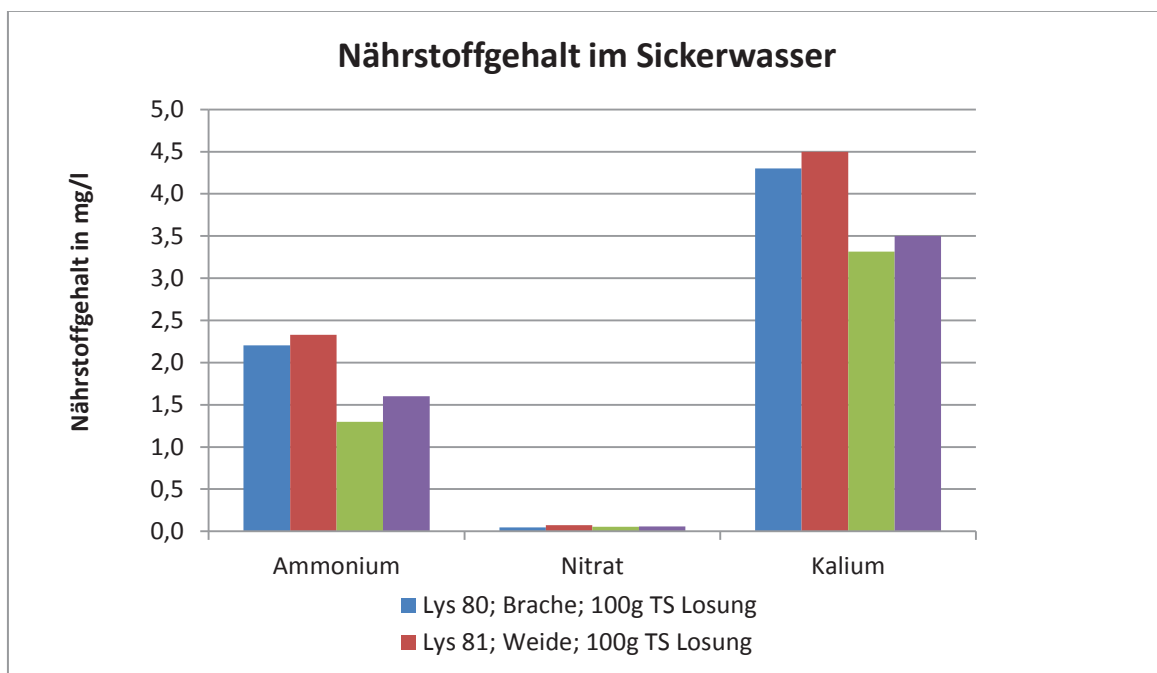


Abbildung 25: Gehalt an Ammonium, Nitrat und Kalium im Sickerwasser in mg/l (Mittel der Jahre 2003 bis 2011)

Die in der Abbildung 25 dargestellten Mittelwerte zeigen die Mengen auf, in denen Ammonium, Nitrat und Kalium in den Versuchsjahren im Sickerwasser enthalten war. Die von jedem Lysimeter dargestellten Nitratkonzentrationen zeigen hinsichtlich der verschiedenen Varianten keine Unterschiede. Weder bei der Brache noch bei der Weide können trotz unterschiedlicher Mengen an ausgebrachter Losung besonders hohe Konzentrationen an Nitrat im Sickerwasser festgestellt werden. Die Größenordnung, in der Nitrat im Sickerwasser enthalten war, lag bemerkenswerter Weise nur im Bereich zwischen 0,5 mg/l und 0,8 mg/l.

Ein unerwartetes Ergebnis stellte sich bei der Ammoniumkonzentration heraus. Es befanden sich deutlich höhere Mengen im Sickerwasser als beim Nitrat. Außerdem lagen die Konzentrationen der weniger stark gedüngten Lysimeter mit Werten um 2,2 mg/l etwas höher als die der hoch gedüngten mit Werten um 1,5 mg/l. Beachtlich sind auch die Kaliumgehalte, die in den verschiedenen Varianten zu verzeichnen sind. Mit Werten zwischen 3,3 mg/l und 5 mg/l konnte das Kalium in bemerkenswerten Mengen im Sickerwasser

nachgewiesen werden. Ähnlich wie beim Ammonium, ist auch beim Kaliumgehalt ein Unterschied zwischen den beiden Varianten hoch und niedrig gedüngt zu verzeichnen. Bei den mit 100 g TS Losung/m<sup>2</sup> gedüngten Lysimetern lag die Konzentration im Sickerwasser bei ca. 4,5 mg/l und bei den mit 1000 g TS Losung/m<sup>2</sup> gedüngten bei ca. 3,5 mg/l.

## 5 Diskussion

Gegner der landwirtschaftlichen Wildhaltung unterstellen, dass es in den Gattern zu erhöhten Nährstoffeinträgen aus dem Boden in das Grundwasser kommt.<sup>17</sup> In dem in Paulinenaue über mehrere Jahre hinweg durchgeführten Versuch zum Einfluss von unterschiedlichen Mengen an Damwildlosung auf die Grundwasserqualität, sollte dieser Behauptung nachgegangen werden. Dazu wurden die in den neun Versuchsjahren erzielten Ergebnisse ausgewertet. Für den Versuch wurden zwei Standorte nachgeahmt mit jeweils einer hochgedüngten Variante (zehnfache Menge an Losung 1000 g TS/m<sup>2</sup>) und einer niedriggedüngten Variante (normal anfallende Menge 100 g TS/m<sup>2</sup>l). Es wurden die typische Weide und eine Brache, die den Zufütterungsplatz in den Gattern simulieren soll, als Standort dargestellt. Auf der Brache wurden besonders hohe Austräge erwartet.

### Nitrat

Die Verlagerung von Nitrat in das Grundwasser stellt in Deutschland immer wieder große Probleme dar. Mit dem Anstieg der Verwendung von stickstoffhaltigen Düngemitteln und der Viehhaltung stieg auch die Konzentration von Nitrat im Grundwasser an. Dieses Resultat ist etwa seit den 1950er Jahren zu erkennen und führt so weit, dass es in einigen Teilen der Bundesrepublik zu deutlichen Überschreitungen des Grenzwertes laut Trinkwasserverordnung von 50 mg/l kommt. Das Nitrat an sich ist für die menschliche Gesundheit weniger von Bedeutung. Das Problem ist allerdings, dass das Nitrat unter bestimmten Bedingungen zu Nitrit reduziert wird und dieses dann in höheren Konzentrationen besonders für Säuglinge von großer Gefahr ist.<sup>18</sup> Aus diesem Grund sollte der Schwerpunkt der Arbeit auf der Nitrat-Betrachtung liegen. Bei der Auswertung der Ergebnisse ist jedoch klar geworden, dass es unter den Bedingungen, wie sie im Versuch vorherrschen, zu dieser Gefährdung nicht kommen kann. Betrachtet man einmal die in der Abbildung 25 dargestellten Nährstoffgehalte, die mit einem Liter Sickerwasser im Durchschnitt der Jahre transportiert wurden, so wird schnell klar, dass Nitrat nur in sehr geringen Mengen enthalten ist und der Grenzwert von 50 mg/l nicht annähernd erreicht wird.

---

<sup>17</sup> [http://www.herd-und-hof.de/index/cmd/catalogue\\_details/modul/portal/kernwert/willkommen/block/catalogue\\_1/field/1833/show/0/search//replace/1/](http://www.herd-und-hof.de/index/cmd/catalogue_details/modul/portal/kernwert/willkommen/block/catalogue_1/field/1833/show/0/search//replace/1/) (03.09.13; 16:59 Uhr)

<sup>18</sup> Blume, Hans-Peter et al. (2011): Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und Bodenbelastung Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. 4. Auflage. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim: S. 248ff



Mit Werten, die 0,1 mg/l nicht überschreiten, ist das Nitrat von allen betrachteten Nährstoffen mit den geringsten Mengen im Sickerwasser vertreten. Ein weiteres erstaunliches Ergebnis stellte sich bei der Betrachtung der Abbildungen 2 und 5 heraus. Trotz der unterschiedlichen Variationen in der Düngung der einzelnen Lysimeter sind die Mengen, die an Nitrat pro m<sup>2</sup> ausgetragen wurden in allen vier Versuchen auf dem gleichen Niveau von 0,02 g/m<sup>2</sup> bis 0,03 g/m<sup>2</sup>. Die Größenordnung, in der Nitrat aus dem Boden ausgetragen wird, ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Unter anderem beeinflusst die anfallende Sickerwassermenge und auch die Menge an Stickstoff, die die Pflanzen aufnehmen, die Nitratauswaschung.<sup>19</sup> Der Zusammenhang zwischen der Sickerwassermenge und dem Nitrataustrag konnte jedoch in diesem Versuch nicht nachgewiesen werden (vgl. Abb. 10). Die in allen Varianten niedrigen Auswaschungsergebnisse sind vermutlich darauf zurückzuführen, dass durch die Losung (organischer Dünger) dem Boden fast ausschließlich Stickstoff in Form von Ammonium und in Form von organisch gebundenem Stickstoff zugeführt wird.<sup>20</sup> Dieser organische Stickstoff wird nur sehr langsam durch die mikrobiell gesteuerte Ammonifikation zu Ammonium umgewandelt. Zu der Freisetzung von Nitrat kommt es ebenfalls durch einen mikrobiellen Prozess, der als Nitrifikation bezeichnet wird und zu einer Versauerung des Bodens beiträgt. Im Gegensatz zur Ammonifikation ist dieser Vorgang besonders von dem im Boden vorherrschendem pH-Wert abhängig. Die Umsetzung erfolgt am effektivsten bei hohen pH-Werten und ist bereits ab einem pH-Wert von unter 5,5 stark verringert.<sup>21</sup> In den Lysimetern, die für den Versuch verwendet wurden, befindet sich Sauerbraunerde, die durch einen ermittelten pH-Wert von 4,4 gekennzeichnet ist. Aus diesem Grund ist auf eine geringe Nitrifikationsrate in den Lysimetern zu schließen, durch die es nur zu einer geringen Bereitstellung von Nitrat für die Pflanzen kommt. Diese nehmen den Stickstoff allerdings vornehmlich in Form von Nitrat auf.<sup>22</sup> Da es in den Lysimetern nur zu einer geringen Freisetzung von Nitrat kommt, liegt die Vermutung nahe, dass diese Mengen direkt von den Pflanzen aufgenommen werden und somit eine grundwassergefährdende Auswaschung unterbleibt.

### Ammonium

Im Gegensatz zum Nitrat ist das Ammonium für die menschliche Gesundheit eher weniger von Bedeutung. Trotzdem darf es im Trinkwasser nur in einer Konzentration von maximal 0,5 mg/l enthalten sein. Dieser Grenzwert ist so niedrig angesetzt, da es in höheren Konzentrationen zu technischen Problemen im Trinkwasserversorgungssystem führt. Unter anderem kann eine erhöhte Konzentration im Trinkwasser zur Beschädigung oder

---

<sup>19</sup> Blume, Hans-Peter et al. (2010): Scheffer / Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg: S. 411

<sup>20</sup> <http://www.oeffizientduengen.de/files/orgduenger.php> (02.09.13; 19:28 Uhr)

<sup>21</sup> Schubert, Sven (2006): Pflanzenernährung. Grundwissen Bachelor. 2. Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart: S.110ff

<sup>22</sup> YARA GmbH & Co. KG. (2011): Effizient düngen. Sondernewsletter Januar 2011. Wie wirkt sich die Stickstoffform auf das Wurzelwachstum aus? Dülmen

Verkeimung der Rohrleitungen führen. Außerdem bereitet es Probleme bei der Chlorung, die der Abtötung der Keime dient.<sup>23</sup> In Deutschland kommt es nicht selten zu der Belastung von Ökosystemen mit Ammonium, die nur sehr langfristig wieder beseitigt werden können. Die im Jahr 1990 in der Bundesrepublik durchgeführten Untersuchungen mehrerer natürlicher Lebensräume haben in 99 Prozent der Fälle eine Nährstoffübersorgung gezeigt und mehr als die Hälfte unterlagen einer enormen Übersäuerung. Die Verunreinigung der Umwelt wird allerdings meist über die Atmosphäre durch Ammoniak (entweicht gasförmig häufig bei nicht sachgemäßer Ausbringung von Düngemitteln<sup>24</sup>) und Ammonium verursacht, die häufig aus der Landwirtschaft in die Luft gelangen. Aus diesem Grund werden die beiden Stoffe, neben einigen anderen, als die wichtigsten Luftschadstoffe, die die Umwelt belasten, angesehen.<sup>25</sup> Zu einer Beeinträchtigung des Grundwassers durch die Auswaschung von Ammonium aus dem Boden kommt es aufgrund der schnellen Umwandlung oder der Fixierung im Boden nur selten. Einen Sonderfall hinsichtlich dieser Betrachtung stellen Sandböden dar, in ihnen kann es durchaus zu höheren Ammoniumausträgen kommen.<sup>26</sup> Die vorliegenden Ergebnisse aus dem langjährigen Versuch zeigen einen engen Zusammenhang zwischen der Intensität der Düngung und dem Umfang der Ammoniumverlagerung auf. Betrachtet man die Konzentration des Ammoniums im Sickerwasser und den Gesamtaustrag der einzelnen Lysimeter und vergleicht diese Ergebnisse mit den unterschiedlich hohen Werten des Stickstoffeintrages durch die Losung, so ist ein signifikanter Zusammenhang festzustellen (vgl. Abb. 25, Abb. 4 und Abb. 2). Erstaunlicherweise sind sowohl die Gesamtmengen als auch die Konzentrationen im Sickerwasser in den Lysimetern am höchsten, in denen die geringsten Mengen an Stickstoff über die Losung eingetragen wurden. Ein bemerkenswerter Unterschied in Hinsicht auf die Variation Brache und Weide konnte nicht festgestellt werden, was sicher der schnellen Selbstbegrünung geschuldet ist, die annähernd gleich hohe Erträge wie die Gräsermischung brachte. Die Konzentrationen im Sickerwasser bewegten sich in den hochgedüngten Lysimetern im Bereich zwischen 1,3 mg/l und 1,6 mg/l und in den niedriggedüngten um 2,3 mg/l. Allerdings sei zu bemerken, dass in allen Varianten der Grenzwert für den Gehalt im Grundwasser von 0,5 mg/l überschritten wurde. In den stark gedüngten Lysimetern sind die Werte mehr als doppelt so hoch und in den weniger gedüngten sogar mehr als viermal so hoch. Der Grund für die höhere Nährstoffverlagerung in den niedrig gedüngten Lysimetern ist vermutlich auf den weniger gut entwickelten Pflanzenbestand zurückzuführen, der anhand der in Abbildung 12 dargestellten Trockenmasseerträge zu erkennen ist. Pflanzen nehmen Stickstoff hauptsächlich in Form von Nitrat auf. Durch die Losung wird jedoch dem Boden nur Ammonium als anorganischer

---

<sup>23</sup> Kreis Pinneberg. Fachdienst Umwelt.(2003): Trinkwasser aus dem eigenen Brunnen. Qualität – Probleme – Empfehlungen. Pinneberg S. 2ff

<sup>24</sup> Schubert, Sven (2006): Pflanzenernährung. Grundwissen Bachelor. 2. Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart: S.113

<sup>25</sup> Bayerisches Landesamt für Umwelt (2013): UmweltWissen – Schadstoffe. Ammoniak und Ammonium. Augsburg: S. 1ff

<sup>26</sup> Blume, Hans-Peter et al. (2010): Scheffer / Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg: S. 505

Stickstoff zugeführt. Das Problem, das sich daraus ergibt, liegt bei der niedrigen Umsetzungsrate von Ammonium zu Nitrat im Versuchsboden.

Es ist also davon auszugehen, dass in allen vier Varianten den Pflanzen nur wenig Nitrat zur Verfügung steht, es aber in den stark gedüngten Lysimetern, durch die größere Menge an Lösung, zu einer etwas besseren Versorgung mit Nitrat kommen müsste. Als nächstes muss in Erwägung gezogen werden, dass sich eine gute Versorgung der Pflanzen mit Nitrat stark auf deren Entwicklung auswirkt. In erster Linie wird dabei das Wurzelwachstum positiv beeinflusst. Da durch die bessere Versorgung mit Nitrat demzufolge die Wurzeln der Pflanzen in den stark gedüngten Lysimetern besser ausgebildet sind, kann von diesen Pflanzen auch mehr von dem Ammonium aufgenommen werden. Dieses wird durch das Wachsen der Wurzeln im Boden erschlossen. Zu erkennen ist dies auch an dem Gehalt an Stickstoff in der geernteten Trockensubstanz (vgl. Abb. 14). Durch die kräftigere Entwicklung des Wurzelsystems erreichen die Pflanzen auch tieferliegendes Wasser und andere Nährstoffe im Boden besser.<sup>27</sup> Als Resultat aus diesem Zusammenhang sind die geringeren Auswaschungen auf den hoch gedüngten Lysimetern und die stärkeren Auswaschungen auf den wenig gedüngten Lysimetern zu sehen. Der bereits erwähnte Zusammenhang zwischen der anfallenden Sickerwassermenge und der Stickstoffauswaschung konnte im Bezug auf das Nitrat nicht festgestellt werden, beim Ammonium hingegen ist eine sehr starke Beziehung zu erkennen (vgl. Abb. 11). Die verminderte Aufnahme an Ammonium durch die Pflanzen und das geringe Bindungsvermögen im Sandboden könnten der Grund für dieses Ergebnis sein. Die in der Abbildung 16 dargestellten Bilanzen sollten noch einmal die Mengen an Stickstoff widerspiegeln, die in den einzelnen Lysimetern ein- und ausgetragen wurden. Auch hier ist klar zu erkennen, dass der Entzug über das Pflanzenmaterial die Bilanz am meisten beeinflusst und große Mengen an Stickstoff von den Pflanzen aufgenommen werden, wodurch deren Auswaschung vermieden wird.

### Kalium

Das Kalium ist für den Menschen als Nährstoff von essentieller Bedeutung.<sup>28</sup> Aus diesem Grund liegt der Grenzwert für die Konzentration im Grundwasser laut Trinkwasserverordnung bei 12 mg/l und höhere Konzentrationen, die auf eine geologische Ursache zurückzuführen sind, werden bis zu einem Gehalt von 50 mg/l akzeptiert. Sind die höheren Gehalte jedoch nicht durch diese Ursache zustande gekommen, so sind sie meist durch die Landwirtschaft verursacht worden.<sup>29</sup> Kalium ist auch für die Landwirtschaft von großer Bedeutung, da es ein

---

<sup>27</sup> YARA GmbH & Co. KG. (2011): Effizient düngen. Sondernewsletter Januar 2011. Wie wirkt sich die Stickstoffform auf das Wurzelwachstum aus? Dülmen

<sup>28</sup> Kreis Pinneberg. Fachdienst Umwelt.(2003): Trinkwasser aus dem eigenen Brunnen. Qualität – Probleme – Empfehlungen. Pinneberg S. 4

<sup>29</sup>[http://www.nlwkn.niedersachsen.de/wasserwirtschaft/grundwasser/grundwasserbeschaffenheit/messergebnisse\\_landesweit/kaliumgehalte/38552.html](http://www.nlwkn.niedersachsen.de/wasserwirtschaft/grundwasser/grundwasserbeschaffenheit/messergebnisse_landesweit/kaliumgehalte/38552.html) (03.09.13; 14:15 Uhr)

für die Pflanzen sehr wichtiger Nährstoff ist. Aus diesem Grund ist die Düngung dieses Nährelements für eine gute Pflanzenernährung unumgänglich.<sup>30</sup>

Ob es zu einer Verlagerung des Nährstoffes kommt, ist vor allem von der Bodenart und der Sickerwassermenge abhängig. Auf tonhaltigen Böden kommt es eher selten zu größeren Auswaschungsverlusten, wohingegen die Moor- und Sandböden häufiger Verluste von bis zu über 30 kg/ha und Jahr verzeichnen.<sup>31</sup> Betrachtet man die in der Abbildung 25 aufgezeigten Gehalte an Kalium im Sickerwasser, so ist ohne weiteres zu erkennen, dass in diesem Versuch eine Qualitätsbeeinträchtigung des Grundwassers durch das Kalium auszuschließen ist. Da die Gehalte im Sickerwasser der einzelnen Lysimeter in keiner Variante über 4,5 mg/l hinaus gehen und der Grenzwert von 12 mg/l mehr als doppelt so hoch angesetzt ist, kann diese Aussage schnell getroffen werden. Deutlich wird jedoch auch, dass das Kalium von allen untersuchten Nährstoffen mit den höchsten Mengen im Sickerwasser enthalten ist. Auch die Nährstoffverlagerung pro m<sup>2</sup> ist beim Kalium im Vergleich mit den Ergebnissen der anderen Nährstoffe am stärksten ausgefallen (vgl. Abb. 19, Abb. 5 und Abb. 4). Der Grund für diese Ergebnisse lässt sich schnell erklären und ist ähnlich wie beim bereits untersuchten Ammoniumabfluss auf die Bindung im Boden und den Einfluss der Sickerwassermenge zurückzuführen (vgl. Abb. 21). Dieser Zusammenhang traf allerdings nur für die Brache zu. Werden aber die Abflüsse in das Grundwasser miteinander verglichen, können auch bei der simulierten Weide Austräge in der jeweils gleichen Größenordnung wie bei der Brache festgestellt werden (vgl. Abb. 19). Wie beim Ammonium sind die Austräge des Kaliums in den weniger gedüngten Lysimetern höher als die in den hochgedüngten. Die Ursache dafür ist vermutlich wie beim Ammoniumabfluss die verminderte Aufnahme durch die weniger gut entwickelten Wurzeln, denn die in der Abbildung 22 dargestellten Kaliumgehalte in der Trockenmasse zeigen die höheren Werte in den stark gedüngten Lysimetern. Auch die Bilanzen des Kaliums zeigen negative Ergebnisse auf. Wie beim Stickstoff ist der Entzug über das Pflanzenmaterial der entscheidende Faktor, der die größten Kaliummengen entzieht und deren Auswaschung verhindert.

Generell ist zu sagen, dass Ergebnisse, die aus Lysimeterversuchen stammen durch eine hohe Aussagekraft gekennzeichnet sind und bei Verknüpfung mit Feldversuchen direkt in die Praxis übertragen werden können. „Lysimeter eignen sich hervorragend, Stoffbilanzen zu erstellen, die sicherer als Wasserbilanzen in die Landschaft transformiert werden können. Über der Bodenoberfläche wirkende Lysimeterfehler wie Oaseneffekte, Turbulenzen und Randwirkungen beeinflussen Stoffbilanzen weniger als die Wasserbilanz, da die Stoffproduktion davon in geringem Maße betroffen ist. Zwar können auch hier laterale

---

<sup>30</sup> Kunkel, Ralf et al. (2002): Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit ausgewählter hydrostratigrafischer Einheiten in Deutschland. Jülich, Berlin, Cottbus: S. 10

<sup>31</sup> Blume, Hans-Peter et al. (2011): Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und Bodenbelastung Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. 4. Auflage. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim: S. 254

Stoffflüsse nicht berücksichtigt werden, doch ist davon auszugehen, dass Erosionsprozesse auf dem Grünland nur eine untergeordnete Rolle spielen.“<sup>32</sup>

Bevor diese Ergebnisse auf die Damwildgatter in der Praxis übertragen werden können, sollten die Ergebnisse aus Feldversuchen noch mit einbezogen werden, da aufgrund von versuchstechnischen Gründen der Harneinfluss und der laterale Wasserfluss nicht berücksichtigt werden konnte. Hier kann man sich bislang nur an Literaturangaben von anderen Nutztierarten orientieren. Aus diesen sind Richtwerte bekannt, dass im Vergleich zum Kot über den Harn der Tiere in Abhängigkeit von der Nahrungs- und Wasseraufnahme eine höhere Menge an Stickstoff rückgeliefert wird<sup>33</sup>. Ohne den Bezug zu Feldversuchen würde es mit großer Wahrscheinlichkeit zu Fehlerquellen führen. Desweiteren muss zwischen der Überschreitung der Höchstmengen im Sickerwasser und denen im Grundwasser unterschieden werden. Aus den Werten bezüglich des Sickerwassers kann man auf keinen Fall schlussfolgern, dass eine Belastung der Grundwasserqualität vorliegt. Hierbei sind weitere Fakten zu berücksichtigen, wozu unter anderem die Verdünnung des Sickerwassers im Grundwasser gehört. Nur so wäre es möglich, die tatsächliche Belastung ermitteln zu können.<sup>34</sup> Aus diesen Gründen sind Untersuchungen in der Landschaft angeraten, um praxisgerechte Interpretationen der Versuchsergebnisse zu erlauben.

---

<sup>32</sup> Schalitz, Gisbert et al (1996): Wasserverbrauch, Stoffaustag, Ertrag und Qualitätsparameter nachwachsender Rohstoffpflanzen. In: ZALF-Bericht Nr. 26 Stoffhaushalt von Niedermooren und hydromorphen Mineralböden des nordostdeutschen Tieflandes. Hrsg.: Gisbert Schalitz, Axel Behrendt, Wolfgang Merbach und Manfred Fechner. Müncheberg S. 35

<sup>33</sup> Ebel, G. (2002) Einfluss des Tierverhaltens auf die Exkrementstellenverteilung, den Exkrementstickstoffrückfluss und die Mengen an mineralischen Bodenstickstoff auf Mähstandweiden mit Mutterkühen. HU Berlin, Diss. 193 S

<sup>34</sup> Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (2011): Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades. Boden→ Grundwasser; Sickerwasserprognose. Mainz: S. 6

## 6 Zusammenfassung

Hinsichtlich kritischer Aussagen gegenüber der Haltung von Wildtieren in Gattern kann durch die dargestellten Versuchsergebnisse aus den neunjährigen Lysimeterversuchen zunächst einmal von keiner Gefährdung ausgegangen werden. Wenn auch einschränkend bemerkt werden muss, dass die Harnausscheidungen aus versuchstechnischen Gründen nicht berücksichtigt werden konnten. Für die Zukunft sollten die Lysimeterergebnisse durch Feldversuche unter Praxisbedingungen ergänzt und untermauert werden.

Betrachtet man allerdings nur die abgegebene Losung auf den jeweiligen Flächen, ist sehr deutlich zu erkennen, dass die hochgedüngten Lysimeter durch eine positive Pflanzenentwicklung und eine daraus resultierende geringere Auswaschung gekennzeichnet sind. Hingegen zeigen die weniger gedüngten Lysimeter eine verminderte Entwicklung der Vegetation und eine demzufolge höhere Auswaschung auf. Eine Verunreinigung des Grundwassers konnte unter den Bedingungen, wie sie in diesem Versuch simuliert wurden, nicht festgestellt werden. Zu erwähnen sind lediglich die erhöhten Ammoniumwerte im Sickerwasser.

Ebenso zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede bei der Betrachtung der Größenordnung in der die Nährstoffe auf den verschiedenen Standorten (Brache und Weide) ausgetragen werden, wenn man nur die Damwildlosung in den Versuch einbezieht.

## Literaturverzeichnis

AID INFODIENST VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT E.V. (2006): Düngung nach guter fachlicher Praxis. Phosphor Kalium Magnesium Kalk Schwefel Spurennährstoffe. Bonn.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2013): UmweltWissen – Schadstoffe. Ammoniak und Ammonium. Augsburg.

BEHRENDT, AXEL ET AL (1999): 30 Jahre Paulinenauer Grundwasserlysimeter – eine Zusammenfassung ausgewählter Ergebnisse. Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., Forschungsstation Paulinenaue.

BEHRENDT, AXEL ET AL (2009): Die Paulinenauer Grundwasserlysimeteranlage Entstehung, Funktion und Ergebnisse. In: Symposium 60 Jahre Wissenschaftsstandort Paulinenaue. Hrsg.: Paulinenauer Arbeitskreis Grünland und Futterwirtschaft e.V.. Paulinenaue.

BLUME, HANS-PETER ET AL (2010): Scheffer / Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.

BLUME, HANS-PETER ET AL (2011): Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und Bodenbelastung Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. 4. Auflage. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

EBEL, G. (2002) Einfluss des Tierverhaltens auf die Exkrementstellenverteilung, den Exkrementstickstoffrückfluss und die Mengen an mineralischen Bodenstickstoff auf Mähstandweiden mit Mutterkühen. HU Berlin, Diss. 193 S

FINCK, ARNOLD (2007): Pflanzenernährung und Düngung in Stichworten. 6. Auflage. Gebrüder Borntraeger Verlag, Berlin, Stuttgart.

GOLZE, MANFRED. (2007): Landwirtschaftliche Wildhaltung. Eugen Ulmer KG, Stuttgart.

KREIS PINNEBERG. FACHDIENST UMWELT.(2003): Trinkwasser aus dem eigenen Brunnen. Qualität – Probleme – Empfehlungen. Pinneberg.

KUNKEL, RALF ET AL. (2002): Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit ausgewählter hydrostratigrafischer Einheiten in Deutschland. Jülich, Berlin, Cottbus.

LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUFICHT RHEINLAND-PFALZ (2011): Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfad. Boden→ Grundwasser; Sickerwasserprognose. Mainz.

SCHALITZ, GISBERT ET AL (1996): 25 Jahre Lysimeterforschung in Paulinenaue und Neukonzipierung der Untersuchungen 1992. In: ZALF-Bericht Nr. 26 Stoffhaushalt von Niedermooren und hydromorphen Mineralböden des nordostdeutschen Tieflandes. Hrsg.: Schalitz et al. Müncheberg.

SCHALITZ, GISBERT ET AL (1996): Wasserverbrauch, Stoffaustrag, Ertrag und Qualitätsparameter nachwachsender Rohstoffpflanzen. In: ZALF-Bericht Nr. 26 Stoffhaushalt von Niedermooren und hydromorphen Mineralböden des nordostdeutschen Tieflandes. Hrsg.: Gisbert Schalitz, Axel Behrendt, Wolfgang Merbach und Manfred Fechner. Müncheberg.

SCHALITZ, GISBERT ET AL (1996): Zum Stellenwert der Lysimeteruntersuchungen in der Agrarlandschaftsforschung. In: ZALF-Bericht Nr. 26 Stoffhaushalt von Niedermooren und hydromorphen Mineralböden des nordostdeutschen Tieflandes. Hrsg.: Schalitz et al. Müncheberg.

SCHUBERT, SVEN (2006): Pflanzenernährung. Grundwissen Bachelor. 2. Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

YARA GMBH & CO. KG. (2011): Effizient düngen. Sondernewsletter Januar 2011. Wie wirkt sich die Stickstoffform auf das Wurzelwachstum aus? Dülmen.



## **Internetquellen**

[http://www.nlwkn.niedersachsen.de/wasserwirtschaft/grundwasser/grundwasserbeschaffenheit/messergebnisse\\_landesweit/kaliumgehalte/38552.html](http://www.nlwkn.niedersachsen.de/wasserwirtschaft/grundwasser/grundwasserbeschaffenheit/messergebnisse_landesweit/kaliumgehalte/38552.html) (03.09.13; 14:15 Uhr)

<http://www.oeffizientduengen.de/files/orgduenger.php> (02.09.13; 19:28 Uhr)

[http://www.herd-und-hof.de/index/cmd/catalogue\\_details/modul/portal/kernwert/willkommen/block/catalogue\\_1/field/1833/show/0/search//replace/1/](http://www.herd-und-hof.de/index/cmd/catalogue_details/modul/portal/kernwert/willkommen/block/catalogue_1/field/1833/show/0/search//replace/1/) (03.09.13; 16:59 Uhr)

<http://www.zalf.de/de/forschung/services/fos/bereiche/Seiten/paulinenaue.aspx> (01.08.13; 15:00 Uhr)

# Anhang

Im folgenden Anhang werden alle Tabellen aufgeführt, aus denen die Werte für die erstellte Arbeit hervorgegangen sind.

## Wasser Zufluss / Abfluss

Lys 80																		
Monat	2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011	
	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss
Januar		61		71		45		3		91		113		19		10		70
Februar		4		60		2		35		48		8		45		54		24
März		22		6		49		64		47		79		29		39		8
April	59	13	68	36	42	4	3	16	74	20	58	93	90	17	44	0	35	2
Mai	68	11	61	27	59	60	30	9	46	124	28	3	50	32	13	79	52	1
Juni	119	12	64	38	55	24	55	0	27	115	78	6	58	18	98	12	42	4
Juli	110	18	42	98	45	92	101	8	17	131	63	27	89	14	111	4	16	117
August	161	9	83	23	43	22	38	13	51	30	55	12	141	0	49	78	25	15
September	35	27	32	35	44	16	45	4	23	44	32	11	58	1	14	58	23	25
Oktober	11	20	16	29	17	21	6	0	7	1	1	57	1	78	13	5	9	31
November		25		53		24		26		45		34		68		79		16
Dezember JE		35		3		51		30		32		34		49		0		59
Σ Veg. Periode	563	110	366	286	305	239	278	50	245	465	315	209	487	160	342	236	202	195
Σ Win. Periode		147		193		171		158		263		268		210		182		177
Σ Jahr		257		479		410		208		728		477		370		418		372
Lys 81																		
Monat	2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011	
	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss
Januar		56		65		56		8		86		94		16		10		72
Februar		4		53		34		36		47		9		28		50		20
März		19		4		24		61		44		69		37		41		7
April	67	11	30	2	50	3	45	45	63	0	7	36	67	0	40	1	55	4
Mai	68	0	33	0	31	28	55	24	43	119	37	1	39	29	16	80	72	9
Juni	118	3	81	66	61	20	88	8	33	127	74	1	33	6	85	15	68	23
Juli	99	0	38	86	36	73	127	16	34	150	65	22	51	4	99	12	29	155
August	158	0	75	28	39	18	52	29	51	36	43	9	103	0	44	78	34	23
September	29	18	28	25	32	16	70	7	23	51	25	6	55	0	16	66	31	33
Oktober	6	10	9	24	14	15	8	9	12	5	0	52	1	67	13	8	12	33
November		20		47		27		32		44		26		68		81		0
Dezember JE		32		16		54		29		32		34		51		30		69
Σ Veg. Periode	545	42	294	231	263	173	445	138	259	488	251	127	349	106	313	260	301	280
Σ Win. Periode		131		185		195		166		253		232		200		212		168
Σ Jahr		173		416		368		304		741		359		306		472		448
Lys 82																		
Monat	2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011	
	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss
Januar		60		72		57		6		84		120		24		5		50
Februar		5		50		34		29		47		3		40		44		26
März		21		8		20		51		43		65		22		34		6
April	52	6	232	23	68	0	15	9	63	0	7	36	222	53	80	22	92	0
Mai	77	13	60	4	120	65	76	11	33	98	27	4	116	33	27	66	103	11
Juni	134	11	76	29	82	11	130	0	27	57	45	1	84	8	114	10	102	32
Juli	124	8	50	62	48	60	128	8	23	135	73	12	150	17	121	8	42	139
August	188	13	153	23	83	10	92	22	97	26	76	10	213	4	54	68	62	7
September	167	105	62	29	75	24	105	0	63	40	37	2	89	1	26	62	60	22
Oktober	44	52	18	25	11	13	6	6	13	1	1	40	1	75	15	1	17	25
November		21		48		16		30		37		30		58		72		0
Dezember JE		37		10		47		30		31		22		50		17		40
Σ Veg. Periode	786	208	651	195	487	183	552	56	319	357	266	105	875	191	437	237	478	236
Σ Win. Periode		144		188		174		146		242		240		194		172		122
Σ Jahr		352		383		357		202		599		345		385		409		358
Lys 83																		
Monat	2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011	
	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss
Januar		48		65		52		12		78		113		15		6		60
Februar		7		56		23		31		36		4		39		43		20
März		13		5		23		61		44		64		19		33		4
April	43	2	47	5	63	0	44	31	90	0	8	28	124	1	55	0	102	3
Mai	76	4	45	0	45	17	77	10	49	95	68	6	72	31	31	54	156	17
Juni	126	5	64	3	112	11	126	11	19	98	149	8	53	5	135	9	138	25
Juli	111	0	45	30	42	47	129	11	30	130	128	25	127	10	134	6	55	135
August	172	5	146	10	87	8	70	22	96	17	155	25	238	0	51	71	85	17
September	33	26	64	16	93	24	88	0	54	35	103	6	109	0	31	58	103	42
Oktober	9	17	9	17	39	27	13	7	13	0	16	46	2	75	14	2	10	23
November		22		47		18		27		38		20		60		75		0
Dezember JE		29		13		45		26		32		29		49		19		40
Σ Veg. Periode	570	59	420	81	481	134	547	92	351	375	627	144	725	122	451	200	649	262
Σ Win. Periode		119		186		161		157		228		230		182		176		124
Σ Jahr		178		267		295		249		603		374		304		376		386
Mittel der Jahre																		
Lys 80	413																	
Lys 81	399																	
Lys 82	377																	
Lys 83	337																	

Witterung

Monat	Niederschlag																															
	1971/2000	1981/2010	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Januar	40	46	58,6	41,6	67,6	63,0	35,8	69,1	51,6	36,7	8,2	32,1	17,2	40,9	43,8	112,7	63,0	0,8	3,8	50,4	29,0	29,8	33,0	35,0	53,4	77,9	54,1	19,5	82,0	123,8	21,0	24,7
Februar	30	36	19,7	10,9	20,0	30,4	17,9	13,3	50,2	76,5	31,1	57,9	25,8	40,7	18,3	7,2	56,5	28,0	61,2	9,8	46,9	48,0	45,0	71,0	5,7	48,1	44,6	43,7	50,7	20,7	37,1	30,0
März	37	41	139,7	41,8	29,8	8,2	25,8	44,5	24,1	60,2	23,7	20,8	34,9	67,1	10,8	73,8	52,5	9,0	19,6	40,5	45,0	63,9	35,0	33,0	23,3	14,1	19,3	50,7	54,5	76,9	37,8	44,6
April	32	28	22,9	15,4	72,1	39,8	54,4	38,2	26,1	1,7	28,7	25,8	33,6	36,3	15,2	39,4	34,3	9,6	28,8	35,9	33,0	25,6	34,0	44,0	13,9	24,1	8,6	34,6	2,4	57,2	0,9	5,3
Mai	46	49	40,7	64,5	80,7	110,1	31,8	85,3	58,2	9,1	14,2	5,9	24,0	18,5	66,5	47,6	43,5	67,2	43,2	17,8	45,0	14,7	12,0	39,0	27,1	22,1	69,8	42,5	153,8	12,8	70,7	129,5
Juni	63	57	60,5	73,5	14,3	67,3	58,0	68,7	63,6	82,3	33,7	108,7	77,2	20,3	144,3	35,7	62,7	48,0	24,7	58,0	53,3	26,0	43,0	58,0	26,3	47,9	54,9	23,3	186,3	25,6	48,9	12,8
Juli	49	53	61,6	15,2	2,7	25,9	22,1	57,0	38,7	44,9	41,2	18,4	23,0	88,1	82,6	26,1	46,3	51,8	71,5	52,5	17,6	72,0	43,0	60,0	29,2	128,5	119,9	28,8	193,8	68,8	47,3	26,4
August	54	55	73,6	37,4	51,7	29,1	34,3	34,3	56,5	18,1	97,8	57,9	49,5	118,9	59,6	114,7	37,8	36,1	11,3	56,0	24,0	95,2	39,0	93,0	19,7	44,6	45,2	79,0	56,3	59,8	8,0	122,1
September	41	46	52,9	3,9	17,0	54,1	36,2	42,9	72,1	26,3	5,4	48,9	54,7	28,1	79,8	76,4	75,6	22,9	10,2	56,8	31,1	42,3	112,0	44,0	52,7	37,7	43,2	16,1	79,9	45,6	21,8	92,2
Oktober	33	36	71,4	40,9	31,5	37,0	10,9	31,3	11,9	14,8	40,2	14,4	14,4	39,5	8,2	32,3	6,8	56,0	26,7	113,4	18,0	36,0	28,0	97,0	32,1	33,7	23,4	34,2	9,6	67,6	101,2	12,3
November	39	42	45,5	27,0	44,4	37,7	36,6	23,3	59,5	32,2	46,4	48,0	49,3	55,2	27,0	36,0	44,3	36,2	16,4	38,3	19,0	24,3	45,0	74,0	26,0	54,1	30,7	33,6	50,4	30,0	74,4	86,4
Dezember	51	47	45,6	35,9	59,2	28,9	58,7	102,4	36,0	51,4	47,4	65,0	38,6	50,1	84,6	56,4	27,9	12,9	65,1	45,7	79,7	33,0	46,0	15,0	34,7	16,9	55,5	35,0	28,7	34,9	51,5	54,2
Summe	515	536	692,7	408,0	491,0	631,5	422,5	610,3	548,5	454,2	418,0	503,8	442,2	603,7	640,7	658,3	551,2	378,5	380,5	575,1	441,6	510,8	515,0	663,0	344,1	549,7	569,2	441,0	623,7	520,6	640,5	

Monat	Lufttemperatur																															
	1971/2000	1981/2010	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Januar	0,2	0,5	-1,2	-2,6	4,8	1,4	-5,6	-0,2	-7,3	3,6	3,4	3,8	2,0	1,5	2,2	3,2	0,4	-4,1	-2,6	2,9	3,1	1,5	0,8	2,1	-0,5	-1,0	2,9	-3,3	5,2	4,1	-2,2	-4,8
Februar	0,7	1,0	1,0	0,1	-1,8	0,0	-3,3	-7,7	-1,4	2,9	4,0	6,3	-3,2	2,8	0,0	-0,9	4,7	-3,2	4,3	5,7	1,3	4,3	1,4	5,1	-2,0	-2,8	-0,3	0,0	3,6	4,7	0,4	-0,4
März	4,0	4,3	6,4	4,7	4,6	2,0	3,3	2,9	-0,4	2,7	6,8	7,3	6,0	4,3	3,6	5,6	3,5	0,7	4,9	4,7	5,3	5,3	2,9	5,4	4,2	5,1	3,1	1,3	7,2	4,5	5,0	4,9
April	7,9	8,7	7,5	6,8	8,6	7,3	7,8	6,9	9,1	8,4	8,5	8,3	8,0	7,4	10,7	8,9	8,5	8,9	6,6	10,1	9,7	11,3	7,7	8,4	8,9	9,8	9,5	7,7	11,2	8,3	12,6	8,9
Mai	13,4	13,8	15,4	13,4	12,9	12,9	14,5	15,1	10,7	15,2	14,3	14,8	11,1	13,6	15,5	13,3	12,7	12,1	13,1	15,1	14,1	15,7	14,5	15,2	14,9	12,8	13,5	14,0	15,1	14,9	13,9	11,0
Juni	16,3	16,6	17,2	16,6	16,8	14,1	14,6	16,8	15,1	15,8	16,4	16,6	15,7	18,2	15,6	16,1	15,2	16,1	17,5	17,3	16,0	18,1	14,8	17,4	19,5	15,7	16,5	18,5	18,3	18,2	15,6	17,2
Juli	18,2	18,9	17,8	20,0	21,0	16,0	18,1	18,2	17,5	18,4	18,6	17,4	20,7	18,6	16,4	22,3	20,7	16,1	18,9	16,9	20,5	16,3	19,7	18,6	20,2	17,4	17,0	23,9	18,1	19,2	19,9	21,4
August	17,8	18,2	17,0	18,9	18,7	18,0	17,6	17,2	16,0	17,8	17,6	18,6	18,5	19,0	15,6	18,2	19,2	18,6	21,2	16,7	17,9	17,5	19,0	20,2	20,4	19,0	16,3	17,1	18,0	18,1	20,1	17,0
September	13,5	13,9	13,8	15,9	13,9	12,5	13,6	11,3	13,9	13,8	15,6	12,5	15,3	12,8	12,3	13,5	13,0	11,3	14,0	13,9	17,7	14,0	12,7	14,2	14,5	13,3	14,8	17,0	13,3	13,3	15,5	12,8
Oktober	8,9	9,1	8,2	10,2	9,4	10,7	9,1	9,3	9,4	9,4	10,8	10,1	7,6	5,0	8,0	7,3	11,2	9,2	8,0	8,6	9,4	11,6	12,6	7,8	5,4	9,6	11,2	12,4	8,1	9,4	7,6	7,8
November	4,1	4,5	4,5	6,3	4,0	4,1	1,5	6,5	6,0	2,9	2,8	5,1	3,5	4,5	0,1	6,7	2,3	5,0	3,5	1,5	3,9	6,4	4,3	4,1	6,4	4,6	4,4	7,2	4,0	5,6	7,7	4,2
Dezember	1,6	1,2	-3,3	2,2	0,3	0,3	3,7	2,1	2,2	3,5	2,4	1,1	1,9	1,2	3,3	3,7	-3,5	-2,8	1,8	0,8	2,7	2,9	0,1	-1,9	2,5	2,5	1,3	5,6	2,2	1,7	0,0	-4,5
MW	8,9	9,2	8,7	9,4	9,4	8,3	7,9	8,2	7,6	9,5	10,1	10,2	8,9	9,1	8,6	9,8	9,0	7,3	9,3	9,5	10,1	10,4	9,2	9,7	9,5	9,3	9,2	10,1	10,4	10,2	9,7	8,0





## Inhaltsstoffe der geernteten Trockensubstanz

Lysimeter	Jahr	Ertrag		Inhaltsstoffe Pflanzenproben aller Schnitte			
		GM	TM	N ges.g/m <sup>2</sup>	P ges.g/m <sup>2</sup>	K ges.g/m <sup>2</sup>	Ca ges.g/m <sup>2</sup>
Lys 80	2003	1912	516,6	7,1	1,6	11,7	3,0
	2004	1817	500,8	8,1	2,0	13,0	3,3
	2005	1805	485,1	7,1	1,8	11,3	3,4
	2006	1130	336,2	4,9	1,4	8,5	2,7
	2007	1891	435,9	6,7	1,7	11,5	4,3
	2008	1330	343,3	7,9	0,9	9,9	2,3
	2009	1567	467,6	7,8	1,6	9,2	2,8
	2010	1357	355,4	5,9	1,6	8,4	3,3
	2011	2594	507,8	7,5	2,1	11,5	4,6
Lys 81	2003	1777	493,9	6,8	1,4	10,6	3,0
	2004	2227	630,5	9,7	2,0	15,1	3,4
	2005	2468	620,2	10,1	2,0	13,6	3,1
	2006	1808	528,6	7,5	1,7	9,8	2,4
	2007	1917	518,7	7,6	1,6	9,6	3,5
	2008	1912	511,6	8,9	1,7	10,7	3,3
	2009	2484	722,6	12,1	2,7	11,9	4,1
	2010	2275	529,9	9,9	2,5	9,4	5,0
	2011	2130	543,7	8,5	2,5	7,4	6,0
Lys 82	2003	2559	637,1	11,6	1,8	14,1	3,8
	2004	4870	1180,1	23,3	4,9	37,2	4,7
	2005	5788	1369,7	23,6	5,3	36,7	7,4
	2006	6466	1259,4	23,8	6,5	40,3	10,3
	2007	5630	1099,6	20,3	5,8	28,5	14,2
	2008	5286	999,7	31,2	4,9	26,8	8,1
	2009	10348	2399,7	45,1	11,8	58,1	11,8
	2010	6384	1497,4	29,5	9,7	45,5	4,6
	2011	8098	1855,5	35,4	12,6	53,9	8,5
Lys 83	2003	3416	824,2	12,3	2,8	20,2	4,3
	2004	7061	1441,5	26,6	5,0	43,7	7,1
	2005	7994	1615,7	24,9	5,7	32,7	10,3
	2006	5039	1272,5	19,4	5,5	25,1	8,1
	2007	5367	1117,5	20,8	5,2	25,4	9,8
	2008	5692	1329,7	25,5	7,9	22,2	7,3
	2009	5947	1602,2	33,2	7,4	33,5	7,7
	2010	8183	1842,7	36,1	8,5	49,9	10,3
	2011	10288	2426,4	41,8	12,1	53,4	18,9

Erträge der Lysimeter

Lysimeter	Jahr	GM	TM
Lys 80	2003	1912	516,6
	2004	1817	500,8
	2005	1805	485,1
	2006	1130	336,2
	2007	1891	435,9
	2008	1330	343,3
	2009	1567	467,6
	2010	1357	355,4
	2011	2594	507,8
	2012	1765	421,8
Lys 81	2003	1777	493,9
	2004	2227	630,5
	2005	2468	620,2
	2006	1808	528,6
	2007	1917	518,7
	2008	1912	511,6
	2009	2484	722,6
	2010	2275	529,9
	2011	2130	543,7
	2012	1830	463,9
Lys 82	2003	2559	637,1
	2004	4870	1180,1
	2005	5788	1369,7
	2006	6466	1259,4
	2007	5630	1099,6
	2008	5286	999,7
	2009	10348	2399,7
	2010	6384	1497,4
	2011	8098	1855,5
	2012	8713	2142,7
Lys 83	2003	3416	824,2
	2004	7061	1441,5
	2005	7994	1615,7
	2006	5039	1272,5
	2007	6355	1254,0
	2008	5692	1329,7
	2009	5947	1602,2
	2010	8183	1842,7
	2011	10288	2426,4
	2012	11896	2839,5

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich bin damit einverstanden, dass meine Arbeit in die Hochschulbibliothek eingestellt wird.

Dominic Richter, Friesack, den 09.09.13