

Tagungsbeitrag zu:  
Jahrestagung der DBG  
Kom. IV / K 4.2.2  
Titel der Tagung:  
Böden – divers & multifunktional

Veranstalter: DBG, September 2023,  
Halle  
Berichte der DBG (nicht begutachtete online  
Publikation)  
<http://www.dbges.de>

## **Einfluss der Stickstoffdüngerform und Menge auf den Stickstoffaustrag unter Grünland in Grundwasserlysimetern**

Frank Eulenstein<sup>1,3</sup>; Elmira Salnikov; <sup>2,3</sup>  
Matthias Thielicke<sup>1,3</sup>; Martin Wendt<sup>1,3</sup>; Axel  
Behrendt<sup>1,3</sup>

### **ZUSAMMENFASSUNG/SUMMARY**

In Lysimeterversuchen unter Grünland zeigten die konventionellen Varianten ertragsbedingt deutlich negativere N-Salden, als die Varianten des Ökolandbaus. Selbst in der zweiten Hälfte der Versuchslaufzeit mit einer Düngung von 300 kg N/ha waren die konventionellen Varianten noch negativ, was in einer besseren N-Verfügbarkeit und höheren Erträgen begründet lag. Der N-Austrag über Sickerwasser war insgesamt mit weniger als 1mg/l vernachlässigbar gering (Ammonium + Nitrat). Auch wenn Düngungshöhen von 300 kg N/ha im Ökolandbau praktisch keine Relevanz besitzen und nicht erlaubt sind, kann die hohe Verwertungseffizienz von Düngergaben im Grünland daran aufgezeigt werden.

### **SCHLÜSSELWORTE/ KEYWORDS:**

Lysimeterversuche, Stickstoffaustrag,  
Grundwasserbelastung, Grünlanddüngung

<sup>1</sup>Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) Münchenberg, Eberswalder Straße 84, D-15374 Münchenberg, Email: [feulenstein@zalf.de](mailto:feulenstein@zalf.de)

<sup>2</sup>Soil Science Institute, Teodora Dragezerat 7, RS 1100 Belgrade, Serbia

<sup>3</sup>Mitscherlich Academy for Soil Fertility, (MITAK) Prof.-Mitscherlich-Allee 1, 14641 Paulinenaue, Germany

## **EINLEITUNG/ INTRODUCTION**

Am Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) wurden seit 2016 auf der Lysimeterstation in Paulinenaue „Musterbetriebe“ für die Wassereinzugsgebietsbewirtschaftung unter Grünland angelegt. Verglichen wurden organische Düngungsvarianten des ökologischen Landbaus mit mineralischen Düngungsvarianten des „konventionellen“ Landbaus mit und ohne Nitrifikationshemmer. Die Versuche wurden 2016 mit jeweils vierfacher Wiederholung gestartet. Insgesamt umfasste der Versuch 20 monolithische Grundwasser-Lysimeter mit einer Oberfläche von einem Quadratmeter und einer Tiefe von 1,5 m. Die drei ausschließlich mit Wirtschaftsdüngern gedüngten Varianten des Ökolandbaus wurden mit Bakterienzusätzen (*B. azospirillum* und *B. subtilis*) und gänzlich ohne Zusätze von Mikroorganismen durchgeführt.

Grasland erfüllt eine Reihe von Funktionen, die mit Art der Nutzung (Weide, Mähweide, Schnittnutzung mit und ohne Abfuhr des Schnittgutes) und Bewirtschaftungsintensität (hoher vs. geringer Einsatz von Pflanzennährstoffen, hohe versus geringe Nutzungsintensität) variieren. Extensive Nutzungsverfahren zielen neben der Bereitstellung von Futterbiomasse besonders auf die Integration von Anliegen des Natur- und Bodenschutzes. Intensive Nutzung verfolgt primär das Ziel der Erzeugung qualitativ hochwertigen Grobfutters in ausreichender Menge zur Versorgung von Tierbeständen. Von der Art der Nutzung, dem Einsatz von Nährstoffen und der Nutzungshäufigkeit hängt auch die botanische Zusammensetzung einer Grünlandnarbe ab (Tallowin et al. 1999; 2005; Trott et al. 2004, Petersen et al. 2012; Schmeer et. al. 2014, Chen et. al. 2016, Loges et al. 2020).

Einen zentralen Einfluss auf die botanische Zusammensetzung und auch das Leistungspotential von Grünlandbeständen hat das Alter der Grasnarbe (Loges 1998; Nevens und Reheul, 2003; Chen et. al 2016). Je nach Alter des Bestandes unterscheidet man zwischen Dauergrünland und temporärem Grünland oder Ackergras. Unter Dauergrünland versteht man Grasland, welches seit mindestens fünf Jahren nicht mehr Teil der Fruchtfolge auf dem Ackerland war. Bei Ackergras bzw. Klee gras

handelt es sich um 1 bis 3 Jahre, maximal 5 Jahre genutzte Futterbaubestände, die Teil von Ackerfruchtfolgen sind. Eine Sonderform nimmt das sogenannte Wechselgrünland ein, wenn der überwiegende Teil der Fruchtfolge zusammenhängend eine Gras- bzw. Kleeegrasnarbe ist. Ob eine Fläche als Acker oder Dauergrünland genutzt wird, hängt von Bodenbedingungen, Bodenwasserverhältnissen, Hangneigung und auch der Hofentfernung ab. Auf Moorböden oder im Alpenraum ist natürlicherweise mehr Dauergrünland zu finden als auf Lössböden der Börden. Im Folgenden wird als Grasland immer das Dauergrünland, Ackergras und Kleeegras zusammengefasst.

### Düngungsmanagement im Grasland

Die Düngung von Grasland unterliegt der Nitratrüchrichtlinie (1991), die auf nationaler Ebene durch die gültige Düngeverordnung (DüV, BLE, 2020) umgesetzt ist. Hierbei ist festzuhalten, dass im ökologischen Landbau keine Düngung mit synthetischen Stickstoff-Düngern und leicht löslichen Phosphat-Düngern stattfindet.

In der aktuellen DüV wird Stickstoff ausschließlich nach Bedarf gedüngt. Hierbei sind auch spezifische Regelungen der einzelnen Bundesländer, insbesondere in sog. Roten Gebieten, zu beachten. Je nach Ertragsniveau wird von einem bundesweit einheitlich gültigen N-Bedarfswert ein Zu- oder Abschlag in Rechnung gebracht, der Ertragsabweichungen, Humusgehalte im Boden und Leguminosenanteile berücksichtigt. Die Nutzungsart wirkt sich entscheidend auf die N-Düngung aus. Über den Ertrag wird von Schnittflächen Stickstoff exportiert. Durch Schnitt genutzte Wiesen weisen je Einheit TM-Ertrag deutlich höhere N-Bedarfswerte auf als im Ertrag entsprechende Weideflächen. Je nach Weidemanagement, Zufütterung und Leistungspotential schwanken die N-Exporte über Fleisch und Milch von der Weide in einem Bereich von 4-25 %. Rinder scheiden auf der Weide, je nach Geschlecht, Rasse, Leistungsstand und Zufütterung, bis zu 96% des aufgenommenen N wieder aus, sodass auf Weiden durch Tierprodukte kaum Nährstoffexporte auftreten (Whitehead 2000, Buckley and Donnellan 2020, Correa-Luna et al. 2021). Mähweiden liegen im N-Bedarf entsprechend zwischen reinen Schnitt- und reinen Weideflächen. Laut DLG (2018) weist

Schnittgrünland im Mittel einen Stickstoffbedarf von 2,3 kg N je dt TM-Ertrag auf. Reine Weiden liegen im Mittel bei 1,2, Mähweiden bei 1,9 kg N je dt potentiell erntbarer Grasbiomasse. Auf Betriebsebene ist damit eine hervorragende Kenntnis des Ertragsniveaus die Grundvoraussetzung für optimales Nährstoffmanagement.

Auf der Basis von 96.000 Nmin-Analysen in Hessen konnte Berthold (2022) darstellen, dass Grünland unter allen geprüften Anbaufrüchten die geringsten Herbst Nmin-Werte aufweisen konnte und somit die geringsten potentiell grundwasserbelastende Stickstofffrachten nach dem Ende der Vegetationsperiode im Boden hinterließ. Die Autoren schlußfolgerten, dass Grünland aus Sicht des qualitativen Grundwasserschutzes Vorteile gegenüber den Ackerflächen hat, da durch eine geschlossene Grasnarbe die Gefahr des Nitrataustrags geringer ist. Gegenüber der Landnutzung „Wald“ hat Grünland den Vorteil einer höheren Grundwasserneubildungsrate.

Im ökologischen Landbau findet keine mineralische Stickstoffdüngung statt. Grundnährstoffe und Spurenelemente dürfen in wenig aufgeschlossener Form nach bewilligtem Antrag in beschränkter Menge gedüngt werden. Neben der Düngeverordnung begrenzt die EU-Verordnung zum ökologischen Landbau (EU, 2018) die Menge und Art von Wirtschaftsdüngemitteln durch maximal zulässige Tierbesatzstärken. Die deutschen ökologischen Anbauverbände schränken diese weiter ein (beispielsweise: Bioland, 2022). Sind jeweils die maximalen Viehbesatzstärken von z.B. 2 Milchkühen ohne Nachzucht je Hektar erreicht, dürfen keine weiteren Stickstoffdünger auf Ökobetriebe importiert werden. Die neue EU-Verordnung zum Ökolandbau schreibt den Anbau von Leguminosen vor und sieht darin die Haupt-N-Quelle von Ökobetrieben.

Die Stickstoffversorgung findet daher entweder über Wirtschaftsdünger statt oder durch den Eintrag über die biologische N-Fixierung durch Leguminosen. Im Wirtschaftsgrünland ist der Weißklee (*Trifolium repens*) als ausdauernde, weidefeste Leguminose (Kaske, 2000) die bei weitem wichtigste Leguminosenart. Im über- bis zweijährigen Kleeegrasanbau im gemäßigten Klima sind der Rotklee (*Trifolium pratense*) und unter mehr trocken-

kontinentalerem Klima auf besseren Böden die Luzerne (*Medicago sativa*) die wichtigsten Leguminosen. Hornklee (*Lotus corniculatus*), Hopfenklee (*Medicago lupulina*), Esparsette (*Onobrychis viciifolia*) oder Schwedenklee (*Trifolium hybridum*) spielen eine untergeordnete Rolle im produktiven Grasland. Stehen Beweidung oder eine Anbaudauer von über 2 Jahren im Vordergrund, wird gewöhnlich auch der Weißklee fester Bestandteil der Kleeegrasmischung. Mit Ausnahme der Luzerne, die auch in Reinsaaten angebaut wird, ist der Gemengeanbau mit Gräsern das Standardverfahren. Bei Schnittnutzung sind Rotklee und Luzerne dem Weißklee ertraglich überlegen (Kleen et al. 2011). Neben der Leguminosenart und der potentiell erntbaren Biomasse ist nach Høgh-Jensen et al. (2004) die Höhe der realisierten biologischen N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung von der Nutzungsart (Schnitt-, versus Weide- versus Mulch- versus Mischnutzung), dem Bestandesalter, der Bestandeszusammensetzung und der N-Verfügbarkeit bzw. N-Düngung abhängig. Nach Marschner (2012) reduziert sich die Höhe der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung mit zunehmender Menge an verfügbarem N im Boden. Dieser Zusammenhang kann auch als Selbstregulation angesehen werden, denn die N<sub>2</sub>-Bindung für die Leguminose ist sehr energieaufwändig. Dieser Umstand hat aus Umweltgesichtspunkten den Nebeneffekt, dass ab einer bestimmten Menge von mineralisch verfügbarem N im Boden kein weiterer Luftstickstoff durch die Leguminosenbestände fixiert und ins System gebracht wird. Anhaltend geringe N-Fixierung kommt immer dann zum Tragen, wenn bei einer Nutzung keine oder nur geringe Mengen der potentiell erntbaren Stickstoffmengen von der Fläche abgefahren werden. So verringert die Stickstofffreisetzung aus Weidetierexkrementen sowie aus dem Mulchmaterial von Reinigungsschnitten die Höhe der N<sub>2</sub>-Fixierung. Höchste N-Fixierungsleistungen werden auf schnittgenutzten Dauergrünland bzw. Kleeegras-Beständen erzielt. In Norddeutschland berichten Trott et al. (2004) auf schnittgenutztem Dauergrünland von einer N<sub>2</sub>-Fixierleistung zwischen 150 und 200 kg N/ha und Kaske (2000), bei ebenfalls schnittgenutztem Kleeegras von 250-350 kg N/ha jährlicher N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung. Glowacki et al. (2022) kommen im Luzerneanbau auf unterschiedlichen Standorten in Nordwest Deutschland auf >400 kg jährliche N-

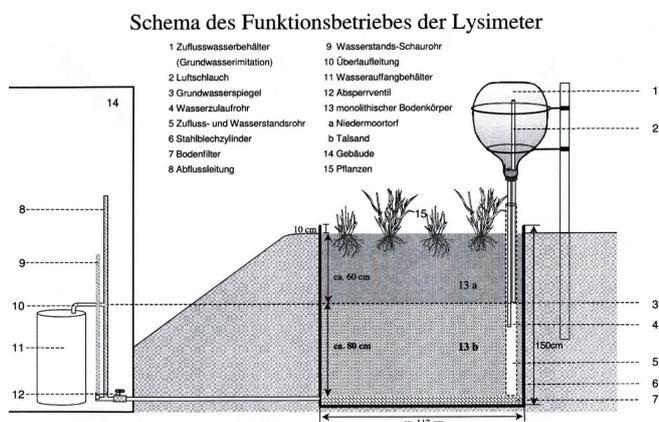
Fixierung. Neben dem Leguminosenertrag als Schätzbasis (Høgh-Jensen et al. 2004) werden in der Praxis häufig Schätzungen der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistungen auf Basis des Leguminosenanteils herangezogen. Je Prozentpunkt Ertragsanteil von Leguminosen im Bestand werden im Mittel 3-5 kg/ha Stickstoff fixiert (Benke, 2004; Nyfeler et al. 2009; 2011).

Die Knöllchenbakterien in Leguminosen reagieren sehr empfindlich auf saure Bodenbedingungen und Leguminosen weisen immer einen hohen Phosphatbedarf auf. Deshalb geben regelmäßige Bodenuntersuchungen Aufschluss über die Versorgung ertragslimitierender Nährstoffe (Phosphor, Kalium, Magnesium) sowie den Kalkbedarf (pH-Wert). Es dürfen im Grünland im Betriebsdurchschnitt immer nur maximal 170 kg N/ha aus organischen Düngern (Gülle, Gärrest, Festmist) eingesetzt werden (170 kg Regelung), sodass das Leguminosenmanagement im Grünland eine wichtige Kontrollgröße der Nährstoffversorgung darstellt.

### Aufbau der Lysimeter

Die Forschungsstation in Paulinenaue zeichnet sich durch eine Grundwasserlysimeteranlage aus, die zu den größten ihrer Art innerhalb Europas gehört. Erstmals wurde die Anlage 1968 in Betrieb genommen und besaß zu diesem Zeitpunkt ungefähr die Hälfte ihrer heutigen 103 Lysimetergefäße. Die 15 verschiedenen Bodenformen werden mit dieser Anlage unter gleichen klimatischen Randbedingungen untersucht. Die 103 Lysimetergefäße beinhalten 65 Niedermoorböden und 38 Mineralböden, welche überwiegend monolithisch entnommen wurden und die hydromorphen Böden des norddeutschen Jungpleistozäns darstellen. Die untersuchten Niedermoorböden stammen aus dem Havelländischen Luch. Die Lysimetergefäße in Paulinenaue sind durch ihre kreisrunde Oberfläche von 1 m<sup>2</sup> und einer Tiefe von 1,5 m gekennzeichnet. Die Böden der Lysimeteranlage am Standort Paulinenaue umfassen Niedermoore mit unterschiedlicher Mächtigkeit und Herkunft, Sand-Gleye unterschiedlicher Ausbildung und lehmige Substrate. Die Bodenprofile in den Lysimetern wurden vorwiegend monolithisch entnommen und in einem Stück nach Paulinenaue transportiert. Lysimeter sind Messeinrichtungen, mit denen die

Evapotranspiration, die Nährstoffaufnahme und der Nährstoffaustrag gemessen werden kann. Dies ist deshalb möglich, da im Lysimeter ein künstlicher Grundwasserstand eingestellt werden kann und der Zu- und Abfluss gemessen wird. Um die Grundwasserstände während der Vegetationsperiode auf das gewünschte Niveau zu halten, steht neben jedem Lysimeter ein Glasballon, der mit Wasser gefüllt. Durch die Einspeisung des Zusatzwassers kann ein Grundwasserstrom simuliert werden (Abbildung 1). Nachdem die Niederschläge die Bodensäulen passiert haben, wird das abfließende Grundwasser in Behältern gesammelt und kann auf seine Inhaltsstoffe untersucht. Anfallende Mengen an Zu- und Abflusswasser werden täglich händisch erfasst. Auch die oberirdische Biomasse wird per Hand geerntet und auf ihre Inhaltsstoffe analysiert. Die Lysimeteranlage in Paulinenaue wird durch eine eigene Wetterstation in unmittelbarer Nähe ergänzt. Dort werden der Niederschlag, die Lufttemperatur (in 2 m Höhe und 5 cm über dem Boden), die relative Luftfeuchte, die Bodentemperatur, die Globalstrahlung, die Sonnenscheindauer, die Windgeschwindigkeit und die Kesselverdunstung gemessen. Um Oaseneffekte auszuschließen, werden um den Lysimeterversuch gleiche Fruchtarten angebaut.



**Abbildung 1: Funktionsschema der Paulinauer Grundwasserlysimeter (Behrendt et al., 1994)**

## Versuchsdurchführung

Das Hauptaugenmerk des Versuches lag auf der Untersuchung der verschiedenen Düngemittel und -zusätze sowie ihrer Düngemengen, vor allem in Bezug auf die Stickstoff-Verwertung. Durch die Düngung wurden die Erträge und Austräge durch

das Grundwasser variiert und damit folglich die Bilanz beeinflusst.

In den Jahren 2015-2020 erfolgte in Paulinenaue der Lysimeterversuch zu den Wasser- und Nährstoffbilanzen der unterschiedlichen Pflanzenbestände auf den hydromorphen Böden Norddeutschlands. Für den Vergleich der diversen Dünger auf Moorflächen wurden für jeden Dünger vier verschiedene Lysimeter betrachtet.

Es wurden organischer Dünger, Compo Blaukorn (mineralisch), Rhizo Vital 42 (organisch), Nitrocode azospyrillum (organisch) und Go on Blaudünger (mineralisch) untersucht. Compo Blaukorn enthält den Nitrifikationshemmer 3,4-DMP und die organischen Düngemittel Rhizo Vital 42 jeweils den Bakterienstamm *B. velezensis* und Nitrocode azospyrillum jeweils den Bakterienstamm *B. azospyrillum*. Die organischen Düngemittel stehen stellvertretend für die Düngung im ökologischen und die mineralischen Düngemittel für den konventionellen Landbau.

Die abgebildete Tabelle 1 zeigt die Düngemengen in den ersten drei Versuchsjahren (2015-2017) in g pro Lysimeter und umgerechnet in kg/ha.

**Tabelle 1: Düngemengen in den Jahren 2015-2017 in g pro Lysimeter und hochgerechnet in kg/ha**

Düngung 2015-2017										
Organischer Dünger		Compo Blaukorn		Rhizo Vital 42		Nitrocode azospyrillum		Go on Blaudünger		
g pro Lysimeter	kg/ha	g pro Lysimeter	kg/ha	g pro Lysimeter	kg/ha	g pro Lysimeter	kg/ha	g pro Lysimeter	kg/ha	
N	15	150	15	150	15	150	15	150	15	150
P	7,5	75	3,3	33	5,7	57	5,7	57	6,6	66
K	7,8	78	10,7	107	7,8	78	7,8	78	12,5	125

In den folgenden drei Versuchsjahren (2018-2020) wurde die Menge des Düngers auf folgende Werte erhöht: (Tabelle)

**Tabelle 13: Düngemengen in den Jahren 2018-2020 in g pro Lysimeter und hochgerechnet in kg/ha**

Düngung 2018-2020										
Organischer Dünger		Compo Blaukorn		Rhizo Vital 42		Nitrocode azospyrillum		Go on Blaudünger		
g pro Lysimeter	kg/ha	g pro Lysimeter	kg/ha	g pro Lysimeter	kg/ha	g pro Lysimeter	kg/ha	g pro Lysimeter	kg/ha	
N	30	300	30	300	30	300	30	300	30	300
P	10,7	107	8	80	10,7	107	10,7	107	11,6	116
K	13	130	17,9	179	13	130	13	130	20,8	208

## ERGEBNISSE/RESULTS

Jeder der fünf Dünger wurde in vier unterschiedlichen Lysimetern untersucht, die jeweils den Düngervarianten zugeordnet wurden.

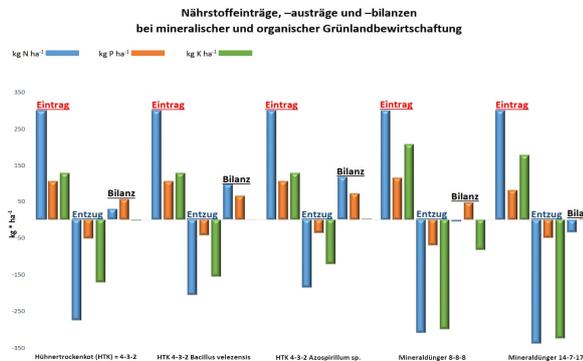


Abbildung 2: Nährstoffeinträge, Austräge und –bilanzen bei mineralischer Grünlandbewirtschaftung auf Lysimeterveruchen (Standort: Paulinenau 2016-2018)

Für die Auswertung wurden die Einträge, Entzüge und die sich daraus ergebenden Bilanzen verglichen. Um feststellen zu können, ob es zwischen den einzelnen Ergebnissen signifikante Unterschiede gibt, wurde eine Varianzanalyse (ANOVA), mit den dazugehörigen Vortests (Shapiro-Wilk-Test; Levene-Test) sowie sich anschließender paarweise t-Tests durchgeführt.

Die Düngung wurde zunächst einheitlich auf 150 kg N/ha beschränkt. Ab 2018 wurde die N-Düngung verdoppelt. Die Bilanzen umfassten die Zufuhr mit Düngern und Zuflusswasser sowie die Entzüge mit dem Erntegut und Abfluss mit dem Sickerwasser.

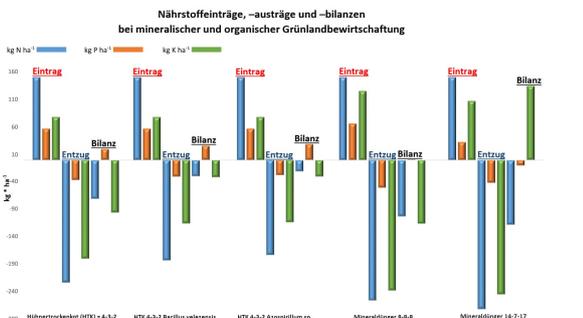


Abbildung 3: Nährstoff Einträge, Austräge und –bilanzen bei mineralischer Grünlandbewirt-

schaft auf Lysimeterversuchen (Standort: Paulinenau 2019-2021)

Wie in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt ist, waren bei einer Düngehöhe von 150 kg N/ha die Stickstoffbilanzen alle deutlich negativ. Hierbei zeigten die konventionellen Varianten ertragsbedingt deutlich negativere N-Salden als die Varianten des Ökolandbaus. Selbst in der zweiten Hälfte der Versuchslaufzeit mit einer Düngung von 300 kg N/ha (Abbildung 3) waren die konventionellen Varianten noch negativ, was in einer besseren N-Verfügbarkeit und höheren Erträgen begründet lag. Der N-Austrag über Sickerwasser war insgesamt mit weniger als 1mg/l vernachlässigbar gering (Ammonium + Nitrat). Auch wenn Düngungshöhen von 300 kg N/ha im Ökolandbau praktisch keine Relevanz besitzen und nicht erlaubt sind, kann die hohe Verwertungseffizienz von Düngergaben im Grünland daran aufgezeigt werden.

## Zusammenfassung und Empfehlungen

Aktuell werden etwa 4,7 Mio. ha in Deutschland als Dauergrünland bewirtschaftet, was ca. 28% der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) entspricht. Hinzu kommen zusammen genommen 656.000 ha Kleeartige, Luzerne oder deren Gemenge mit Gras sowie Grasreinsaaten als Ackerfutterbau. Somit werden knapp 32% der deutschen landwirtschaftlichen Nutzungsfläche als Grasland bewirtschaftet.

Von der im Jahr 2020 insgesamt 1,6 Mio. ha ökologisch bewirtschafteten landwirtschaftlichen Nutzfläche entfallen 834.177 ha auf Dauergrünland sowie 238.364 ha auf Acker- bzw. Klee gras. Im ökologischen Landbau besitzt das Dauergrünland damit einen Flächenanteil von > 60% an der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Damit ist Grünland nicht nur die im Anbau dominierendste Kultur in Deutschland, sondern auch und vor allem im ökologischen Landbau. Ökologische Landwirtschaft ist Grünlandwirtschaft! Daher ist es umso verwunderlicher, dass die Suche nach Forschungsergebnissen und Publikationen zum Grünland im ökologischen Landbau sehr übersichtlich ausfällt. Es besteht zu diesem Thema ein echter Forschungsbedarf und eklatantes Wissensdefizit!

Grundsätzlich besitzt Grünland für den Gewässerschutz einige Vorteile, die keine andere Form der landwirtschaftlichen Flächennutzung erfüllen kann. Zunächst ist hier der sehr geringe Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu nennen. Selbst im konventionellen Landbau ist im Grünland lediglich der vereinzelt Einsatz von Herbiziden gegen zweikeimblättrige Pflanzen zu nennen.

Die Humusakkumulation führt unter Grünlandnutzung zu deutlich höheren Humusgehalten und Humusmengen als unter Ackernutzung. Die Nährstoffbindungskapazität führt zu einem außerordentlichen hohen Nährstoffaufnahmepotential, das Nährstoffausträge in beträchtlicher Höhe „abzupuffern“ vermag.

Auf der Basis von 96.000 Nmin-Analysen in Hessen konnte Berthold (2022) darstellen, dass Grünland unter allen geprüften Anbaufrüchten die geringsten Herbst Nmin-Werte aufweisen konnte und somit die geringsten potentiell grundwasserbelastende Stickstofffrachten nach dem Ende der Vegetationsperiode im Boden hinterließ.

Die Stickstoffversorgung findet daher entweder über Wirtschaftsdünger statt oder durch den Eintrag über die biologische N-Fixierung durch Leguminosen.

N-Verluste in die Atmosphäre treten in Form von Ammoniak-Emission ( $\text{NH}_3$ ) oder Lachgasemission ( $\text{N}_2\text{O}$ ) auf. Außerdem können N-Verluste durch Nitratauswaschung auftreten. Auf spezialisierten Grünland- bzw. Futterbaubetrieben werden große Stickstoff-, aber auch Kaliummengen umgesetzt, während nur relativ geringe Nährstoffmengen das System über Produkte wie Milch und Fleisch verlassen. Auf Betriebsebene hängt die Effizienz des N-Einsatzes davon ab, wie gering die Verluste aus dem Kreislauf des Systems Boden-Pflanze gehalten werden können. Aufgrund geringeren N-Inputs und einer geringeren Besatzstärke führen in zahlreichen Untersuchungen Bewirtschaftungsintensitäten, die denen des Öko-Landbaus entsprechen, zu geringeren N-Auswaschungen als Vergleichsvarianten, in denen zusätzlich zu einer moderaten Gülledüngung noch zusätzlich mineralische Düngung appliziert wurde.

In Bezug auf die Nährstoffauswaschung stellen a) die Erneuerung von Grünland bzw. b) die Zerstörung der Narbe als auch c) der Umbruch von Klee grasbeständen zur nachfolgenden Nutzung zur Produktion von Marktfrüchten kritische Bereiche dar. Das Abtöten der Grasnarbe vor allen Dingen in Verbindung mit nachfolgender intensiver Bodenbearbeitung, führt zu einer raschen Mineralisation von N aus den Ernterückständen.

## LITERATUR

- Behrendt, A.; Mundel, G.; Hölzel, D. (1994) Kohlenstoff und Stickstoffumsatz in Niedermoorböden und ihre Ermittlung über Lysimeterversuche. Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung, 1994, 35, S. 200 - 208
- Benke M, Schnack G. (1995) Einfluß der Nutzungsart, Nutzungshäufigkeit, Bestandeszusammensetzung und Stickstoffdüngung auf den mineralischen Bodengehalt unter Grünland. Das Wirtschaftseigene Futter. 41(2):208–218
- Benke M (1992) Untersuchungen zur Nitratauswaschung unter Grünland mittels der Saugkerzenmethode in Abhängigkeit von der Nutzungsart (Schnitt/Weide), der Nutzungshäufigkeit, der Bestandeszusammensetzung (mit/ohne Weißklee) und der Stickstoffdüngung, Kiel.
- Berntsen J, Grant R, Olesen JE, Kristensen IS, Vinther FP, Mølegaard JP, Petersen BM (2006) Nitrogen Cycling in organic farming systems with rotational grass-clover and arable crops. Soil Use and Management 22, 197-208
- Berthold, G. (2022) Zusammenhang zwischen Nmin-Werten und Nitrat Hot-Spots in Hessen- Konsequenzen für die Ziele der landwirtschaftlichen Beratung, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie 45. Sitzung des DWA FA GB 6 Bodennutzung und Stoffeinträge in Gewässer 27. Oktober 2022 Großenkneten
- Bioland (2022): Bioland-Richtlinien 2022. [https://www.bioland.de/fileadmin/user\\_upload/Verband/Dokumente/Richtlinien\\_fuer\\_Erzeuger\\_und\\_Hersteller/Bioland-Richtlinien\\_2022\\_WEB\\_ES\\_01.pdf](https://www.bioland.de/fileadmin/user_upload/Verband/Dokumente/Richtlinien_fuer_Erzeuger_und_Hersteller/Bioland-Richtlinien_2022_WEB_ES_01.pdf), Zugriff: 16.11.2022
- BLE (2020): Düngeverordnung (DüV 2020), Herausgeberin Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Deichmanns Aue 29, 53179 Bonn, Internet: [www.ble.de](http://www.ble.de), Zugriff: 16.11.2022
- Chen S, Lin S, Loges R, Reinsch T, Hasler M, Taube F (2016) Independence of seasonal patterns of root functional traits and rooting strategy of a grass-clover sward from sward age and slurry application. Grass and Forage Science. 10.1111/gfs.12222

- Cong W, Dupont YL, Søegaard K, Eriksen J (2020) Optimizing yield and flower resources for pollinators in intensively managed multispecies grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 302, 107062.
- Berthold, G. (2022) Zusammenhang zwischen Nmin-Werten und Nitrat Hot-Spots in Hessen- Konsequenzen für die Ziele der landwirtschaftlichen Beratung, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie 45. Sitzung des DWA FA GB 6 Bodennutzung und Stoffeinträge in Gewässer 27. Oktober 2022 Großenkneten
- Bioland (2022): Bioland-Richtlinien 2022. [https://www.bioland.de/fileadmin/user\\_upload/Verband/Dokumente/Richtlinien\\_fuer\\_Erzeuger\\_und\\_Hersteller/Bioland-Richtlinien\\_2022\\_WEB\\_ES\\_01.pdf](https://www.bioland.de/fileadmin/user_upload/Verband/Dokumente/Richtlinien_fuer_Erzeuger_und_Hersteller/Bioland-Richtlinien_2022_WEB_ES_01.pdf), Zugriff: 16.11.2022
- BLE (2020): Düngeverordnung (DüV 2020), Herausgeberin Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Deichmanns Aue 29, 53179 Bonn, Internet: [www.ble.de](http://www.ble.de), Zugriff: 16.11.2022
- Chen S, Lin S, Loges R, Reinsch T, Hasler M, Taube F (2016) Independence of seasonal patterns of root functional traits and rooting strategy of a grass-clover sward from sward age and slurry application. *Grass and Forage Science*. 10.1111/gfs.12222
- DLG (2018) Düngung von Wiesen, Weiden und Mähfutter. DLG Merkblatt 433. [https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt\\_433.pdf](https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_433.pdf)
- Dreyman, S. Loges, R., Taube, F. (2003) Einfluss der Klee gras-Nutzung auf die N-Versorgung und Ertragsleistung marktfähiger Folgefrüchte. In: Kauter, D.; Kämpf, A.; Claupein, W. und Diepenbrock, W. (Hrsg.) *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, Verlag Günter Heimbach Stuttgart, 15, S. 83-86
- Destatis (2021) [https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fische-rei/Publikationen/Bodennutzung/anbau-ackerland-vorbericht-2030312218004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fische-rei/Publikationen/Bodennutzung/anbau-ackerland-vorbericht-2030312218004.pdf?__blob=publicationFile), Zugriff: 16.11.2022
- EU (2018): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0848&from=DE> Zugriff: 16.11.2022
- Kleen, J., Taube, F. and M. Gierus (2011): Agronomic performance and nutritive value of forage legumes in binary mixtures with perennial ryegrass under different defoliation systems. *Journal of Agricultural Science* 149, 73-84.
- Loges, R., (1998) Ertrag, Futterqualität, N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee grasbeständen. Diss. Univ. Kiel. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung.
- Loges R., Kelm M., and Taube F. (2006) Nitrogen balances, nitrate leaching and energy efficiency of conventional and organic farming systems on fertile soils in Northern Germany. *Advances in GeoEcology* 38, 407-414.
- Loges, R Westphal, D, Taube, F (2009) Futterqualität, Vorfruchtleistung und Nitrat auswaschung von über Winter beweideten Klee grasbeständen. Vortrag at: 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Zürich, 11.-13. Februar 2009.
- Loges, R., Loza, C., Voss, P., Kluß, C., Malisch, C., Taube, F. (2020) The potential of multispecies swards for eco-efficient dairy production in Northern Germany. *Grassland Science in Europe* 25, 312.
- Marschner, H (2012): *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition) 2012*, Academic Press, Pages 389-408
- Nevens F, Reheul D (2003) Permanent grassland and 3-year leys alternating with 3 years of arable land: 31 years of comparison. *European Journal of Agronomy* 19, 77-90.
- Nitratrictlinie (1991) Europäische Union Richtlinien | RL 91/676/EWG, Richtlinie 91/676/EWG Nyfeler D, Huguenin-Elie O, Suter M, Frossard E, Lüscher A (2011) Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140, 155-163.
- Petersen, U., Wrage, N., Köhler, L., Leuschner, C., Isselstein, J., 2012. Manipulating the species composition of permanent grasslands ? A new approach to biodiversity experiments. *Basic and Applied Ecology* 13, 1-9.
- Schmeer , M. S. (2012). Der Einfluss von Bodenverdichtung sowie Grünlanderneuerung auf Stickstoffemissionen und Ertragsleistungen von Futterbausystemen. Dissertation Universität Kiel
- Schmeer M, Loges R, Dittert K, Senbayram M, Horn R, Taube F (2014). Legume-based forage production systems reduce nitrous oxide emissions. *Soil Tillage Res.* 10.1016/j.still.2014.05.001
- Tallowin JRB, Smith REN, Goodyear J, Vickery JA (2005) Spatial and structural conformity of lowland agricultural grassland in England: a context for low biodiversity. *Grass Forage Science* 60, 225-236.
- Trott, H., M. Wachendorf, B. Ingwersen, and F. Taube. (2004) Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. I. Impact of defoliation system and nitrogen input on performance and N balance of grassland. *Grass and Forage Science* 59:41-55. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2004.00405.x>.