

Verbundvorhaben

„Wirkung von inhibiertem Ammoniumsulfat-Harnstoff zur Erhöhung der Stickstoff-Nutzungseffizienz und Minderung von Ammoniak- und Lachgasemissionen bei der mineralischen Düngung“

Kurzbericht zum Teilvorhaben 6:

„Erfassung von N-Verlusten im Lysimeterversuch“

(bearbeitet im LfULG, Ref. 72)

Förderkennzeichen des Teilvorhabens 6: 2220NR082F

Laufzeit: 01.03.2021 – 29.02.2024

Erstellung des Berichts: 05/2024

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorenschaft.

Schlussbericht zum Teilvorhaben des LfULG Nossen im Verbundprojekt Win-N

Mit dem hier vorgestellten wissenschaftlichen Projekt sollte am LfULG in Nossen ein Beitrag zur Erhöhung der Stickstoff-Nutzungseffizienz geliefert werden, d.h. mehr Stickstoff aus dem Dünger sollte in den Pflanzen ankommen, statt als Ammoniak (NH_3), Lachgas (N_2O) oder Nitrat (NO_3^-) in der Umwelt verloren zu gehen.

Das von Juni 2021 bis Februar 2024 in Nossen durchgeführte Teilprojekt „Erfassung von N-Verlusten im Lysimeterversuch“ war Bestandteil eines umfangreichen Verbundprojekts mit sieben Partnern aus ganz Deutschland (Abb. 1): **Win-N** („Wirkung von inhibiertem Ammoniumsulfat-Harnstoff zur Erhöhung der Stickstoff-Nutzungseffizienz und Minderung von Ammoniak- und Lachgasemissionen bei der mineralischen Düngung“).

Thünen-Institute für Agrartechnologie und Agrarklimaschutz Braunschweig	Stickstoffwerke Piesteritz Lutherstadt Wittenberg	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) Müncheberg, Brandenburg	LfULG Nossen	Universität Hohenheim Stuttgart	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Halle (Saale)	Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie Schmallenberg, NRW
Projektkoordination Datenbank Ökoeffizienzanalyse	Versuchsdünger, Inhibitoren Feldmessungen (NH_3 - und N_2O -Verluste)	Feldmessungen (On-Farm-Praxisversuch, NH_3 - und N_2O -Verluste), Labormessungen (N_2 -Verluste) N_2O -Analytik mittels GC	Lysimeter (N_2O - und NO_3^- -Verluste) Sickerwasser, Boden und Ernte Ökotox-Tests chem. Analysen	Feldmessungen (NH_3 - und N_2O -Verluste)	Feldmessungen (NH_3 - und N_2O -Verluste)	Modellierungen, Prognosen

Abb. 1: Projektpartner, Versuchsstandorte und Aufgabenverteilung im Win-N-Projekt. Rot hervorgehoben sind die Arbeitsaufgaben in Nossen bzw. die notwendige enge Zusammenarbeit mit Projektpartnern für die Versuchsdurchführung in Nossen (Grafik: Stefanie Wetzel)

Mit Hilfe des gehemmten bzw. inhibierten N-Düngers Ammoniumsulfat-Harnstoff (AS-HS) sollten in Pflanzenbauversuchen an fünf verschiedenen Standorten, u.a. auf der Lysimeteranlage Nossen, Minderungen bei den N_2O - und Ammoniak-Emissionen erzielt werden. Auch die Bodenmikroorganismen, v.a. Bakterien, nutzen den Dünger-Stickstoff für ihren Stoffwechsel. Der dem Dünger zugesetzte Ureaseinhibitor 2-NPT sowie der Nitrifikationsinhibitor MPA greifen in den Stoffwechsel der Bodenmikroorganismen ein und verlangsamen dort die Umsetzung des durch den Dünger bereitgestellten Stickstoffs, so dass er länger in der pflanzenverfügbaren Form verbleibt (Harnstoff, Ammonium) und langsamer zu NH_3 und N_2O bzw. Nitrat umgewandelt wird, welche aus dem Boden ausgasen bzw. mit dem Regen ausgewaschen werden können (Abb. 2). So steht der Pflanze der Stickstoff aus dem Dünger länger zur Aufnahme zur Verfügung.

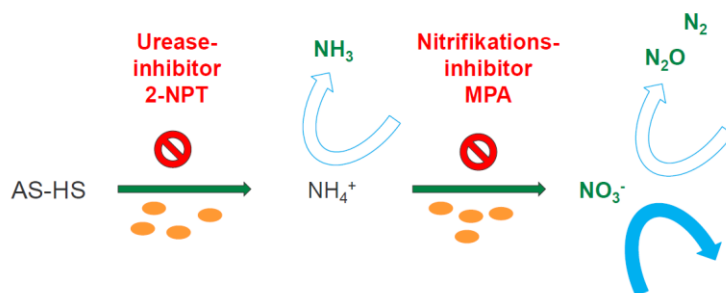


Abb. 2: Umsetzung von Ammoniumsulfat-Harnstoff (AS-HS) durch Bodenmikroorganismen und Eingriff der Inhibitoren zur Verlangsamung dieser Umsetzung (Grafik: Stefanie Wetzel)

Mittels dreijähriger Pflanzenbauversuche mit der Fruchtfolge Wintergerste – Zwischenfrucht Phacelia – Silomais – Winterweizen sollte geprüft werden, ob die dem Dünger zugesetzten Inhibitoren zu einer Erhöhung des Ertrags führen, die N-Aufnahme in die Pflanze verbessern, die Ausgasung von N_2O und

Ammoniak aus dem Boden mindern sowie den Nitratgehalt im Sickerwasser senken. Außerdem sollte chemisch analysiert werden, ob sich die Inhibitoren im Bodensickerwasser nachweisen lassen und ob es unerwünschte Wirkungen des Sickerwassers und des Bodens von gedüngten Flächen auf Umweltmodellorganismen gibt.

An vier Standorten des Verbundprojekts fanden Feldversuche zur Messung u.a. von N_2O - und NH_3 -Verlusten sowie Erträgen der Feldfrüchte statt. Am LfULG Nossen erfolgte die Versuchsdurchführung auf der Lysimeteranlage (Abb. 3), weshalb dort Nitratverluste mit dem Sickerwasser erfasst werden konnten. Der Versuchsdünger mit den Inhibitoren wurde vom Projektpartner Stickstoffwerke Piesteritz zur Verfügung gestellt. In Nossen fanden N_2O -Messungen statt, während Ammoniak-Beprobungen aufgrund der Kleinteiligkeit der Lysimeteranlage nicht durchgeführt werden konnten. Boden und Ernten wurden ebenfalls untersucht. Die Analytik mittels Gaschromatografie (GC) der in Nossen genommenen Gasproben fand am ZALF in Münchenberg statt. Alle gewonnenen Daten wurden in eine eigens geschaffene Datenbank eingespeist, die im Anschluss an das Projekt für weitere Forschungen und Auswertungen frei genutzt werden kann.

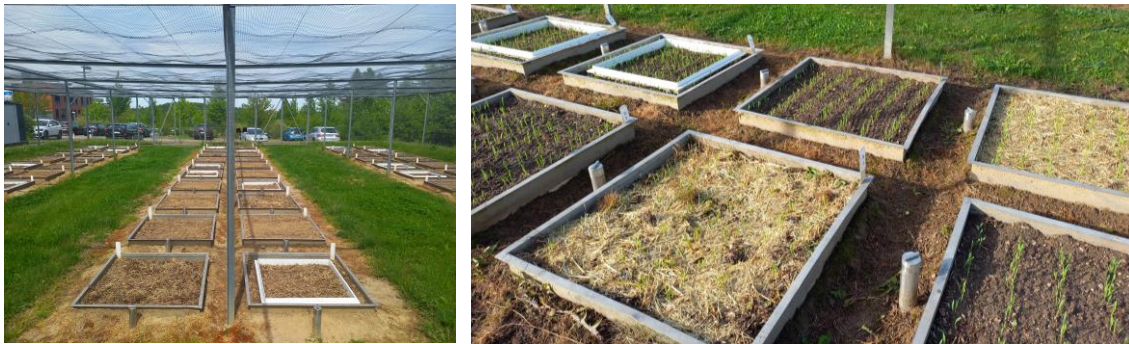


Abb. 3: Lysimeteranlage am LfULG Nossen (Fotos: Stefanie Wetzel)

Lysimeteranlage Nossen

Die Lysimeteranlage Nossen besteht aus 60 einzelnen Lysimetern mit jeweils einer Fläche von 1 m^2 und einer Tiefe von einem Meter (Abb. 3). Dieser eine Kubikmeter Boden ist in einem geschlossenen Metallgefäß in den umliegenden Boden eingelassen und kann sich mit diesem nicht austauschen (Abb. 4). Auftreffendes Regenwasser sammelt sich unter dem Bodengefäß in einem geschlossenen Behälter und kann als Sickerwasser entnommen werden. Das Sickerwasser kann anschließend auf verschiedene Inhaltsstoffe untersucht werden, z.B. Nitrat, Ammonium, Düngerzusätze. Auf Feldstandorten wären solche Untersuchungen des Sickerwassers, das den landwirtschaftlichen Boden durchlaufen hat, nicht möglich. Seit 2013 wird die Lysimeteranlage in Nossen betrieben, so dass Langzeituntersuchungen zur Sickerwasserbildung und zur Zusammensetzung des Sickerwassers durchgeführt werden können.

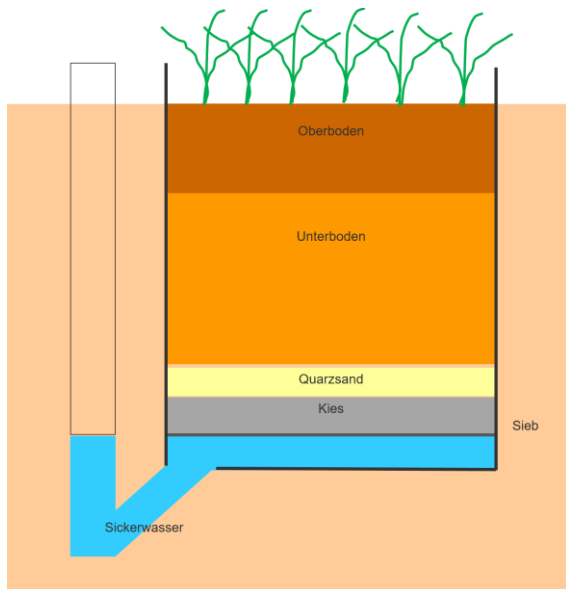


Abb. 4: Querschnitt durch ein Lysimeter. Das Sickerwasser sammelt sich unter dem in den Boden eingelassenen Gefäß und kann über eine Öffnung an der Seite abgepumpt werden (Grafik: Stefanie Wetzel)

Jeweils 20 Lysimeter der Lysimeteranlage Nossen sind mit einem von drei unterschiedlichen sächsischen Bodenarten befüllt:

- Diluvial- bzw. D-Boden = schwach lehmiger Sand aus dem Leipziger Raum
- Löss- bzw. Lö-Boden = stark toniger Schluff aus Döbeln
- Verwitterungs- bzw. V-Boden = stark sandiger Lehm aus dem Erzgebirge.

Auf allen Lysimetern wird seit Inbetriebnahme der Lysimeteranlage jeweils eine von drei Bodenbearbeitungsmethoden angewandt:

- Direktsaat (Verzicht auf Bodenbearbeitung)
- Grubber (konservierende Bodenbearbeitung)
- Pflug (Spaten, wendende Bodenbearbeitung).

Auf allen Lysimetern wurde im Rahmen des Projekts eine von jeweils drei Düngervarianten eingesetzt:

- Ammoniumsulfat-Harnstoff (AS-HS)
- AS-HS mit Ureaseinhibitor (AS-HS+UI)
- AS-HS mit UI sowie Nitrifikationsinhibitor (AS-HS+UI+NI).

Eine Übersicht der Lysimeteranlage mit verschiedenen Böden, Bodenbearbeitungen, Düngern sowie Beprobungen gibt Abbildung 5.



Abb. 5: Übersicht der Lysimeteranlage Nossen, bestehend aus 60 einzelnen Lysimetern (Nummerierung 1-60). Jeweils 20 Lysimeter sind mit einem Boden sächsischer Herkunft befüllt (links **D-Boden**, Mitte **Lö-Boden**, rechts **V-Boden**). Drei verschiedene Bodenbearbeitungsmethoden werden seit 2013 eingesetzt (farbliche Füllung und Nummerierung 1-3: weiß bzw. 1 = ohne Bodenbearbeitung bzw. Direktsaat, grün bzw. 2 = Grubber, rosa bzw. 3 = Pflug bzw. Spaten). Drei verschiedene Düngervarianten wurden im Rahmen des Projekts untersucht (**a, f** und **g** = AS-HS, **b** und **e** = AS-HS+UI, **c** und **d** = AS-HS+UI+NI). N₂O-Messungen sowie Sickerwasserprobennahmen für die ökotoxikologischen und chemischen Analysen wurden auf den **rot umrandeten Lysimetern** durchgeführt. Für die Bodenproben für die ökotoxikologischen Analysen wurden von den rot umrandeten Lysimetern die mit den Düngervarianten AS-HS und AS-HS+UI+NI ausgewählt (Lysimeter 2, 10, 11, 16, 22, 30, 31, 26, 42, 50, 51, 56).

Rohstoffpflanzenanbau

Es sollte geprüft werden, ob die inhibierten Düngervarianten im Vergleich zum nicht inhibierten Dünger einen positiven Einfluss auf den Ertrag haben. Der Vergleich der Erträge der drei unterschiedlichen Feldfrüchte wird durch das Umrechnen in Getreideeinheiten (GE) möglich. Unterschiede im Ertrag zeigten sich nur bei den verschiedenen Bodenbearbeitungen. Ein Einfluss der Düngervarianten auf den Ertrag konnte nicht festgestellt werden (Abb. 6). So führen die inhibierten Düngervarianten im Mittel über alle Böden und Bodenbearbeitungsvarianten nicht zu einer signifikanten Änderung des Ertrags im Vergleich zum nicht inhibierten Dünger. Allerdings ergibt sich durch den Einsatz der doppelt inhibierten Variante eine Ersparnis an Zeit und Aufwand im Rahmen der Düngung bei vergleichbarem Ertrag, da im Gegensatz zum nicht und einfach inhibierten Dünger ein Düngetermin weniger anfällt (bei Wintergerste und Silomais jeweils nur noch eine Einzelgabe, bei Winterweizen nur noch zwei Gaben notwendig).

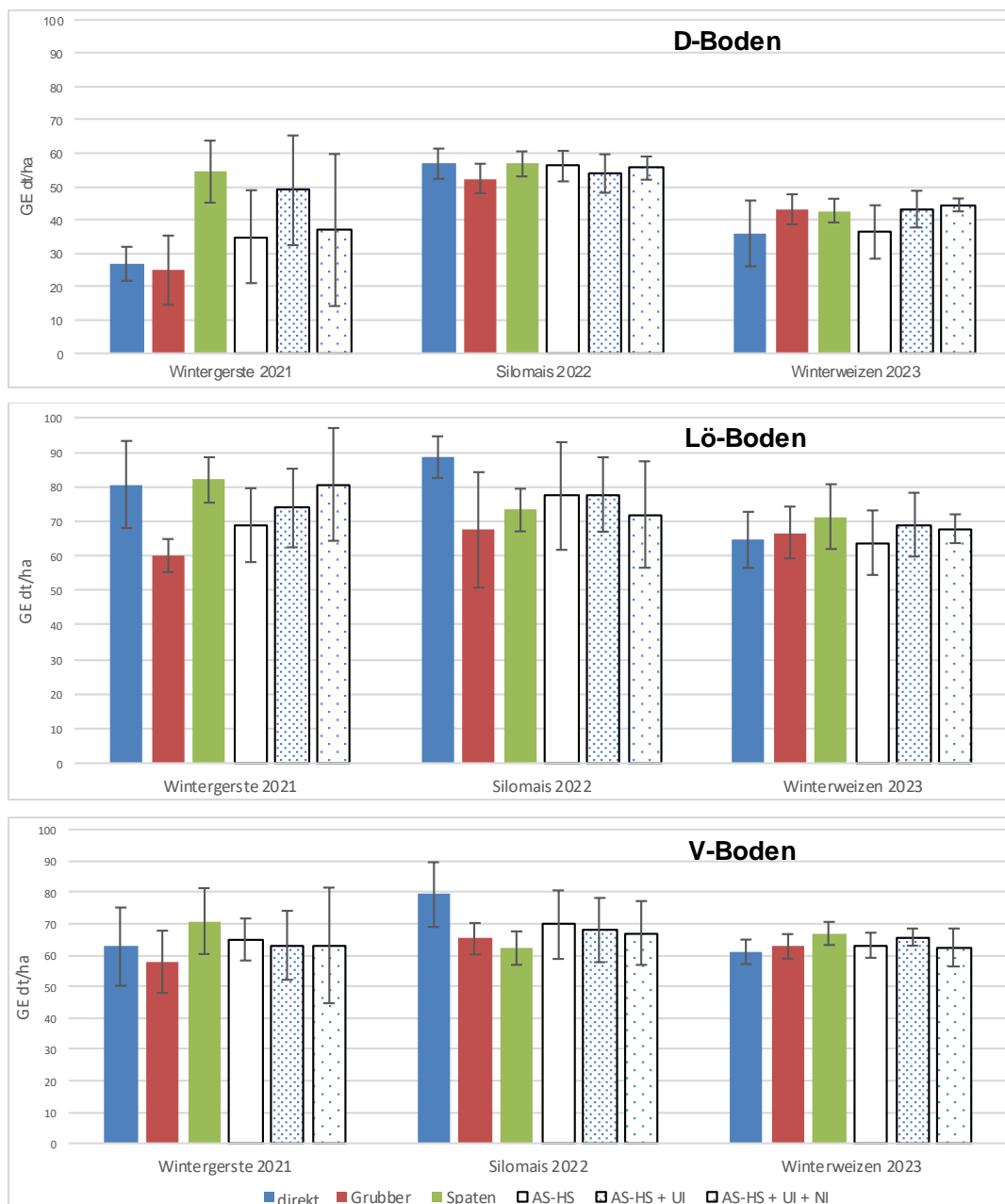


Abb. 6: Zwei-faktorielle Auswertung des Ertrags auf den 3 Böden, getrennt nach den Bodenbearbeitungen (blau – ohne Bodenbearbeitung bzw. Direktsaat, rot – Grubber, grün – Spaten bzw. Pflug) und Düngervarianten (weiß-schraffiert).

Im Rahmen des Projekts sollte weiterhin geprüft werden, ob die inhibierten Düngervarianten im Vergleich zum nicht inhibierten Dünger zu einer vermehrten N-Aufnahme in die Pflanzen führen. Dafür wurde der N-Entzug berechnet, d.h. die N-Aufnahme der Kulturen pro Hektar. Auch hier zeigten die inhibierten Düngervarianten im Mittel über alle Böden keine signifikanten Änderungen des N-Entzugs im Vergleich zum nicht inhibierten Dünger (Abb. 7).

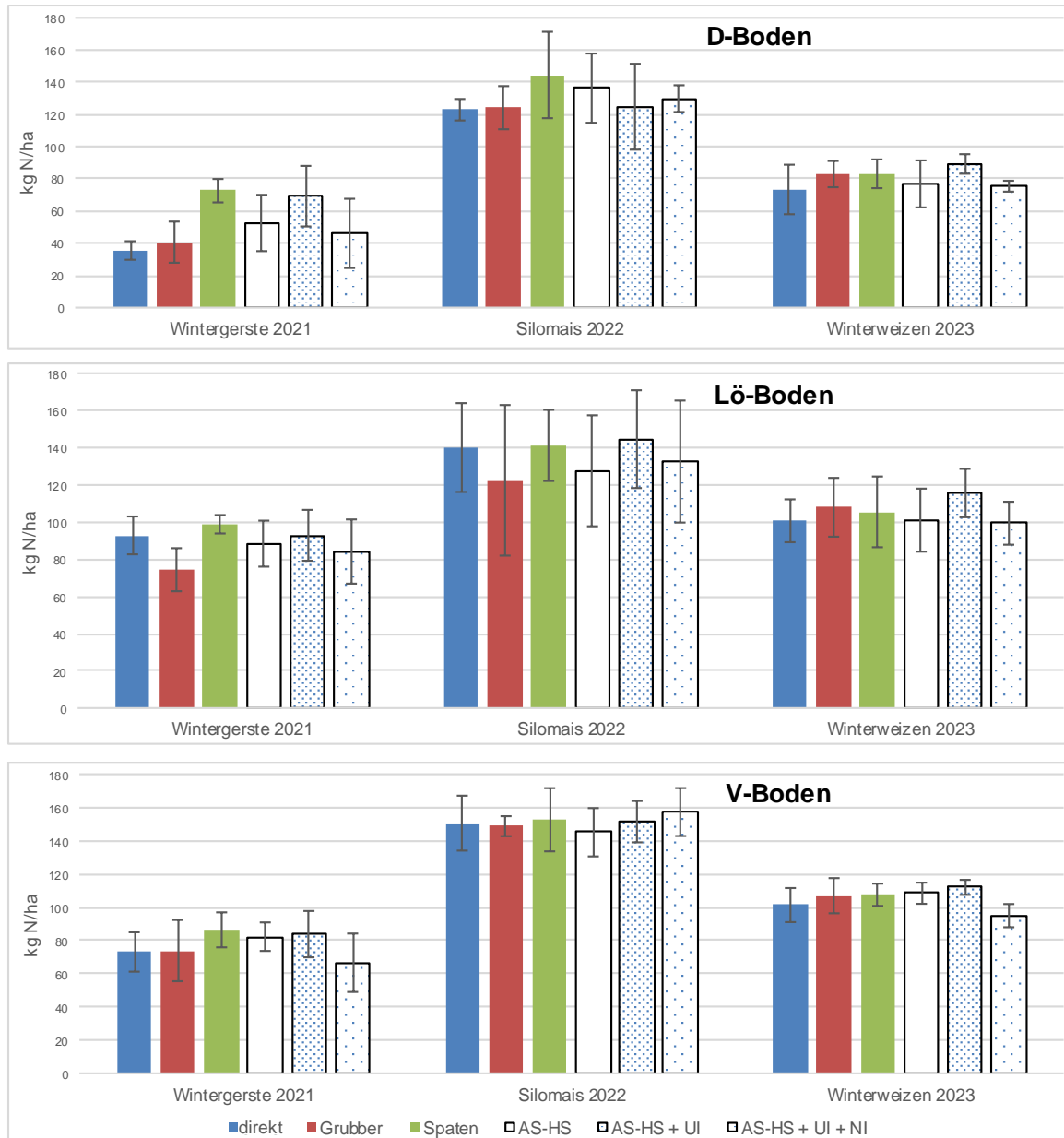


Abb. 7: Zwei-faktorielle Auswertung des N-Entzugs auf den 3 Böden, getrennt nach den Bodenbearbeitungen (blau – ohne Bodenbearbeitung bzw. Direktsaat, rot – Grubber, grün – Spaten bzw. Pflug) und Düngervarianten (weiß-schraffiert).

Gasförmige N-Verluste (N₂O bzw. Lachgas)

N₂O entsteht durch die Aktivität der Bodenmikroorganismen, die den Stickstoffdünger verstoffwechseln. Die dem Dünger zugesetzten Inhibitoren sollen diesen Vorgang hemmen und so zu weniger N₂O und mehr pflanzenverfügbarem Stickstoff führen. Die N₂O-Freisetzung wurde nur bei der Grubber-Variante gemessen, da sie die für Sachsen repräsentativste Bodenbearbeitung darstellt und weil eine Beprobung von 60 Lysimetern zu zeitaufwändig gewesen wäre. Die Probenahmen erfolgten wöchentlich mit Hauben, die auf den Boden aufgesetzt wurden (Abb. 8). Damit die Hauben luftdicht auf dem Boden aufsaßen, waren vorher Rahmen in den Untergrund eingelassen worden (Abb. 3). Eine Stunde lang sammelten sich nun die aus dem Boden aufsteigenden Gase (u.a. CO₂, CH₄, N₂O) in der Haube, während im Abstand von 20 Minuten Gasproben gezogen wurden. In diesen Gasproben wurden im Anschluss die N₂O-Konzentrationen bestimmt, woraus N₂O-Flussraten berechnet werden konnten, d.h. die N₂O-Freisetzung pro Fläche und Zeit, was durch das ZALF als Projektpartner durchgeführt wurde (Abb. 9).

Aus der Literatur ist bekannt, dass im Anschluss an bestimmte „Ereignisse“ die Aktivität der Bodenmikroorganismen zunimmt und deshalb vermehrt N₂O freigesetzt werden kann. Solche „Ereignisse“ umfassen die N-Düngung, Starkregen (> 10 mm pro Tag), ein Wiederbefeuchten des Bodens nach 10- bis 14-tägiger Trockenheit im Hochsommer, Bodenbearbeitung mit darauffolgendem Niederschlag sowie Tauereignisse nach mindestens fünf Eistagen (Tagestemperatur nicht über 0°C). Bei solchen „Ereignissen“ wurde eine Zusatzmessung pro Woche durchgeführt, um mögliche N₂O-Freisetzungen sicherer erfassen zu können.

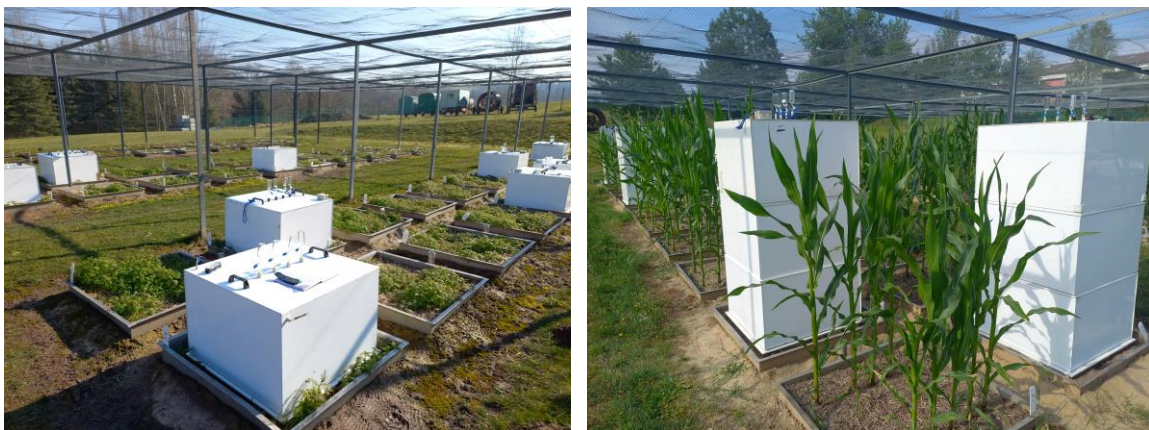


Abb. 8: N₂O-Beprobung bei der Zwischenfrucht Phacelia (links) und im Mais (rechts) (Fotos: Stefanie Wetzel)

Die N₂O-Flussraten lagen auf einem insgesamt niedrigen Niveau, was v.a. auf die geringen Niederschläge und die damit verbundene gute Belüftung der Böden zurückzuführen sein dürfte (Abb. 9). Es zeigte sich ein für Ackerstandorte typisches N₂O-Emissionsmuster mit erhöhten N₂O-Flüssen nach N-Düngungs- und Bodenbearbeitungsmaßnahmen. Nach Düngung traten diese v.a. in Kombination mit Niederschlagsereignissen auf; dies war besonders ausgeprägt beim Lössboden nach der zweiten N-Gabe Mitte Juni 2022 und einem darauffolgenden Starkregen von 17 l m⁻² nach dreiwöchiger Trockenheit. Hohe N₂O-Flussraten wurden überwiegend bei der nicht inhibierten und der einfach inhibierten Düngervariante beobachtet (Abb. 9), was v.a. beim D-Boden sehr ausgeprägt war.

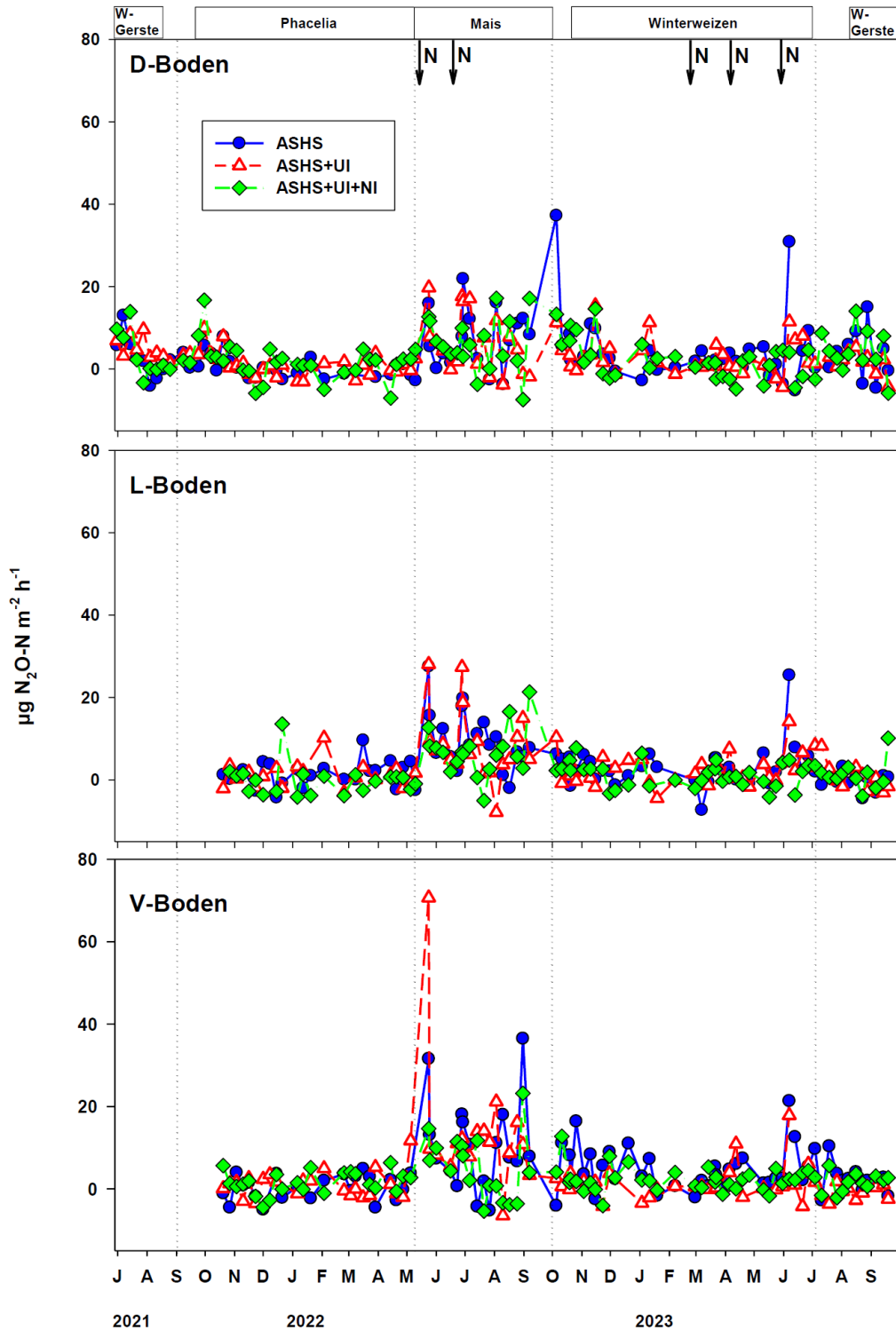


Abb. 9: N_2O -Flüsse während der 3 Versuchsjahre (Okt. 2021 – Okt. 2023) in Abhängigkeit des Bodens und der Düngervariante. Düngungsmaßnahmen (N) sind durch schwarze Pfeile gekennzeichnet und Bodenbearbeitung durch lange gepunktete Linien.

Die kumulierten N_2O -Emissionen über den gesamten Versuchszeitraum waren nur etwa halb so hoch wie die N_2O -Emissionen an einem weiteren Projektstandort in Südwestdeutschland (Ihinger Hof). Dies bestätigen Untersuchungen aus der Vergangenheit, die für die trockenen, kontinentalen Bedingungen Nordostdeutschlands (z.B. Nossen) geringere Emissionsfaktoren ermittelten als bspw. für das niederschlagsreichere Südwestdeutschland (z.B. Ihinger Hof).

Obwohl aufgrund der geringen Wiederholungszahl ($n = 2$) keine statistisch abgesicherte Aussage zum Einfluss der verschiedenen im Projekt eingesetzten Dünger möglich war, ließen sich doch Tendenzen erkennen. So waren die mittleren kumulierten N_2O -Emissionen der Düngervariante ohne Inhibitor (AS-HS) bei jedem Boden am höchsten (Abb. 10). Beim Löss- und V-Boden waren die Emissionen in der doppelt inhibierten Variante (AS-HS + UI + NI) am geringsten. Auch der einfach inhibierte Dünger führte zu einer Minderung der mittleren N_2O -Emissionen bei allen drei Böden.

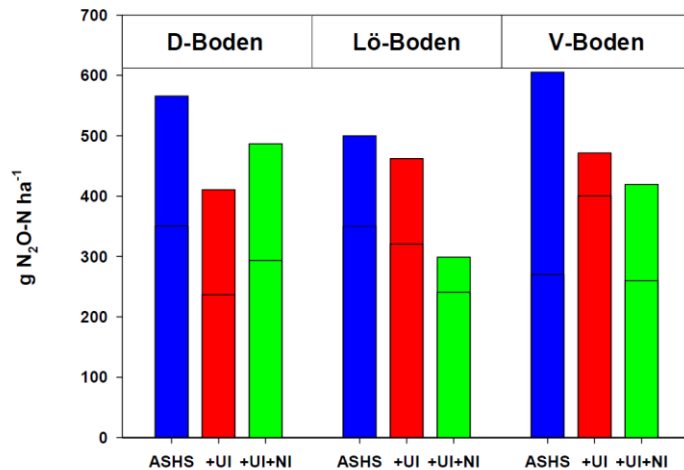


Abb. 10: Kumulierte N_2O -Flüsse über den gesamten Versuchszeitraum (Okt. 2021 – Sept. 2023) in Abhängigkeit von der Bodenart und der Düngervariante. Die unteren Teilbalken entsprechen der N_2O -Emission im Zeitraum 20.10.2021 bis 19.9.2022; die oberen Teilbalken entsprechen der N_2O -Emission im Zeitraum 20.9.2022 bis 20.9.2023.

Bei der Betrachtung der N_2O -Emissionen bezogen auf die Erntemenge (Abb. 11) fällt vor allem der Einfluss des Bodens auf. Mit Ausnahme des einfach inhibierten Düngers bei Silomais emittierten der Löss- und der V-Boden weniger N_2O , was beim Winterweizen besonders deutlich war. Insgesamt erzeugte die Kultivierung des Winterweizens weniger N_2O als die Kultivierung des Silomais, obwohl der Winterweizen mehr als doppelt so lange wie der Silomais auf dem Feld steht. Eine Abnahme der N_2O -Emissionen durch die inhibierten Düngervarianten im Vergleich zum nicht inhibierten Dünger war beim Silomais nur tendenziell zu beobachten; beim Winterweizen dagegen erfolgte eine deutliche Verringerung. Für die Wintergerste konnte diese Art der Auswertung nicht erfolgen, da aufgrund des verspäteten Projektbeginns und der abgelehnten Projektverlängerung keine durchgängige N_2O -Beprobung während der Wintergersten-Kultivierung erfolgen konnte.

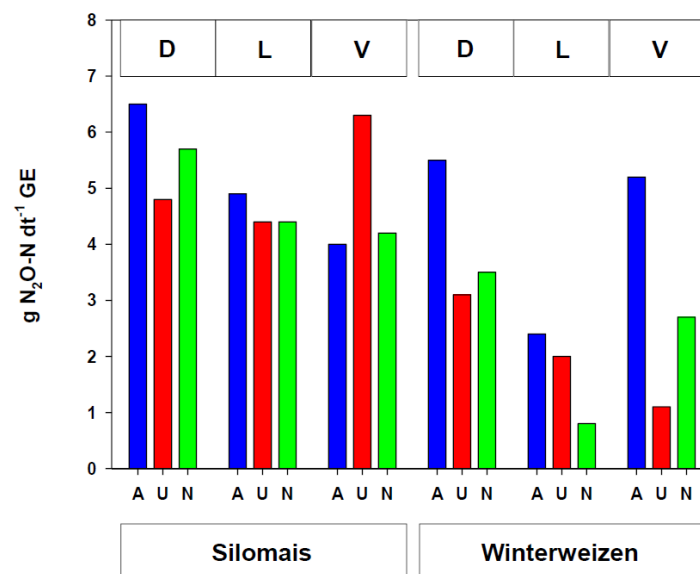


Abb. 11: N_2O -Emissionen je Erntemenge in Abhängigkeit von Boden (D, L, V) und Düngervariante (A = AS-HS, U = AS-HS + UI, N = AS-HS + UI + NI)

Auswaschungsverluste (Nitrat)

Die Lysimeter machen es möglich, die Sickerwassermenge zu bestimmen und u.a. Beziehungen zur Bodenart und der Bodenbearbeitung herzustellen. Dreimal jährlich im März, Juli und November wurde das Sickerwasser aus 1 m Bodentiefe abgepumpt und anschließend die Menge sowie relevante Inhaltsstoffe (u.a. NO_3^- , NH_4^+ , Inhibitoren und deren Abbauprodukte) bestimmt. Die N-Analysen im Sickerwasser gaben Auskunft über die Wirkung der Einfach- und Doppelinhibierung auf die N-Transformation und auf die erwartete verringerte Auswaschung im Vergleich zum nicht inhibierten AS-HS.

Im zweiten und dritten Versuchsjahr schlug sich die Sommertrockenheit in den niedrigen herbstlichen Sickerwassermengennieder (Abb. 12). Im Frühling waren durchweg die höchsten Sickerwassermengen zu verzeichnen. Signifikante Zusammenhänge ergaben sich an wenigen Terminen bei den Bodenbearbeitungsvarianten (Pfeile in Abb. 12). Dort führte die wendende Bodenbearbeitung mit dem Spaten im Vergleich zur Direktsaat zu einer signifikant geringeren Bildung von Sickerwasser. Aufgrund von ungestörten Regenwurmängen kann die Direktsaatbearbeitung im Vergleich zur Spatenbearbeitung mehr Wasser in die Tiefe schaffen.

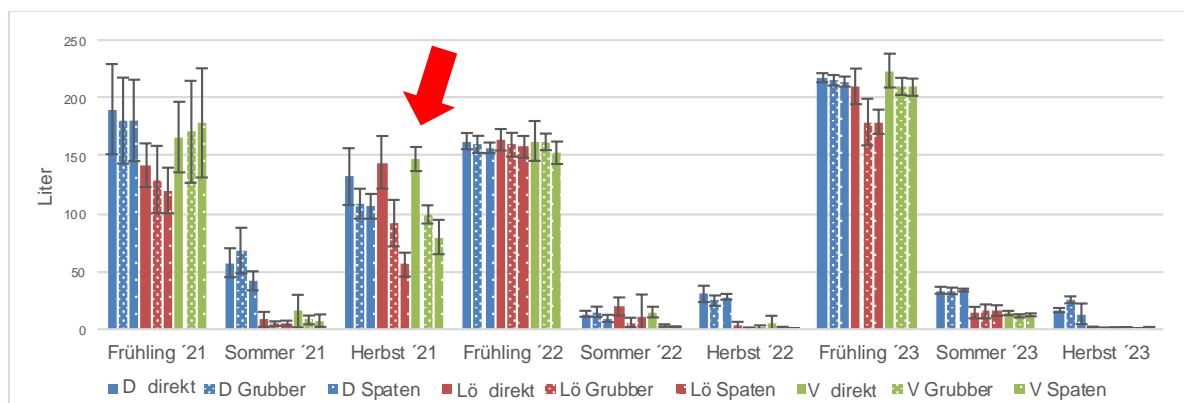


Abb. 12: Sickerwassermengen während der Projektlaufzeit in Abhängigkeit vom Boden (siehe blau – D – Diluvial, rot – Lö – Löss, grün – V – Verwitterung) und von der Bodenbearbeitung (siehe Schraffur, ohne Bodenbearbeitung bzw. Direktsaat, Grubber, Spaten bzw. Pflug)).

Bei Betrachtung der Gesamt-Sickerwassermengen über die Projektlaufzeit (Abb. 13) wird dieser Unterschied zwischen Direktsaat und Spatenbearbeitung bei allen drei Bodenarten deutlich. Auf allen drei Böden führt die Direktsaat über einen längeren Zeitraum (hier drei Jahre) zu einer stärkeren Bildung von Sickerwasser im Vergleich zur Spatenbearbeitung, d.h. die Spatenbearbeitung kann im Vergleich zur Direktsaat mehr Wasser im Boden zurückhalten. Aufgrund der Bauweise der Lysimeter kann Regenwasser nicht oberirdisch abfließen. Im Vergleich zwischen den Bodenarten liefert der Diluvialboden mehr Sickerwasser als Löss- und Verwitterungsböden.

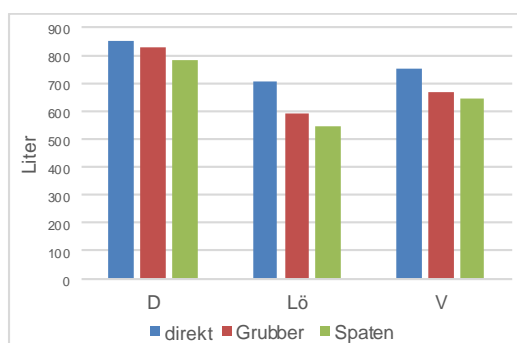


Abb. 13: Gesamt-Sickerwassermengen während der Projektlaufzeit in Abhängigkeit vom Boden (D – Diluvial, rot – Lö – Löss, grün – V – Verwitterung) und von der Bodenbearbeitung (blau – ohne Bodenbearbeitung – Direktsaat, rot – Grubber, grün – Spaten bzw. Pflug). Im gleichen Zeitraum fielen 1850 mm Niederschlag.

Zur Bestimmung der N-Auswaschung wurde im abgepumpten Sickerwasser der Gesamt-Nitrat-Stickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$) sowie der Gesamt-Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) bestimmt, die sich zum Gesamt-mineralischen-Stickstoff (N_{min}) addieren lassen, dem pflanzenverfügbaren mineralisierten Stickstoff. Die N-Auswaschung fällt je nach Jahreszeit und Regenmenge unterschiedlich aus. Im Vergleich ist die N-Auswaschung aus dem Lö-Boden am geringsten. Im Projekt sollte die Frage beantwortet werden, ob die Düngervarianten zu einer unterschiedlichen N-Auswaschung führen bzw. welche Düngervariante zu einer möglichst geringen N-Auswaschung führt. Der Zusatz der Inhibitoren führt allerdings nicht zu einer geringeren N-Auswaschung.

Ökotoxizität

Um mögliche toxische Wirkungen der Inhibitoren sowie von deren Abbauprodukten auf das Ökosystem im Boden und Sickerwasser auszuschließen, wurden die Konzentrationen der Inhibitoren in den Sickerwasserproben aller Düngervarianten von ausgewählten Lysimetern bestimmt. Diese Untersuchungen erfolgten am Institut Fresenius mittels Chromatographie und Massenspektrometrie. Die beiden Inhibitoren konnten in keiner der Proben nachgewiesen werden; die Konzentrationen beider Inhibitoren lagen für die Entnahme in 1 m Bodentiefe unter der Nachweisgrenze. In zwei von 45 untersuchten Proben wurde das Abbauprodukt 2-Nitroanilin zwar nachgewiesen, ließ sich aber aufgrund der geringen Menge nicht quantifizieren.

Zusätzlich wurden ökotoxikologische Tests an 54 Sickerwasser- und 33 Bodenproben der nicht und der doppelt inhibierten Düngervarianten mit Modellorganismen des Sickerwassers (Algen und Daphnien) und des Bodens (Bakterien und Nematoden) durchgeführt. Diese Untersuchungen erfolgten durch die Firma Ecossa und die HAW Hamburg. Die Toxizitätstests wiesen für das Sickerwasser (Daphnien-Mobilitätstest und Algenwachstumshemmtest) sowie für den Boden (Bakterien- und Nematodenkontakttest) keine signifikanten toxischen Effekte für die doppelt inhibierte Düngervariante nach, d.h. es wurde keine Ökotoxizität des doppelt inhibierten Düngers gegenüber der Stickstoffdüngung ohne Inhibitor mit den angewendeten Tests für die unterschiedlichen Böden und das Sickerwasser gesichert nachgewiesen. Es waren jedoch Unterschiede u.a. in der Gattungszusammensetzung der Nematoden (V-Boden) und in der taxonomischen Diversität der Nematoden (D-Boden) zu beobachten. Diese Veränderung der Nematoden-Lebensgemeinschaft über die gesamte Projektlaufzeit scheint darauf hin zu weisen, dass negative Effekte auf Nematoden bei der Langzeitanwendung der Inhibitoren auftreten können. Die ökotoxikologische Relevanz dieser Effekte konnte aufgrund der geringen Zahl von Bodenproben, die den Lysimetern entnommen werden konnten, und der relativ kurzen Projektlaufzeit nicht eindeutig bewertet werden.