

Technische Umsetzung und wissenschaftliche Begleitung einer Denitrifikationsanlage am Mürmes

Christian Schulz, Victoria Griebmeier

Grundlage und Situation der Nitratbelastung

In Zeiten einer wachsenden Weltbevölkerung steigt der Lebensmittelbedarf weltweit stetig an. Die Folge ist ein größerer Bedarf an landwirtschaftlich genutzten Flächen, die den Fortbestand großer Naturschutzgebiete auf Grund der Flächenknappheit erschweren könnten. Insbesondere der Einsatz großer Mengen Düngemittel stellt eine Bedrohung für gefährdete Ökosysteme dar, da sie durch deren Nährstoffreichtum zur Eutrophierung führt. Somit leistet die Menschheit einen prägenden Beitrag zum Stickstoffkreislauf und bringt diesen immer mehr aus seinem natürlichen Gleichgewicht. Allein die anthropogene Produktion von reaktivem Stickstoff, durch beispielsweise das Haber-Bosch Verfahren oder den Anbau stickstofffixierender Leguminosen, machen 45% der jährlichen globalen Stickstofffixierung aus (Canfield *et al.*, 2010). Der Einsatz von Kunstdünger ist somit für viele Ökosysteme zum Problem geworden. Die darin enthaltenen überschüssigen Stickstoffverbindungen gelangen in das Grundwasser und letztendlich in aquatische Ökosysteme. Dies kann weitreichende Konsequenzen für den Lebensraum vieler Arten haben und diesen schlussendlich zerstören, sowie die Qualität des Trinkwassers erheblich verschlechtern. So reichte 2016 die EU sogar Klage gegen Deutschland ein, da die Forderungen den Düngemiteleinsatz zu reduzieren und strenger zu kontrollieren nicht in ausreichendem Maße eingehalten wurden. Deutschland muss sich diesbezüglich nun dem Europäischen Gerichtshof (EuGH) stellen (Guske, 2016).

Doch auch wenn sich in naheliegender Zukunft Deutschland an die Maßnahmen hält und weniger Gülle und Dünger ausgebracht wird, kann diese Nährstoffreduktion für oligotrophe Ökosysteme wie beispielsweise Moore nicht ausreichend sein. Daher sind neue Ansätze und Methoden notwendig, um in Zukunft Naturschutzgebiete neben landwirtschaftlich genutzten Flächen erhalten zu können. Dafür ist es nötig, die Beeinflussung des nährstoffreichen Wassers aus den Ackerflächen zu unterbinden beziehungsweise das Nitrat zu reduzieren. Abhilfe könnte hierbei das Modell einer Umweltdenitrifikationsanlage liefern, die das im Wasser enthaltene Nitrat mit Hilfe mikrobieller Atmungsprozesse (Denitrifikation) reduzieren kann. Dabei verwenden Mikroorganismen bei Abwesenheit von Sauerstoff Nitrat als terminalen Elektronenakzeptor und überführen diesen über mehrere Zwischenstufen (NO_2^- , NO , N_2O) zu elementarem Stickstoff, welcher gefahrenlos in die Atmosphäre austreten kann.

Untersuchungsgebiet Moor „Mürmes“

Als Modellökosystem für das Pilotprojekt der Umweltdenitrifikationsanlage diente der vorliegenden Untersuchung das Moor „Mürmes“, im Landkreis Daun in der Vulkaneifel. Durch vulkanische Aktivität hat sich hier vor 10550 v.Chr. ein Maarkessel gebildet. Dies ist eine in die Erdoberfläche eingesenkte Mulde, die durch eine Wasserdampfexplosion - Magma trifft auf Grundwasser - zu Stande kam (Schmincke 2014). Im Laufe der Jahrhunderte entstand darin ein Flachmoor, folglich ein von Grundwasser gespeistes Moor. Vom 19. Jahrhundert an bis nach dem zweiten Weltkrieg kam es am Mürmes zur Abtragung großer Mengen Torf und zur Anbringung von Entwässerungskanälen. In den Torfstichstellen entstanden die Anfänge des noch heute erhaltenen und frei auf dem Wasser schwimmenden Schwinggrasens, der sich im Laufe der Zeit über das Moor ausgebreitet hat. In den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts begann im nördlichen Teil des Moores auf Grund von landwirtschaftlichen Nutzungen die Verlegung von Drainagen. Deren nährstoffreiches Wasser tritt kurz vor dem Moorkessel an die Erdoberfläche und fließt schlussendlich in das Moor ein oder versickert vorher im Boden. Abb. 1 zeigt die Drainageaustrittsstellen der Drainagen D6 - D9.



Abb. 1: Bilder der Austrittsstelle der Drainage D6 (links), D7 (zweites Bild von links), D8 (zweites Bild von rechts), D9 (rechts) am „Mürmes“ (Stand: 19.01.2015).

Nach wiederholten Einwänden kam es erst 1975 zur Ausweisung des Gebiets als Naturschutzgebiet, was jedoch die problematische Situation der Drainagestellen nicht veränderte (Forst *et al.*, 1997). Das Problem der Nährstoffbelastung auf Grund des Einflusses der landwirtschaftlichen Drainagen, die rund um den Mürmes liegen, ist nach wie vor gegeben und der Mürmes von einer Eutrophierung bedroht.

Technische Umsetzung einer Umweltdenitrifikationsanlage

Vier Dränagen führen die Nährstofffrachten in Richtung Mürmes. Gestützt auf frühere intensive Erhebungen zum Stickstoffverhalten rund um den Mürmes (Ruthsatz *et al.*) und auf Grundlage vorab durchgeführter Versuche im Labormaßstab entstanden im Frühjahr 2015 die

genehmigungsreifen Planungen. Die im Zuge der Genehmigung beteiligten regionalen Umweltverbände sowie die Forstverwaltung unterstützten die Maßnahme. Im Herbst 2015 entstanden somit zwei Denitrifikationsanlagen und eine Phosphateliminationsstufe.



Abb. 2 Bauliche Umsetzung der Denitrifikationsanlage

Ein Bau eines Einlaufschachts erlaubt die Regulierung der Zulaufwassermenge in die Denitrifikationsanlage. Zugleich schützt ein Notüberlauf den Filter vor einer hydraulischen Überlastung. Das Filtermaterial (Holzhackschnitzel) dient dem Prozess als notwendige Kohlenstoffquelle. Dabei entscheidet die Holzart über die Betriebsdauer des Filters, die gewählte Länge der Hackschnitzel ist auf die hydraulische Last ausgerichtet (hydraulische Leitfähigkeit).

Um das geforderte anaerobe Milieu innerhalb des Filters dauerhaft zu gewährleisten dichtet eine Folie die Anlage zu allen Seiten ab, ein Auslaufschacht regelt den Einstaubetrieb. Die Anlage wird wieder mit Boden bedeckt und die komplette Fläche an das Ursprungsgelände angeglichen.

Der kleineren der beiden Denitrifikationsanlagen ist eine Phosphatelimination vorgeschaltet. Eisenhaltiges, hochdurchlässiges Filtersubstrat mit hoher Adsorption sorgt für einen Rückhalt des Nährstoffs.

Freiland- und Laboruntersuchungen

Wichtig für weitere Analysen, sowie als Voraussetzung für die Errichtung der Denitrifikationsanlage war herauszufinden, welche Drainagen am Mürmes wie hoch belastet sind und somit den hauptsächlichsten Beitrag zur Eutrophierung des Gebiets leisten.

Hierfür wurden einmal im Monat von Dez. 2014 bis Juli 2015 an den Austrittsstellen der Drainagen D6, D7, D8 und D9 Proben genommen und auf die Stickstoffzusammensetzung (Nitrat, Nitrit, Ammonium), sowie TOC (*total organic carbon*), TN (*total nitrogen*) und pH-Wert untersucht, um jahreszeitliche Unterschiede festzustellen.

Die Ergebnisse der Freiland-Analyse am „Mürmes“ zeigten, dass die Drainagen D7 (72 mg/L, Stand: Dez. 14) und D8 (64 mg/L, Stand: Jan. 15) die am stärksten mit Nitrat kontaminierten Drainagen waren. Der Nitratwert der Drainage D7 wurde somit auch als Startwert für weitere Laborexperimente verwendet.

Die Untersuchung der Stickstoffzusammensetzung über die Monate hinweg zeigte zudem einen Unterschied an allen Drainagen im Verlauf von den Wintermonaten zu den Frühlings- und Sommermonaten. Die Nitratwerte waren in den kälteren Monaten vergleichsweise höher als in den wärmeren, dahingegen stiegen die Ammoniumwerte zum Sommer hin an allen Drainagen kontinuierlich an (Abb. 3).

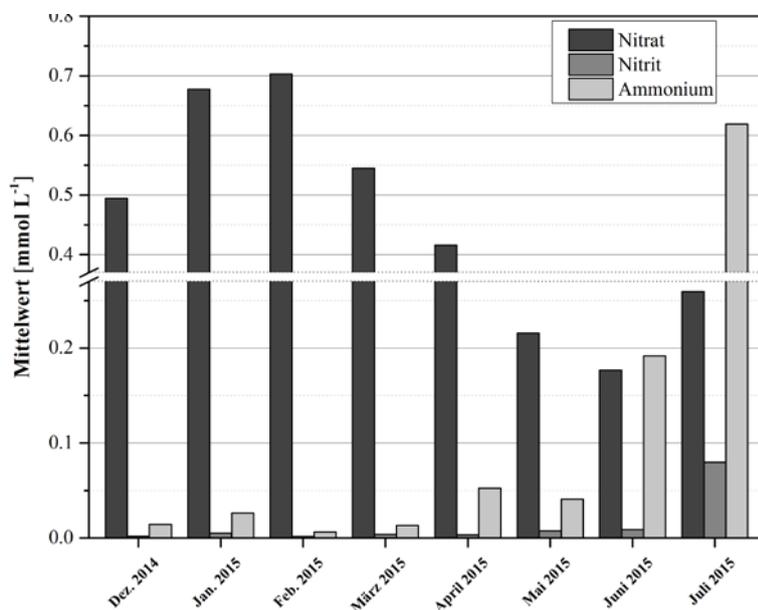


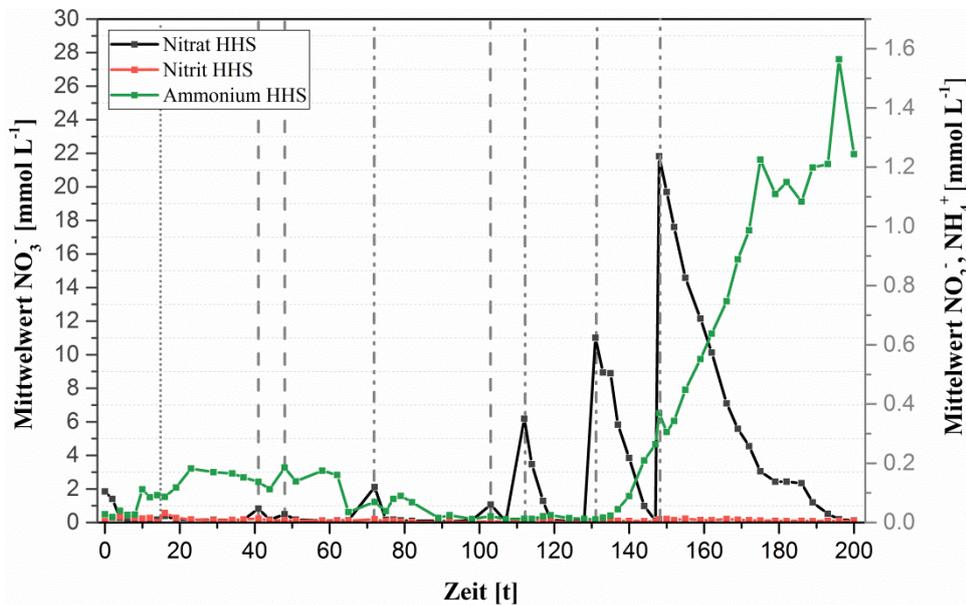
Abb. 2: Mittelwerte von Nitrat, Nitrit, Ammonium der Drainage D6-D9 in mmol L⁻¹ in den verschiedenen Monaten.

Da die Denitrifikation in einer solchen Anlage ein heterotropher Prozess ist - somit organische Verbindungen als Nährstoff benötigt werden - ist die Wahl der Kohlenstoffquelle für eine erfolgreiche Nitratentfernung in diesen Anlagen von großer Bedeutung. Um eine geeignete C-Quelle für die Umweltdenitrifikationsanlage am Mürmes zu finden, wurden zuvor im Labor zwei verschiedene Substrate (Holzpellets, Holz hackschnitzel) verwendet, mit Drainagenwasser aus dem Untersuchungsgebiet (Inokulum) angeimpft und über 200 Tage auf ihre Leistungsfähigkeit getestet. Dafür wurde in regelmäßigen Abständen der Nitrat-, Nitrit-, Ammonium-, TOC-, TN- Gehalt, sowie der pH-Wert gemessen. Zudem wurde über eine Gasanalytik die CH₄- und CO₂-Konzentration bestimmt. Bei der Analyse sollte festgestellt werden, welche C-Quelle die beste Nitratreduktion bewirkt und zugleich geringe Mengen ungünstiger Nebenprodukte verursacht. Außerdem wurde über Zugaben erhöhter

Nitratkonzentrationen getestet, welche Kohlenstoffquelle besser mit hohen Nitratpulsen umgehen kann. Über eine 16S-Amplicon Sequenzierung mit Illumina wurde zudem noch die gesamte mikrobielle Diversität in den verschiedenen Anlagen der sessilen und planktonischen Phase und des Inokulums bestimmt und verglichen.

Insgesamt zeigten die Labor-Anlagen mit den Holzhackschnitzeln (HHS) für lange Zeit die beste Nitratreduktionsleistung bei gleichzeitig geringen Ammoniumwerten. Jedoch erfuhr dieser Anlagentyp bei Zugabe stark erhöhter Nitratfrachten seine Auslastung und begann mit einer verstärkten Ammoniumproduktion. Im Gegensatz dazu waren die Holzpellets bei hohen Nitratwerten stabil und reduzierten das Nitrat sogar schneller als zuvor, ohne eine gesteigerte Ammoniumproduktion. Jedoch schafften sie es nie, das Nitrat so weit zu senken wie die Holzhackschnitzel-Anlagen (Abb. 4). Zudem wiesen die Holzpellet-Anlagen deutlich höhere und konstantere TOC-Werte (bis zu 1600 mg L^{-1}) auf als die Holzhackschnitzel-Anlagen, die mit maximal 400 mg L^{-1} deutlich geringer lagen und zum Ende des Experiments sogar hin abnahmen.

A



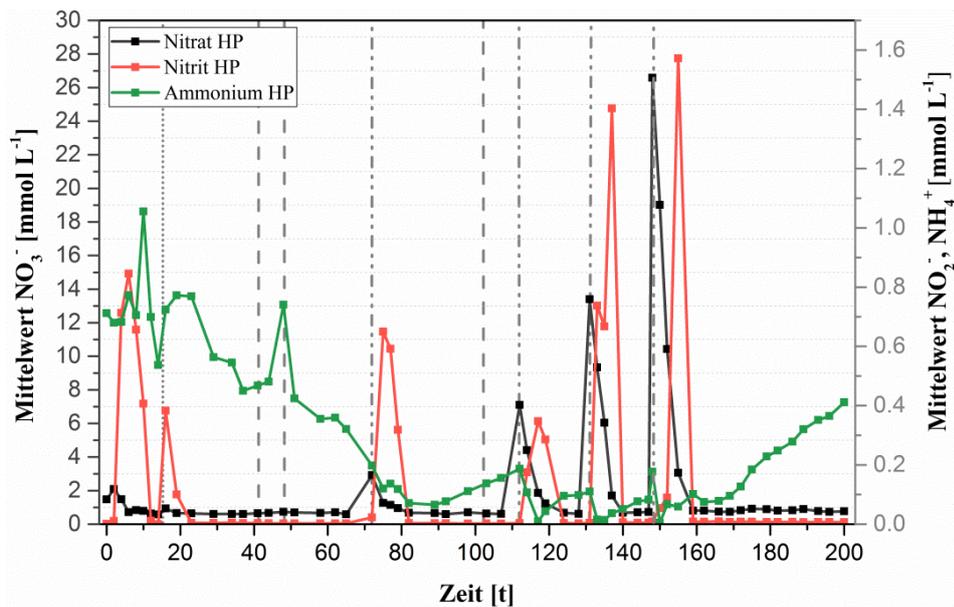
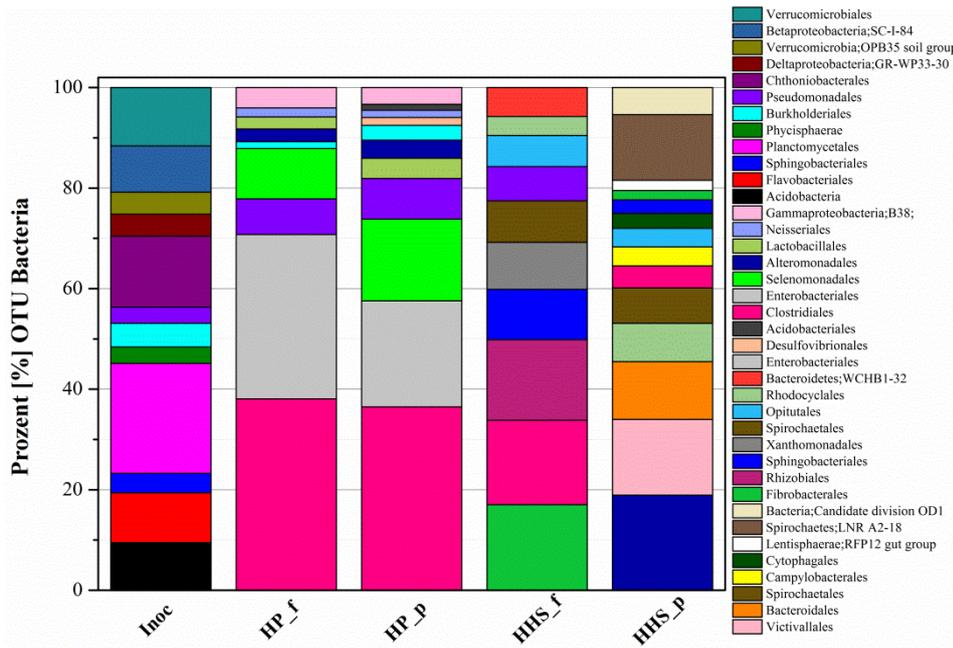
B

Abb. 3: Verlauf der Stickstoffzusammensetzung über die 200-tägigen Laufzeit des Experiments mit Holzhackhschnitzeln (A) und Holzpellets (B) als C-Quelle. Die gestrichelten Linien zeigen die Tage, an denen Nitrat zugegeben wurde. Tag 72 die 2x (140 mg/L), Tag 112 die 5x (265,8 mg/L), Tag 131 die 10x (731,6 mg/L) und an Tag 148 die 20x (1,46 g/L) Konzentration vom Ausgangswert, welche 72,8 mg/L betrug. Diese entsprach der höchsten gemessenen Nitratkonzentration im Dez. 2014 an der Drainage D7.

In Bezug auf das mikrobielle Konsortium konnte festgestellt werden, dass alle Anlagen auf andere Bakterienordnungen selektierten (Abb. 5). Die Holzhackhschnitzel-Anlagen zeigten die größte Diversität an Mikroorganismen und sogar Unterschiede zwischen der planktonischen und sessilen Phase. Die Holzpellet-Anlage zeigte eine ähnliche mikrobielle Zusammensetzung in der sessilen und planktonischen Phase. Zudem wies die Holzpellet-Anlage keine Archaeen auf, welches gut mit der fehlenden Methanproduktion in diesem Anlagen-Typ korrelierte (Abb. 6). Auch die HHS-Anlagen zeigten für lange Zeit keine Methan- und CO₂ Produktion. Erst nach einer fünffachen Nitratzugabe kam es zu einer Produktion und dabei zeigte sich ein regelmäßiger Rhythmus von Intervallen, die im Zeitraum von 6-8h lagen. Diese nitratgetriggerte Methanogenese und deren Grundlagen sollen in zukünftigen Analysen näher untersucht werden.

A



B

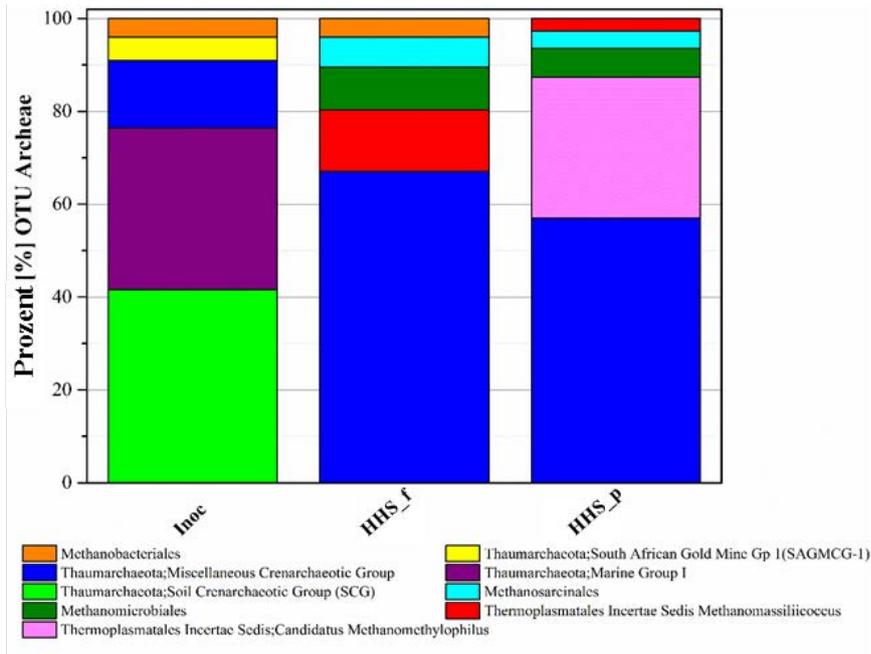


Abb. 4: Mikrobielle Diversität in den verschiedenen Laboranlagen und dem Inokulum. In (A) sind die operational taxonomic units (OTUs) der Bakterien zu sehen und in (B) jene für Archaeen.

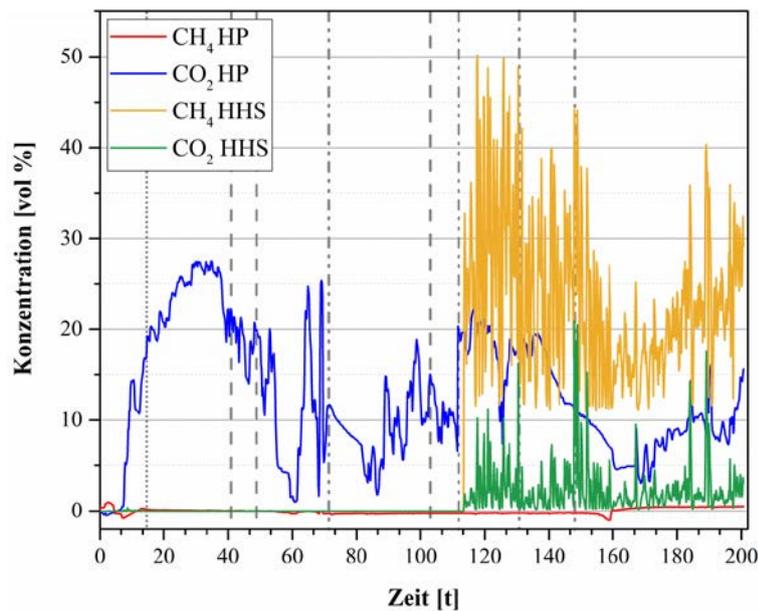


Abb. 5: Verlauf der Gasproduktion (CO₂, CH₄) der Holzhacksnitzel und Holzpellet-Anlagen während der 200-tägigen Versuchslaufzeit.

Die Analysen der Laborversuche zeigten, dass die Holzhacksnitzel für die gegebenen Umstände am Mürmes die beste C-Quelle für eine Denitrifikationsanlage darstellen, da sie trotz der Methanproduktion, eine stabile und schnelle Nitratreduktion leisteten und dabei wenig ungewünschte Nebenprodukte wie TOC oder Nitrit verursachten. Im November 2015 wurden dann schlussendlich auch zwei solcher Anlagentypen an der Drainage D7 und D8 errichtet. Im Juli 2016 errichtete die Abteilung Angewandte Biologie des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) zusätzlich eine Online-Messstation mit welcher autark mit Hilfe von Solarenergie der Zulauf und der Ablauf der Denitrifikationsanlage im Rhythmus von 3 Stunden an der D7 auf Stickstoffverbindungen (Nitrat, Nitrit, Ammonium), sowie organischen Kohlenstoff (TOC) und pH Wert bestimmt werden kann (Abb. 7).

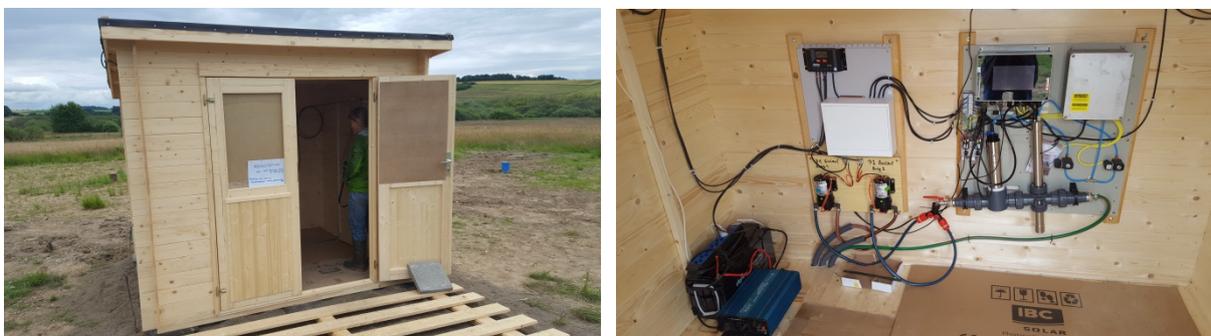


Abb. 7: Außenansicht der Online-Messstation, sowie die Innenansicht mit Sensorik und Pumpen an der Denitrifikationsanlage D7.

Die Ergebnisse der Freilandanlage zeigte bisher eine gute Funktionalität der Denitrifikationsanlage, welche jedoch erst in den wärmeren Sommermonaten konstantere Nitratreduktionen aufwies (Abb. 8A).

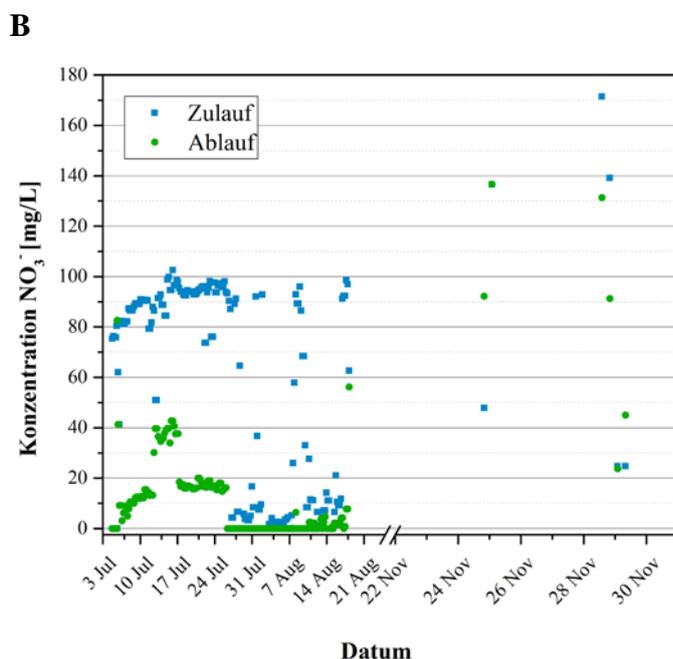
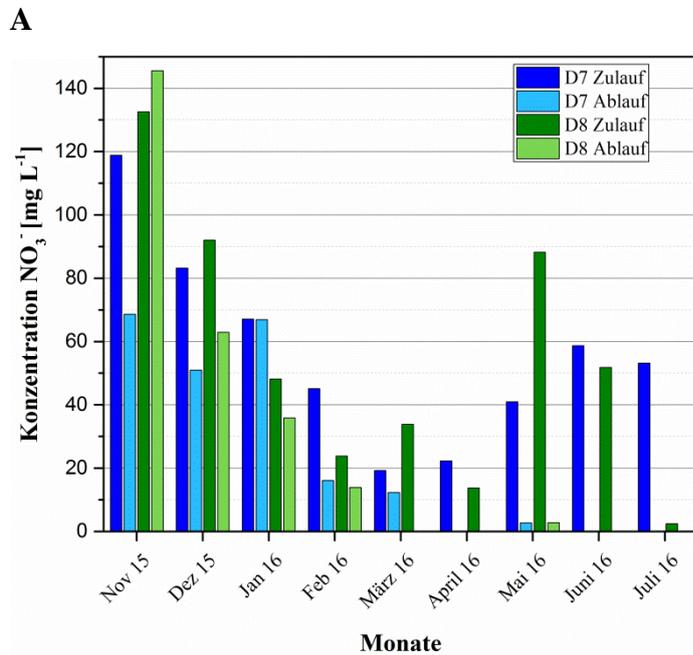


Abb. 8: (A) Nitratkonzentrationen vom Zulauf und Ablauf der Denitrifikationsanlage der D7 und D8 monatlich gemessen von Nov.15 bis Juli 16. (B) Nitratkonzentrationen des Zulauf und Ablaufs der Online-Messstation an der Anlage D7 gemessen im 3h Rhythmus.

Die Online-Messstation lief den ersten Monat reibungsfrei und zeigte Nitratreduktionsleistungen von 60-80% (Abb. 8B). Ab August 2016 bereitete die anhaltende Trockenheit Messprobleme, da kein Wasser im Zulauf und Ablauf vorzufinden war. Dies hielt

bis Oktober an. Ab November waren die Schläuche zum Teil eingefroren, so dass auch hier keine reibungsfreie Messung stattfinden konnte. Im Jahr 2017 soll in den wärmeren Monaten eine kontinuierliche Messung ablaufen, so dass über einen längeren Zeitraum die Nitratreduktionsleistung sowie die Entstehung von Nebenprodukte überwacht werden kann.

Literatur:

Canfield, D.E., Glazer, A.N., and Falkowski, P.G. (2010) The Evolution and Future of Earth's Nitrogen Cycle. *Science* (80-) **330**: 192–196.

Forst, M., Hierlmeier, R., Kiebel, A., and Ruthsatz, B. (1997) Hoch- und Zwischenmoore in Trockenmaaren der Vulkaneifel. *Angew Landschaftsökologie* **14**.

Guske, C. (2016) Nitratbelastung in Gewässern: EU-Kommission verklagt Deutschland. *Eur Kommission* https://ec.europa.eu/germany/news/nitratbelastung-gew%C3%A4ssern-eu-kommission-verklagt-deutschland_de.

Moorschutz in der Praxis. Wiedervernässung und Regeneration

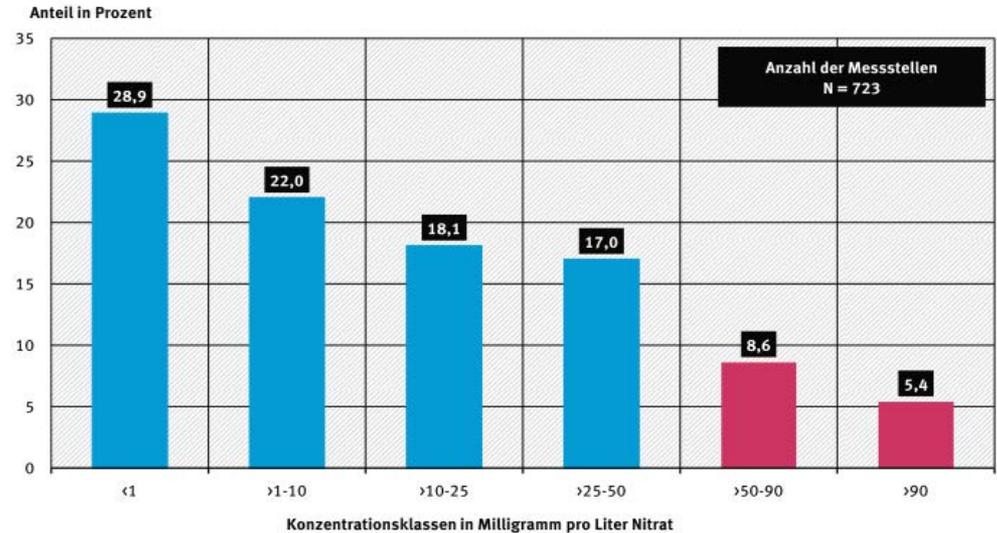


Foto: Gerd Ostermann, bnl, Birgel

Birkenfeld, den 22.-23. September 2016

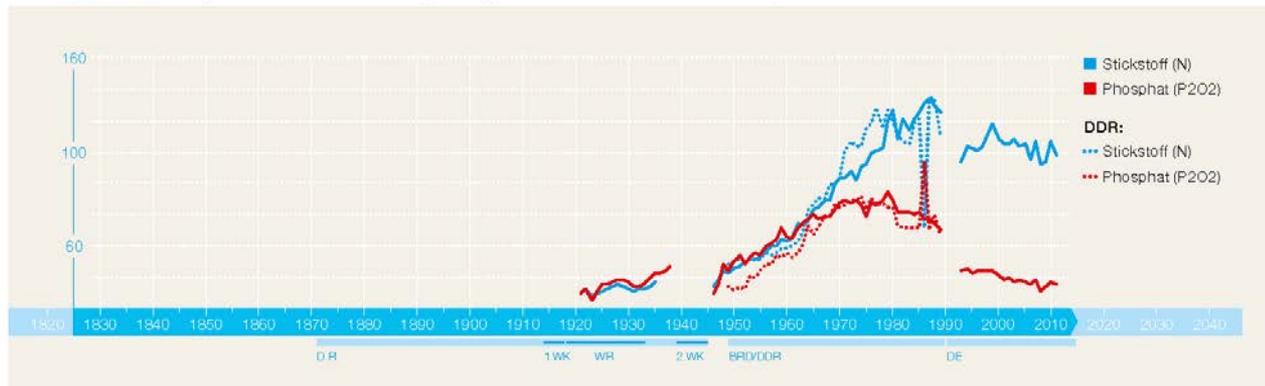
Warum Denitrifikation?

- Gesteigerte Lebensmittelnachfrage
→ erhöhter Düngemiteleinsatz
- Folgen: Eutrophierung, Grund- und Trinkwasserkontamination



Quelle: Umweltbundesamt, 2015

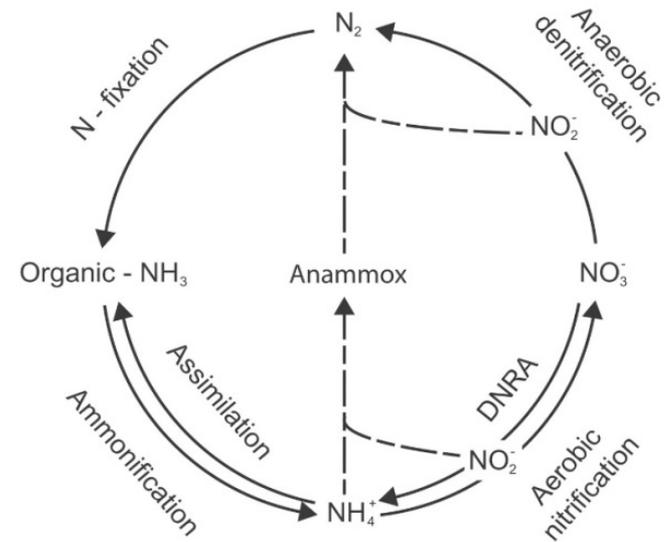
► Abb 5a Düngemiteleinsatz — in Kilogramm je Hektar — Stickstoff und Phosphat



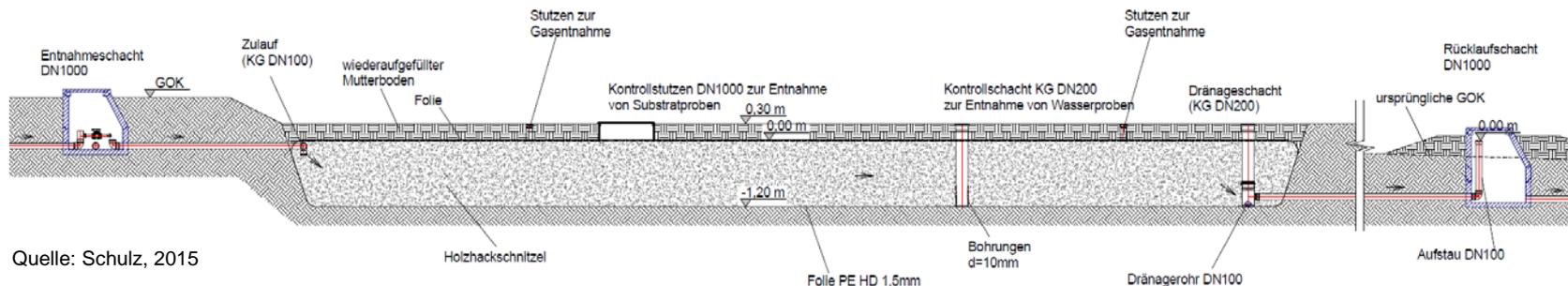
Quelle: Bundeszentrale für politische Bildung, 2016

Mikrobielle Nitratatmung in Umwelddenitrifizierungsanlagen

- Anoxische Bedingungen
- NO_3^- alternativer e^- - Akzeptor
- Org. Kohlenstoff als e^- - Donor
- Denitrifizierung: Niedriges C_{org}/N Verhältnis
- **Dissimilatorische Nitratreduktion zu Ammonium (DNRA): Hohes C_{org}/N Verhältnis**
- C-Quelle: Holzabfallprodukte



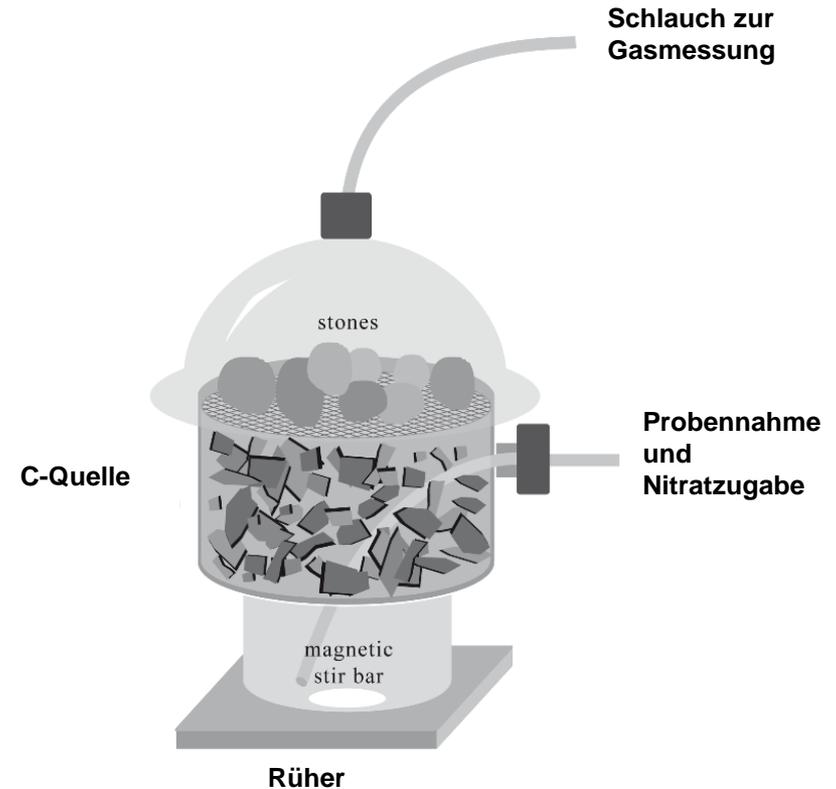
Quelle: Trimmer, M., Nicholls, J.C., and Deflandre, B. (2003) Anaerobic Ammonium Oxidation Measured in Sediments along the Thames Estuary, United Kingdom. *Appl Environ Microbiol* **69**: 6447–6454.



Quelle: Schulz, 2015

Laboraufbau:

- C-Quelle: Holzhackschnitzel oder Holzpellets
- Künstliches Moormedium
- Inokulum: 1% Drainagewasser
- Gasmessung: CO_2 , CH_4
- Probennahme: 2-3 Mal die Woche
- Analyse auf NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , TOC, TN, organische Säuren, pH
- Nitratzugaben:
 - $2x \triangleq 140 \text{ mg/L}$
 - $5x \triangleq 265,8 \text{ mg/L}$
 - $10x \triangleq 731,6 \text{ mg/L}$
 - $20x \triangleq 1,463 \text{ g/L}$



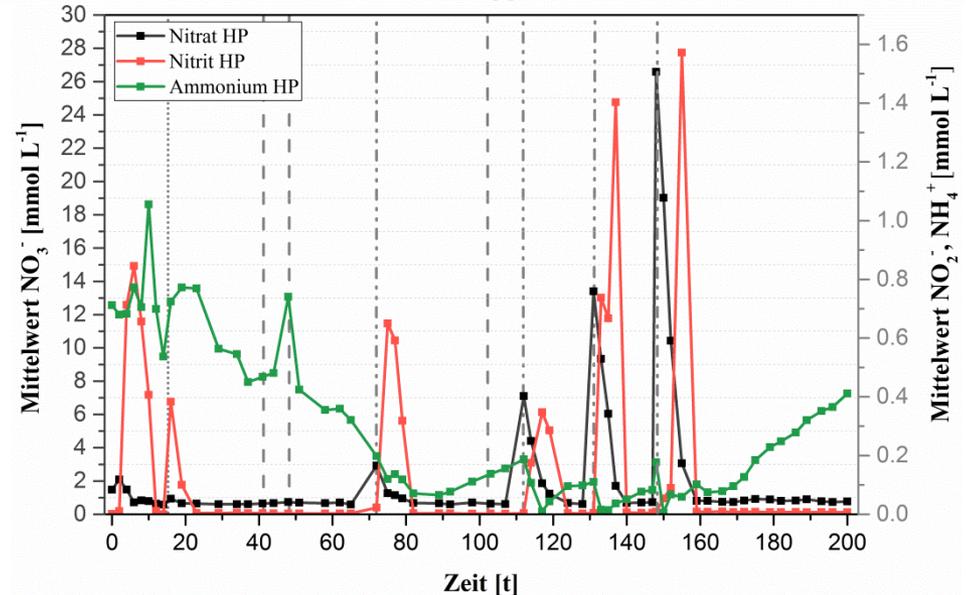
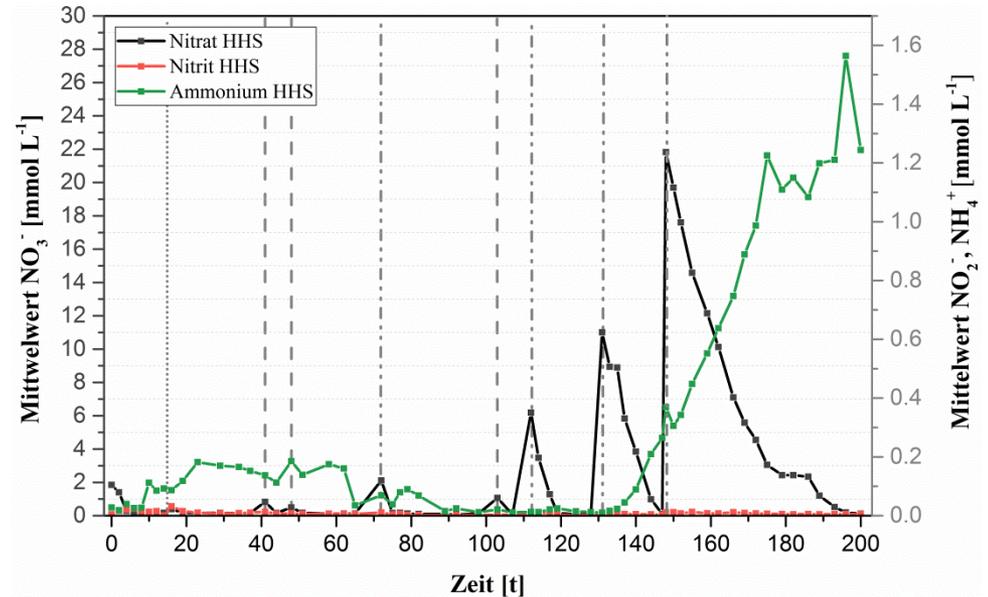
Nitratmetabolismus der Labor- anlagen

HHS (Holzhackschnitzel):

- Gute Denitrifizierungsleistung für geringe Nitratmengen
- Denitrifizierungsleistung nimmt mit hohen Nitratmengen ab
- Keine Akkumulation von NO_2^-

HP (Holzpellets):

- Signifikant höhere Denitrifizierungsleistung für hohe Nitratmengen
- Akkumulation von NO_2^- nach Nitratzugabe



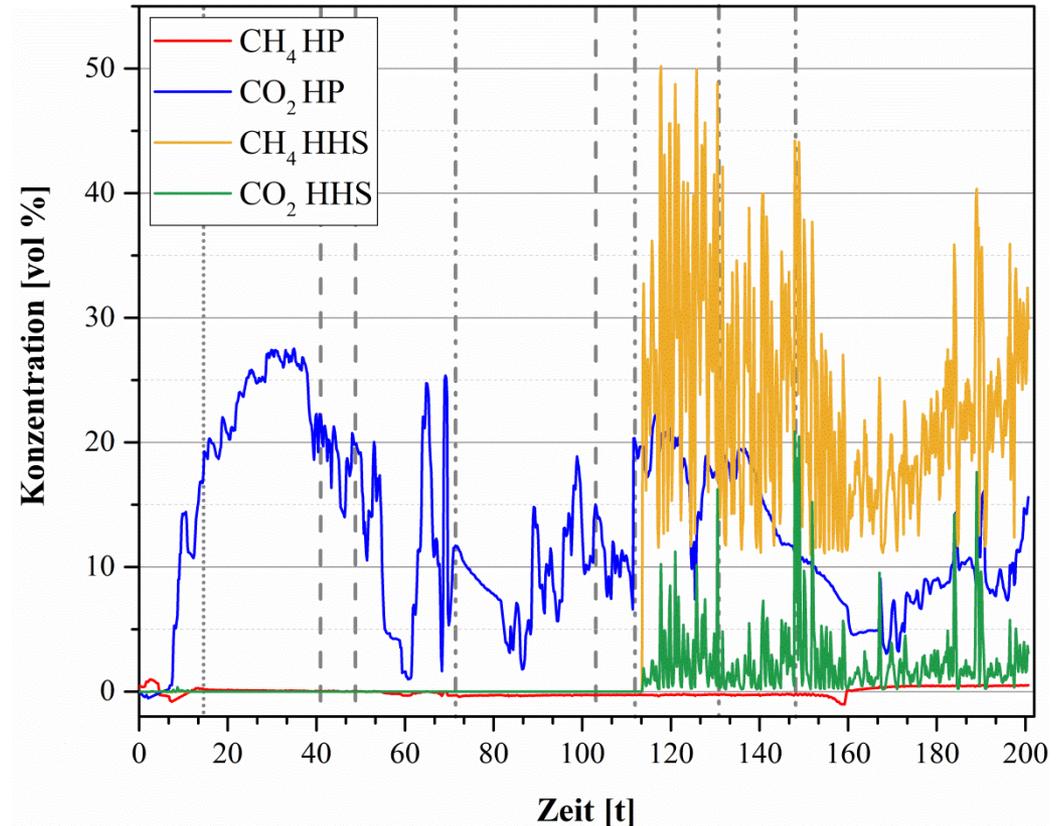
Gasproduktion

Holzpellets (HP):

- keine Methanproduktion

Holz hackschnitzel (HHS):

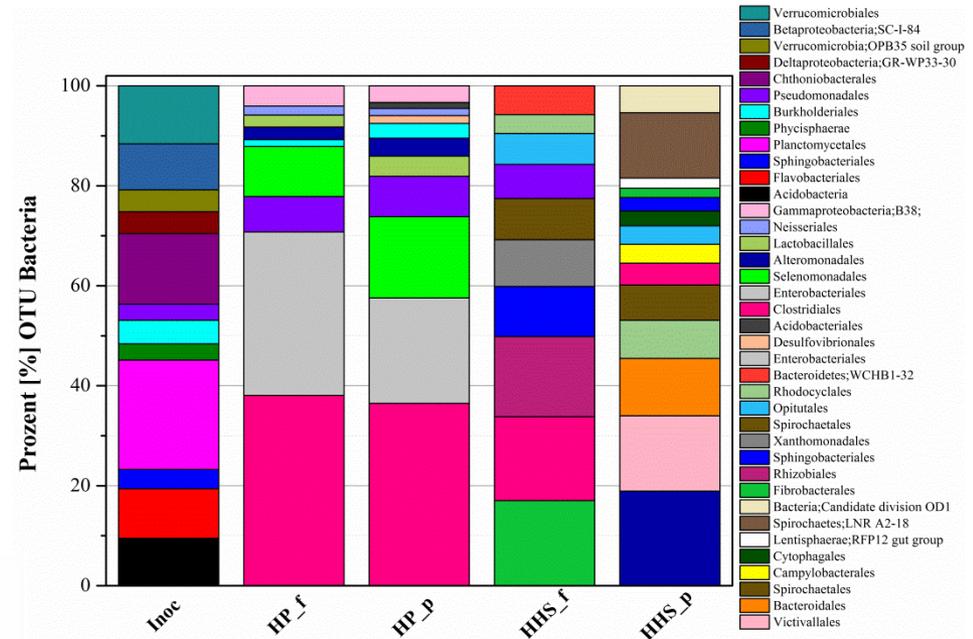
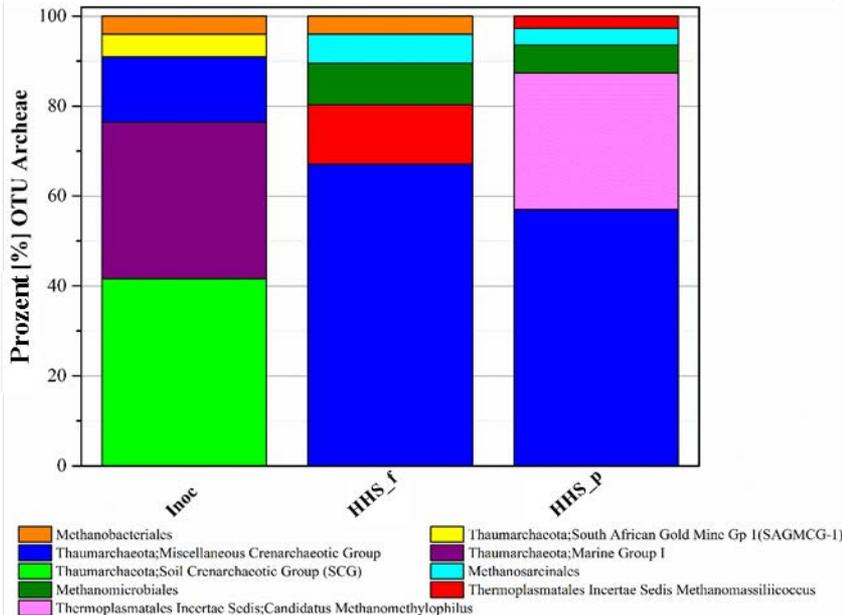
- Methan- und CO₂ Produktion startet nach Zugabe von 265,8 mg/L NO₃⁻
- Intervalle von 6-8 h



Mikrobielle Diversität

Holzackschnitzel (HHS):

- Höhere Diversität für bakterielle OTUs
- Mehr Variation zwischen fester (HHS_f) und planktonischer (HHS_p) Phase



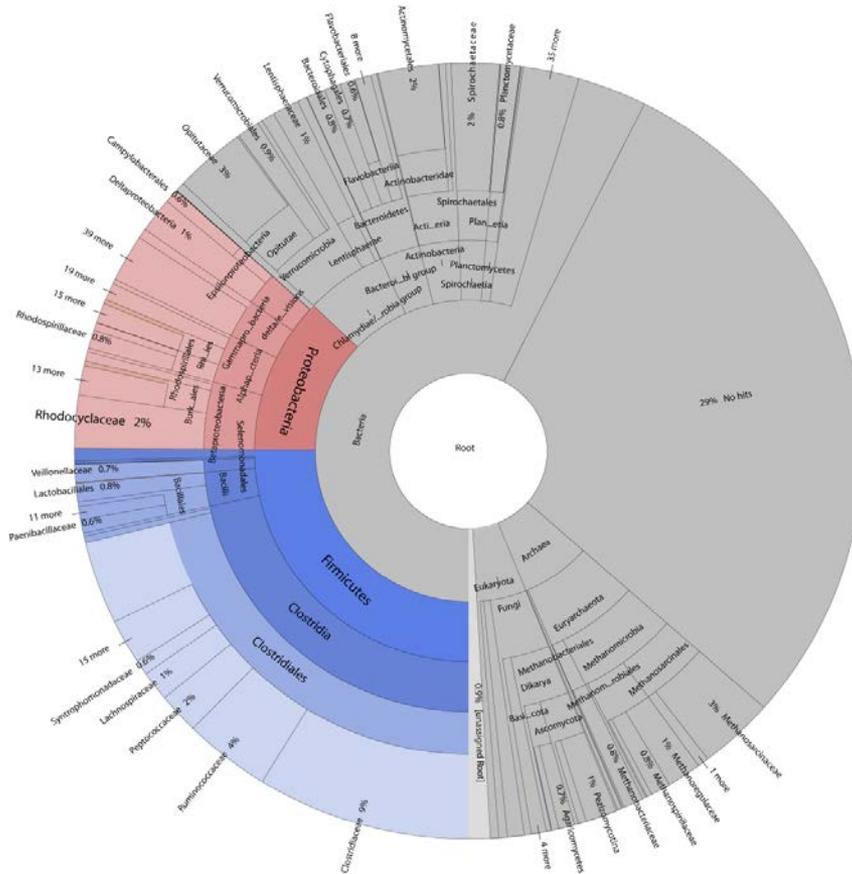
Holzpellets (HP):

- Keine OTUs, die Archaeen zugeordnet werden können → keine Methanogenen

Holzackschnitzel (HHS):

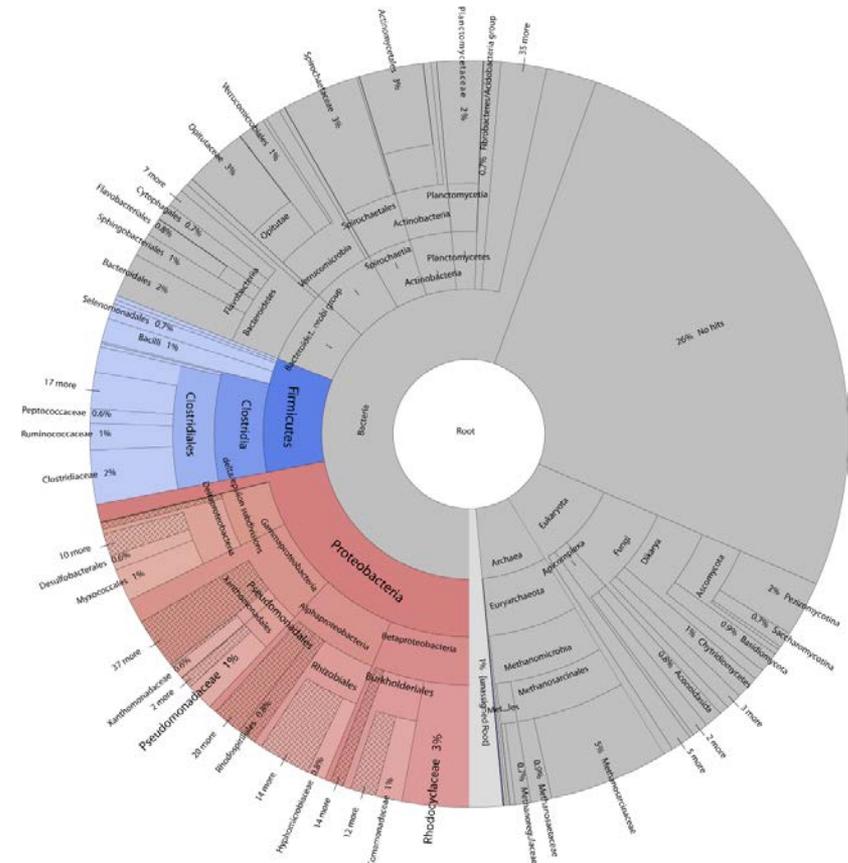
- Methanogene
- Thaumarchaeota (Ammoniumoxidierer)

Metatranskriptomanalyse:



Biofilm auf den Holzhackschnitzeln:

→ Höhere Aktivität von Firmicutes



Planktonische Phase in den HHS-Reaktoren

→ Höhere Aktivität von Proteobakterien

Maßnahmen zur Rückhaltung von Stoffeinträgen aus landwirtschaftlichen Dränagen

➤ Auf den dränierten Flächen

- Kontrollierte Düngung

➤ Reaktivierung von Feuchtgebieten

- Kontrollierte Dränung (Aufstau)

➤ Technische Maßnahmen

- Dränteiche

- **Filterlösungen (Denitrifikationsbecken)**

Denitrifikationsanlage am Mürmes

Projektgebiet
NSG Mürmes :
Fläche: 43,5 ha

4 Dränagen,
ges. Einzugsgebiet:
19 ha,
davon D7 = 9 ha

Deni-Anlagenfläche:
185 m² (220 m³)

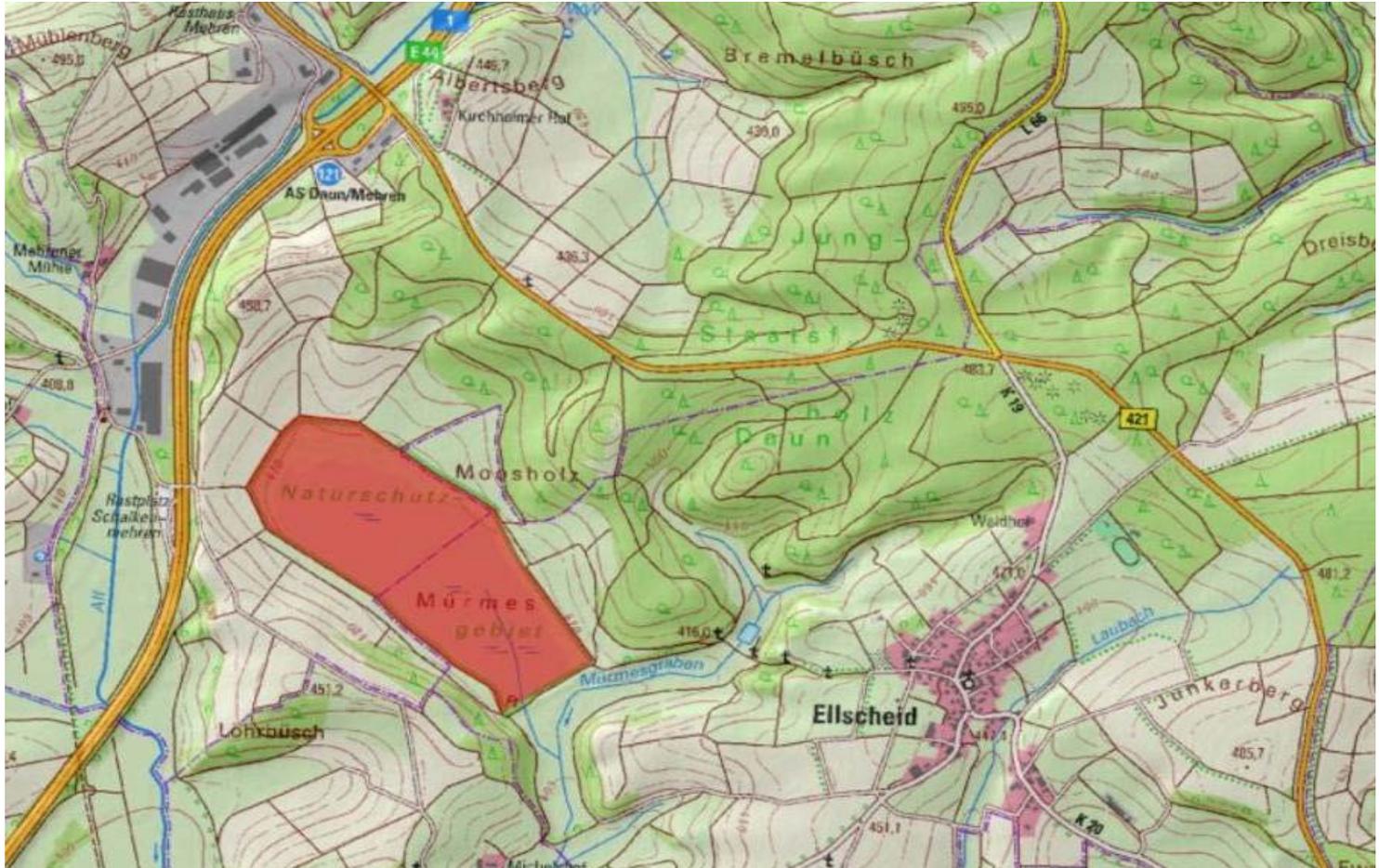
Auftraggeber:
Stiftung Natur und
Umwelt, Mainz
www.snu.rlp.de



Foto: Gerd Ostermann, bnl, Birgel

Denitrifikationsanlage am Mürmes

Lage in der
Topographie



Quelle: LANIS mapserver

Publikation Prof. Ruthsatz et.al. 1996

Abflußmengen an den Dränagen in m³

	WS 91/92	So 92	WS 92/93	So 93	WS 93/94	Summe	Mittel (WS)
D7	26094	2089	30687	6136	62831	127837	39871
D8	7979	371	10334	2094	17857	38653	12057

Nitratkonzentrationen an den Dränagen in m³

	1996	2014*
D7	31,3	70,0
D8	43,7	41,8

Einzugsflächen der Dränagen in ha

	Fläche Einzug (ha)
D7	8,9
D8	3,4

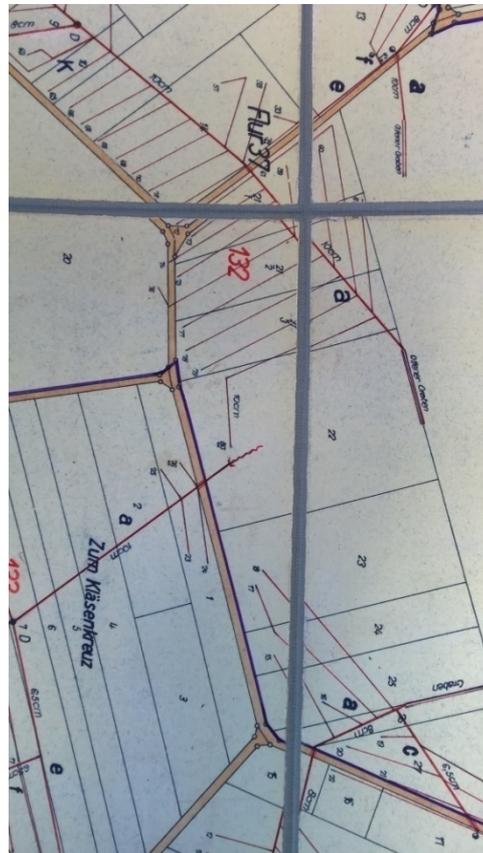
* Daten erhoben von Victoria Griesmeier, KIT

Machbarkeit ?

Nivellement



Historische Pläne



Suchgräben

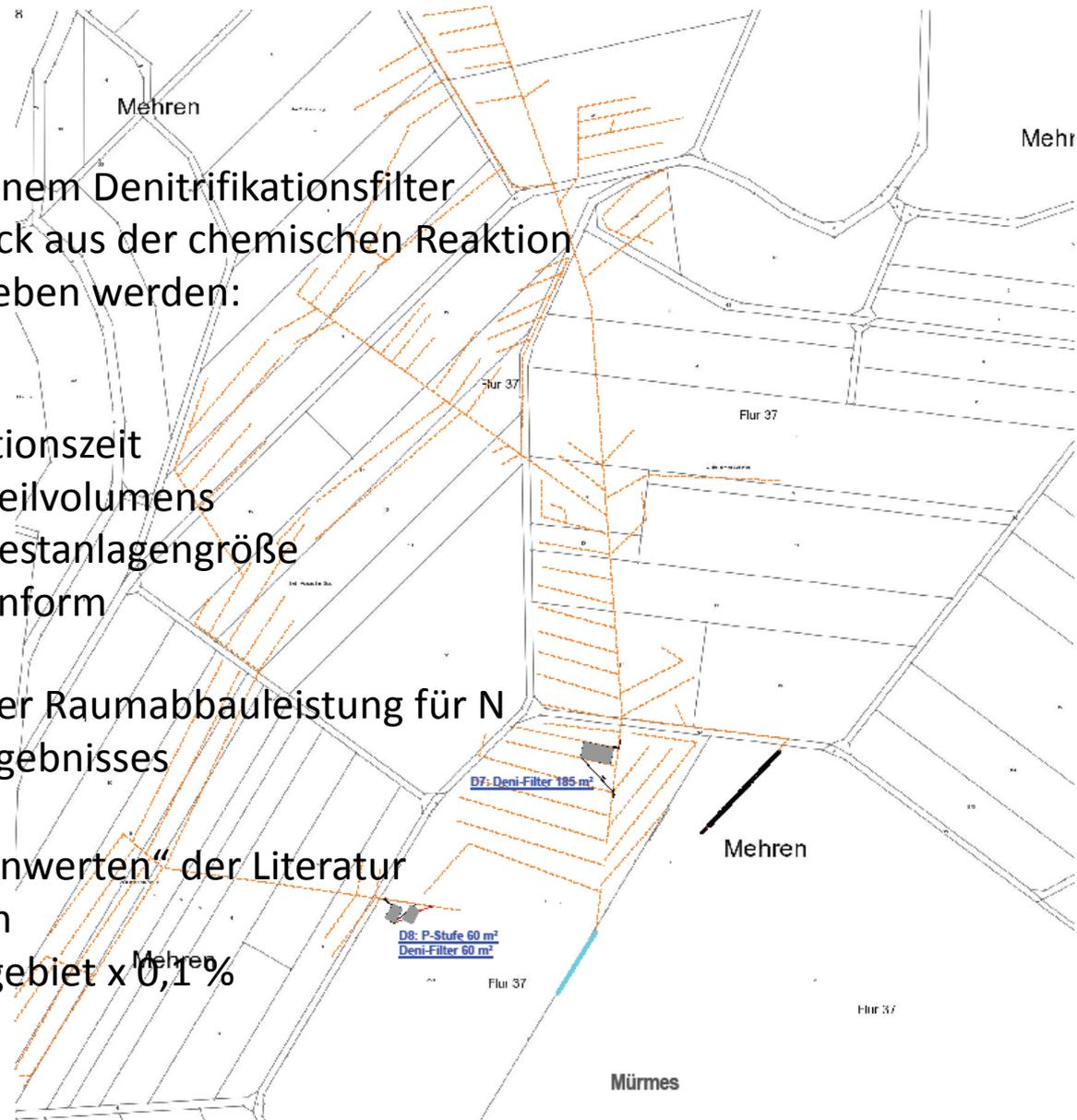


Planung

Der Laststoffabbau in einem Denitrifikationsfilter kann mit einem Ausdruck aus der chemischen Reaktion erster Ordnung beschrieben werden:

$$C_T = C_o \times e^{-kt}$$

- Berechnung der Reaktionszeit
- Berechnung des Verweilvolumens
- Berechnung der Mindestanlagengröße
- Festlegung der Flächenform
- Gegenrechnung mit der Raumabbauleistung für N
- ggf. Anpassung des Ergebnisses
- Vergleich mit „Daumenwerten“ der Literatur
- Aufenthaltszeit 4h - 8h
- Filterfläche = Einzugsgebiet x 0,1 %





Fotos: Schulz, SWT

Baubeginn
Okt. 2016



Drainagen,
Baujahr 1964



Abdichtung Deni-Becken

Fotos: Schulz, SWT



Befüllung mit Holzhackschnitzel



Fotos: Schulz, SWT / Hahn, B.-Tb.

Verfülltes Deni-Becken
mit Kontrollstutzen ver-
sehen und abgedichtet





Zulauf Deni-
Becken

Fotos: Schulz, SWT



Ablauf Deni-
Becken

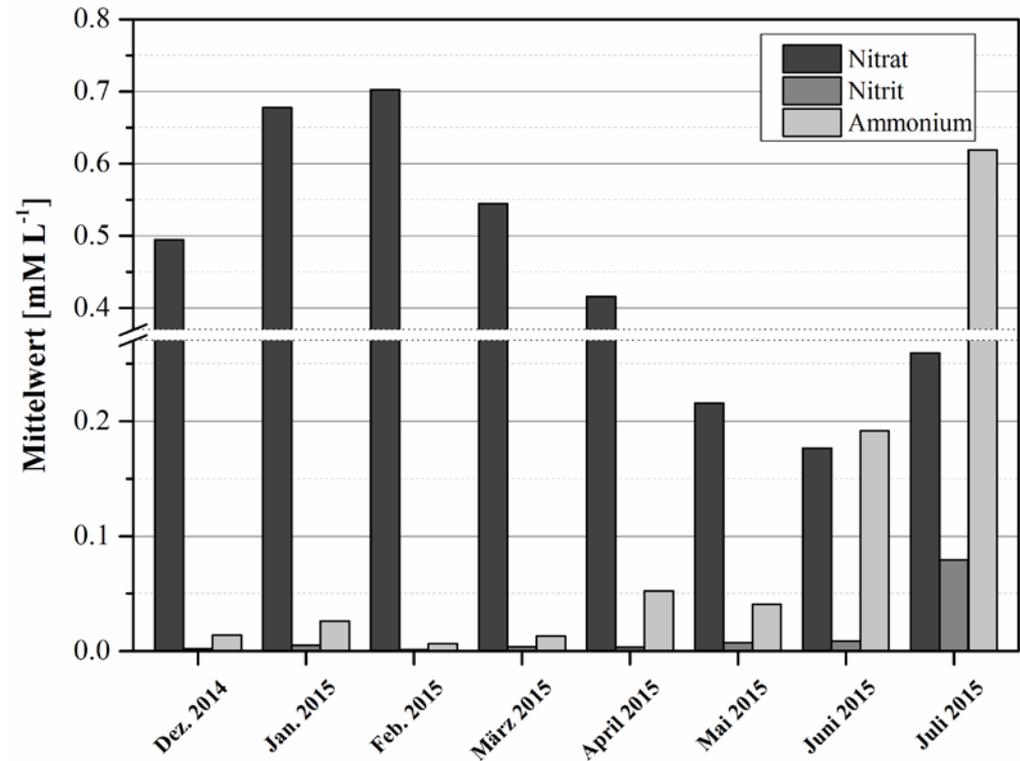
Zustand Mai 2016



Nitratmetabolismus Drainagenwasser

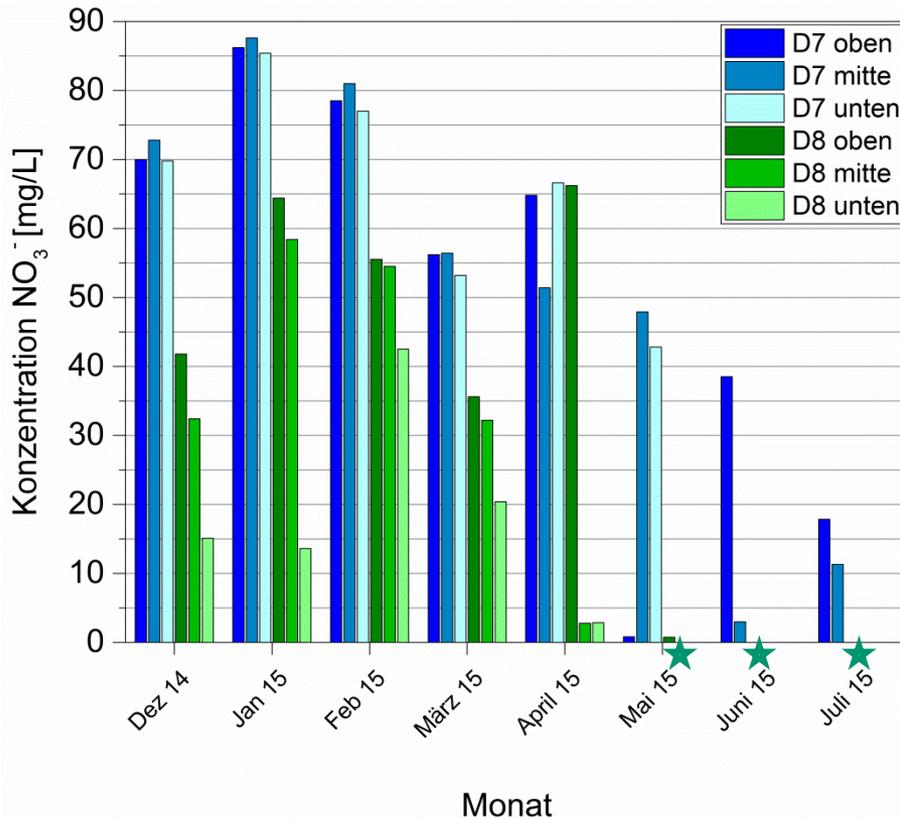
- Höhere NO_3^- Konzentration in den Wintermonaten
- Höhere NH_4^+ und NO_2^- Konzentrationen in den Frühling-/Sommermonaten

→ Unterschiedliche Metabolisierung des Düngers während der Monate

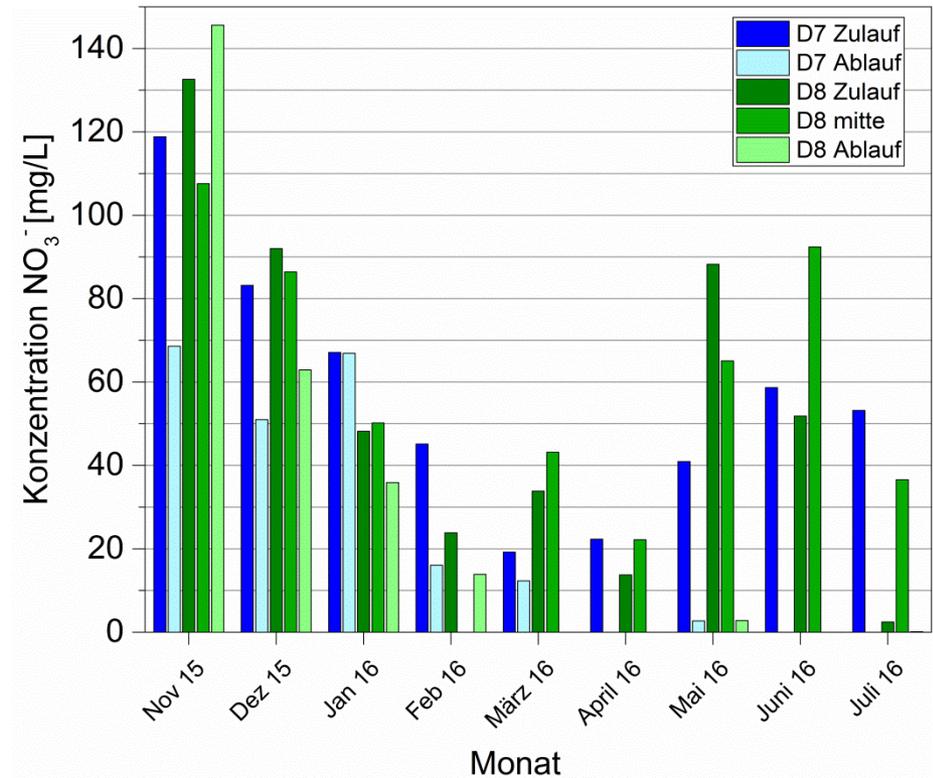


Ergebnisse Nitratkonzentration am Mürmes:

Vor dem Anlagenbau:

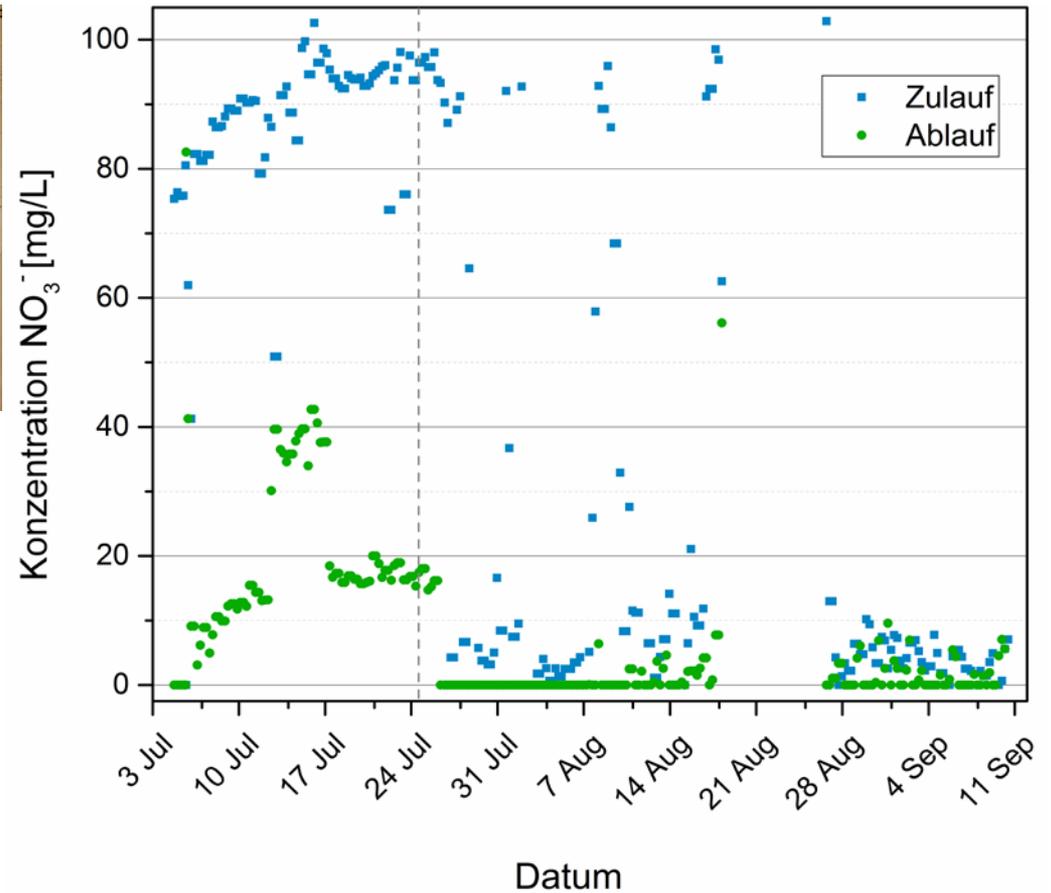
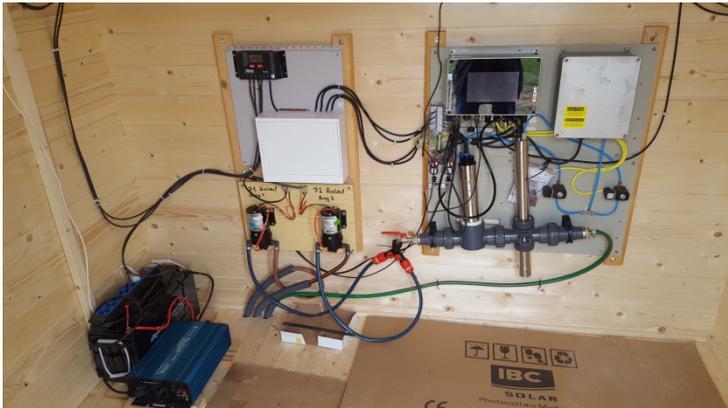


Nach dem Anlagenbau:



★ Auf Grund von Trockenheit keine Probennahme möglich

Messstation am Mürmes:



Zusammenfassung:

- Unterschiedliche Eignung von Holzpellets und Holzhackschnitzel für höhere und niedrigere Nitratkonzentrationen
- Keine CH_4 Produktion, wenn Holzpellets verwendet werden, dafür NO_2^- und TOC Freisetzung
- Holzhackschnitzel für Gegebenheiten am Mürmes besser geeignet, jedoch Methanproduktion
- Bisher gute Nitratreduktionsleistungen der Umweltdenitrifizierungsanlage am Mürmes

Ausblick:

- Überwachung der Funktionalität und Gasmessung der Umweltdenitrifizierungsanlage
- Bestimmung der mikrobiellen Diversität in den Feld-Anlagen
- Untersuchung der Nitrat getriggerten Methanogenese und Ammoniumproduktion bei den HHS-Anlagen im Labor
- Korrelation zwischen Labor- und Feldversuchen möglich?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

weitere Infos:



KIT – Karlsruher Institut für Technologie * Victoria Griessmeier
Fritz-Haber Weg 2 * 76131 Karlsruhe

t: 0721 – 60841950 * victoria.griessmeier@kit.edu



SWT – Schulz Wassertechnik * Christian Schulz
Münzenberger Straße 6 * 35423 Lich

t: 06004 – 9157275 * cs@schulz-wassertechnik.de