

# Drainfit

## Der reaktive Graben in Wiepkenhagen: Abschlussbericht



Auftraggeber: LMS Agrarberatung GmbH  
Graf-Lippe-Straße 1  
18059 Rostock



Auftragnehmer: STZ Wasser, Landschaft, Umwelt  
c/o Universität Rostock  
Fakultät für Agrar, Bau und Umwelt  
Dr. Andreas Bauwe (andreas.bauwe@uni-rostock.de)  
Justus-von-Liebig-Weg 6  
18059 Rostock



Rostock, im Dezember 2025

## Inhalt

1	Vorbemerkung .....	3
2	Methodik .....	3
2.1	Untersuchungsstandort und Grabendesign .....	3
2.2	Untersuchungsprogramm .....	4
2.3	Weitere Arbeiten und Messungen am reaktiven Graben.....	5
2.4	Berechnungen .....	6
3	Ergebnisse und Diskussion .....	7
3.1	Hydro-Meteorologie.....	7
3.1.1	Niederschlag .....	7
3.1.2	Temperatur .....	7
3.1.3	Durchfluss .....	8
3.2	Nitratabbau und Einflussfaktoren .....	9
3.2.1	Nitratabbau.....	9
3.2.2	Einflussfaktoren .....	11
3.3	Phosphorrückhalt .....	13
3.4	Freisetzung von organischem Kohlenstoff .....	15
4	Fazit und Ausblick .....	17
5	Anlagen.....	19
5.1	Der reaktive Graben auf youtube.....	19
5.2	Der reaktive Graben im Laufe der Zeit – eine Fotodokumentation.....	20

## 1 Vorbemerkung

Im November 2017 wurde am Standort Wiepkenhagen in Mecklenburg-Vorpommern im Rahmen des EIP-Projektes Drainfit ein mit Holzhackschnitzeln befüllter reaktiver Graben am Ende zweier Dränabteilungen errichtet. Oberstes Ziel der Untersuchungen war die Überprüfung des reaktiven Grabens hinsichtlich seiner mikrobiellen Abbauleistung von Nitrat. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass solche technisch innovative Lösungen durchaus zum Gewässerschutz beitragen und die Nitratfrachten in Oberflächengewässern signifikant reduzieren können. Nach Auslaufen von Drainfit im Frühjahr 2021 entschloss sich daher das Land Mecklenburg-Vorpommern, das Monitoring des reaktiven Grabens bis Ende 2025 finanziell zu unterstützen.

Dieser Abschlussbericht fasst alle relevanten Arbeiten am reaktiven Graben zusammen und dokumentiert zum ersten Mal sämtliche Ergebnisse gebündelt für die komplette Untersuchungsperiode vom November 2017 bis zum April 2025. Dabei wird nicht nur auf Nitrat eingegangen, sondern auch weitere Gewässergüteparameter wie Phosphor und organischer Kohlenstoff werden in die Analysen mit einbezogen.

Dieser Abschlussbericht enthält drei Anlagen. Anlage 1 verlinkt auf ein Video zur Wirkungsweise des reaktiven Grabens. Anlage 2 enthält Fotos, die dokumentieren, wie sich der reaktive Graben im Laufe der Zeit verändert hat und welche relevanten Arbeiten am Graben selbst vorgenommen worden sind.

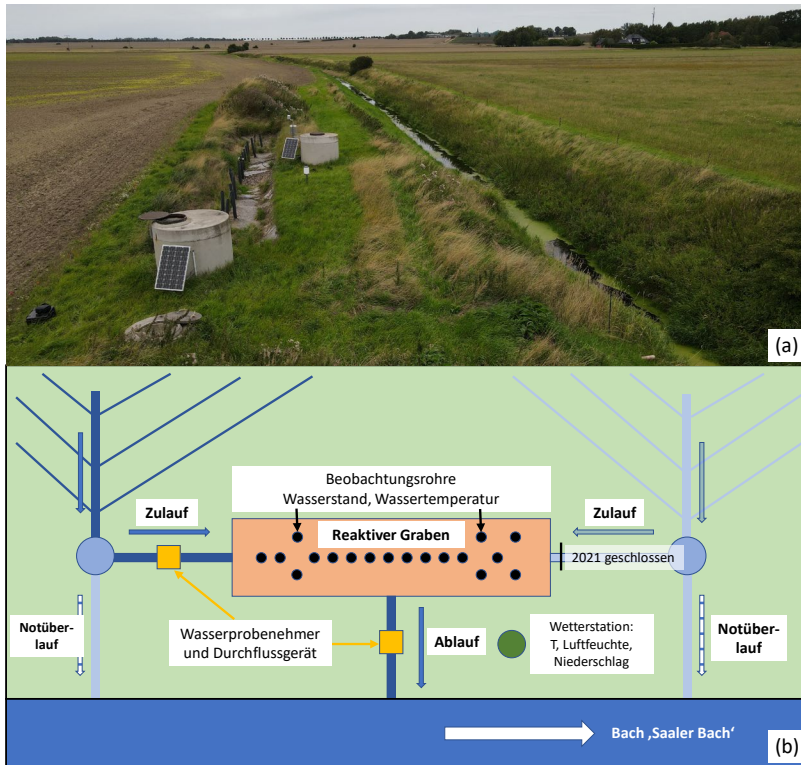
## 2 Methodik

### 2.1 Untersuchungsstandort und Grabendesign

Der reaktive Graben befindet sich in der Nähe von Ribnitz-Damgarten, nahe der Gemeinde Wiepkenhagen in unmittelbarer Nähe zum Saaler Bach (Abb. 1a). Der Bioreaktor wurde im Oktober 2017 am Rand eines fächerförmig dränierten Ackers (Dränageabstand: 15 m, Drainagetiefe: 1,1 m) und parallel zum Saaler Bach installiert. Auf dem Acker wird konventionelle Landwirtschaft betrieben. Hauptanbaukulturen sind Winterweizen, Raps und Wintergerste. Der Boden besteht überwiegend aus lehmigen Substraten mit Pseudogley auf glazialem Geschiebelehm als vorherrschendem Bodentyp.

Der reaktive Graben wurde entworfen und gebaut, um das Dränagewasser aus zwei angrenzenden Dränabteilungen, die 2,9 (südlich) bzw. 2,3 ha (nördlich) groß sind, zu behandeln. Der im Querschnitt trapezförmige Bioreaktor ist 20 m lang und 2,2 m tief. Am Boden ist er 1 m breit, an der Oberfläche beträgt die Breite 3,75 m. Dies ergibt ein Gesamtvolumen des Bioreaktors von 104,5 m<sup>3</sup>. Der reaktive Graben wurde mit einer 2 mm starken HDPE-Teichfolie ausgekleidet und bis zur Geländeoberkante mit Holzhackschnitzeln gefüllt, deren Partikelgrößen zwischen 5,6 und 31,5 mm liegen. Die Holzhackschnitzel wurden mit einer Geotextilmembran abgedeckt.

Das vom Acker stammende Dränagewasser durchläuft zunächst einen Umlaufschacht, in dem das Wasser gezielt in den Bioreaktor geleitet oder bei hohen Durchflussmengen am System vorbeigeführt wird (Notüberlauf) (Abb. 1b). Die Wasserprobenahme erfolgte durch automatisch arbeitende ISCO-Sampler, welche sich in den in Abb. 1a gut sichtbaren Betonschächten am Einlass und Auslass des Bioreaktors befinden. Durchflussmessungen am Ein- und Auslass erfolgen automatisch mit Hilfe des Waterflux3000 (KROHNE Messtechnik GmbH). Zusätzlich sind mehrere Beobachtungsrohre im Bioreaktor eingebettet, um beispielsweise Wasserstand und Wassertemperatur zu messen.



**Abbildung 1:** Der reaktive Graben aus der Luft (a) (Drohnenbefliegung vom 11.8.2023, Foto: G. Grenzdröffer) und als schematische Darstellung (b).

## 2.2 Untersuchungsprogramm

Während der Abflusssaison, also in der Regel zwischen November und April, erfolgten im Abstand von zwei Wochen Vororttermine, um Messungen und eventuelle Wartungsarbeiten durchzuführen, die aufgezeichneten Daten aus dem Datenlogger auszulesen sowie die erfassten Wasserproben für die weiteren Untersuchungen im Labor zu sammeln. Zwischen Mai und Oktober wurden Vororttermine alle vier Wochen wahrgenommen, hauptsächlich um den Datenlogger auszulesen.

Der Datenlogger zeichnete folgende Messdaten in 15-minütiger Auflösung auf: Zulauf ( $\text{m}^3$ ), Ablauf ( $\text{m}^3$ ), Niederschlag (mm), Lufttemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ), Wassertemperatur an zwei Positionen ( $^{\circ}\text{C}$ ) und Luftfeuchtigkeit (%). Wasserproben wurden kontinuierlich mit Hilfe automatischer Probenehmer genommen und im Labor der LUFA Rostock auf ihre Inhaltsstoffe hin untersucht (Tab. 1). Folgende Parameter wurden erfasst:

**Tabelle 1:** Untersuchte Wasserinhaltsstoffe am Zu- und Ablauf des reaktiven Drängrabens und Anzahl der untersuchten Proben zwischen 1.11.2017 und 30.4.2025.

	Anzahl (n)	
	Zulauf	Ablauf
Gesamtstickstoff ( $\text{TN}_b$ )	333	373
Nitrat-Stickstoff ( $\text{NO}_3^-$ -N)	434	463
Gesamtphosphor (TP)	158	173
Ortho-Phosphat-Phosphor ( $\text{PO}_4^{3-}$ -P)	264	310
Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)	287	319

## 2.3 Weitere Arbeiten und Messungen am reaktiven Graben

Im Laufe des Projekts wurden verschiedene Arbeiten durchgeführt, um das Wassermanagement zu optimieren. Außerdem wurden zusätzliche Experimente und Messungen durchgeführt, um weitere Erkenntnisse zu gewinnen und die erzielten Ergebnisse abzusichern. Hervorzuheben sind insbesondere Tätigkeiten, die hier in chronologischer Reihenfolge aufgelistet sind und beschrieben werden:

- **Verschließen des nördlichen Zulaufes (24.8.2021)**

Der reaktive Graben wurde in einer Weise konzipiert, dass er von zwei Dränsammlern mit Dränwasser beschickt wird (Abb. 1b). Es zeigte sich allerdings, dass der nördliche Dränstrang kein Dränwasser beisteuert bzw. Wasser den Bioreaktor unbehandelt über den nördlichen Dränstrang verlässt. Um die hydraulischen Prozesse im Drängraben exakt zu erfassen und aufgrund des fehlenden Wasserzulaufs über die nördliche Dränage, wurde im August 2021 die Verbindung zwischen reaktivem Graben und nördlichem Dränstrang getrennt.

- **Neubau des Ablaufes (31.5.2022)**

Die Ergebnisse in den ersten Betriebsjahren des reaktiven Grabens zeigten außerordentlich hohe Nitratabbauleistungen. Daneben wurde aber auch deutlich, wo Optimierungspotenzial im Management besteht: Hohen Nitratabbauleistungen in den Jahren zwischen 2017 und 2021 ließen sich auf sehr hohe Aufenthaltszeiten des Dränwassers im Graben zurückführen. Diese hohen Aufenthaltszeiten waren bedingt durch einen sehr geringen Dränwasserablauf am Grabenauslauf selbst bei sehr hohen Wasserständen innerhalb des reaktiven Grabens. Der Wasserstand im reaktiven Graben wurde schließlich durch die Höhe des Notüberlaufes gesteuert. Dies führte zu Beginn des EIP-Projektes Drainfit dazu, dass ein substanzieller Teil des anfallenden Dränwassers unbehandelt über den Notüberlauf in den Saaler Bach floss. Aufgrund dessen wurde in der Folge in der Saison 2020/2021 der Notüberlauf bis nahezu Geländeoberkante erhöht. Im Ergebnis verringerte sich zwar das Wasservolumen, welches über den Notüberlauf entwässerte, allerdings staute sich das Wasser auf dem Acker und im reaktiven Graben. Das Volumen des behandelten Dränwassers änderte sich jedoch nicht.

Im Frühjahr und Sommer 2022 wurde nach Gründen für die hohen Aufenthaltszeiten des Dränwassers gesucht, um diese schließlich abzustellen. Als Ursache wurde schließlich der nicht optimal funktionierende Auslauf aus dem reaktiven Graben identifiziert. In Höhe des Auslaufes wurden daraufhin die Holzhackschnitzel bis zur Tiefe des Ablaufrohres entfernt. Das Ablaufrohr wurde gekappt und ein Dränagerohr in Form eines T-Stückes angesetzt. Im reaktiven Graben stehendes Wasser wurde daraufhin schnell und unmittelbar abgeführt (siehe auch Foto 14 in Anlage 5.2). Durch diesen technischen Eingriff sollte es in den nachfolgenden Abflussperioden nicht mehr zu Überstaunungen im reaktiven Graben kommen.

- **Installation eines Wasserstandspegelloggers (23.2.2023)**

Die Wasserstände innerhalb des reaktiven Grabens wurden bis zu Beginn des Jahres 2023 lediglich bei Vorortterminen manuell erfasst. Eine kontinuierliche Wasserstandsaufzeichnung ist jedoch unerlässlich, um die Prozesse im Graben zu verstehen und wesentliche Berechnungen wie beispielsweise die Aufenthaltszeit durchzuführen. Aus diesem Grund wurde ein Wasserpegellogger angeschafft und am 23. Februar 2023 installiert.

- **Tracerversuch (10.3.2025)**

Die vergangenen Jahre haben gezeigt, dass die Nitratabbauleistung maßgeblich von der Verweilzeit des Dränwassers im reaktiven Graben abhängt. Die Verweilzeiten wurden nach Gleichung 2 berechnet. Um die Gültigkeit dieser Berechnungen zu überprüfen, wurde im Frühjahr 2025 ein sogenannter Tracerversuch durchgeführt. Als Tracer wurde Kaliumbromid verwendet. Dieser Stoff wurde in gelöster und hochkonzentrierter Form in den Zulauf gegeben. Sodann wurde am Ablauf des reaktiven Grabens in engen Zeitintervallen Wasserproben genommen, um den Tracer hier nachzuweisen und den Konzentrationsverlauf über die Zeit zu dokumentieren.

Durch diesen Versuch lässt sich die Verweilzeit des Wassers experimentell bestimmen und mit den theoretischen Berechnungen vergleichen.

## 2.4 Berechnungen

In den Ergebnissen werden Stofffrachten, Aufenthaltszeiten und Parameter, die den Nitratabbau beschreiben, vorgestellt. Im Folgenden werden die entsprechenden Berechnungen beschrieben.

Die Stofffrachten wurden wie folgt berechnet:

$$F = c * Q \quad \text{Gleichung 1}$$

wobei  $F$  die Stofffracht in g/d ist,  $c$  ist die Stoffkonzentration in g/L und  $Q$  ist der Durchfluss in L/d.

Die Aufenthaltszeiten wurden wie folgt berechnet:

$$Z = \frac{V * 0,7}{Q_A} \quad \text{Gleichung 2}$$

wobei  $Z$  die Aufenthaltszeit in h ist,  $V$  ist das wassergefüllte Grabenvolumen in m<sup>3</sup>, 0,7 ist die Porosität der Holzhackschnitzel (dimensionslos) und  $Q_A$  ist der Durchfluss am Ablauf in m<sup>3</sup>/h.

Die Abbaueffizienz wurde wie folgt berechnet:

$$E = \frac{F_{in} - F_{out}}{F_{in}} 100\% \quad \text{Gleichung 3}$$

wobei  $E$  die Abbaueffizienz (%) ist,  $F_{in}$  die Stofffracht am Zulauf (kg) und  $F_{out}$  die Stofffracht am Ablauf (kg). Um  $F_{in}$  und  $F_{out}$  zu erhalten, wurden die täglichen Werte für eine Abflusssaison aufsummiert.

Die Abbaurrate wurde wie folgt berechnet:

$$A = \frac{F_{in} - F_{out}}{EZG} \quad \text{Gleichung 4}$$

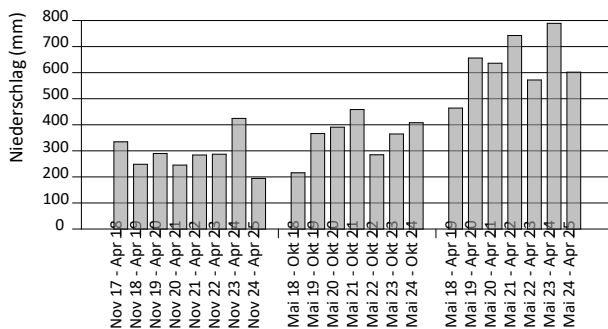
wobei  $A$  die Abbaurrate (kg/ha) ist,  $EZG$  ist die Größe des Einzugsgebiets (2,9) in ha.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Hydro-Meteorologie

##### 3.1.1 Niederschlag

Da die Niederschläge mit der am Standort installierten Kippwaage nur unzuverlässig aufgezeichnet wurden, kommen für diese Auswertung Niederschlagsdaten des DWD zur Anwendung. Konkret handelt es sich um Niederschläge auf Basis täglicher Niederschlagshöhen des HYRAS-Datensatzes ([https://open-data.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/daily/hyras\\_de/precipitation/](https://open-data.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/daily/hyras_de/precipitation/)). Die Niederschläge liegen für die gesamte Bundesrepublik im Raster von 1 x 1km vor. Abb. 2 zeigt die Niederschläge für Sommer- und Winterhalbjahre sowie für die kompletten hydrologischen Jahre.

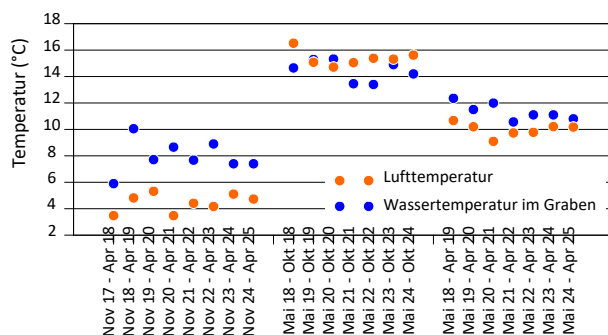


**Abbildung 2:** Niederschlagssummen hydrologischer Winter- (November-April) und Sommerhalbjahre (Mai-Oktober) sowie hydrologischer Jahre (Mai-April) vom 1.11.2017 bis 30.4.2025.

Die jährlichen Niederschläge während des Untersuchungszeitraums schwankten zwischen 464 (18-19) und 789 (23-24) mm. Im Schnitt waren die Sommerniederschläge höher als die Winterniederschläge. Sowohl die sommerlichen als auch die winterlichen Niederschläge waren durch eine außerordentliche Variabilität gekennzeichnet. Beispielsweise fielen zwischen November 2023 und April 2024 425 mm Niederschlag, während es im darauffolgenden Jahr weniger als die Hälfte waren (194 mm). Der Niederschlag steuert maßgeblich auch die Durchflüsse in Dränagesystemen. Direkte kausale Zusammenhänge zwischen halbjährlicher Niederschlagshöhe und saisonalen Abflusssummen konnten im reaktiven Drängraben allerdings nicht nachgewiesen werden.

##### 3.1.2 Temperatur

Die Luft- und Wassertemperaturen wurden direkt am Standort in 15-minütiger Auflösung aufgezeichnet und für spätere Auswertungen zu täglichen Daten aggregiert. Abb. 3 zeigt die Luft- und Wassertemperaturen für Sommer- und Winterhalbjahre sowie für die kompletten hydrologischen Jahre.

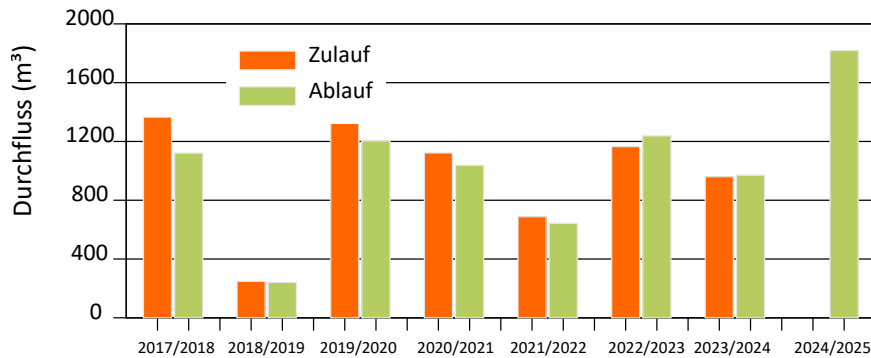


**Abbildung 3:** Mittlere Luft- und Wassertemperaturen hydrologischer Winter- (November-April) und Sommerhalbjahre (Mai-Oktober) sowie hydrologischer Jahre (Mai-April) vom 1.11.2017 bis 30.4.2025 für den reaktiven Drängraben.

Die mittlere jährliche Lufttemperatur betrug zwischen Mai 2018 und April 2025 10,0 °C. Die mittlere Sommertemperatur betrug 15,4 °C, während im Winter im Mittel 4,4 C aufgezeichnet wurden. Die Wassertemperaturen übersteigen im Winterhalbjahr die Lufttemperaturen, welches hinsichtlich der mikrobiellen Nitratabbauleistung als günstig einzuschätzen ist. Im Sommerhalbjahr entsprechen die Wassertemperaturen in etwa den Lufttemperaturen der Umgebung.

### 3.1.3 Durchfluss

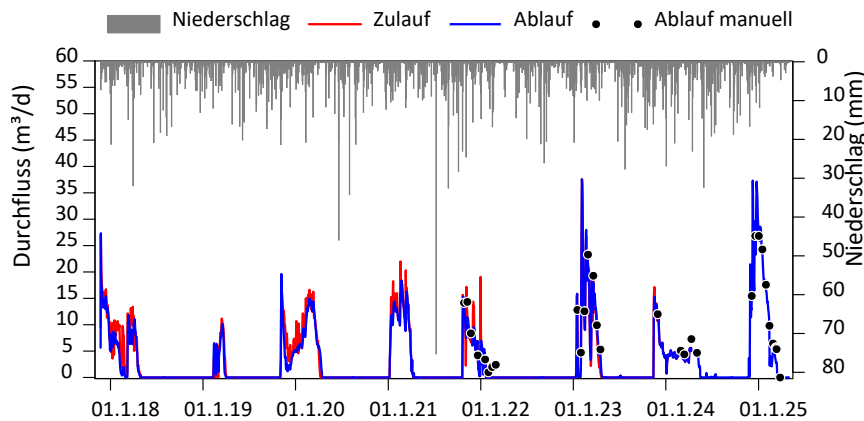
Die Menge des Dränagewassers, welches dem reaktiven Graben zuströmt und wieder verlässt, wurde kontinuierlich mit zwei automatisch arbeitenden Messsystemen im 15-Minuten-Intervall aufgezeichnet. Abb. 4 gibt einen Überblick über die Abflusssummen sämtlicher Abflussperioden.



**Abbildung 4:** Durchflusssummen des Zulaufs und des Ablaufs des reaktiven Drängrabens für hydrologische Winterhalbjahre (November-April) von November 2017 bis April 2025.

Es zeigt sich generell, dass sich die Volumina des Zulaufs und des Ablaufs ähneln. Dies gilt sowohl für die Betrachtung kompletter Abflussperioden (Abb.4) als auch für tägliche Abflusssummen (Abb. 5). Während einer Abflussperiode flossen im Mittel 995 m³ in den Bioreaktor hinein. Den Bioreaktor verfließen durchschnittlich 922 m³ pro Abflussperiode, was etwas weniger und im Wesentlichen auf Verdunstungsverluste zurückzuführen ist. Die Schwankungen zwischen den Abflüssen pro Abflusssaison sind zum Teil erheblich, wobei 2018/2019 mit besonders geringem Durchflussvolumen besonders hervorsticht. Dieser geringe Durchfluss kann auf den außerordentlich trockenen Sommer und Herbst 2018 zurückgeführt werden (Abb. 2). Durch einen technischen Defekt lieferte der Durchflusssensor am Zulauf seit Sommer 2024 keine Daten mehr.

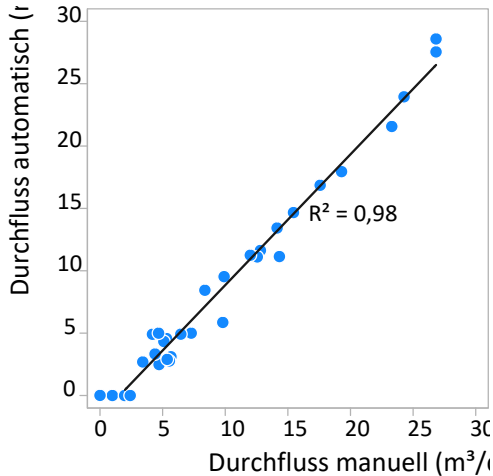
Die Darstellung täglicher Durchflüsse illustriert die Abflussdynamik innerhalb einer Abflussperiode (Abb. 5).



**Abbildung 5:** Täglicher Durchfluss des Zulaufes und des Ablaufes des reaktiven Drängrabens sowie tägliche Niederschlagssummen vom 23.11.2017 bis 30.4.2025.

Betrachtet man den kompletten Untersuchungszeitraum, durchflossen im Mittel während der Abflussperioden  $8,4 \text{ m}^3$  Dränwasser täglich den Graben, wobei die Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren deutlich sind. Während der mittlere tägliche Durchfluss in der Abflussperiode 2018/19 lediglich  $3,8 \text{ m}^3$  betrug, waren es in der Saison 2024/25 mit  $15,8 \text{ m}^3$  mehr als das Vierfache.

Während Vorortterminen wurde zu Kontrollzwecken konsequent der Durchfluss am Ablauf des Bioreaktors mittels „Eimerprobe“ manuell bestimmt. In der Auswertung zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen manuell und automatisch erfasster Durchflüsse (Abb. 6).

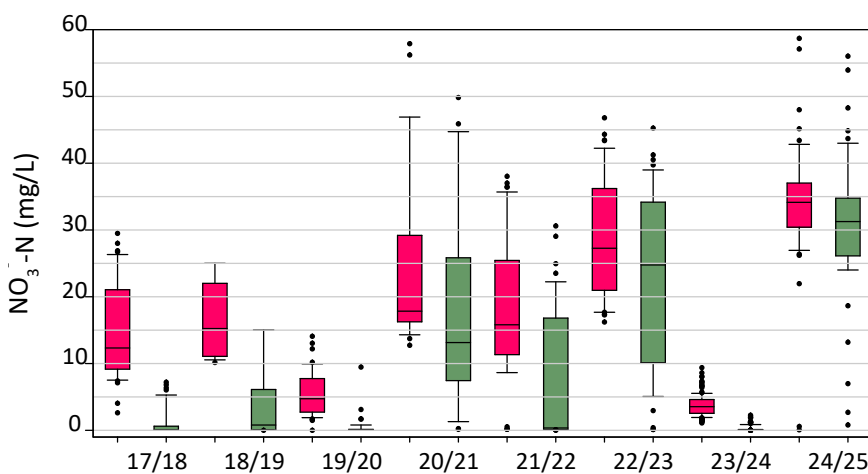


**Abbildung 6:** Kontrolle automatisch bestimmter Durchflüsse mit Hilfe von manuell ermittelten Durchflüssen („Eimerprobe“).

## 3.2 Nitratabbau und Einflussfaktoren

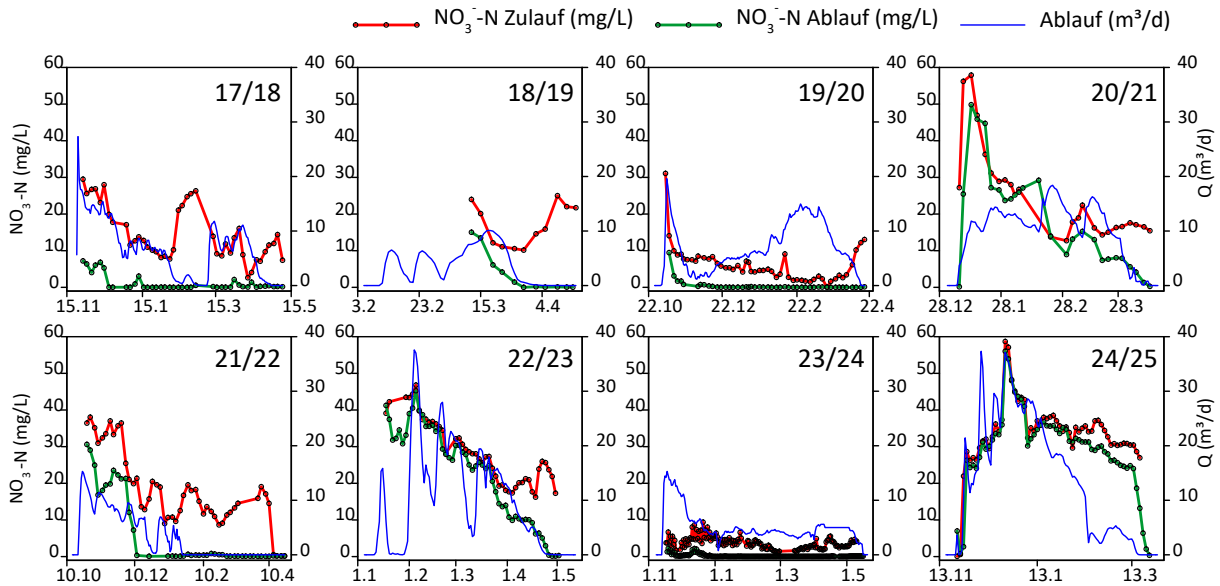
### 3.2.1 Nitratabbau

Die mittleren Nitratkonzentrationen am Zulauf waren sehr variabel und lagen zwischen  $5,7 \text{ mg NO}_3^- \text{-N/L}$  in 2019/20 und  $33,6 \text{ mg NO}_3^- \text{-N/L}$  in 2024/25 (Abb. 7). Abbildung 7 verdeutlicht eine Konzentrationsabnahme zum Ablauf hin. Der Grenzwert für Nitrat liegt entsprechend der Trinkwasserverordnung bei  $50 \text{ mg/L}$  und für Nitrat-N entsprechend bei  $11,3 \text{ mg/L}$ . Die Abbildungen 7 und 8 verdeutlichen, dass dieser Grenzwert sowohl nach der Passage des Bioreaktors und erst recht im Zulauf häufig überschritten wird.



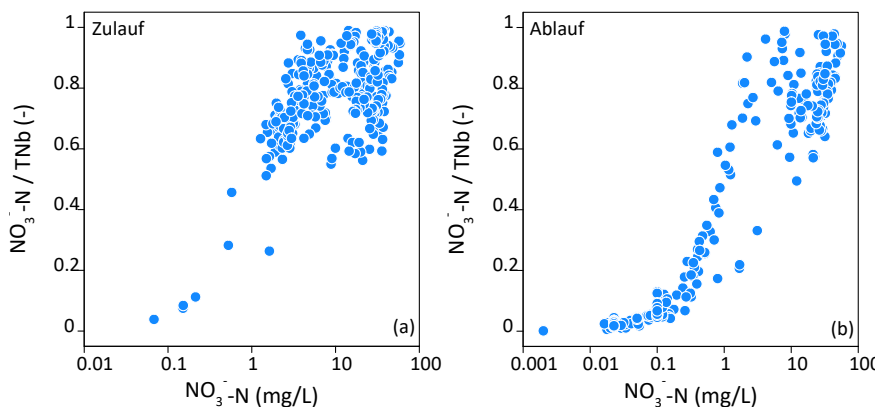
**Abbildung 7:** Boxplots der Nitrat-N Konzentrationen im Zulauf (rot) und Ablauf (grün) des Drängrabens. Eine Box umfasst jeweils eine Abflussperiode. Dargestellt ist der Bereich zwischen 1. und 3. Quartil (Box), der Median (Linie in der Box), obere (10%) und untere (10%) Perzentile (Whiskers) und Ausreißer (Punkte).

Im Allgemeinen erreichten die Nitratkonzentrationen im Zulauf zu Beginn der Dränsaison ihren Höhepunkt und nahmen danach tendenziell ab (Abb. 8). Die Nitratkonzentrationen am Ablauf blieben durchgehend niedriger als am Zulauf, was den mikrobiellen Nitratabbau zu jeder Zeit belegt. Die mittleren Nitratkonzentrationen am Ablauf lagen zwischen 0,2 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L in 2019/20 und 30,5 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L in 2024/25 (Abb. 7). Es gab längere Zeiträume, in denen nahezu das gesamte Nitrat abgebaut wurde, konkret betrifft das die Abflussperioden 2017/18, 19/20, 21/22 und 23/24 aufgrund langer Verweilzeiten des Dränwassers von > 50 h (Abb. 11).



**Abbildung 8:** Täglicher Durchfluss des Ablaufes des reaktiven Drängrabens sowie Nitrat-Stickstoffkonzentrationen (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) am Zu- und Ablauf für acht beobachtete Abflussperioden.

Abb. 9 verdeutlicht, dass Nitrat-Stickstoff den größten Anteil am Gesamtstickstoff ausmacht. Grundsätzlich nimmt der Anteil des Nitrat-Stickstoffs am Gesamtstickstoff mit zunehmender Stoffkonzentration zu. Wenn die NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-Konzentration > 1 mg/L beträgt, ist Nitrat in der Regel die vorherrschende Stickstoffkomponente im Wasser. Erst bei sehr geringeren NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-Konzentrationen spielt organischer Stickstoff zunehmend eine größere Rolle, wie in Abb. 9b sehr schön zu erkennen ist.



**Abbildung 9:** Anteil von Nitrat-Stickstoff (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) am Gesamtstickstoff (TNb) für Zulauf und Ablauf und sämtliche untersuchte Proben. Beachte die logarithmische Skalierung der x-Achse.

Neben den Stoffkonzentrationen spielen die Nährstofffrachten, die in die Vorfluter gelangen, für den Gewässerschutz eine bedeutende Rolle. Abb. 10 visualisiert die Nitrat-Stickstofffrachten am Zulauf und am Ablauf zusammengefasst für die Abflussperioden. Die mittlere Nitrat-Stickstofffracht im Zulauf betrug 8,1 kg/ha, während es im Ablauf lediglich 5,7 kg/ha waren. Dies entspricht einer mittleren

Reinigungsleistung von 30 %. Zwischen den einzelnen Jahren gab es enorme Unterschiede beginnend mit einer sehr schwachen Reduktion von 6 % in 2024/25 bis hin zu einem nahezu kompletten Stoffrückhalt von 91 % in 2019/20.

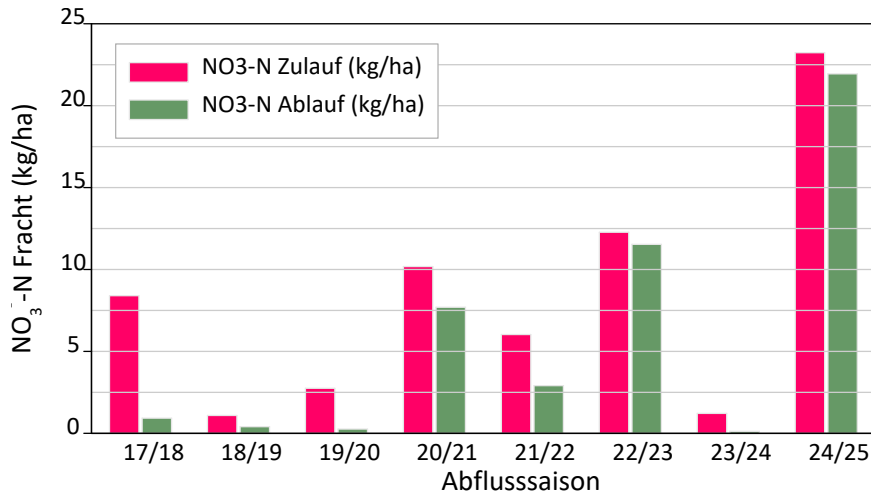


Abbildung 10: Nitrat-Stickstofffrachten für Zulauf und Ablauf summiert auf einzelne Abflussperioden und bezogen auf 1 ha.

### 3.2.2 Einflussfaktoren

Die Untersuchungen in den vergangenen Jahren haben gezeigt, dass die Aufenthaltszeit des Dränwassers im reaktiven Graben eine maßgebliche Rolle für den Nitratabbau hat. Abb. 11 zeigt die mittleren Aufenthaltszeiten für alle acht Dränperioden. Grob können vier Perioden mit kurzer Aufenthaltszeit (2018/19, 20/21, 22/23, 24/25) von vier Perioden mit langer Aufenthaltszeit (17/18, 19/20, 21/22, 23/24) unterschieden werden. Mit langen Aufenthaltszeiten sind hier im Mittel 62 Stunden gemeint, während kurze Aufenthaltszeiten als Durchschnitt über vier Abflussperioden 24 Stunden sind.

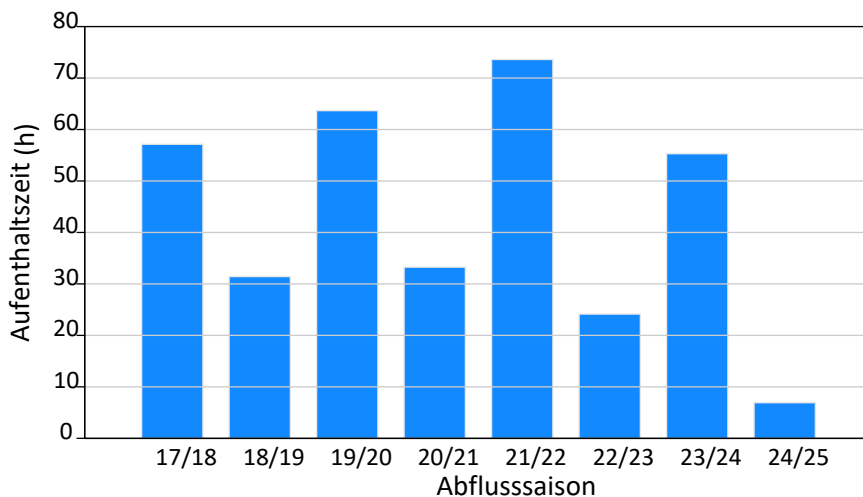
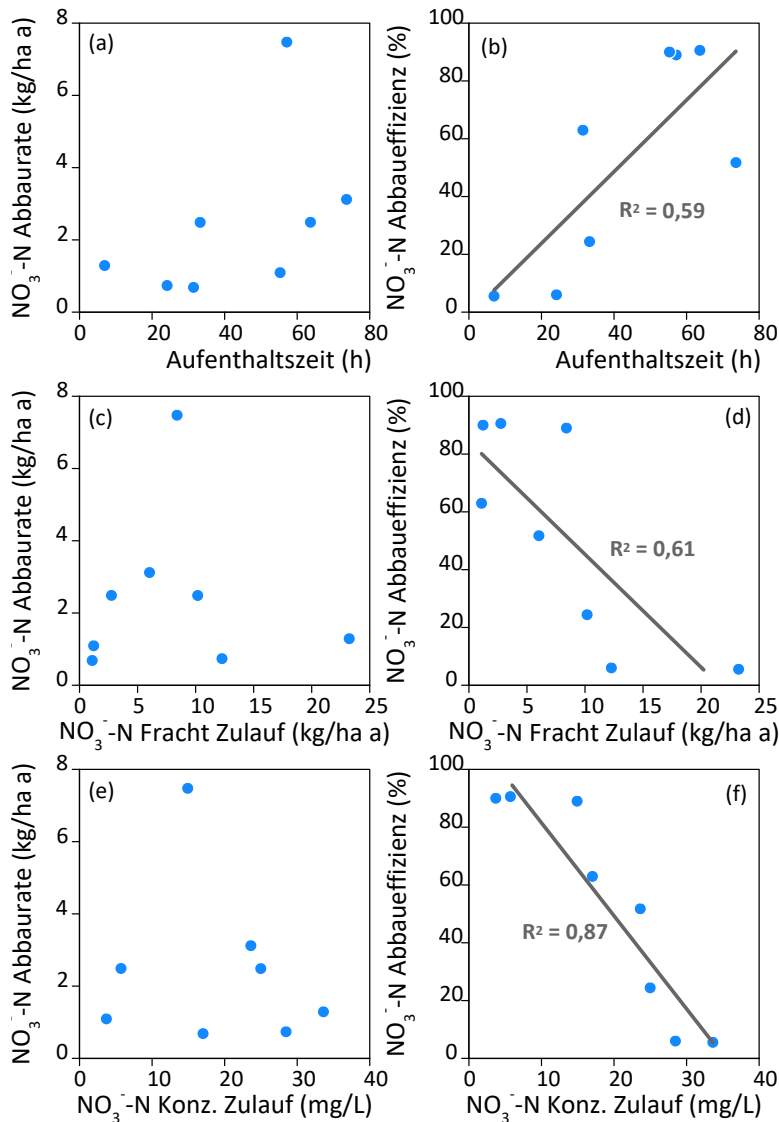


Abbildung 11: Mittlere Aufenthaltszeiten des Dränwassers im reaktiven Drängraben für acht betrachtete Abflussperioden.

Die unterschiedliche Wirkung dieser beiden Gruppen wird am besten in Abb. 8 visualisiert. Die für den Nitratabbau verantwortlichen Mikroorganismen sind in der Lage, bei solch langen Aufenthaltszeiten schnell nach Beginn der Abflussperiode nahezu das gesamte Nitrat abzubauen. Dies sieht man sehr schön in Abb. 8 für sämtliche Jahre mit langen Aufenthaltszeiten. Im Gegensatz dazu sind die Aufenthaltszeiten in einigen Jahren für einen signifikanten Nitratabbau offensichtlich zu kurz, was insbesondere in den Jahren 2022/23 und 2024/25 sehr gut zu beobachten war. Längere Aufenthaltszeiten können durch aktives Management durch Drosselung des Durchflusses am Ablauf erreicht werden. Dies hat

allerdings zur Folge, dass der Wasserstand im Graben ansteigt und somit oft Dränwasser über den Notüberlauf unbehandelt abgegeben wird. Für einen Praxisbetrieb ist somit eine optimale Balance zwischen längeren Aufenthaltszeiten und einer maximal behandelbaren Dränwassermenge für hohen Nitratabbau entscheidend.

Der positive Zusammenhang zwischen Nitratabbau und Aufenthaltszeit ist statistisch signifikant (Abb. 12).



**Abbildung 12:** Der Einfluss von Aufenthaltszeit, Nitratfracht im Zulauf und Nitratkonzentration im Zulauf auf die Nitratabbaurrate (a, c, e) und die Nitratabbaueffizienz (b, d, f).

Die Nitratabbaueffizienz, also der prozentuale Anteil an Nitrat, welcher abgebaut wird, steigt linear und signifikant mit zunehmender Aufenthaltszeit Abb. 12a). Hingegen konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Nitratabbaurrate und Aufenthaltszeit nachgewiesen werden. Die Nitratabbauraten hängen maßgeblich von den Nitratzulauffrachten ab und können maximal Werte der Nitratzulauffrachten annehmen, Abbaueffizienz also 100 %. Sehr schön lässt sich dies an der Abflussperiode 2023/24 erklären (Tab. 1). Die Nitratfracht im Zulauf betrug lediglich 1,2 kg N/ha, im Ablauf betrug die Fracht 0,1 kg N/ha. Das heißt, es wurden 1,1 kg N/ha abgebaut, was vergleichsweise wenig ist, aber einer Abbaueffizienz von 90 % entspricht.

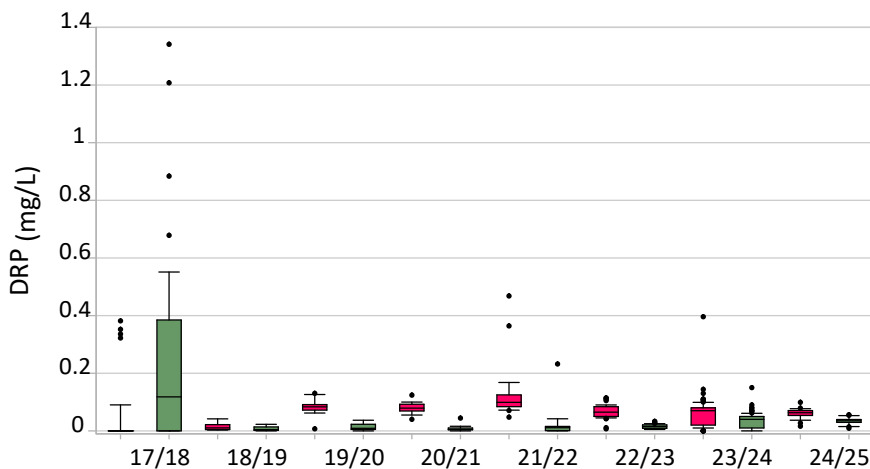
Abb. 12d deutet darauf hin, dass es einen funktionalen Zusammenhang zwischen Abbaueffizienz und Stickstofffracht gibt. Je höher die in einer Abflussperiode anfallende Stickstofffracht, desto geringer ist die Abbaueffizienz. Somit nimmt der Wirkungsgrad der Anlage mit zunehmender Stickstofffracht tendenziell ab. Höhere Stickstofffrachten sind in der Regel das Ergebnis höherer Durchflüsse. Höhere Durchflüsse bedingen kürzere Aufenthaltszeiten, wodurch die Abbaueffizienz negativ beeinflusst wird.

**Tabelle 1:** Nitratkonzentration und -frachten, Abbau und Aufenthaltszeiten für acht Abflussperioden zusammengefasst.

Saison	Konzentrationen		Frachten		Abbau		Aufent- haltszeit (h)
	NO <sub>3</sub> -N Zulauf (mg/L)	NO <sub>3</sub> -N Ablauf (mg/L)	NO <sub>3</sub> -N Zulauf (kg/ha)	NO <sub>3</sub> -N Ablauf (kg/ha)	NO <sub>3</sub> -N Abbau (kg/ha)	Abbau- effizienz (%)	
17/18	14,9	1,2	8,4	0,9	7,5	89,0	57
18/19	17,0	3,7	1,1	0,4	0,7	63,0	31
19/20	5,7	0,5	2,7	0,3	2,5	90,6	64
20/21	25,0	18,3	10,2	7,7	2,5	24,4	33
21/22	23,6	14,1	6,0	2,9	3,1	51,8	74
22/23	28,5	23,1	12,3	11,5	0,7	6,0	24
23/24	3,7	0,2	1,2	0,1	1,1	90,0	55
24/25	33,6	30,5	23,2	21,9	1,3	5,6	7

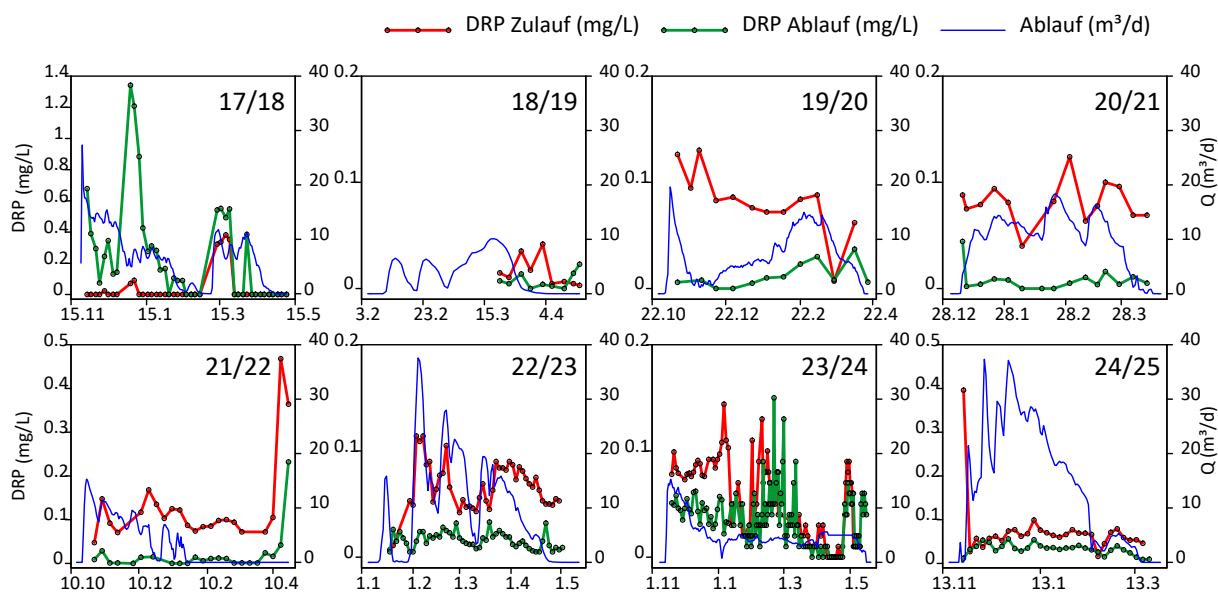
### 3.3 Phosphorrückhalt

Generell waren die Phosphor-Konzentrationen im Zulauf und im Ablauf des reaktiven Grabens sehr gering (Abb. 13).



**Abbildung 13:** Boxplots der Konzentrationen von gelöstem reaktiven Phosphor (DRP) im Zulauf (rot) und Ablauf (grün) des Drängrabens. Eine Box umfasst jeweils eine Abflussperiode. Dargestellt ist der Bereich zwischen 1. und 3. Quartil (Box), der Median (Linie in der Box), obere (10%) und untere (10%) Perzentile (Whiskers) und Ausreißer (Punkte).

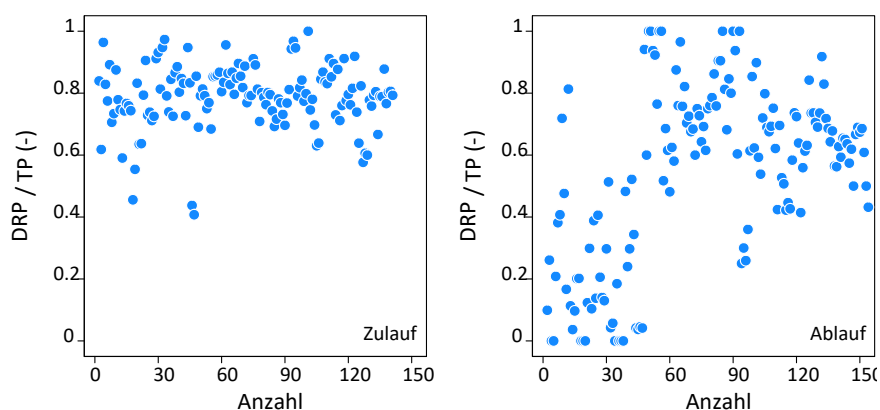
Während im ersten Jahr nach Inbetriebnahme der reaktive Graben als Phosphorquelle fungierte, wurde in der Folge permanent Phosphor zurückgehalten (Abbs. 13 und 14). Hinsichtlich Ortho-Phosphat, gleichbedeutend mit gelöstem reaktivem Phosphor (DRP), entsprechen Konzentrationen  $\leq 0,02$  mg/L einem sehr guten ökologischen Zustand gemäß der Oberflächengewässerverordnung. Lässt man die Abflussperiode 2017/18 als initiale Phase außen vor, betragen im Mittel die DRP-Konzentrationen im Zulauf 0,069 mg/L, während sie im Ablauf die Anforderungen an einen sehr guten ökologischen Zustand mit 0,017 mg/L im Mittel erfüllen.



**Abbildung 14:** Täglicher Durchfluss des Ablaufes des reaktiven Drängrabens ( $Q$ ) sowie Konzentrationen von gelöstem reaktivem Phosphor (DRP) am Zu- und Ablauf für acht beobachtete Abflussperioden.

Neben DRP wurden auch die Konzentration an Gesamtphosphor (TP) gemessen. Für TP zeigen entsprechend der Oberflächengewässerverordnung Konzentrationen  $\leq 0,05$  mg/L einen sehr guten ökologischen Zustand an. Auch hier werden im Ablauf im Mittel mit  $0,042$  mg/L die Anforderungen an einen sehr guten ökologischen Zustand erfüllt (Tab. 2).

Grob teilt sich der Gesamtphosphor in gelösten reaktiven Phosphor und partikulär gebundenen Phosphor auf. Der Anteil an gelöstem reaktivem Phosphor betrug im Zulauf im Mittel 79 %, während es im Ablauf 54 % waren (Abb. 15). Durch die Konzentrationsabnahme von DRP am Ablauf sank auch die Gesamtphosphorkonzentration am Ablauf signifikant (Tab. 2). Unsere Berechnungen haben ergeben, dass der partikulär gebundene Phosphor (PP) - Differenz zwischen TP und DRP – zwischen Zu- und Ablauf ebenso, allerdings auf niedrigerem Niveau, abgenommen hat (Tab. 2). Der Rückgang der Gesamtphosphorkonzentrationen im Ablauf kann daher hauptsächlich auf eine Abnahme der DRP-Konzentrationen zurückgeführt werden.



**Abbildung 15:** Gelöster reaktiver Phosphor (DRP) im Verhältnis zu Gesamtphosphor (TP) für Zu- und Ablauf und sämtliche gemessene Proben.

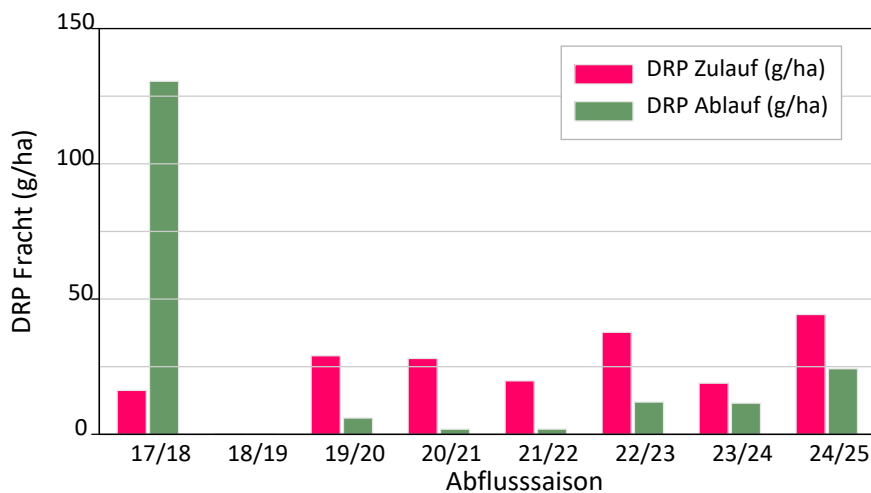
Der deutliche Rückgang der DRP-Konzentrationen bei Passage des Dränwassers durch den reaktiven Graben ist aus gewässerökologischer Sicht äußerst positiv zu bewerten, da solche technischen Systeme offensichtlich in der Lage sind (zumindest in unserem Pilotprojekt), neben Stickstoff auch Phosphor und damit das zweite für die Eutrophierung wesentlich verantwortliche Makronährelement zurückzuhalten.

Die Ursachen des P-Rückhalts sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt unklar und Interpretationen diesbezüglich wären rein spekulativ. Im Gegensatz zu Nitrat haben die Untersuchungen der vergangenen Jahre gezeigt, dass Phosphor offensichtlich unabhängig von der Aufenthaltszeit des Wassers deutlich zurückgehalten wird.

**Tabelle 2:** Konzentrationen von Gesamtphosphor (TP), gelöstem reaktivem Phosphor (DRP) und partikulärem Phosphor (PP) für Zu- und Ablauf. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte über acht Abflussperioden.

Fraktion	Konzentrationen (mg/L)	
	Zulauf	Ablauf
TP	0,111	0,042
DRP	0,082	0,024
PP	0,029	0,018

Abb. 16 zeigt die DRP-Frachten für den Zu- und Ablauf für einzelne Abflussperioden. Hervorstechend ist die große DRP-Fracht am Ablauf in der ersten Abflussperiode 2017/18. Hier zeigt sich in beeindruckender Weise, wie der reaktive Graben kurz nach Inbetriebnahme erhebliche Mengen an Phosphor freisetzt. In der darauffolgenden Abflussperiode 2018/19 tendierten die DRP-Frachten sowohl beim Zulauf als auch beim Ablauf Richtung Null. Dies ist einerseits auf geringe DRP-Konzentrationen zurückzuführen, andererseits aber hauptsächlich auf die geringen Abflussvolumina in dieser Saison (siehe Abb. 14) mit sehr kurzem Betrachtungszeitraum.



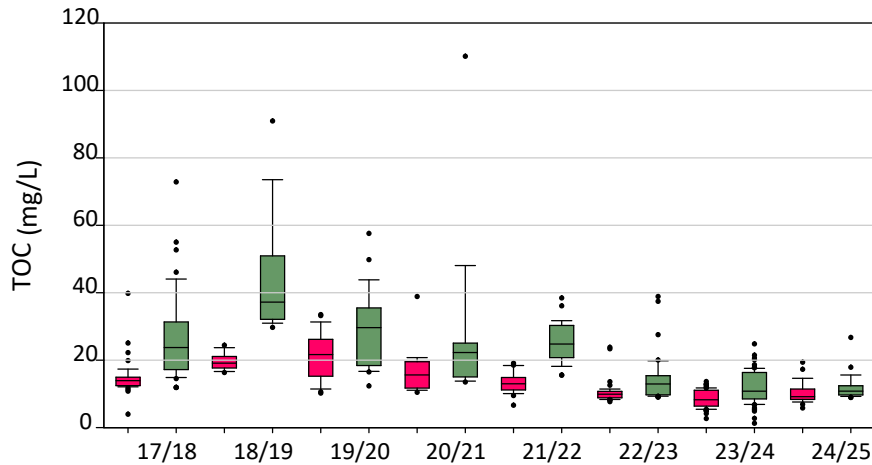
**Abbildung 16:** Frachten an gelöstem reaktivem Phosphor (DRP) für Zulauf und Ablauf summiert auf einzelne Abflussperioden und bezogen auf 1 ha.

Lässt man die erste Abflussperiode quasi als Anlaufphase außen vor, wurden in den reaktiven Graben über den Zulauf im Mittel 30 g/ha DRP und Abflusssaison eingetragen. Die mittlere Fracht im Ablauf betrug für den gleichen Zeithorizont 10 g/ha. Dies entspricht einer DRP-Frachtreduktion von 66 % und belegt einmal mehr, dass der reaktive Graben in Wiepkenhagen als Phosphorsenke fungiert.

### 3.4 Freisetzung von organischem Kohlenstoff

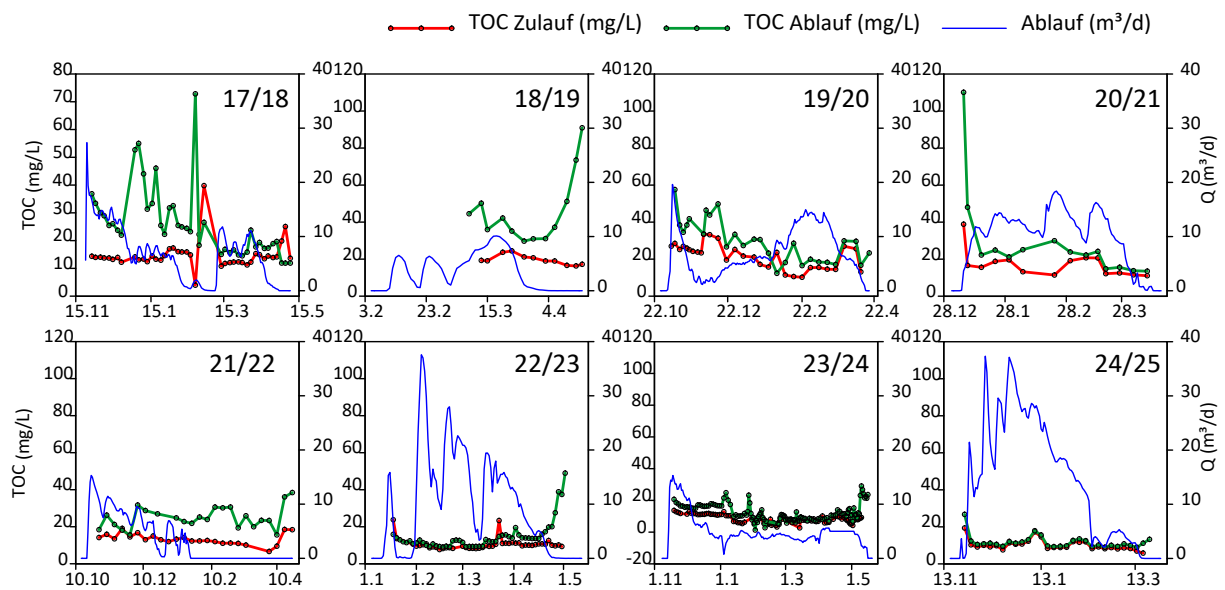
Ähnlich wie bei Nitrat und Phosphor unterlagen die TOC-Konzentrationen gewissen Schwankungen zwischen den Jahren, was mit unterschiedlichen Abflussdynamiken begründet werden kann. In Abb. 17 ist gut ersichtlich, dass die TOC-Konzentrationen im Ablauf größer waren als die Zulaufkonzentrationen. Der reaktive Graben setzt also durch die eingebrachten Holzhackschnitzel organischen Kohlenstoff frei. Die TOC-Konzentrationen betragen im Mittel im Zulauf 12,4 mg/L und im Ablauf 19,0 mg/L. Der TOC-

Grenzwert für einen sehr guten ökologischen Zustand für Tieflandbäche beträgt 7 mg/L und dieser Grenzwert wird somit bereits durch unbehandeltes Dränagewasser (Zulauf) überschritten.



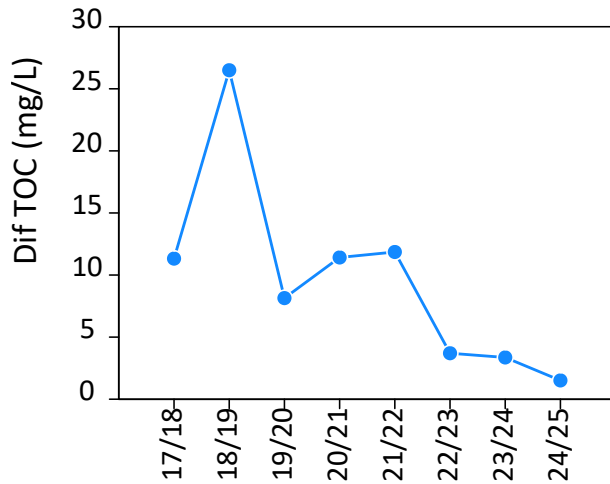
**Abbildung 17:** Boxplots der Konzentrationen von gesamtem organischem Kohlenstoff (TOC) im Zulauf (rot) und Ablauf (grün) des Drängrabens. Eine Box umfasst jeweils eine Abflussperiode. Dargestellt ist der Bereich zwischen 1. und 3. Quartil (Box), der Median (Linie in der Box), obere (10%) und untere (10%) Perzentile (Whiskers) und Ausreißer (Punkte).

Abb. 18 zeigt den Verlauf der TOC-Konzentrationen für alle acht Abflussperioden. Die Höhe der TOC-Konzentrationen scheint insgesamt unabhängig vom Durchfluss zu sein. Zudem wirkt es, als ob die Konzentrationsdifferenz zwischen Zu- und Ablauf mit den Jahren abnimmt (Abb. 19).



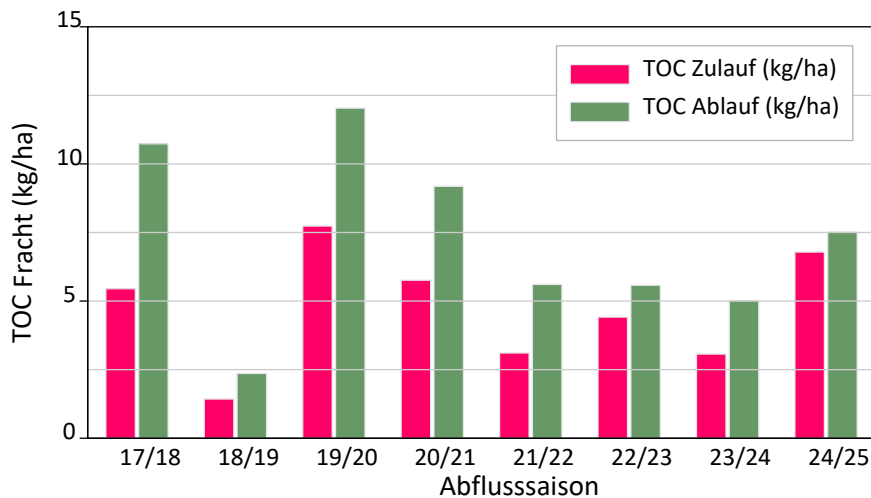
**Abbildung 18:** Täglicher Durchfluss des Ablaufes des reaktiven Drängrabens (Q) sowie Konzentrationen von gesamtem organischem Kohlenstoff (TOC) am Zu- und Ablauf für acht beobachtete Abflussperioden.

Abb. 19 zeigt die Differenzen der TOC-Konzentrationen gemittelt für jede Abflussperiode. Es ist eine klare Abnahme der TOC-Freisetzung mit zunehmender Betriebsdauer des reaktiven Grabens zu verzeichnen. Offensichtlich haben die Holzhackschnitzel im Drängraben ein bestimmtes Potenzial, organischen Kohlenstoff freizusetzen. Unsere Daten zeigen, dass sich dieses Potenzial nach acht Jahren Betriebszeit offensichtlich allmählich erschöpft.



**Abbildung 19:** Konzentrationen von gesamtem organischem Kohlenstoff (TOC) als Differenz (Ablauf – Zulauf) der Mittelwerte von Zu- und Ablauf für acht beobachtete Abflussperioden.

Die unterschiedlichen TOC-Konzentrationen an Zu- und Ablauf spiegeln sich konsequenterweise in den entsprechenden Frachten wider (Abb. 20). Die Ablauffrachten waren in jedem Betrachtungsjahr höher als die Zulauffrachten. Im Mittel wurden 4,7 kg TOC/ha in den Graben eingetragen, wohingegen die TOC-Fracht nach Passage des Dränwassers durch den Graben 7,3 kg/ha betrug. Wie bei Nitrat und Phosphor war die Höhe der TOC-Frachten eng mit den Abflusssummen in den einzelnen Abflussperioden verknüpft.



**Abbildung 20:** Frachten von gesamtem organischem Kohlenstoff (TOC) für Zulauf und Ablauf summiert auf einzelne Abflussperioden und bezogen auf 1 ha.

## 4 Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse nach acht Jahren intensiver Forschung belegen eindeutig die Wirksamkeit des reaktiven Drängrabens zur Verringerung von Nitratbelastungen aus landwirtschaftlichem Dränagewasser. Über die gesamte Untersuchungsperiode, also acht Abflussperioden von November 2017 bis April 2025, beobachteten wir Nitratreduktion mit einer durchschnittlichen Effizienz von 53 % und einem Rückhalt von 2,4 kg/ha. Trotz der niedrigen Wassertemperaturen während der Abflussperioden blieben die Denitrifikationsprozesse im Bioreaktor aktiv, was für eine Eignung solch reaktiver Drängräben auch für unsere klimatischen Breiten spricht. Darüber hinaus zeigen die Daten, dass mit Holzhackschnitzeln befüllte Bioreaktoren Phosphor zurückhalten können. Die durchschnittliche Reduktion der Gesamtphosphor-

belastung betrug bei unserem Pilotprojekt 62 %. Allerdings fungierte der Bioreaktor als Quelle für organischen Kohlenstoff, da die TOC-Konzentrationen im Ablauf durchgehend höher waren als im Zulauf.

Unsere Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung der hydraulischen Aufenthaltszeit für die Optimierung des reaktiven Drängrabens, wobei längere Aufenthaltszeiten mit einem höheren Nitratabbau verbunden waren. Trotz erheblicher Schwankungen beim Durchfluss und der Nitratkonzentrationen baute der Bioreaktor kontinuierlich Nitrat aus dem Dränagewasser ab und trug so zur Verringerung der Stickstoffbelastung im Vorfluter, also dem Saaler Bach, bei.

Insgesamt zeigen unsere Ergebnisse, dass denitrifizierende Bioreaktoren vielversprechende End-of-Pipe-Lösungen zur Reduzierung der Nitratbelastung in Agrarlandschaften darstellen. Weitere Forschung ist allerdings erforderlich, um das Design und das Management der Bioreaktoren zu optimieren, insbesondere im Hinblick auf die Freisetzung von organischem Kohlenstoff und im Hinblick auf eine optimale Wasserverweilzeit.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Implementierung von reaktiven Drängräben in Hotspot-Gebieten dazu beitragen kann, Wasserqualitätsziele zu erreichen und der Eutrophierung von Gewässern vorzubeugen.

## 5 Anlagen

### 5.1 Der reaktive Graben auf youtube



[https://youtu.be/XtWTzVhxl\\_0?si=d-\\_HSEsVjsORD7AG](https://youtu.be/XtWTzVhxl_0?si=d-_HSEsVjsORD7AG)

## 5.2 Der reaktive Graben im Laufe der Zeit – eine Fotodokumentation



**Foto 1:** Bau des Drängrabens 1. 11.10.2017 (Juliana Tatzelt)



**Foto 2:** Bau des Drängrabens 2. 11.10.2017 (Juliana Tatzelt)



**Foto 3:** Holzhackschnitzel für den Drängraben. 11.10.2017 (Juliana Tatzelt)



**Foto 4:** Blick auf den fertig gestellten Drängraben. 7.11.2017 (Juliana Tatzelt)



**Foto 5:** Blick in den Umleitungsschacht mit Notüberlauf. 12.3.2018 (Juliana Tatzelt)



**Foto 6:** Blick auf den Drängraben. 30.4.2018 (Juliana Tatzelt)



Foto 7: Automatischer Wasserprobennehmer. 5.11.2019 (Lennart Gosch)



Foto 8: Der Abbau der Holzhackschnitzel wird bereits sichtbar. Zu sehen sind außerdem fünf Beprobungs- bzw. Monitoringrohre. 12.11.2019 (Lennart Gosch)



Foto 9: Holzhackschnitzel im Detail. 17.2.2020 (Lennart Gosch)



Foto 10: Drängraben mit Saaler Bach. 7.4.2020 (Lennart Gosch)



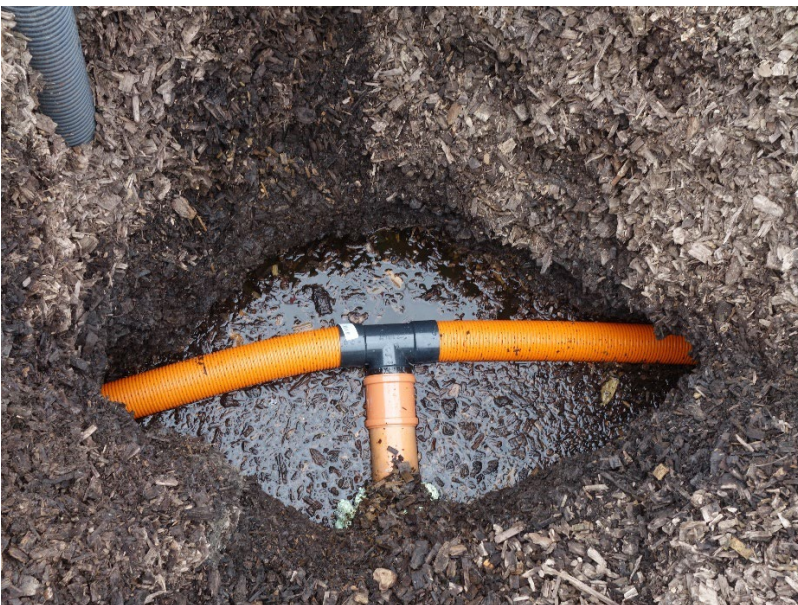
**Foto 11:** Blick in den Ablaufschacht mit Schieber und Durchflussmesseinrichtung. Der Schacht steht ca. 30 cm unter Wasser. 7.9.2020 (Lennart Gosch)



**Foto 12:** Wartungsarbeiten am Datenlogger. 7.9.2020 (Lennart Gosch)



**Foto 13:** Der Drängraben steht unter Wasser. 4.1.2022 (Andreas Bauwe)



**Foto 14:** Reparatur des Ablaufes. 31.5.2022 (Andreas Bauwe)



**Foto 15:** Der Drängraben aus der Luft. 11.8.2023 (Görres Grenzdörffer)



**Foto 16:** Der Drängraben wächst allmählich zu und die Holzackschnitzel wurden deutlich sichtbar abgebaut (ca. 50 cm Verlust). 16.11.2023 (Andreas Bauwe)



Foto 17: Weiterer Abbau der Holz hackschnitzel. Mäharbeiten. 20.9.2024 (Andreas Bauwe)