Ruhrverband
WISSEN, WERTE, WASSER



Langzeitmessungen von Lachgasemissionen auf der kommunalen Kläranlage Bochum-Ölbachtal des Ruhrverbands

agw-AG Treibhausgase

12.05.2026

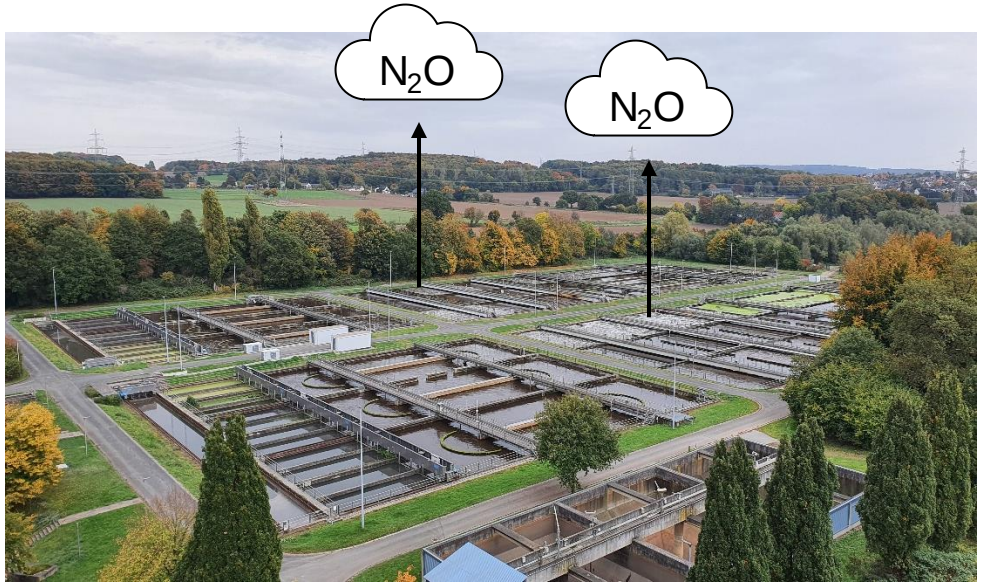
N_2O-Emissionen auf Kläranlagen
Motivation / Grundlagen

- Das Treibhausgaspotenzial von Lachgas (N_2O) ist sehr hoch: CO_2e = 273 (100 Jahre)
  - Auch kleinere Mengen sind relevant und sollten vermieden werden

- N_2O-Emissionen fallen zeitlich und räumlich dynamisch in der biologischen Stufe an
  - Resultat einer unvollständigen Nitrifikation / Denitrifikation

- N_2O-Bildung
  - Nur unter bestimmten Prozessbedingungen
  - Regelbetrieb: N_2O-Emissionen liegen deutlich unter 1 % N_2O-N / $N_{ges,Zulauf}$

- Abschätzung der Emissionen über Emissionsfaktoren aus der Literatur führt zu Ungenauigkeiten

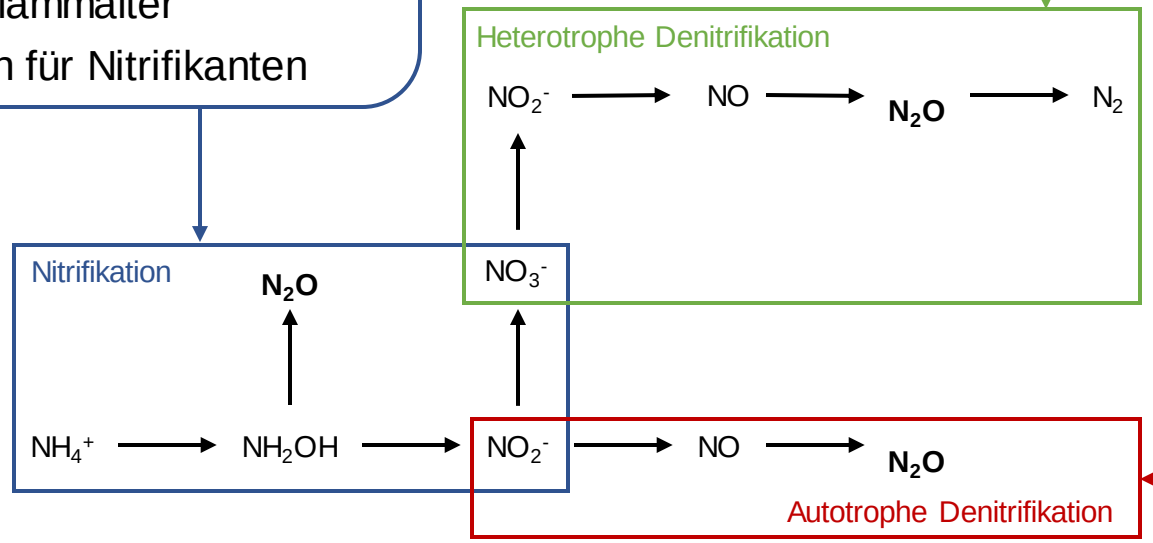


Belebungsbecken Kläranlage Bochum-Ölbachtal

N_2O-Emissionen auf Kläranlagen
Einflussfaktoren

N_2O-Bildung begünstigt durch:
- Hohe Ammoniumfracht
- Schwankende Zulaufbelastung
- Niedriges Schlammalter

➢ Stresssituation für Nitrifikanten



Hemmung der Denitrifikation durch:
- Gelöster Sauerstoff in den anoxischen Zonen
- Mangel an leicht abbaubarem CSB
- Hohe Nitrit-Konzentration (indirekter Einfluss)

➢ Denitrifikation wird von Senke zu Quelle

N_2O-Emission begünstigt durch:
- Überbelüftung: N_2O strippt vermehrt aus

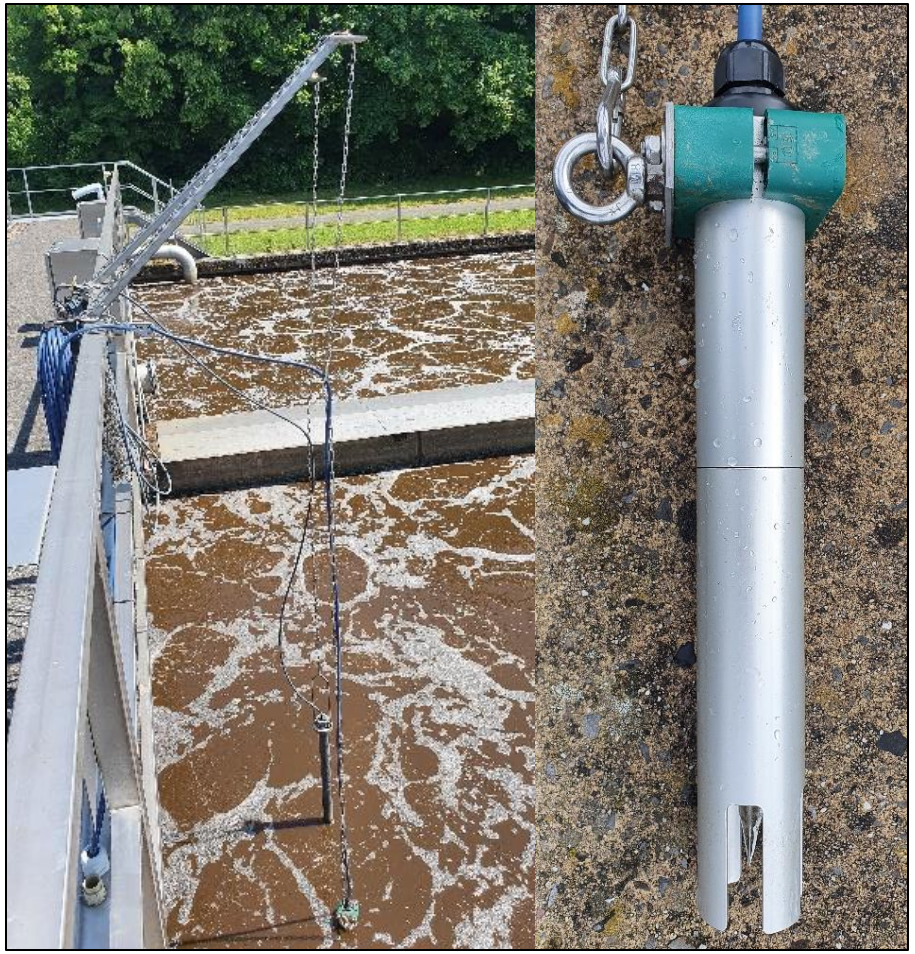
N_2O-Bildung begünstigt durch:
- Hohe Nitrit-Konzentration
- Sauerstoff-Mangelbedingungen

N_2O-Messung beim Ruhrverband

Kombination: Messung in der Flüssig- und Gasphase

Ruhrverband
WISSEN, WERTE, WASSER

Sensor-Messung in der Flüssigphase (Unisense)



Gasmessung (variolytics – EmiCo lite)



Kläranlage Bochum-Ölbachtal

Übersicht / Messkampagne

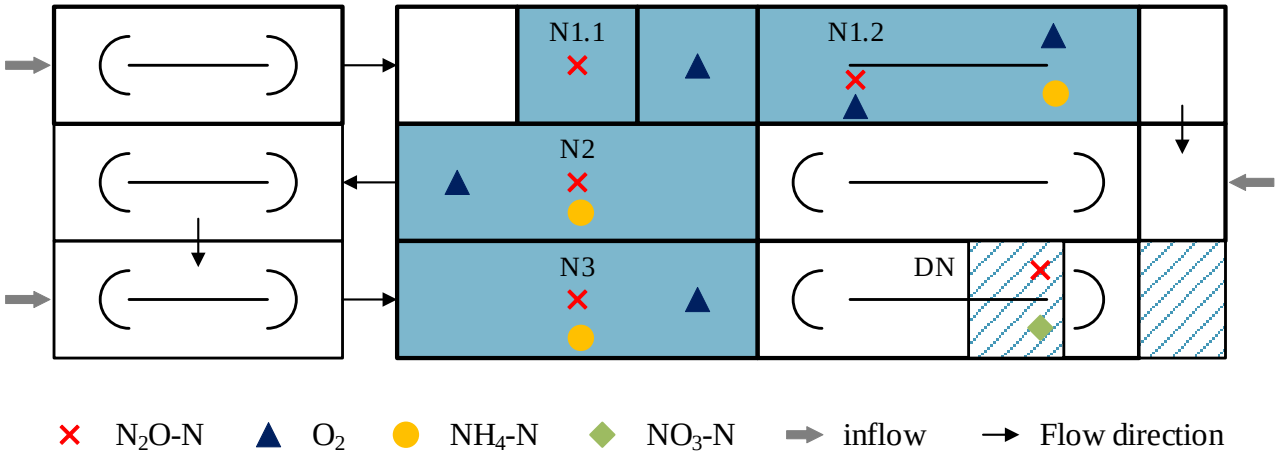
Kläranlagen-Informationen

- Kommunale Kläranlage
- Ausbaukapazität = 293.100 EW
- Angeschlossen = 161.000 EW (MW)

Belebungsbecken

- 2 identische Straßen
- Kaskaden-Denitrifikation
- Belüftungssteuerung erfolgt über NH_4-N Konzentration in jeder Kaskade
- C-Quellen-Dosierung

Messkampagne

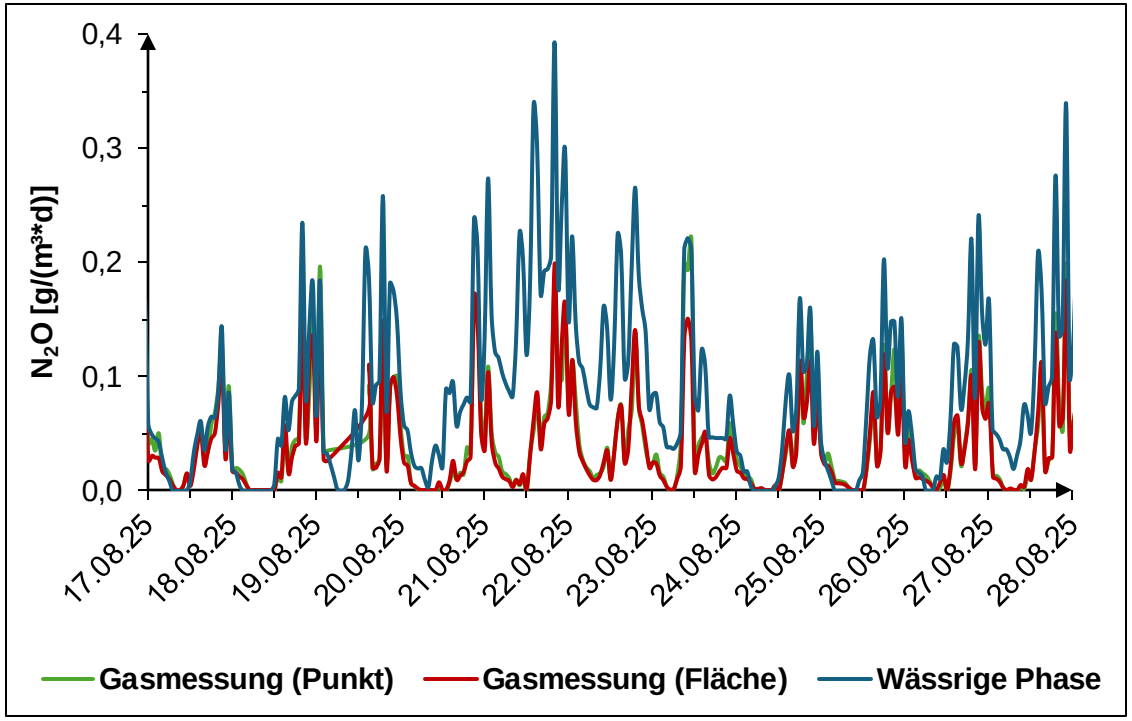


- Kontinuierliche Messung in der wässrigen Phase über 2,5 Jahre
- Kombination mit kürzeren Messkampagnen in der Gasphase
- Zonenspezifische Bestimmung der Emissionsraten

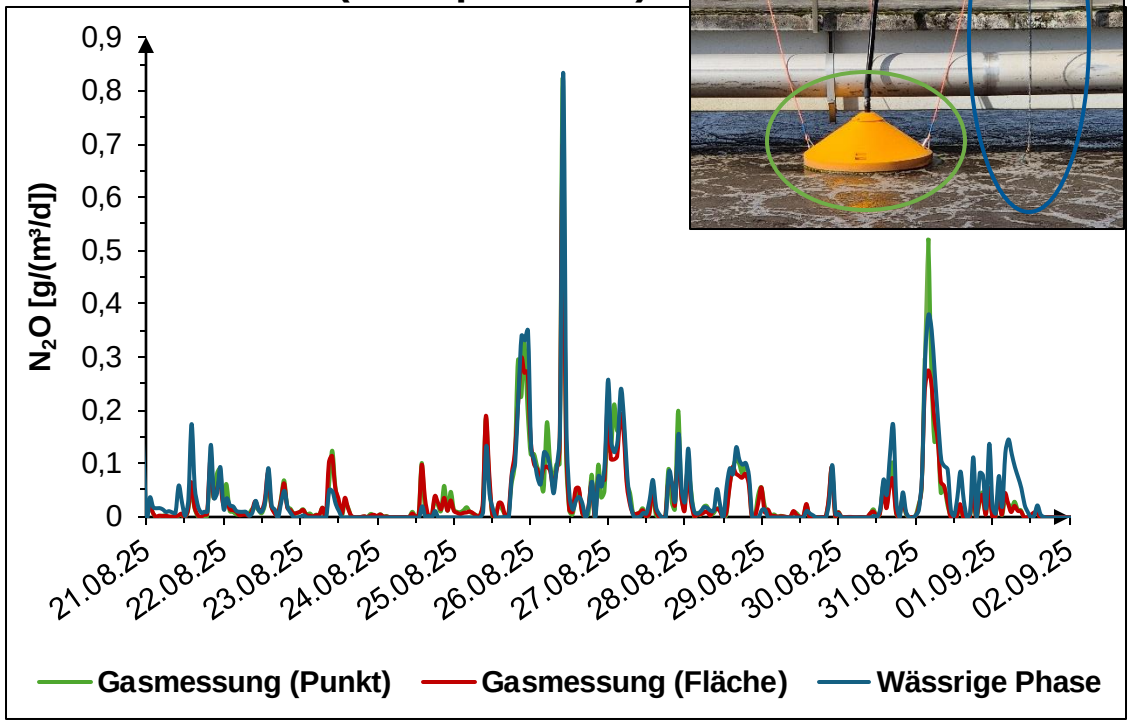
Vergleich der Messsysteme

Gasmessung / Sensormessung

Emissionsraten (Messpunkt N2)



Emissionsraten (Messpunkt N3)

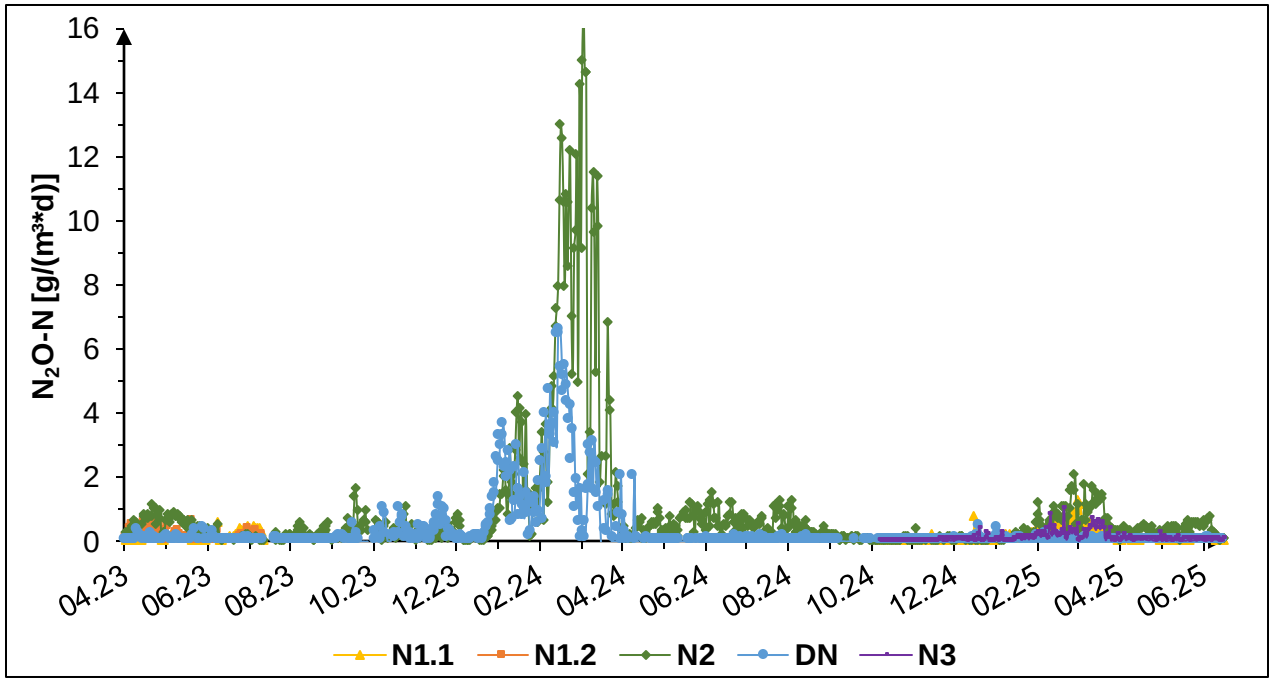


- Messsysteme wurden zur Vergleichbarkeit direkt nebeneinander platziert
- Berechnung der „Flächenemission“ aus der Gasmessung über die Luftmengenmessung auf der Kläranlage
- Ähnlicher Verlauf – teilweise liegt die Emissionsrate der Sensormessung über der Gasmessung

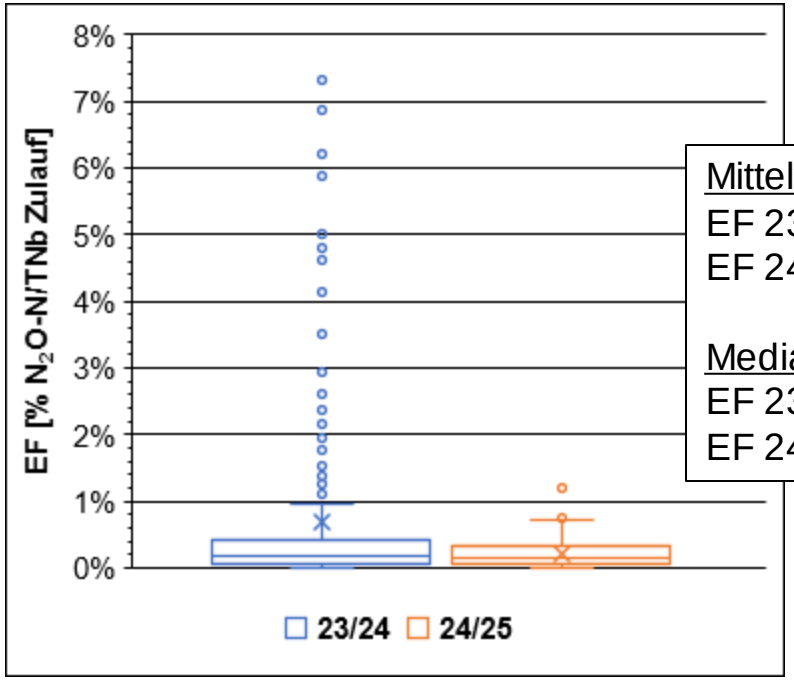
Auswertung: N_2O-N Emissionen

Überblick

Verlauf der Emissionsraten



Emissionsfaktoren (EF)



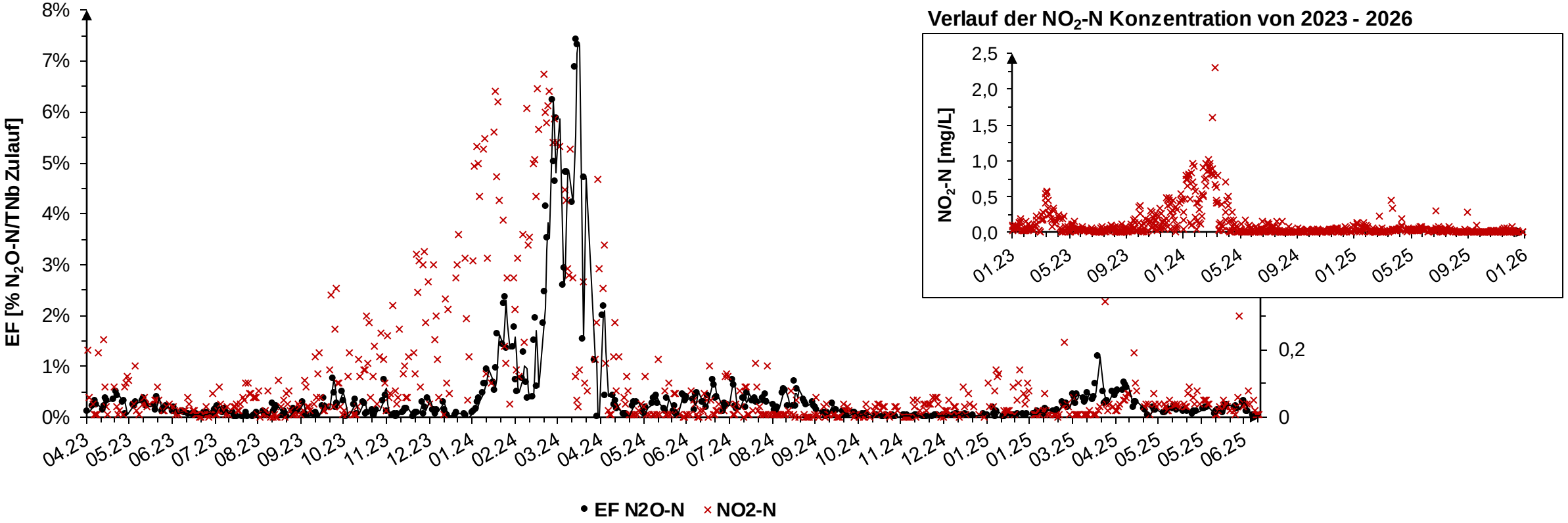
Mittelwert
EF 23/24 = 0,69 %
EF 24/25 = 0,21 %

Median
EF 23/24 = 0,17 %
EF 24/25 = 0,13 %

- Saisonaler Verlauf der Lachgas-Emissionen
- Anstieg der Emissionen von Januar – April (im Jahr 2024 höhere Emissionen als im Jahr 2025)
- Jährliche Variation der (mittleren) Emissions-Faktoren (EF)
  - Mittelwerte variieren stärker als Mediane

Auswertung: N_2O-N Emissionen

Einfluss der Nitrit-Akkumulation

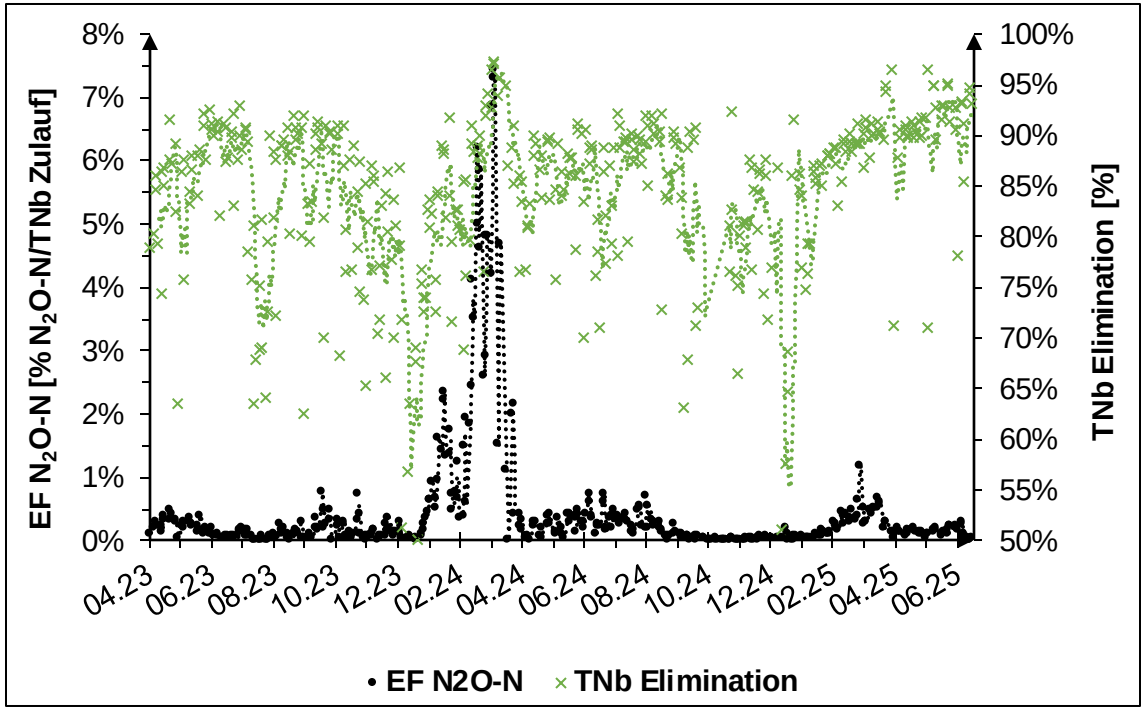


- Eine Akkumulation von Nitrit induziert eine erhöhte N_2O-Bildung
- Die Nitrit-Konzentration ist nur qualitativ zu bewerten (24h-Mischprobe im Ablauf des Belebungsbeckens)
- Nitrit-Akkumulation tritt saisonal auf (von 01.24 bis 04.24 vergleichsweise hoch)

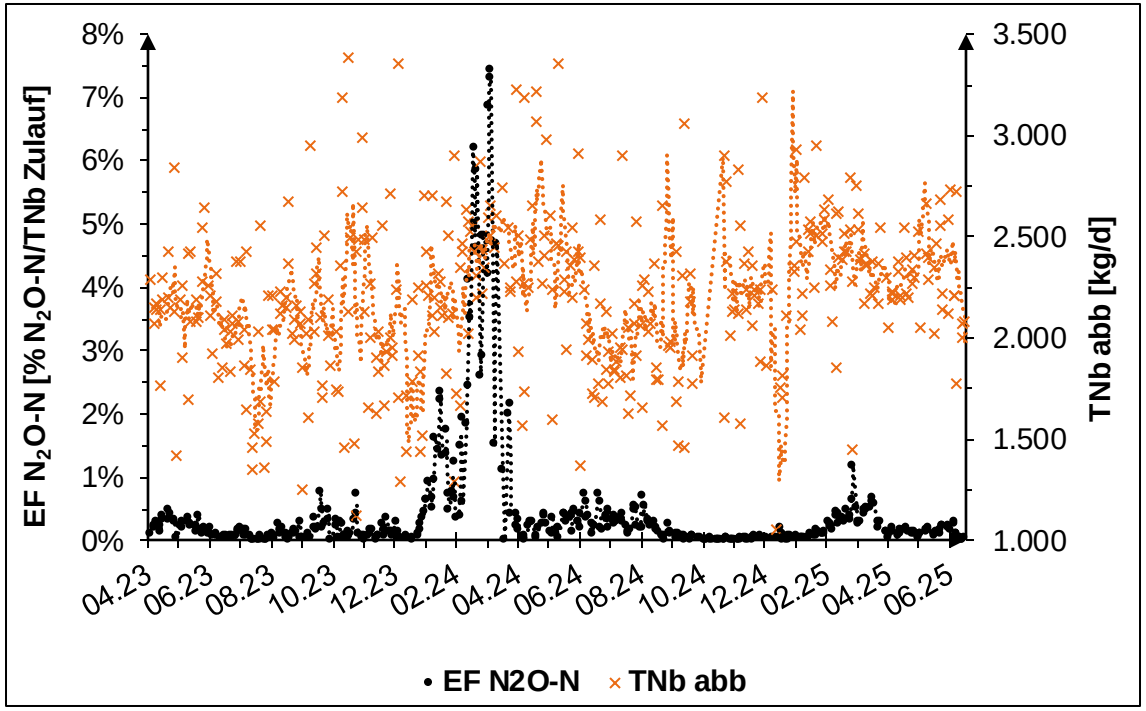
Auswertung: N_2O-N Emissionen

Einfluss der TNb-Elimination

N_2O-N Emissionsfaktor / TNb-Elimination



N_2O-N Emissionsfaktor / Abgebaute Stickstoff-Fracht



- Eine hohe TN_b-Elimination führt nicht zwangsläufig zu geringen N_2O-Emissionen
- Die Akkumulation von Nitrit hat einen größeren Einfluss als die TN_b-Elimination
- Unter regulären Bedingungen verläuft der N_2O-Tagesgang parallel zum NH_4-N Tagesgang

Reduktionsmaßnahmen
Hauptstrom-Biologie

Belüftung / Dimensionierung

- Ausreichendes Nitrifikations- und Denitrifikationsvolumen
  - ➢ Reduktion der N_2O-Bildung / Steigerung der N_2O-Reduktion
- Variable Belüftungszonen & Bedarfsgerechte Belüftung
  - ➢ Belüftetes Volumen an die tatsächliche Belastung anpassen
- Ausreichendes Schlammalter
- Vermeiden von Überbelüftung
  - ➢ Reduktion der N_2O-Strippung
- Schaffen eines anoxischen Milieus für die Denitrifikation

Zulauf / Stickstoff

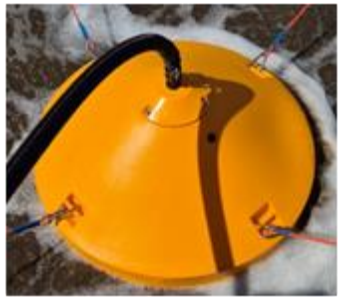
- Vergleichmäßigung der (N-)Zulauffracht
  - ➢ Kontinuierliche Zugabe von Prozesswasser / Zugabe an den Tagesgang anpassen
  - ➢ Ausgleichsbehälter, um Frachtstöße abzupuffern
- Vermeiden einer hohen Nitrit-Konzentration

CSB/N-Verhältnis

- Dosierung einer externen Kohlenstoff-Quelle
  - ➢ Bei CSB/N-Verhältnis < 6

Handlungsempfehlungen aus der Praxis

Planung Messkampagne / Auswahl Messsystem



Punktuelles Gasmesssystem mit passiven Ablufthauben

- Direkte Berechnung der N_2O-Emission (Erfassung des Luftvolumenstroms und der Temperatur)
- Bei inhomogenem Blasenbild → Wenn vorhanden: Einbezug des gesamten Luftvolumenstroms
- Indirekte Aussage über den Bildungsort



Sensormessung in der wässrigen Phase

- Besseres Verständnis über die Bildungswege
- Berechnung der Emissionen über empirische Formeln möglich
- Validierung der Formeln, indem für kurzen Zeitraum Vergleichsmessungen durchgeführt werden



Open Path-Messung

- Erste Abschätzung der Emissionshöhe / Sondierungsmessung
- Wetterabhängig
- Keine Ermittlung der relevanten Bildungswege

Take Home Messages

Ruhrverband
WISSEN, WERTE, WASSER



Messkampagne

- Untersuchungsziel im Vorfeld festlegen
  - Davon abhängig: Messdauer und Messgerät
- Untersuchungsziel
  - Emissionsfaktor: Messkampagne über mind. 1 Jahr
  - Optimierung: Kürzere Messdauer zu relevanten Zeiten kann ausreichen
- Saisonaler Verlauf der N_2O-Emissionen: Höhe der Emissionen ist abhängig vom Messzeitraum
- Jährliche Variation der mittleren EF ist möglich



Reduktionsmaßnahmen

- Reduktion der N_2O-Bildung
  - Bedarfsgerechte Belüftung
  - Vergleichmäßigung der Zulauffracht
  - Vermeiden einer hohen Nitrit-Konzentration
- Reduktion der N_2O-Emission
  - Vollständige Denitrifikation (z.B. ausreichende Kohlenstoffverfügbarkeit)
  - Bedarfsgerechte Belüftung

➢ **Synergie: Geringe N_2O-Emissionen & Geringe Ablaufwerte & Reduzierter Energiebedarf**

Literaturverzeichnis

- **Beier, et al. (2022):** Abschlussbericht des Forschungsprojektes MiNzE (Minimierung des CO_2-Footprint durch angepasste Verfahrensentwicklung in der Prozesswasserbehandlung – Erprobung des MiNzE-Verfahrens im getauchten Festbett).
- **Daelman, et al. (2015):** Seasonal and diurnal variability of N_2O emissions from a full-scale municipal wastewater treatment plant
- **Eveline, et al. (2020):** Mitigating nitrous oxide emissions at a full-scale wastewater treatment plant.
- **DWA AG 6.7, 2024:** Standardisiertes Vorgehen zur Planung, Durchführung und Auswertung von N2O-Emissionsmessungen. Korrespondenz Abwasser Abfall, Juni.
- **DWA-M 230-1 (2022):** Treibhausgasemissionen bei der Abwasserbehandlung - Teil 1: Direkte Treibhausgaemissionen - Messen und Bewerten. 2022
- **IPCC (2023):** Sixth Assesment Report. Section 7.6.1 Physical Description of Metrics.
- **Kampschreur, et al. (2009):** Nitrous oxide emission during wastewater treatment.
- **Law, et al. (2012):** N_2O production rate of an enriched ammonia-oxidising bacteria culture exponentially correlates to its ammonia oxidation rate.
- **Parravicini, et al. (2015):** Reduktionspotential bei den Lachgas-Emissionen aus Kläranlagen durch Optimierung des Betriebes.
- **Spinelli, et al. (2018):** Critical analyses of nitrous oxide emissions in a full scale activated sludge system treating low carbon-to-nitrogen ratio wastewater.
- **Thormann, M.; Morck, T. (2025):** Full-scale experiments to mitigate nitrous oxide emissions in wastewater treatment plants through optimizing aeration strategy. Environmental Technology & Innovation.
- **Vasilaki, et al. (2019):** A decade of nitrous oxide (N_2O) monitoring in full-scale wastewater treatment processes: A critical review.
- **Wunderlin, et al.** (2011): Mechanisms of N_2O production in biological wastewater treatment under nitrifying and denitrifying conditions.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Ronja Voß
rvo@ruhrverband.de
+49 201 178 2532