

Modellgestützte Planung von N₂O-Emissions- minderungsmaßnahmen

Vorgehen und praktische Umsetzung

Arne Freyschmidt, M.Sc.

Dr.-Ing. Maike Beier

*Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik
der Leibniz Universität Hannover*

Motivation

- zunehmende Sensibilisierung für emissionsminimierten Anlagenbetrieb
 - derzeit vor allem Durchführung von N₂O-Messungen zur Abschätzung der eigenen N₂O-Emission
 - langfristige, großtechnische Umsetzung von Maßnahmen nur in Einzelfällen
- Messung, Messdatenauswertung und Ursachenanalyse sind komplex, teuer und zeitintensiv
 - Durch sorgfältige Planung im Vorfeld können die vorhandenen Ressourcen (Personal, Sonden) optimal eingesetzt werden
 - Arbeitsbericht der DWA-AG KA 6.7 zum Thema N₂O-Messung erscheint vrstl. Anfang 2024

Zusammenfassend:

**Bildungsmechanismen weitgehend bekannt
aber: lokale Millieubdg. im Becken unklar!**

Messungen zeigen auch

Minimierungsziel: N₂O-Emission → 0

Emissionsminimierung – Vorgehen

Minimierungsziel: N₂O-Emission → 0

1. Einordnung der Kläranlage nach Risikogruppe und kritischen Prozessbedingungen

2. Überprüfen der Emissionsannahmen durch sondierende Messungen

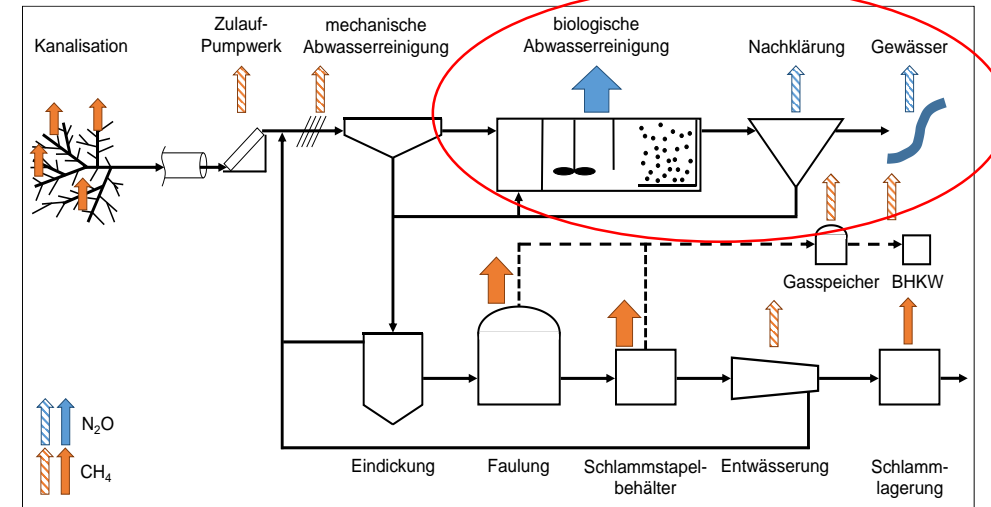
- Messungen in der biologischen Stufe
 - Abluftmessung
 - Messung in der Flüssigphase
- Erfassung des Gesamtemissionsraums: FTIR/ Drohnenmessungen

3. Detaillierte Analyse relevanter Emissionspunkte in Messkampagnen:

- mindestens 4 Wochen, verschiedene Jahreszeiten, verschiedene Stellen
- parallele Aufnahme von Betriebszuständen und Milieubedingungen

4. Ableitung emissionsreduzierender Betriebsstrategien

- Modellbasierte Strategieentwicklung
- großtechnische Umsetzung und Evaluation



Inhalte der heutigen Präsentation

Umsetzung des Vorgehens auf einer kommunalen Kläranlage in Zusammenarbeit mit dem Abwasser-Zweckverband Südholstein

Beginn der Arbeiten: August 2023

Es ergeben sich folgende Arbeitsschritte:

- theoretische Analyse des Emissionsrisikos und Entwurf eines Messkonzepts
- Durchführung und Auswertung von Messungen
- Aufbau dynamisches Modell zur modellgestützten Ursachenanalyse und Entwicklung von Emissionsminderungsmaßnahmen

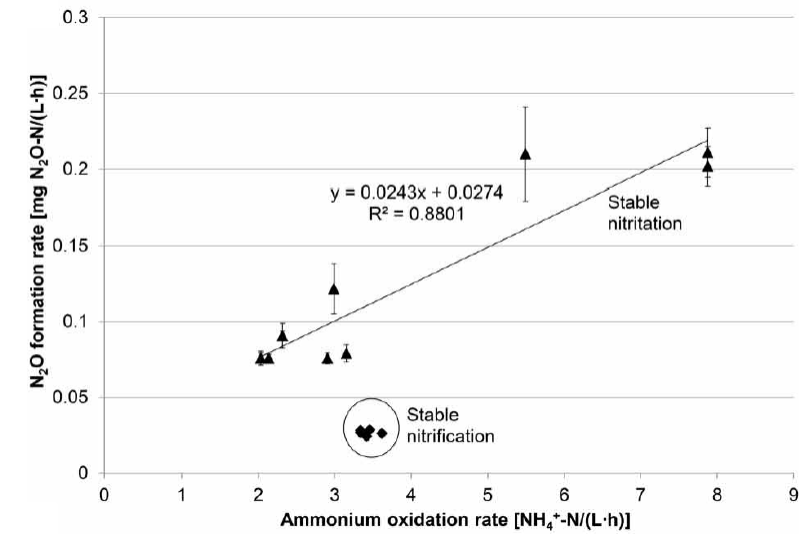
Minimierungsziel: N₂O-Emission → 0

- 1. Einordnung der Kläranlage nach Risikogruppe und kritischen Prozessbedingungen**
- 2. Überprüfen der Emissionsannahmen durch sondierende Messungen**
 - Messungen in der biologischen Stufe
 - Abluftmessung
 - Messung in der Flüssigphase
 - Erfassung des Gesamtemissionsraums: FTIR oder Drohnenmessungen
- 3. Detaillierte Analyse relevanter Emissionspunkte in Messkampagnen:**
 - mindestens 4 Wochen, verschiedene Jahreszeiten, verschiedene Stellen
 - Parallele Aufnahme von Betriebszuständen und Milieubedingungen
- 4. Ableitung emissionsreduzierender Betriebsstrategien**
 - Modellbasierte Strategieentwicklung
 - Umsetzung und großtechnische Evaluation

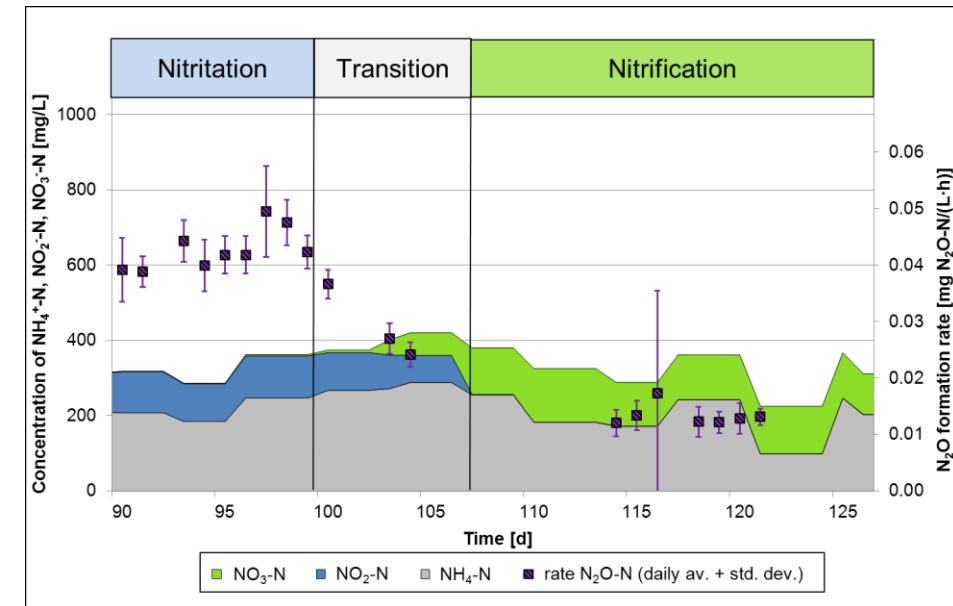
Emissionsrisikoanalyse: Ansatzpunkte

Ziel: Identifizierung von möglicherweise relevanten Emissionsorten und -zeitpunkten zur Planung der Sondierungsmessungen

- Treiber Nitrifikation
 - hohe N-Belastung
 - O_2 -Konzentrationen $< 0,5$ mg/l
 - Nitritakkumulation



Quelle: ISAH – Schneider et al., 2013

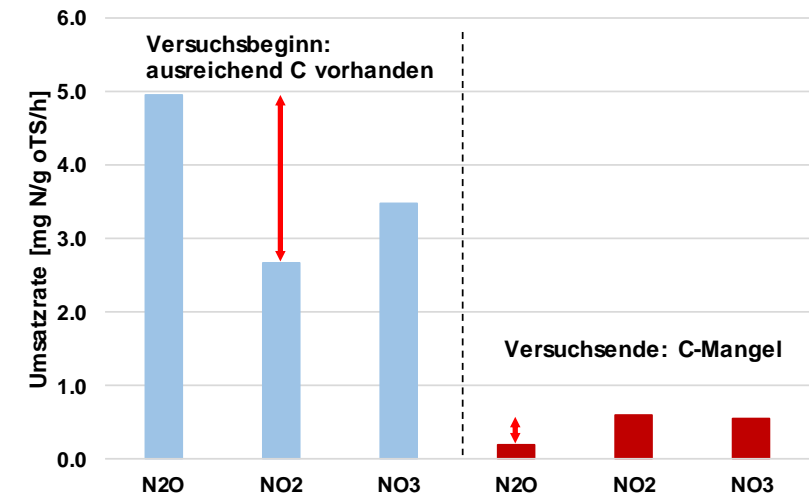


Quelle: ISAH – Schneider et al., 2013

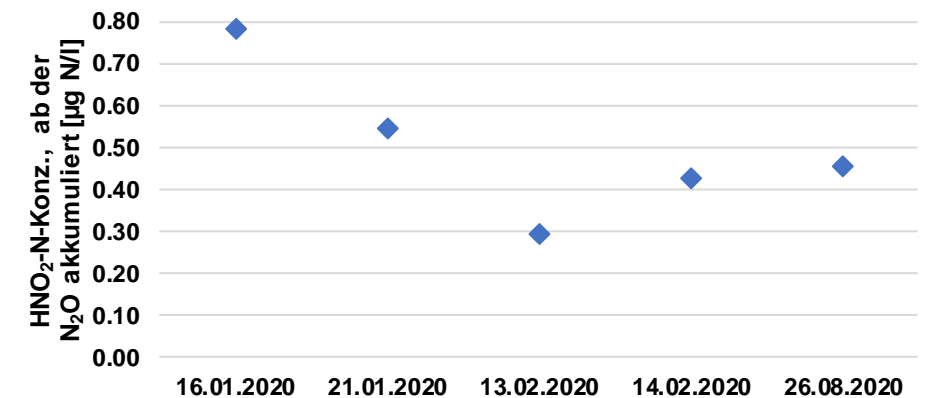
Emissionsrisikoanalyse: Ansatzpunkte

Ziel: Identifizierung von möglicherweise relevanten Emissionsorten und -zeitpunkten zur Planung der Sondierungsmessungen

- Treiber Nitrifikation
 - hohe N-Belastung
 - O_2 -Konzentrationen $< 0,5$ mg/l
 - Nitritakkumulation
- Treiber Denitrifikation
 - Hemmung durch salpetrige Säure (\rightarrow Nitritakkumulation, geringe pH-Werte)
 - Kohlenstoffmangel/ ungünstiges CSB:N-Verhältnis ($< 3,5 - 5$)



Quelle: ISAH – Abschlussbericht MiNzE



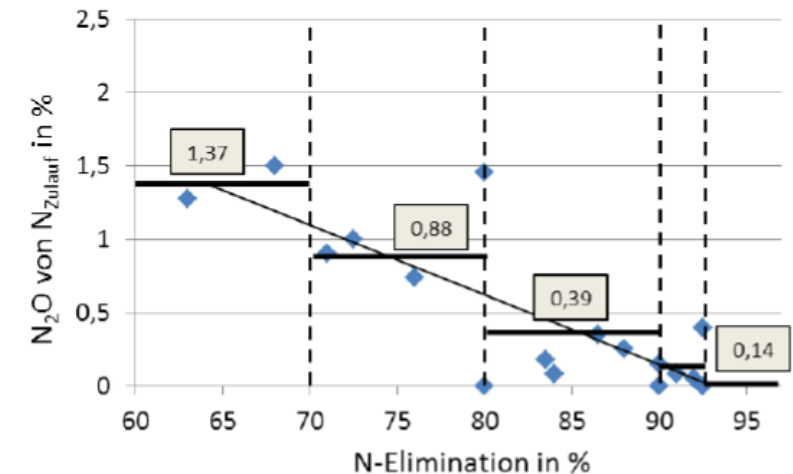
Quelle: ISAH – Abschlussbericht MiNzE

Emissionsrisikoanalyse: Ansatzpunkte

Ziel: Identifizierung von möglicherweise relevanten Emissionsorten und -zeitpunkten zur Planung der Sondierungsmessungen

- Treiber Nitrifikation
 - hohe N-Belastung
 - O_2 -Konzentrationen $< 0,5$ mg/l
 - Nitritakkumulation
- Treiber Denitrifikation
 - Hemmung durch salpetrige Säure (\rightarrow Nitritakkumulation, geringe pH-Werte)
 - Kohlenstoffmangel/ ungünstiges CSB:N-Verhältnis ($< 3,5 - 5$)
- allgemein (Auswahl)
 - hohe Auslastung/ Überlastung
 - häufig wechselnde Betriebszustände und Milieubedingungen
 - häufig Betriebsstörungen
 - geringer N-Eliminationsgrad

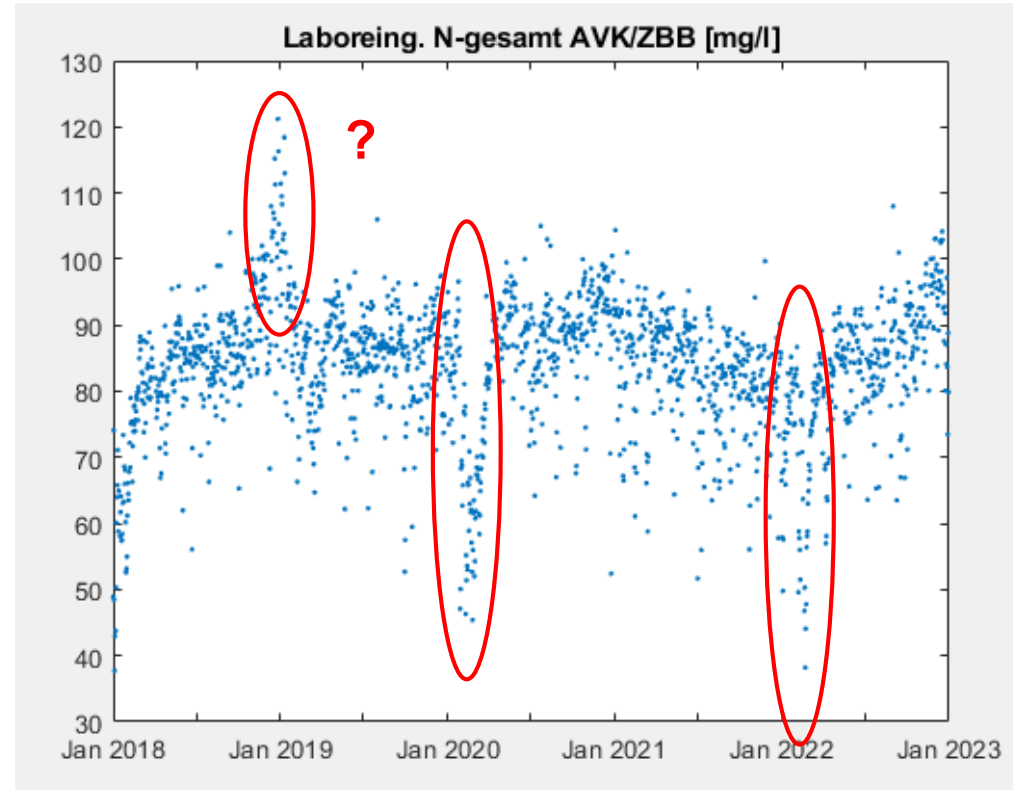
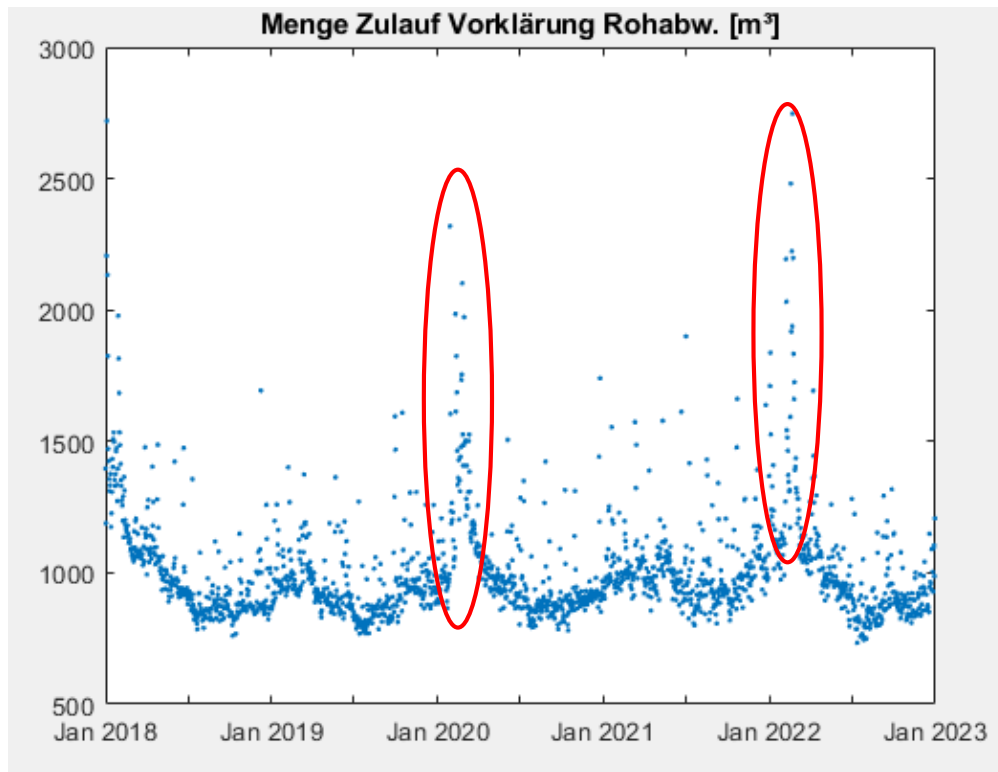
Indikatoren \rightarrow Annahmen zum Emissionsrisiko müssen durch Sondierungsmessungen bestätigt werden!



Quelle: Valkova et al., 2021

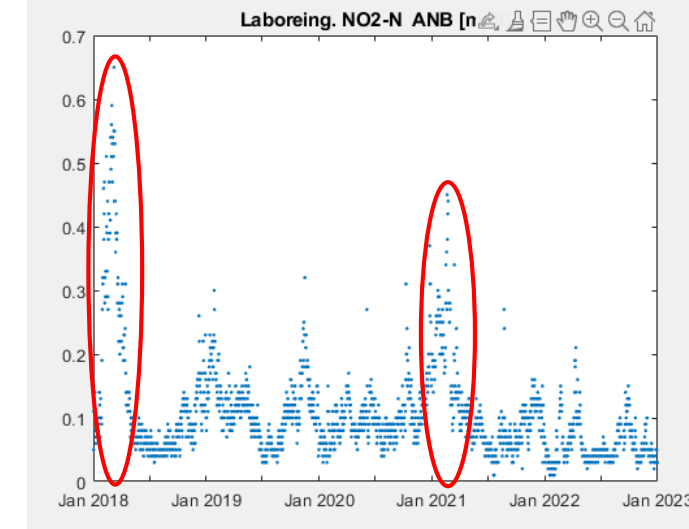
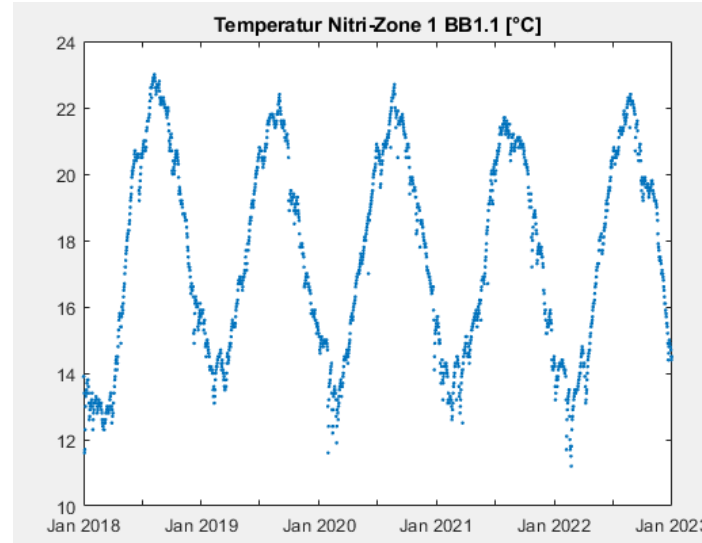
Emissionsrisikoanalyse: Belastungssituation

- **Hauptstromanlage: im Regelbetrieb zunächst einmal geringe Emissionen zu erwarten**
→ **Durch Sondierungsmessungen zu prüfen!**
- Höchster Zulauf im Frühling, allerdings geringere N-Konzentrationen im Zulauf
→ Verdünnungseffekt, Belastung vergleichsweise konstant über Jahresverlauf
- Erhöhte N-Zulaufkonzentration im Januar 2019 (Ursache bisher nicht geklärt)

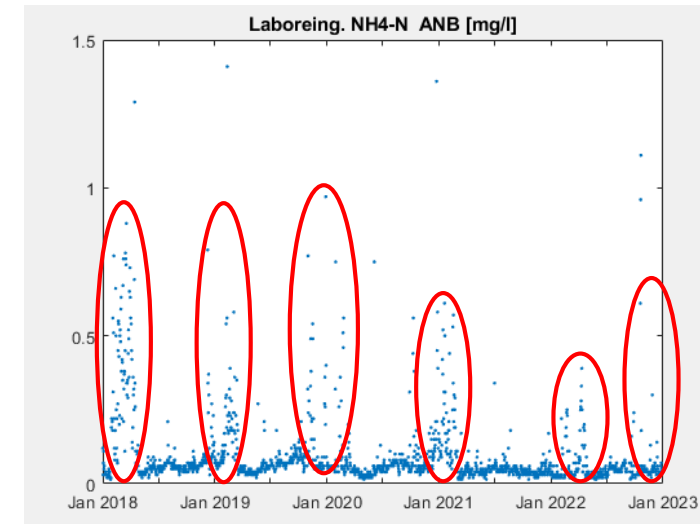
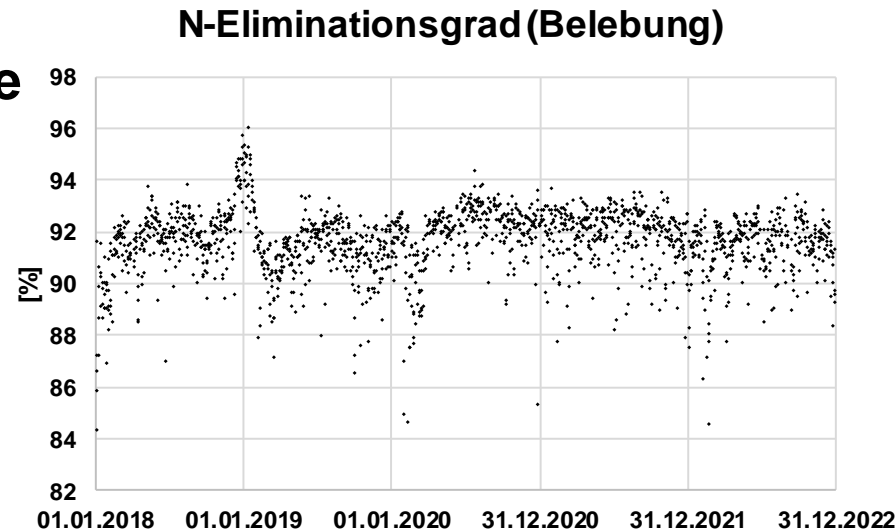


Emissionsrisikoanalyse: N-Elimination

- Teilweise Nitritakkumulation sowie erhöhte Ammoniumablaufwerte in den Wintermonaten (Temperaturminima)
- reduzierte Aktivität der Nitrifikanten bei geringer Temperatur
- Im Allgemeinen stabile N-Elimination in der Belebung mit hohem Eliminationsgrad



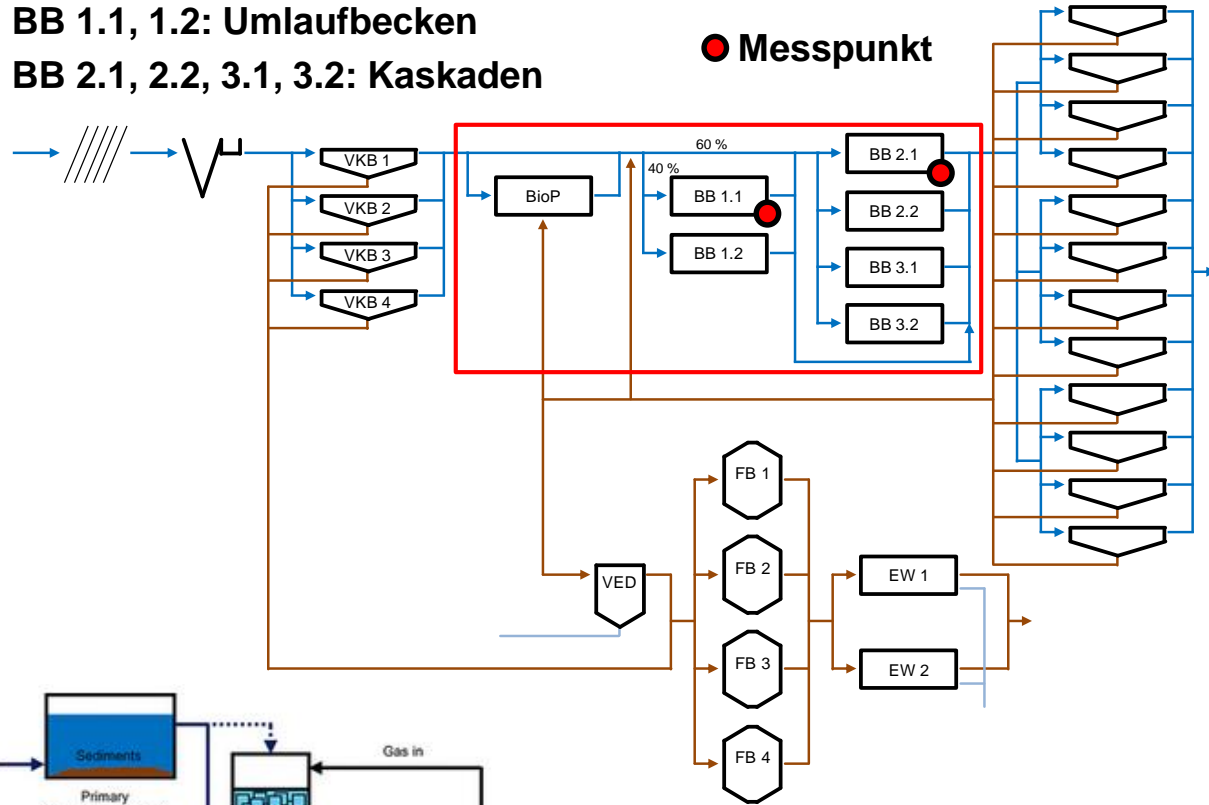
→ **kritisch sind die Wintermonate Januar/ Februar!**



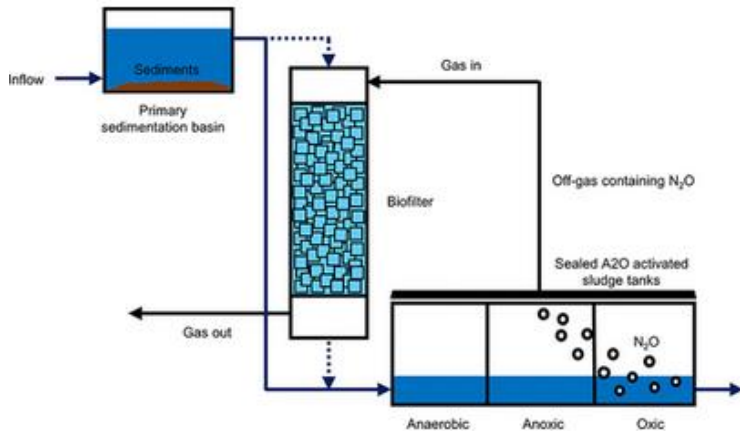
Messkonzept

BB 1.1, 1.2: Umlaufbecken

BB 2.1, 2.2, 3.1, 3.2: Kaskaden



● Messpunkt

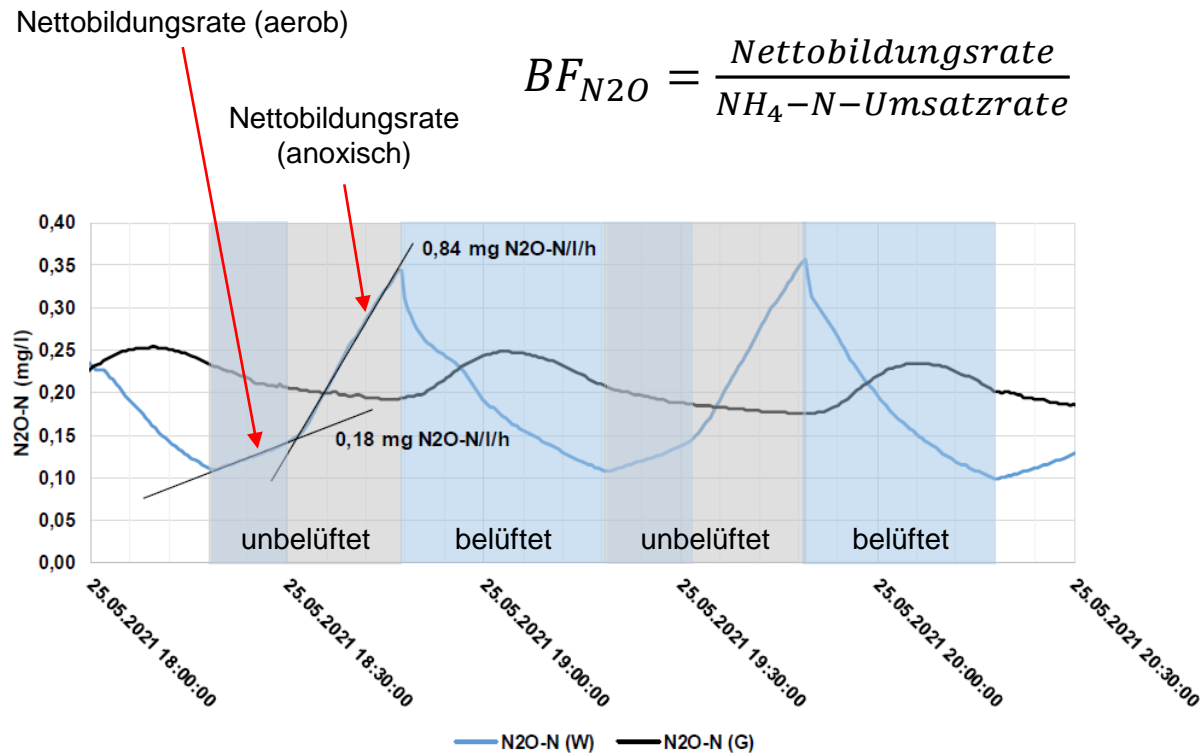


Becken abgedeckt
Abgas in Biofilter gereinigt

Quelle: Yoon et al., 2017

- Durchführung der Sondiermessungen im Januar/ Februar → Nitrifikation durch geringe Temperaturen beeinträchtigt, Stresssituation
- Becken relativ gleichmäßig beschickt → keine Hochlastzonen
- zwei unterschiedliche Betriebsweisen → Messung in zwei verschiedenen Becken
- Messung im Abgas, da Becken abgedeckt
- Durchführung der Detailmessungen:
 - Betrachtung einzelner Beckenzonen
 - zusätzlich Messung in Flüssigphase
 - Ermittlung von dynamischen Bildungsraten
 - Modellkalibrierung
 - Zusätzlich aufzunehmende Parameter: z. B. Abgasvolumenstrom, pH-Wert und O_2 -Konzentration am Ort der Messung

Auswertung der Messungen



Quelle: MiNzE-Abschlussbericht

$$B_{N_2O,emittiert,Gas} = C_{N_2O,Gas} \cdot Q_{Gas}$$

$$EF_{N_2O} = \frac{B_{N_2O,emittiert,Gas}}{B_{NH_4,umgesetzt}}$$

übliche Kennzahlen zu N_2O

- Bildungsraten [g N_2O -N/l/h]
- Bildungsfaktoren [% v. NH_4 - $N_{oxidiert}$]
- Emissionsfrachten [kg N_2O -N/d]
- Emissionsfaktoren [% v. NH_4 - $N_{oxidiert}$]

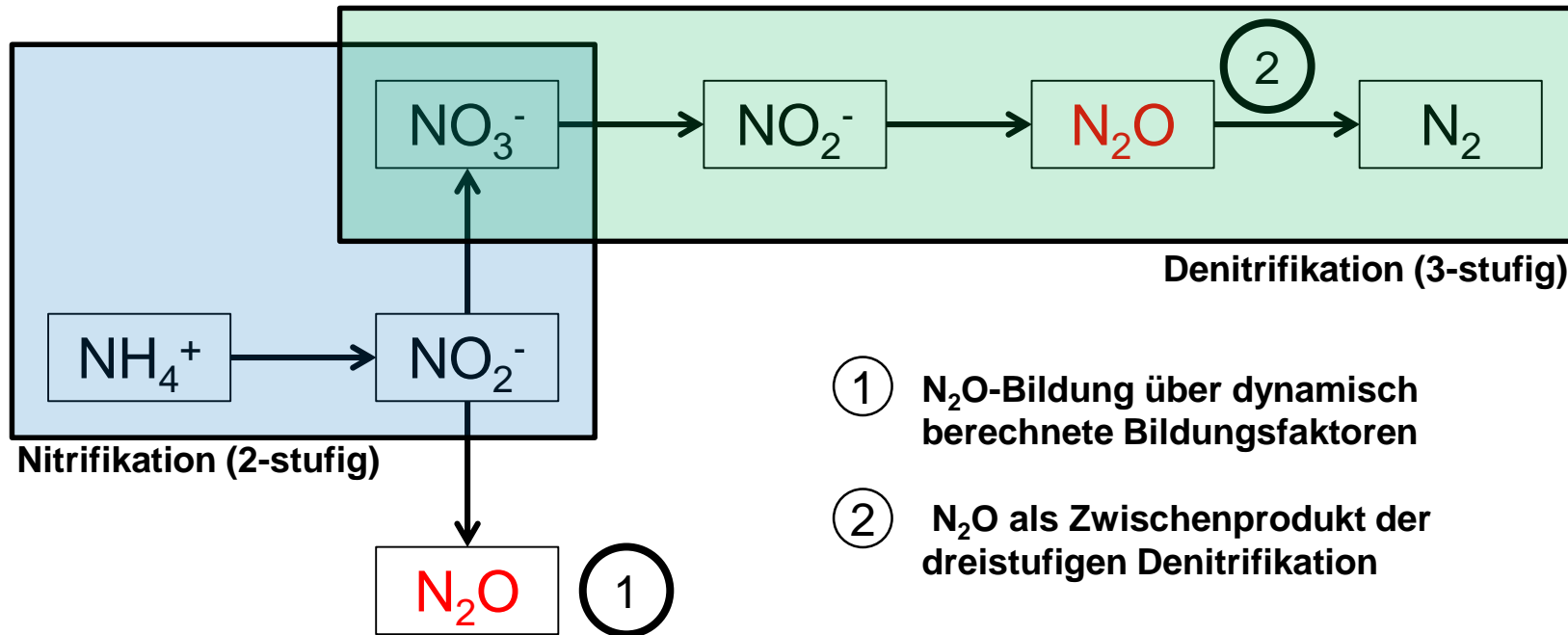
dynamische Simulation

Ziele:

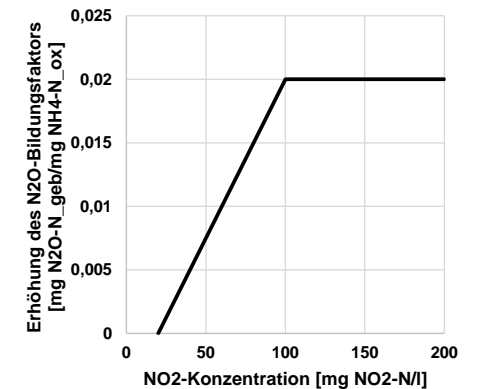
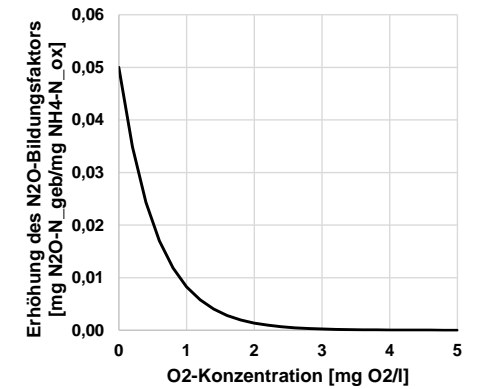
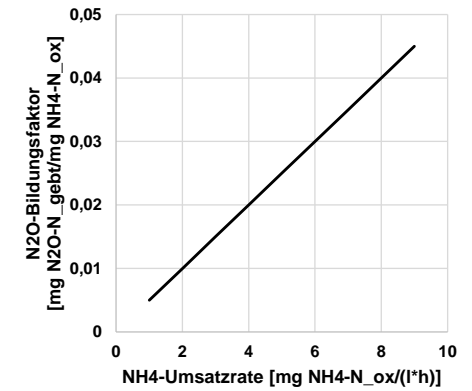
- Ursachenanalyse
- Entwicklung von Emissionsminderungsmaßnahmen, Szenarienanalyse

Beispiel: ASM13_N2O_ISAH

Modell inklusive Leitfaden und Beispielen verfügbar unter <https://www.isah.uni-hannover.de/de/forschung/forschungsfelder/abwasser>

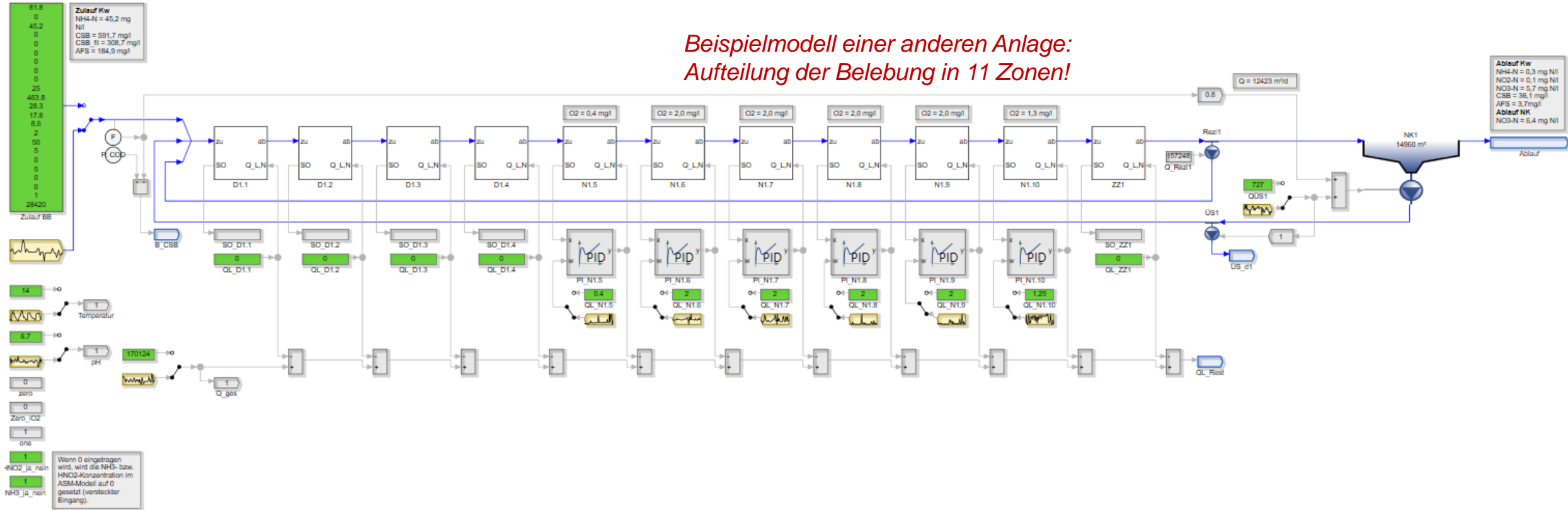


- 1 N_2O -Bildung über dynamisch berechnete Bildungsfaktoren
- 2 N_2O als Zwischenprodukt der dreistufigen Denitrifikation



Quelle: ISAH – Beier et al., 2021

dynamische Simulation – Modellaufbau und Kalibrierung



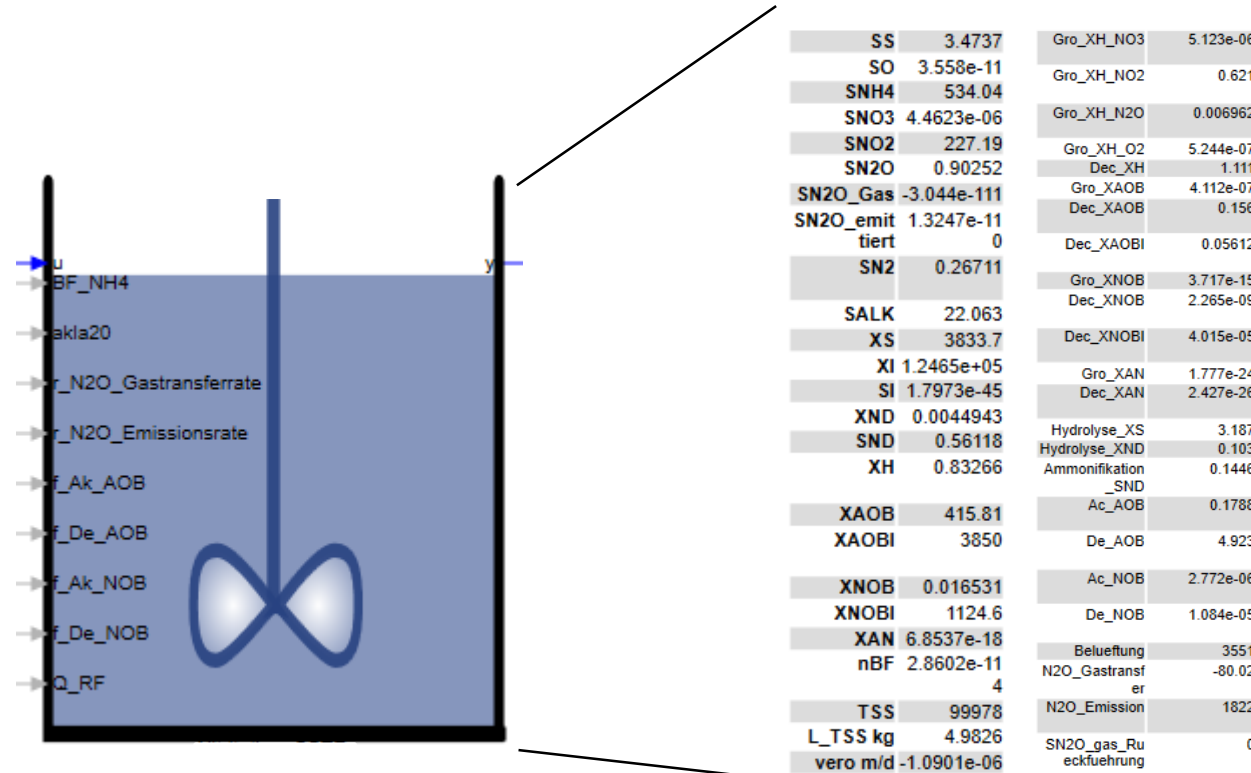
Modellkalibrierung auf korrekte Abbildung

- der N-Elimination (Nitrifikation und Denitrifikation)
- der CSB-Elimination
- der N₂O-Bildung
- der N₂O-Emission

➔ komplexer, zeitaufwendiger Prozess, Erfahrung erforderlich!

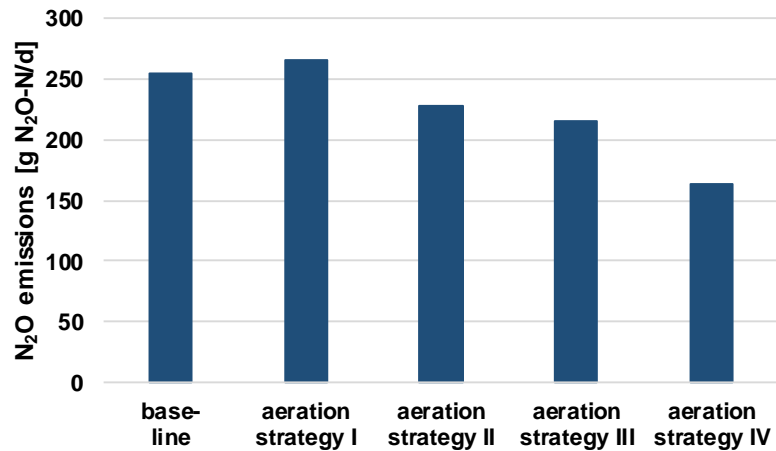
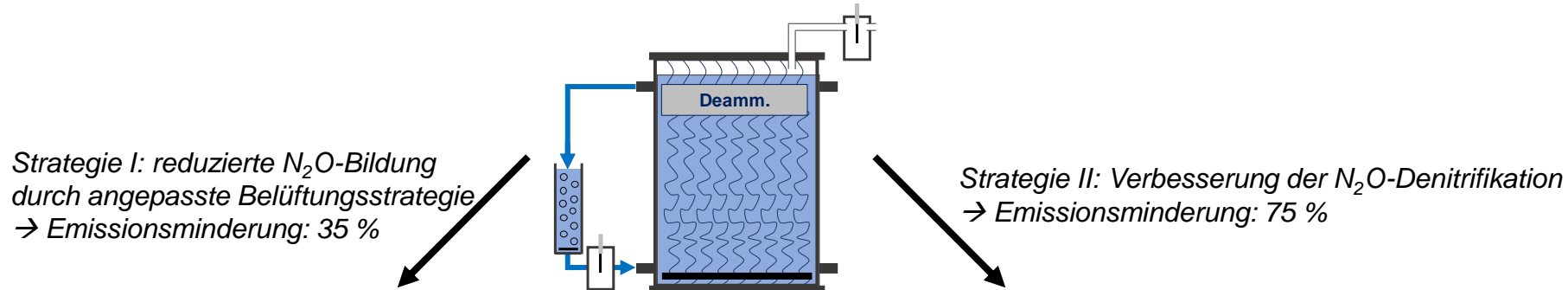
dynamische Simulation – Ursachenanalyse

- Modell liefert umfangreiche Daten zu Milieubedingungen, Umsatzraten etc.
- Verwendung des Modells zur Analyse der
 - Dynamik von N₂O-Bildung und Emission (Separierung von Bildung, Abbau und Gastransfer)
 - Aktivität einzelner Mikroorganismengruppen (Hemmungen!)
 - Rolle der Denitrifikation (Quelle oder Senke)

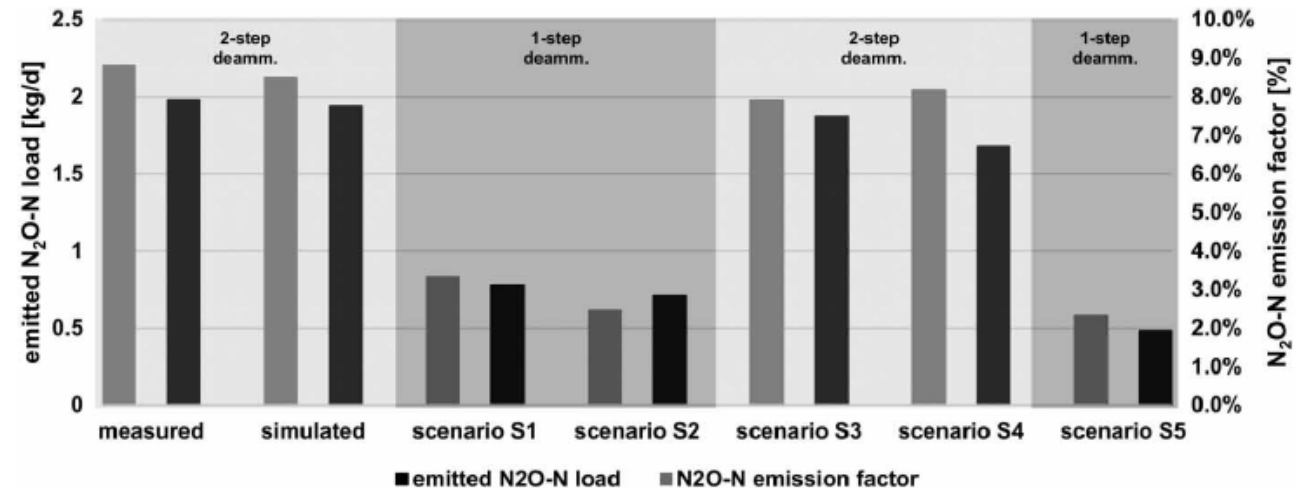


dynamische Simulation – Minderungsmaßnahmen

- Entwicklung und Beurteilung zielgerichteter Emissionsminderungsmaßnahmen
- Maßnahmenauswahl unter Berücksichtigung vorzugebender Bewertungskriterien



Quelle: Freyschmidt und Beier, 2023



Quelle: Freyschmidt und Beier, 2022

Zusammenfassung Vorgehen

1. Risikoanalyse
 - Analyse der Betriebsdaten zur Identifizierung relevanter Emissionsorte und -zeitpunkte
2. Messungen
 - Sondierungsmessungen und Detailmessungen
3. Auswertung
 - Ermittlung von Kennzahlen: Bildungsraten, Emissionsfaktoren
4. Dynamisches Modell
 - Ursachenanalyse und Maßnahmenplanung

Ergebnisse für die Kläranlage

- Belastbare Jahresemission
- optimierte, anlagenspezifische Regelstrategien für verschiedene Belastungssituationen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Arne Freyschmidt, M.Sc.
freyschmidt@isah.uni-hannover.de

Dr.-Ing. Maike Beier
beier@isah.uni-hannover.de