



Lachgas Reduktion mit der dynamischen Regelung Fallbeispiel ARA Hofen

Daniel Braun, Luzia von Känel, Lucien Biolley, Hanspeter Bauer, Daniel Gahler;
Infrawatt Webinar 11. Mai 2023

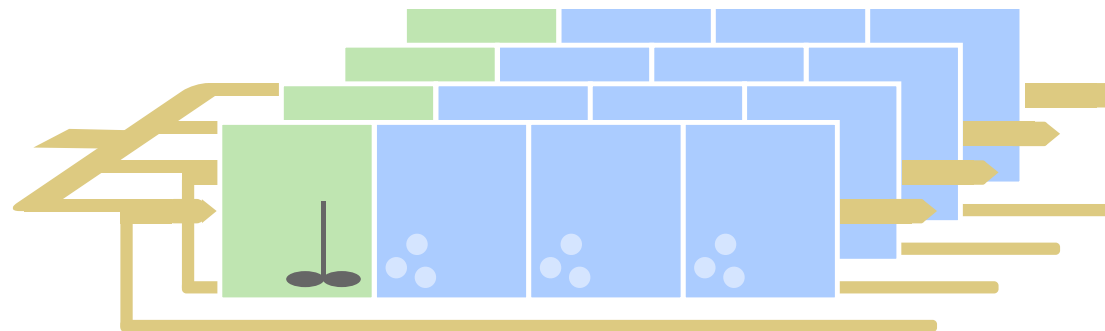
Dynamische Regelung von ARA

Variabler Input:

- Tagesgang
- Wochengang
- Jahrgang
- Temperatur
- Regenereignisse
- Industrie
- Havarien
- ...

Optimierungsparameter

- Lastverteilung in ARA
- Hydraulik, Durchmischung
- **Belüftung**
- Faulwassermanagement
- Schlammalter
- Rücklaufschlamm
- Interne Rezirkulationen
- Betriebsmitteleinsatz
- Speicherbecken, Netzmanagement



Optimierungsziele

- Abbau organischer Stoffe
- Nitrifikation
- Denitrifikation
- Nitritabbau
- Phosphorelimination
- Energieverbrauch
- Betriebssicherheit
- Lachgasemissionen
- Betriebsmitteleinsatz
- Mikroverunreinigungen
- ...

Ziel der dynamischen Regelung von ARA ist die Optimierungsparameter zeitlich so nachzuregulieren, dass die Optimierungsziele möglichst alle gleichzeitig erfüllt werden können.

Dabei zeigt es sich, dass die Belüftungsregelung eine zentrale Rolle spielt!

Was wird bei der dynamischen Regelung automatisiert

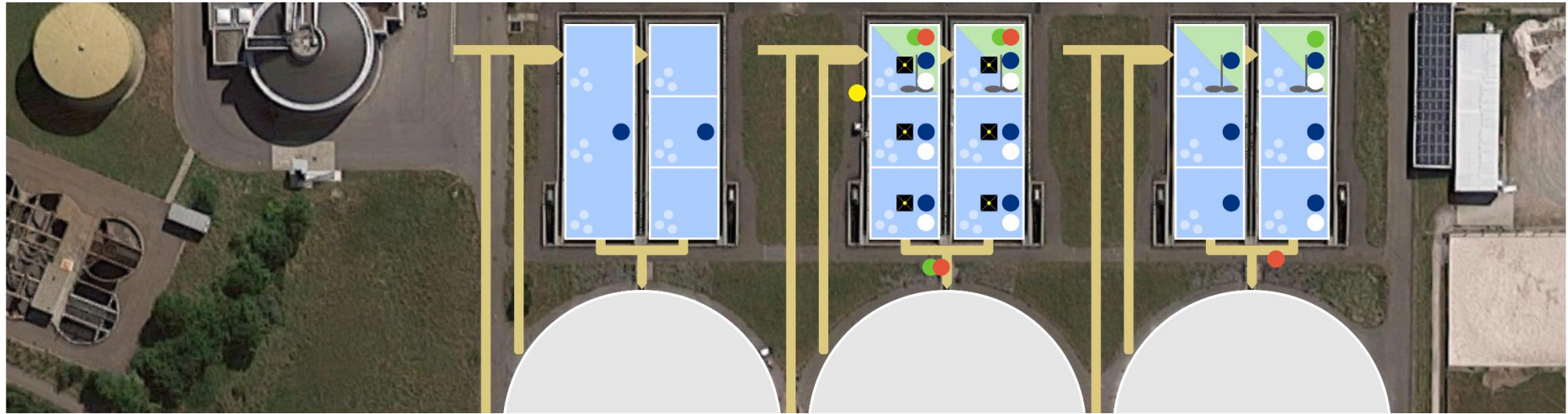
Um trotz variierendem Input möglichst viele Optimierungsziele zu erfüllen, können ARA **dynamisch** betrieben werden

Zur Verfügung stehende hauptsächlich die folgenden Freiheitsgrade (konventionelle Anlagen):

- **Bivalente Zonen**
- **Sauerstoffsollwerte**
- **Rückführungen**



- **Faulwasserdosierung**
- **In Zukunft: leichtabbaubares Substrat?**

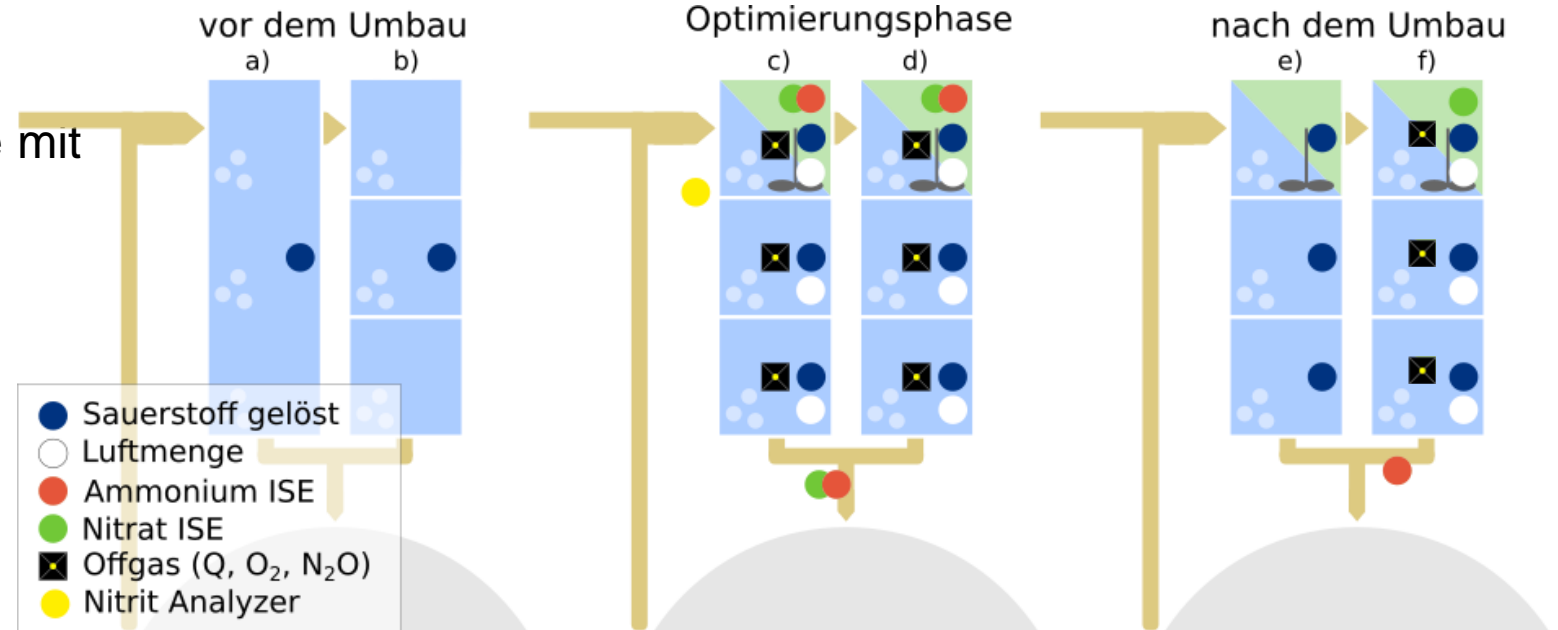


Ausbau ARA Hofen für dynamische Regelung

Ausbau der ARA Hofen für die dynamische Regelung.

Bauliche Massnahmen

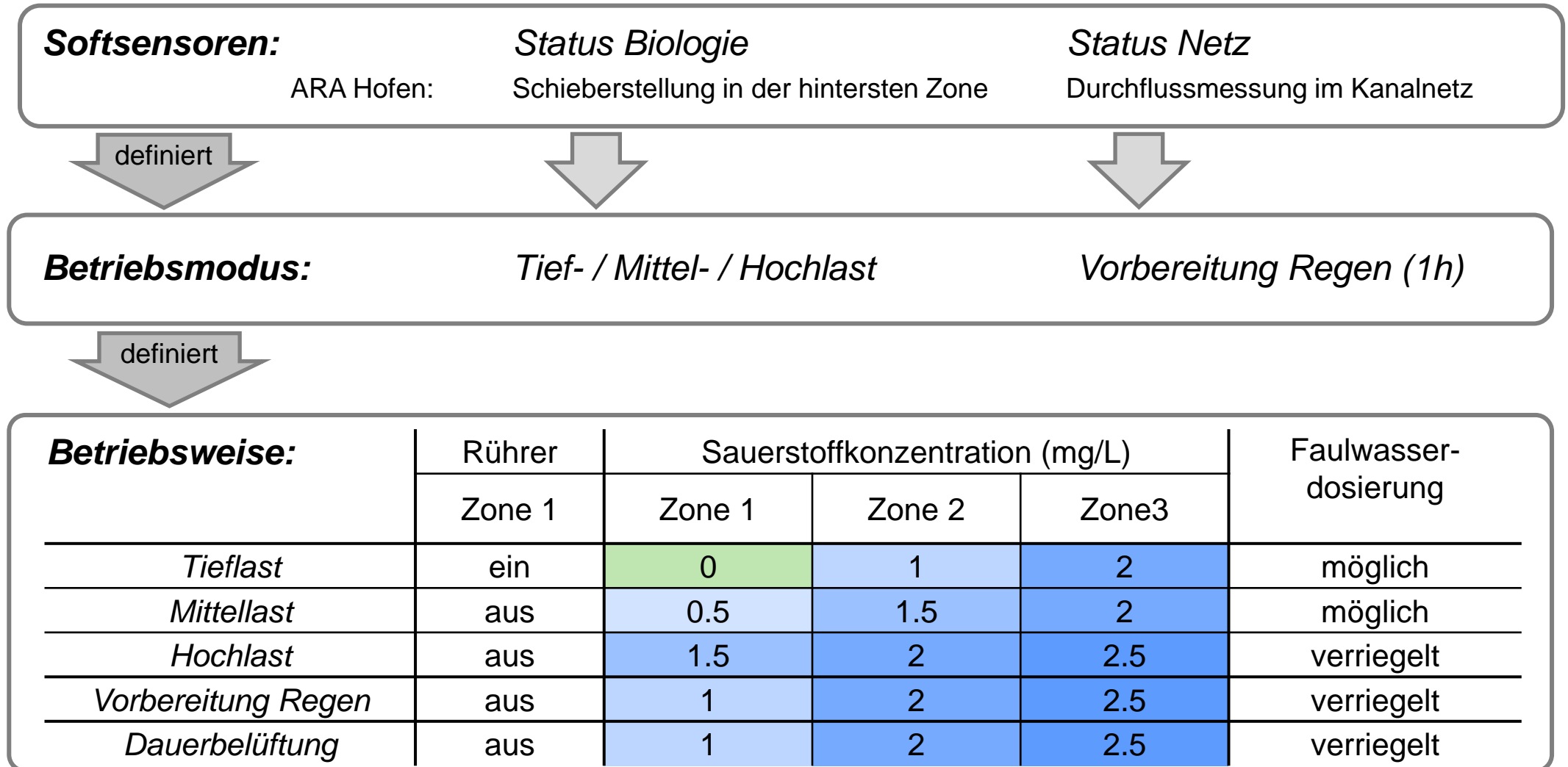
- Ersatz der Drehkolbengebläse mit Turbo-Verdichter.
- Konsequente Unterteilung der Strassen in drei Zonen mit eigenständiger O₂-Regelung.
- Konstantdruckregler zur Vermeidung von gekoppelten Regelkreisen.
- 1. Zone wird mit Rührer ausgerüstet.
- Einbau von Messstrecken für Luftmengenmessung.



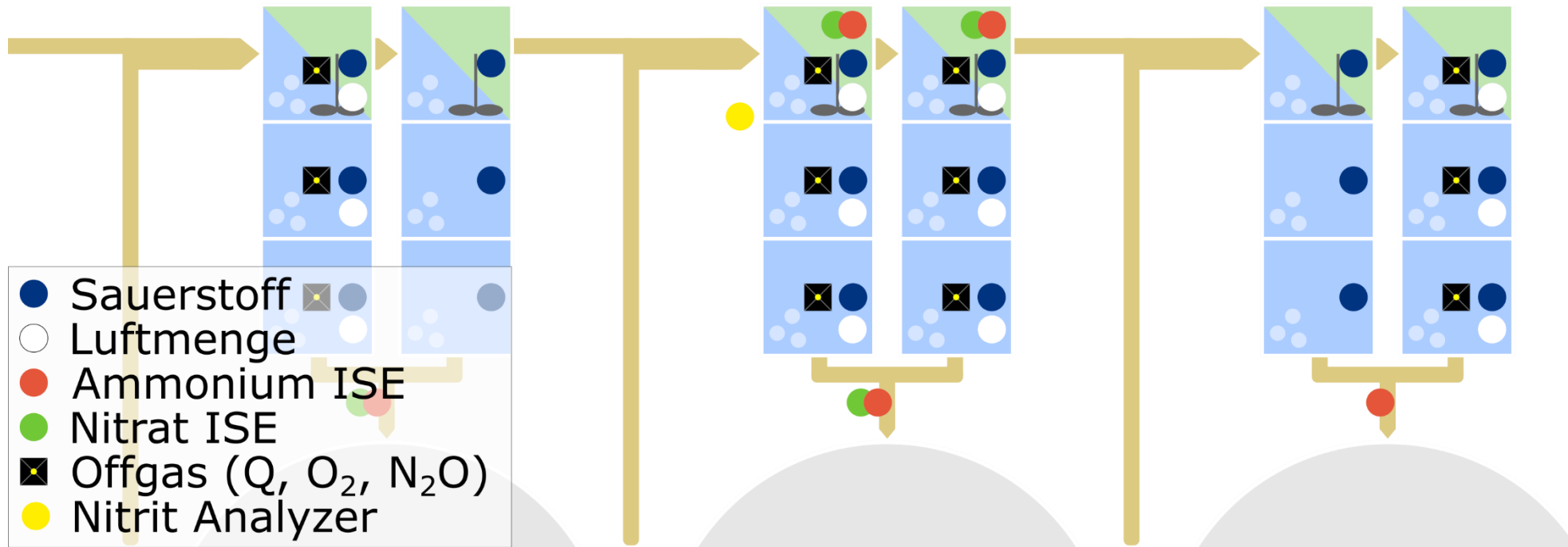
Ausbau des Sensornetzwerkes für Echtzeit-Bestimmung der Belastung

- a + b: Ausrüstung vor dem Ausbau.
- c + d: Sensornetzwerk für die Prozessoptimierung.
- e: aktuelle Ausrüstung ohne Sensornetzwerk
- f: Vorschlag für Ausrüstung nach Abschluss der Prozessoptimierung.

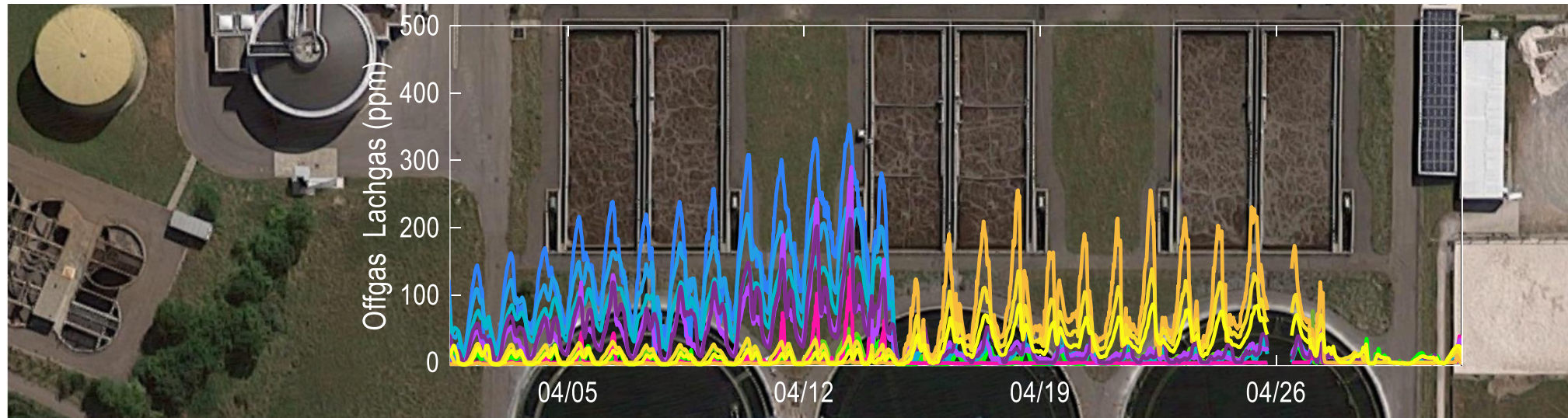
Umsetzung der dynamischen Regelung



Aktueller Stand Sensornetzwerk für Prozessüberwachung



- Datenauswertung und Betrieb des Sensornetzwerkes durch ETH Zürich mit Unterstützung der ARA Hofen.
- Mit der Software SeNARA können wir die Betriebsdaten und die Daten des Sensornetzwerkes überlagern und gemeinsam auswerten
- Das Sensornetzwerk wurde mehrmals während der Optimierungsphase ausgebaut.

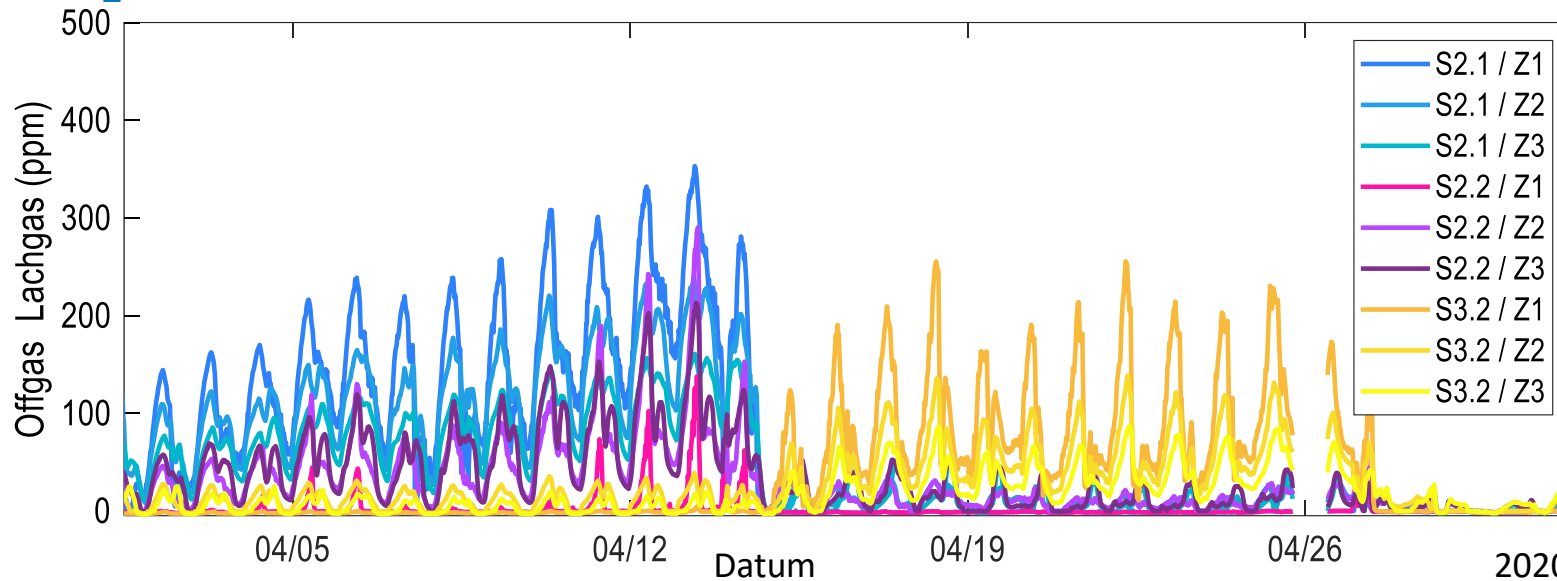


Wichtige Resultate der Optimierungsphase

Die Optimierungsphase dauert 2 – 3 Jahre

Lachgasreduktionen können während dieser Zeit bereits eingefordert werden

Der «Corona Datensatz» im Frühling 2020: Sehr hohe N₂O Emissionen in der Strasse 2.1 wenn aerob betrieben



Mit Denitrifikation

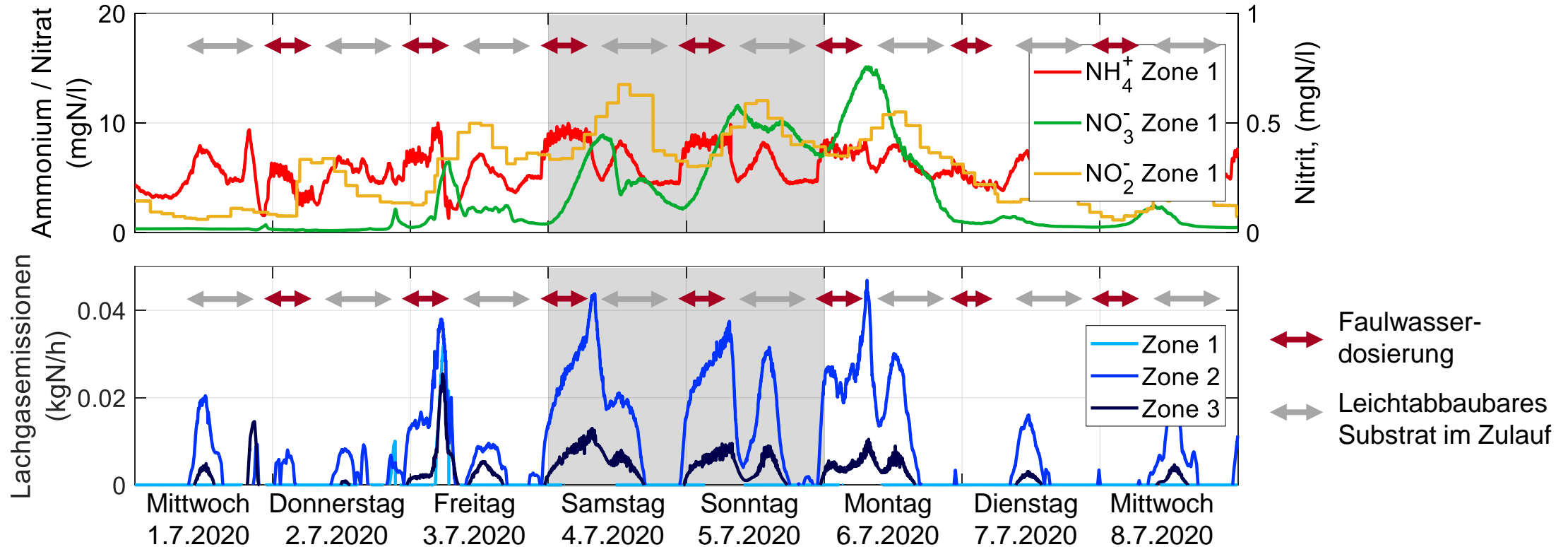


Ohne Denitrifikation



- Vom März bis zum 13. April 2020 wurde die 1. Zone der Strasse 2.1 durchgehend belüftet. In der Folge stiegen die N₂O-Emissionen in der Strasse 2.1 und auch in der Strasse 2.2 stark an.
- In der Vergleichsstrasse 3.2 waren die N₂O-Emissionen gering.
- Am 14. April wurde die Belüftung der Zone 1 der Strasse 2.1 abgestellt und die Belüftung der Zone 1 der Strasse 3.2 eingestellt

Masterarbeit Michael Vogel: Faulwasserdosierung muss am Wochenende reduziert werden!



Empfehlungen für Faulwasserdosierung

- **Hohe Lachgasemissionen wenn 1. Zone substratlimitierte Denitrifikation vorliegt**
- Faulwasserdosierung während Zeiten mit viel leichtabbaubarem Substrat
- Dosierung kann mit Nitratsonde in 1. Zone optimiert werden

Infracatt Innovationspreis 2021 für Optimierung ARA Hofen mit dem Konzept der Dynamischen Regelung für ARA

Eckdaten der ARA:

Volumen der biologischen Strassen: 9000 m³

Einwohnerwert (85% Quantil): 87'000 EW

Einwohnerwert (50% Quantil): 78'000 EW

Resultat der Optimierung:

Spezifisches Volumen Biologie: 103 L/EW (85% Quantil)

Energieverbrauch Belüftung: 11.4 kWh/(a*EW) (50% Quantil)

Eigendeckungsgrad Strom (ohne Kovergärung): 130% (vorh. 70%)

Denitrifikation: 70% (vorher 35%)

Emissionsfaktor N₂O: 0.2% (vorher 1.5-2%?)

Verband Schweizer
Abwasser- und
Gewässerschutz-
fachleute
Association suisse
des professionnels
de la protection
des eaux
Associazione italiana
dei professionisti
della protezione
delle acque
Swiss Water
Association



Dynamische Regelung von Abwasserreinigungsanlagen

Leitfaden zur dynamischen Prozessregelung und Prozessüberwachung

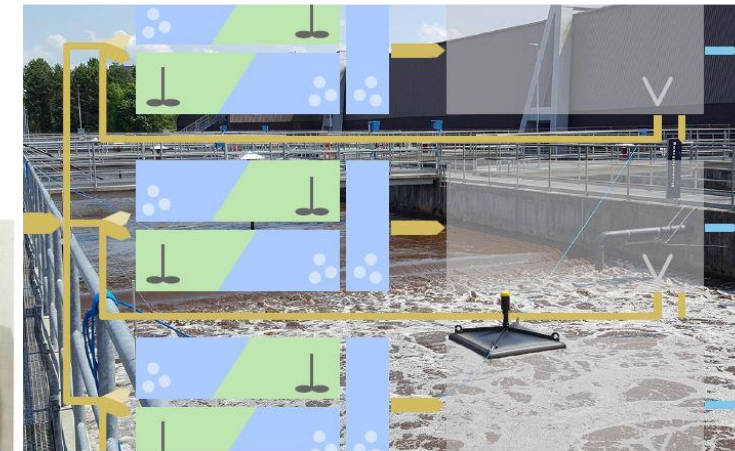
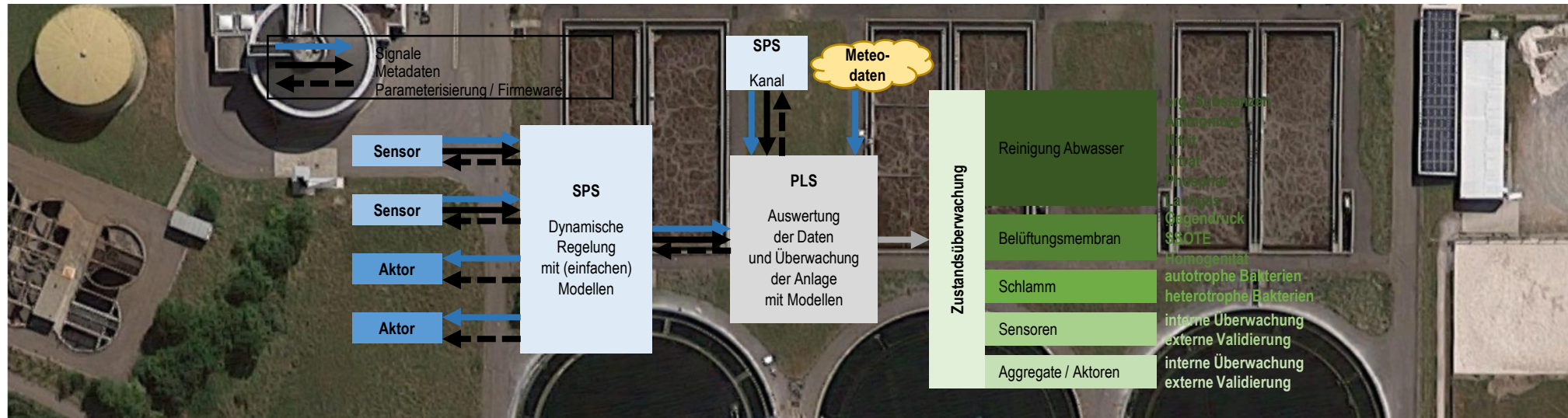


Abb. 1: (v. l. n. r.): Filippo Lombardi (Präsident InfraWatt), Hanspeter Bauer (Leiter Abwasserbetriebe der Entsorgung St. Gallen), Daniel Braun (ETH Zürich, Labor für Umweltingenieurwissenschaften), Heinz Habegger (Präsident, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA). (Foto: InfraWatt, Fabrice Nobs)

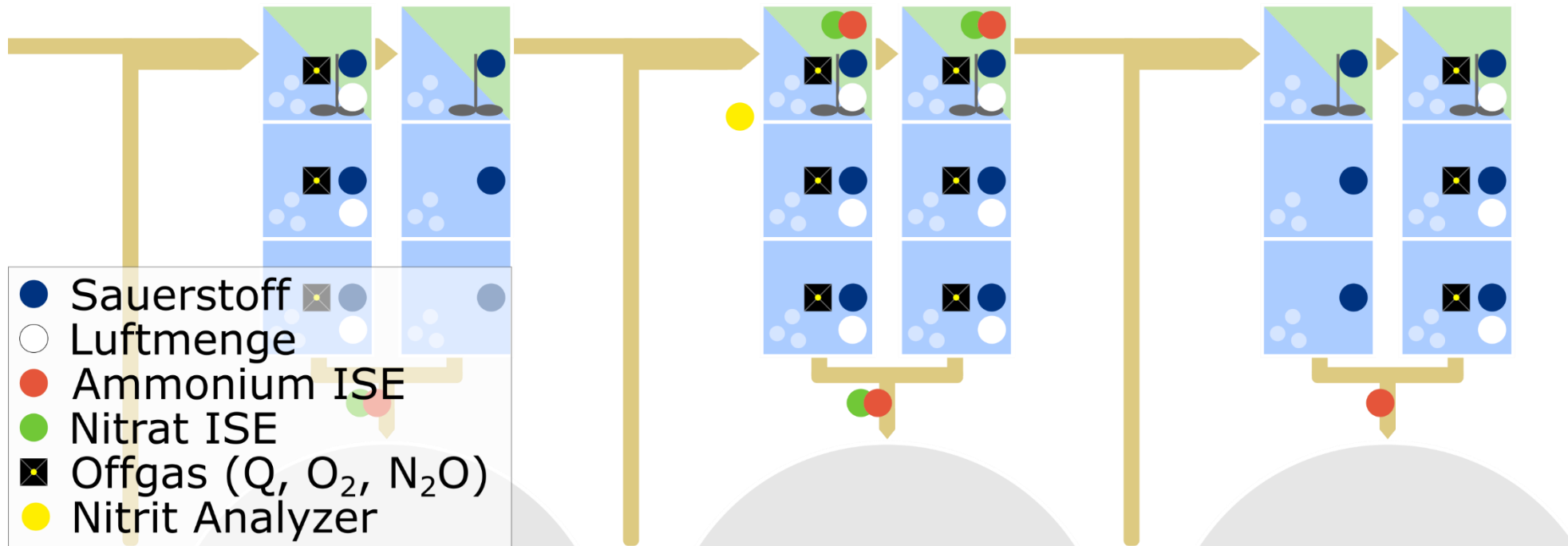
2019

ETH zürich



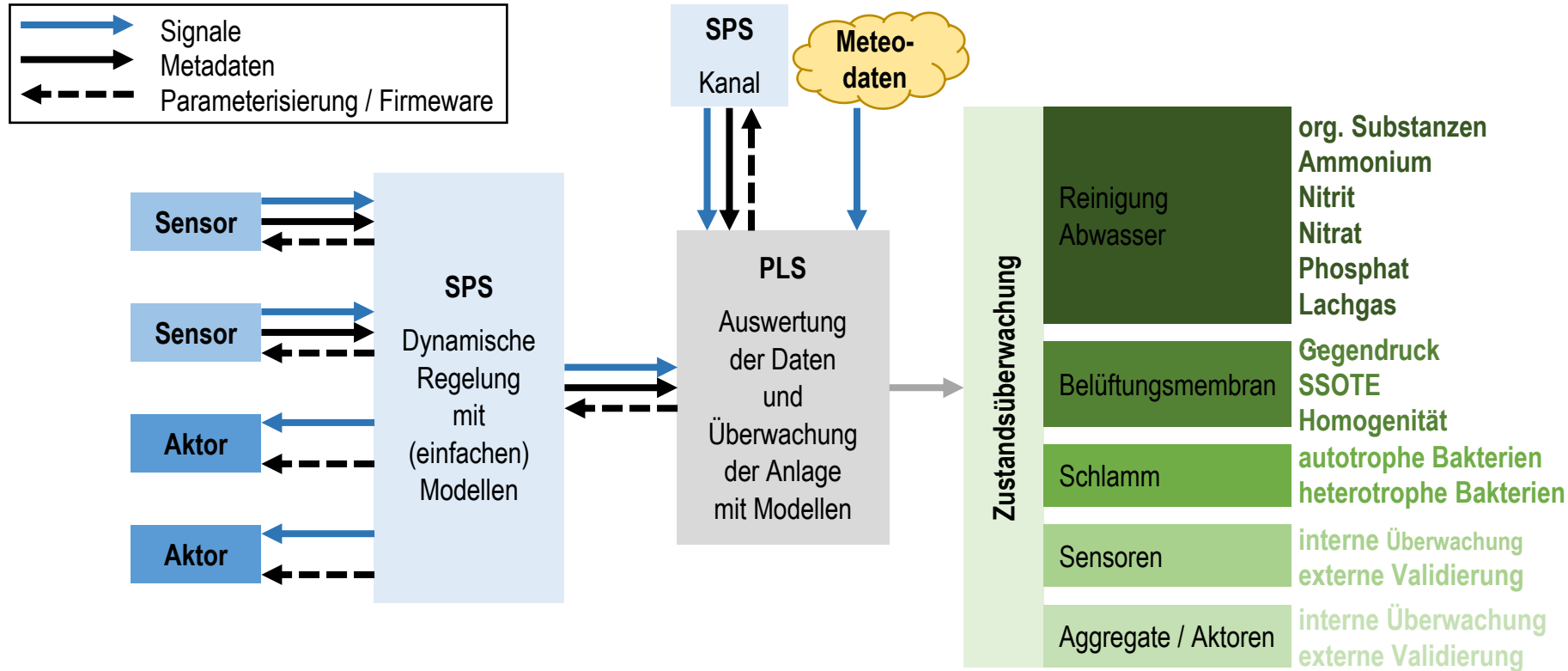
Weshalb braucht es ein Sensornetzwerk? Kann man Messungen nicht mit Modellen ersetzen?

Optimierung mit Sensornetzwerken ist sehr effizient



- Durch den direkten Vergleich der einzelnen Strassen können verschiedene Betriebsweisen einfach miteinander verglichen werden.
- Unsicherheiten bei der Variation des Abwassers können ausgeschlossen werden.
- Es wurden optimierte Kalibrations- Validationsverfahren entwickelt.
- Durch die Redundanz der Sensoren können Sensorfehler entdeckt werden, dies führt zu moderatem Aufwand für die Sensorwartung.
-

Mit Redundanten Daten können Unsicherheiten verkleinert werden

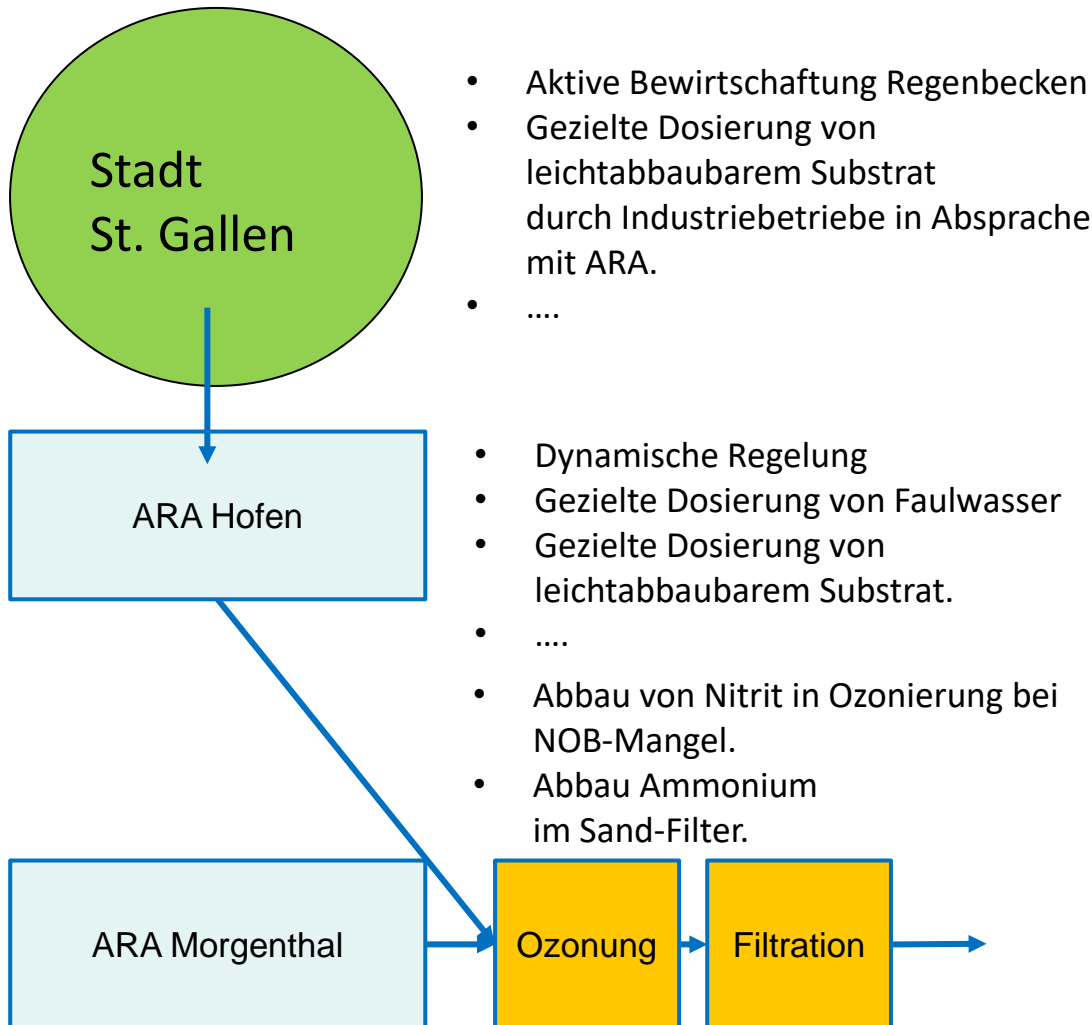


Ein Sensornetzwerke liefert hochredundante Daten, dadurch ist es möglich die folgenden Informationen zu gewinnen:

- Überwachung der Regelungsstrategie
- Prozessüberwachung und Verständnis der zeitlichen Zuläufe der Nährstoffe
- Überwachung der Sensoren – durch die Redundanz verringert sich der Kalibrierungs/Validierungs Aufwand

Es brauch Messungen und problemangepasste Modelle!

Schlussfolgerungen und Ausblick: Integrierte Optimierung



- Aktive Bewirtschaftung Regenbecken
- Gezielte Dosierung von leichtabbaubarem Substrat durch Industriebetriebe in Absprache mit ARA.
-
- Dynamische Regelung
- Gezielte Dosierung von Faulwasser
- Gezielte Dosierung von leichtabbaubarem Substrat.
-
- Abbau von Nitrit in Ozonierung bei NOB-Mangel.
- Abbau Ammonium im Sand-Filter.

- Durch exakte Prozesskontrolle können sowohl Reinigungsleistung wie auch Energieverbrauch optimiert werden.
- Gut konzipierte Sensornetzwerke sind ein sehr effizientes Werkzeug für die Prozessoptimierung im Betrieb.
- Abluftmessungen sind langzeitstabil und können sehr wertvolle Informationen liefern.
- **Durch eine Gesamtbetrachtung Netzbewirtschaftung, den einzelnen Anlageteilen der ARA und der 4. Reinigungsstufe können in Zukunft signifikante Prozesssynergien genutzt werden.**

Fazit und Dank

Die dynamische Regelung ist recht anspruchsvoll!
Es braucht Prozesswissen und ein Ausbau der ARA mit einem Sensornetzwerk.
Die Resultate der Optimierung sind sehr vielversprechend.

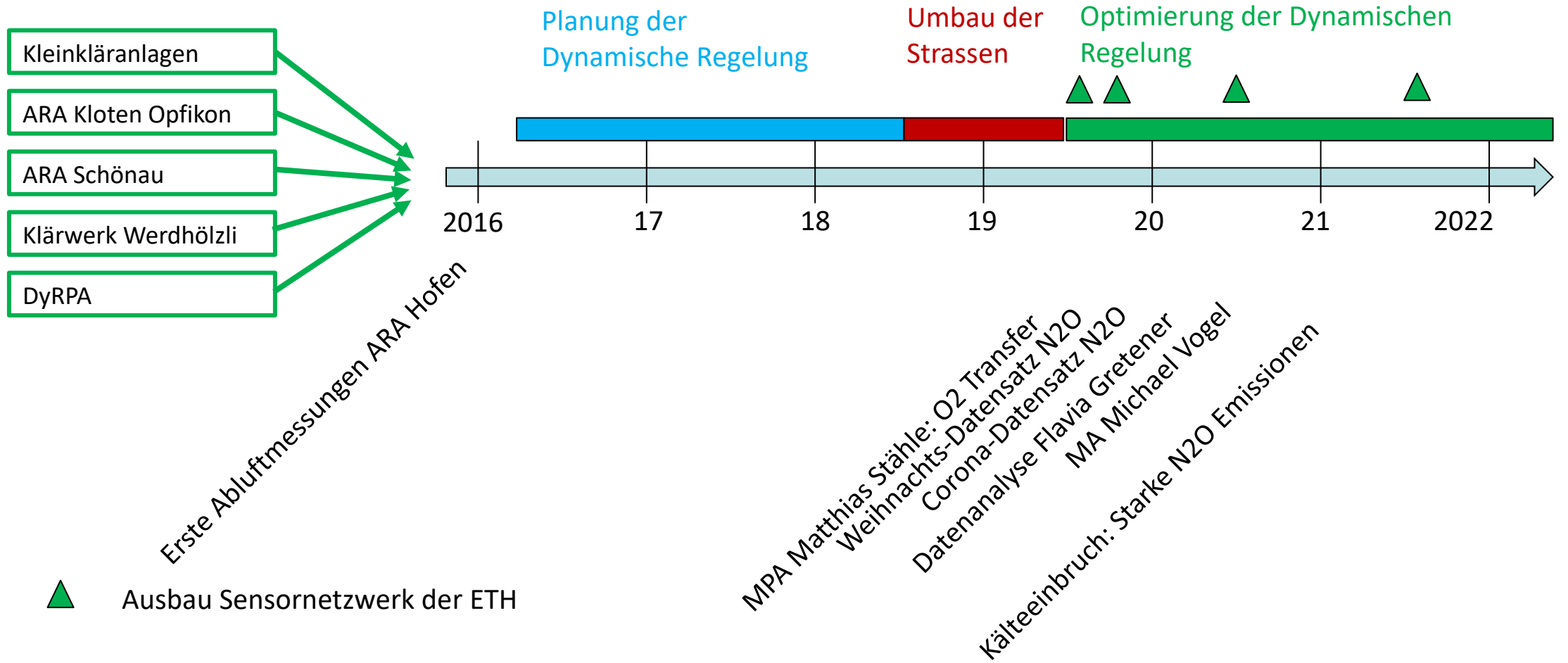
Unser Dank

- LUIW : Luzia von Känel, Lucien Biolley, Matthias Stähle, Michael Vogel,
- ARA Hofen: Dani Gahler, Hanspeter Bauer
- Ch. Thürlimann (Kuster&Hager), C. Bassanello (BGG Engineering), P. Liczkai (Insoft)
- ETH Zürich: Studierende der Umweltingenieurwissenschaften, Prof. Eberhard Morgenroth, Prof. Willi Gujer, Prof Max Maurer.
- Fachhochschule Nordostschweiz: Prof. David Zogg
- EAWAG: Wenzel Gruber, Adriano Joss
- ARA Opfikon: Christoph Liebi, Walti Wullschleger
- Klärwerk Werdhölzli: Dani Pfund, Christian Abegglen
- ARA Schönau: Bernd Kobler, Martin Grob, Thomas Klaus,
- DyRPA: Philipp Weber, Luzia von Känel ; Ruedi Moser (HBT), Christian Abegglen, Rolf Burch, Thomas Klaus, Ernst Lüdi, Markus Mendler, Alain Meyer, Daniel Pfund, Andreas Schaffner, Reto Steinemann, Urs Tobler, Martin Zeindler
- Und viele mehr....

Referenzen

- Robuste und leistungsfähige Regelungskonzepte für Kläranlagen, Korrespondenz Abwasser, Abfall 8/2012
- Prozessorientierte Visualisierung, Aqua & Gas 12/2014
- Sauerstoff – Treibstoff der Nitrifikation, Aqua & Gas 7/2016
- Dynamische Regelung von ARA, Aqua & Gas 1/2019
- Dynamische Regelung der ARA Hofen, , Aqua & Gas 1/2022
- <https://luiw.ethz.ch/projekte/senara.html>
- <https://luiw.ethz.ch/projekte/dyrpa.html>
- <https://luiw.ethz.ch/projekte/offgas.html>

ARA Hofen: Der Weg zum InfraWatt Innovationspreis 2021



Dynamische Regelung von ARA: weitere Optimierungsparameter

Variabler Input

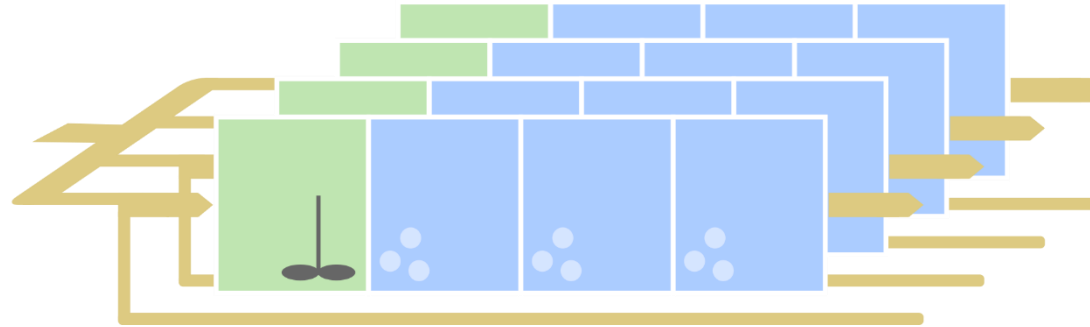
- Tagesgang
- Wochengang
- Jahresgang
- Temperatur
- Regenereignisse
- Industrie
- Havarien
- ...

Optimierungsparameter

- Lastverteilung in ARA
- Hydraulik, Durchmischung
- **Belüftung**
- **Faulwassermanagement**
- Schlammalter
- Rücklaufschlamm
- Interne Rezirkulationen
- Betriebsmitteleinsatz
- **Netzmanagement**
- ...

Optimierungsziele

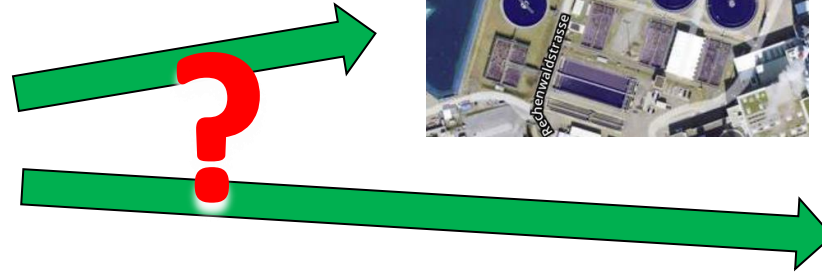
- Betriebssicherheit
- Abbau organische Stoffe
- Nitrifikation
- Denitrifikation
- Phosphor-Reduktion
- Nitrit-Reduktion
- Energieverbrauch
- Lachgas-Reduktion
- Betriebsmitteleinsatz
- Mikroverunreinigungen
- ...



Lachgas kann auch durch optimierte Faulwasserdosierung reduziert werden: Es braucht leichtabbaubares Substrat in der Deni-Zone, so dass Nitrat und Nitrit unmittelbar in Stickstoff umgewandelt werden.

Durch Absprache mit der Industrie kann leichtabbaubares Substrat gezielt dosiert werden!?

Können die Resultate der ARA Hofen auf andere ARA übertragen werden?

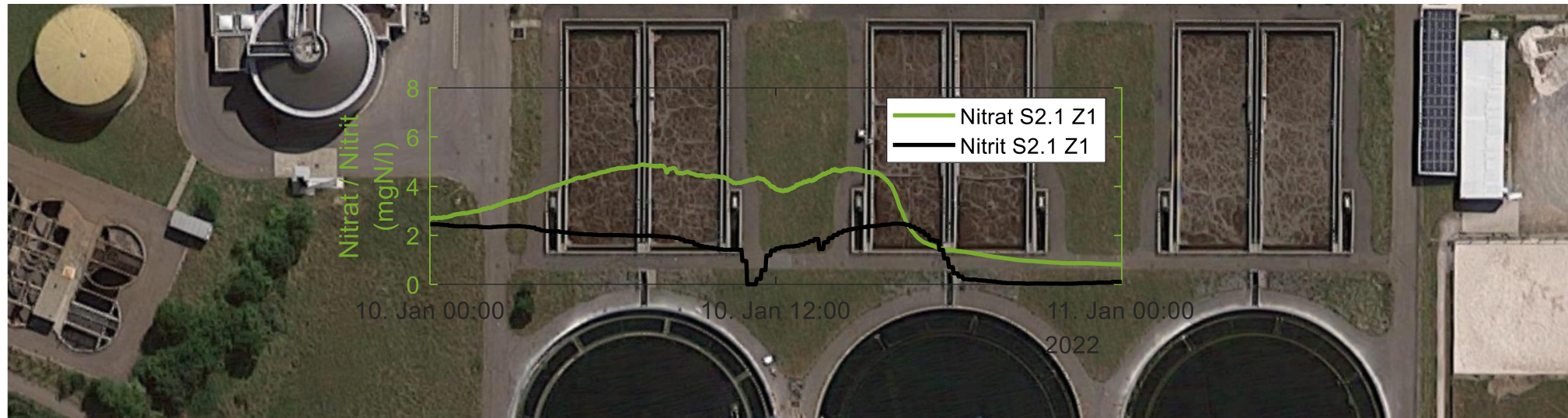


Eher ja:

- Sauerstofftransfermessungen: es braucht noch mehr Validierung und Erfahrung mit Alterung der Membranen.
- Konzept der dynamischen Regelung mit klar unterteilten Zonen ist sehr effizient (vergleiche auch Resultate ARA Opfikon 2006 – 2015).
- Konzept des Sensornetzwerks: es braucht lokale Anpassungen und verbesserte Auswertung.

Eher nein:

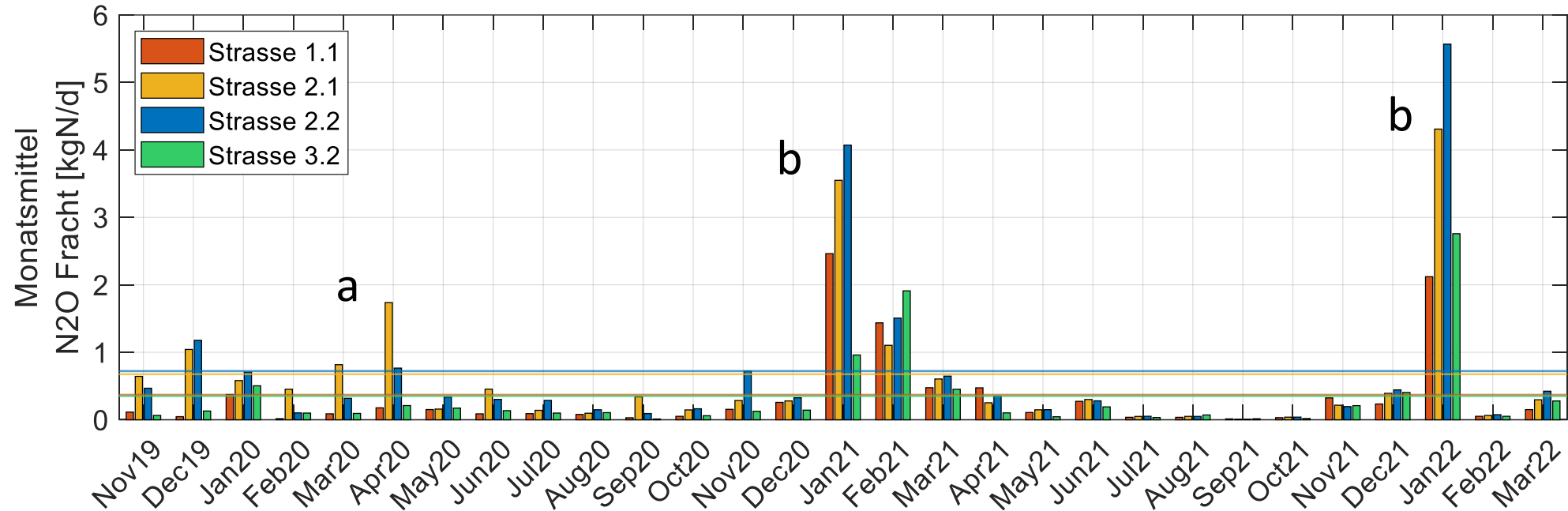
- Tages- und Wochenverlauf der Lasten
- Tages- und Wochengang leichtabbaubares Substrat
- Temperaturverlauf im Winter
-



Anhang:
Mit dem Sensornetzwerk können sehr viel Prozesse (empirisch) erklärt werden

Lachgasemissionen über längere Zeit

Erhöhte Lachgasemissionen treten auf wenn Nitrit produziert wird

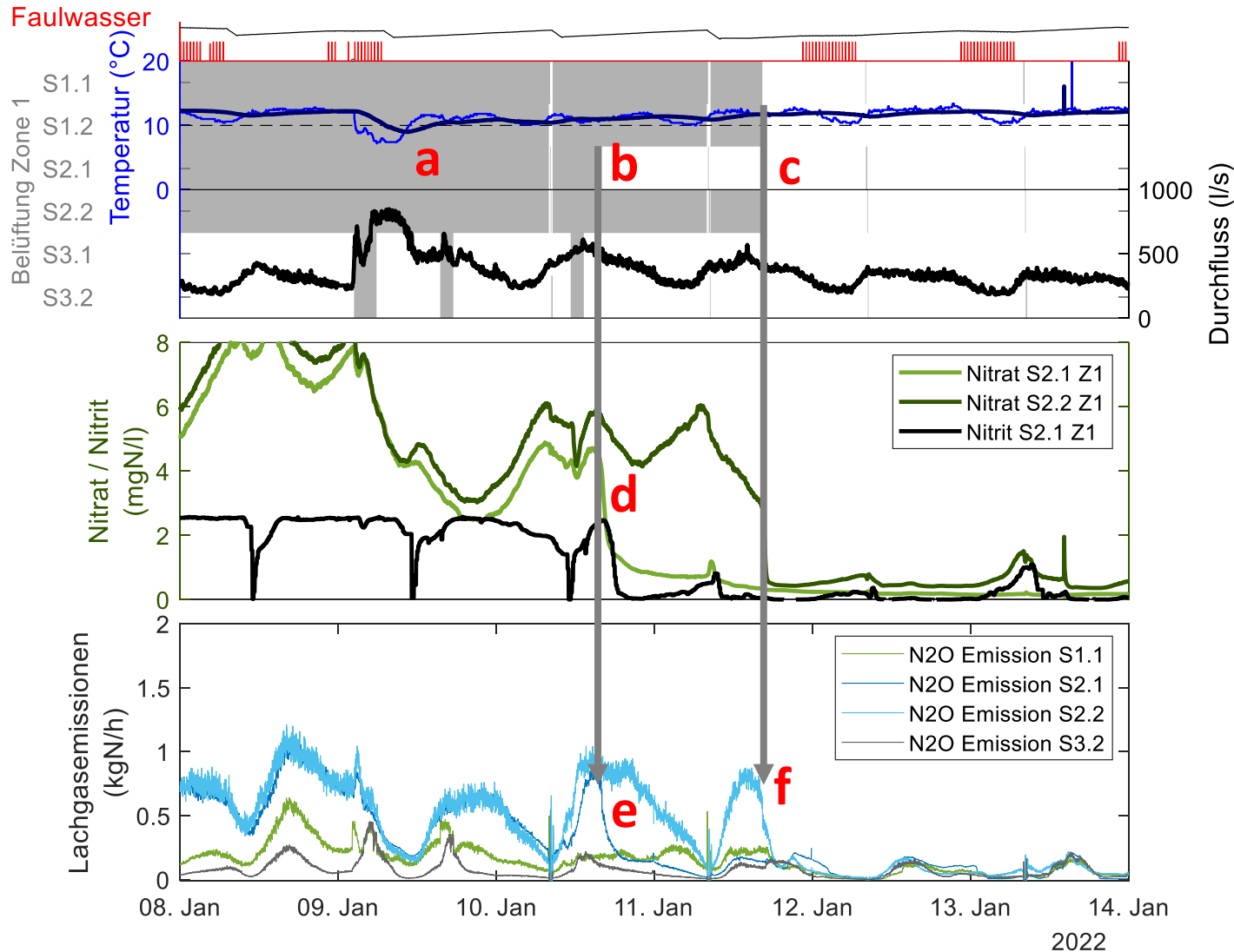


a) Strasse 2.1, Zone 1 während 2 Monaten belüftet.

b) Sehr kaltes Wetter: relative starker Verlust von NOB, dadurch wird Nitrit in der Biologie akkumuliert und es kommt zu starker Lachgasbildung.

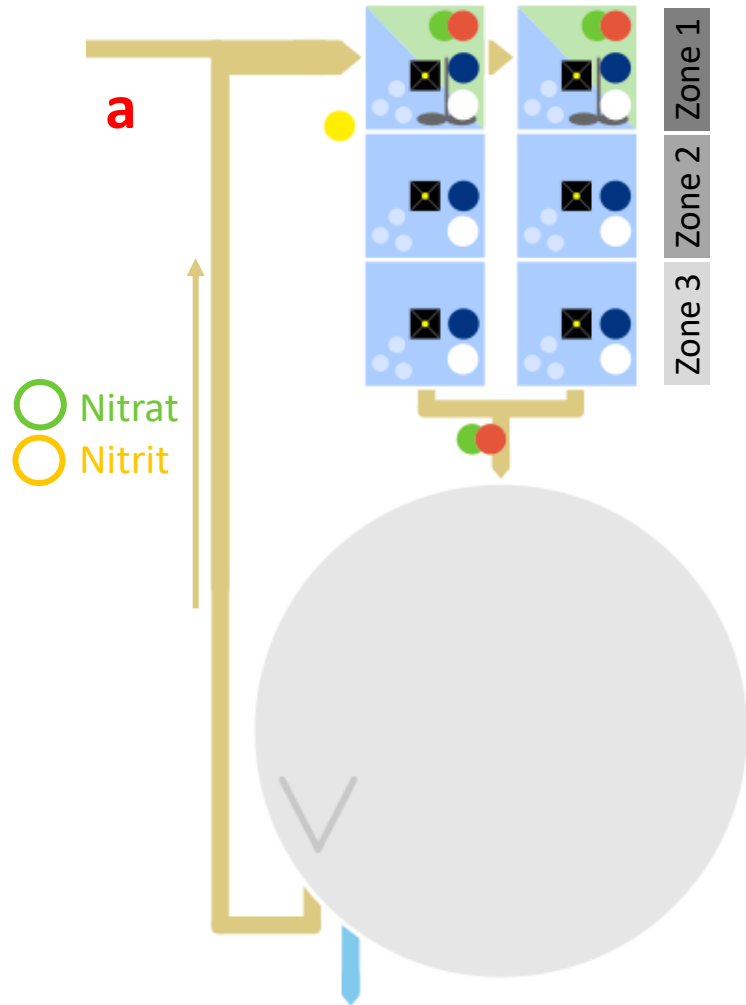
Anmerkung: die Strasse 2.1 und 2.2 wurden häufig als Referenzstrassen mit belüfteten 1. Zone betrieben: aus diesem Grund sind die Emissionen in der Strasse 2 höher.

Beispiel Januar 2022: Abbau von Nitrit mit leichtabbaubarem Substrat



- a) Strasse 1.1, 1.2, 2.1, 2.2: Zone 1 belüftet: hohe Lachgasemissionen in der Strasse 2.1 und 2.2.
- b) Zone 1 Strasse 2.1 wird am Montagnachmittag auf anoxisch umgestellt. Zu diesem Zeitpunkt ist viel leichtabbaubares Substrat vorhanden: Nitrat und Nitrit werden sehr schnell denitrifiziert (d), die N₂O-Emissionen in der Strasse 2.1 fällt schnell ab (e)!
- c) Bei allen Strassen wird die Zone 1 auf anoxisch umgestellt: nur noch geringe N₂O-Emissionen (f).

Prozesse in den einzelnen Zonen



Prozessoptimierung ARA Hofen

