

**Dies ist eine beispielhafte Darstellung der  
Potenzialanalyse**



**Für eine Kläranlage mit ca. 30.000 EW**

1. Datenzeitraum:
  - a) Sauerstoff → 1,5 Jahre (Juli 2022 - Dezember 2023)
  - b) Schlammalter → 2 Jahre (Januar 2022 - Dezember 2023)
  - c) Phosphat Fällung → 2 Jahre (Januar 2022 - Dezember 2023)
  - d) Fehlererkennung → 1 Jahre (Januar 2023 - Dezember 2023)
  
2. Auflösung:
  - a) PLS/SPS Daten: Minütlich
  - b) Manuell: Täglich bzw. variabel
  
3. Untersuchte Verfahrensschritte / Sensoren:
  - a) Sauerstoff
  - b) Schlammalter
  - c) Phosphat Fällung
  - d) Fehlererkennung

Es gibt zwei Möglichkeiten wie die Algorithmen angewendet werden können:

1. Live Steuerung: Live Steuerung direkt über das PLS bzw. die SPS → Sensordaten werden Live ausgewertet und die entsprechenden Parameter automatisch angepasst
2. Entscheidungshilfen: Indirekte Steuerung über Ticket System im PLS → Mitarbeiter bekommt in unterschiedlichen Zeitintervallen Entscheidungshilfen als Ticket System im PLS angezeigt muss diese dann aber „händisch“ umsetzen

In beiden Fällen gibt es immer:

1. Eine vollständige Visualisierung bzw. Dokumentation darüber, warum der Algorithmus eine bestimmte Handlung vorschlägt bzw. durchführt
2. Eine Rückfall Mechanik zu den ursprünglich im PLS-System bzw. der SPS programmierten Mechaniken bspw. bei Ausfall des Internets
3. Einen manuellen „Schalter“ um die ML-Komponenten zu deaktivieren und den Rückfall zu aktivieren

Vorgehensweise:

1. Sollwert Analyse
2. Bestimmung der prozentualen Sauerstoff-Abweichung vom Zielwert
3. Einsparungspotential durch flexiblere Steuerung des Sauerstoffwertes
4. Berechnung des energetischen sowie monetären Einsparungspotenzials
5. Vergleich des Sauerstoff-Verbrauchs aufgeschlüsselt nach Monaten

# Sauerstoff - Sollwert Analyse

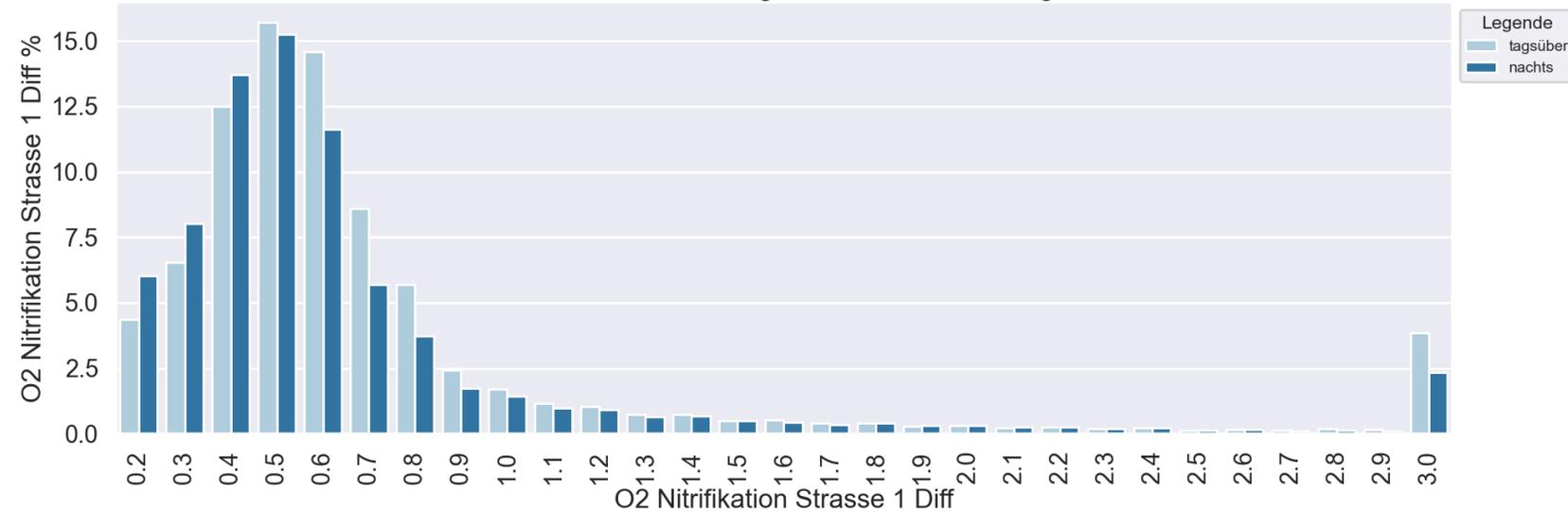
1. Datengrundlage

2. Potentialanalyse

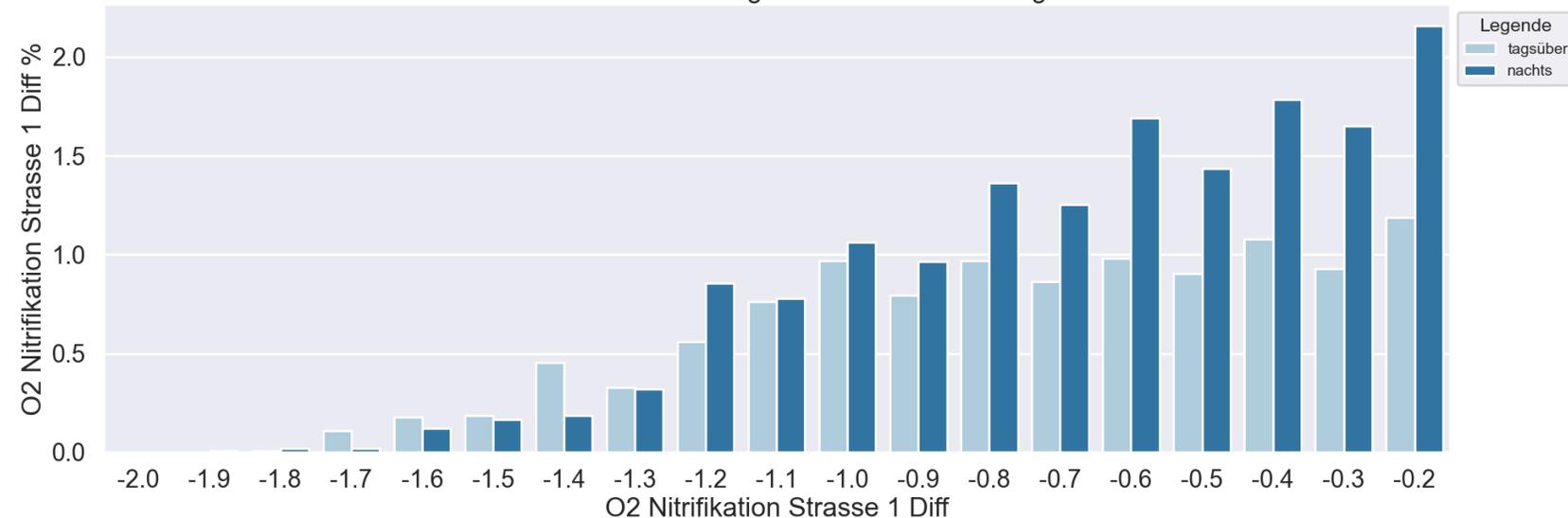
3. Konzept

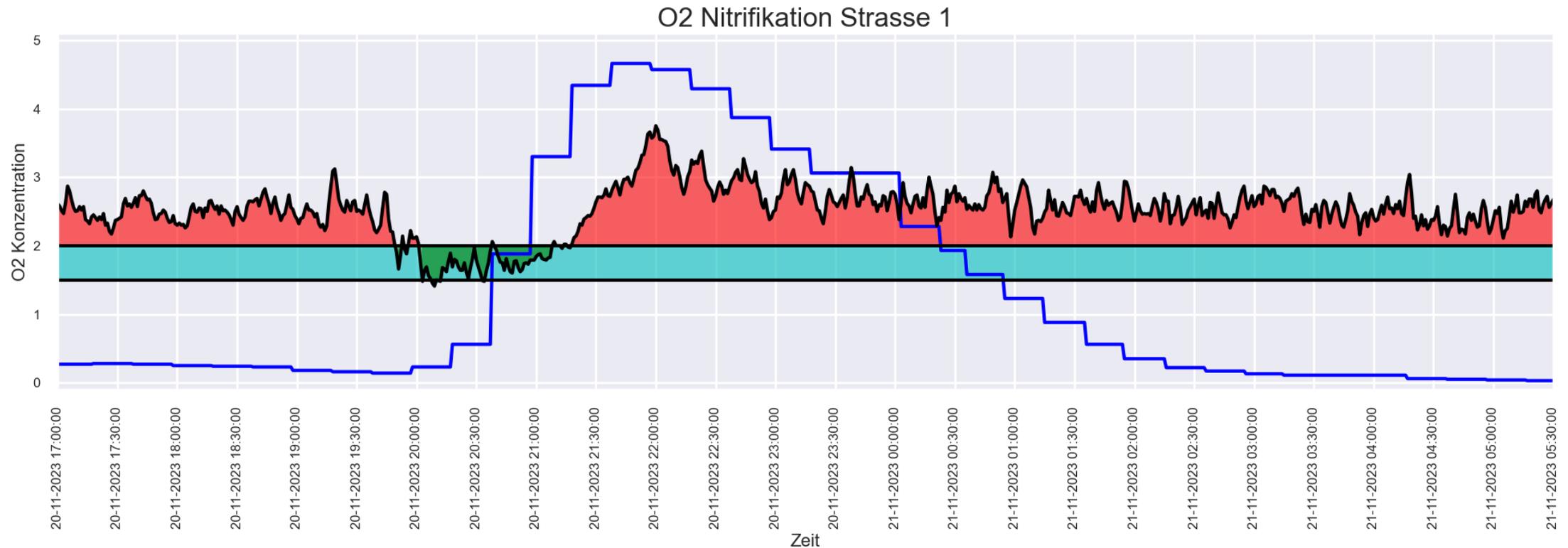
- Deutlich mehr Abweichung nach oben als nach unten
- Oberen Abweichungen befinden sich meist in einem Bereich bis 3 mg/l (+ 1.0 mg/l)
- Abweichungen nach unten scheinen treten häufiger in der Nacht während Abweichungen nach oben öfters am Tag auftreten

Nitrifikation Strasse 1 - Verteilung Sauerstoff-Abweichung nach oben



Nitrifikation Strasse 1 - Verteilung Sauerstoff-Abweichung nach unten





- Den Großteil der Zeit übersteigt die Sauerstoff-Konzentration den Zielwert von 2.0 mg/l
- Wenn die Ammonium-Konzentration ansteigt, sinkt die Sauerstoff-Konzentration zunächst ab, bevor sie auf über 3.0 mg/l ansteigt und sich anschließend auf den Durchschnittswert von etwa 2.5 mg/l einpendelt

→ Durchschnittlicher Sauerstoffgehalt im Belebungsbecken liegt bei **2.5 mg/l**

Überschreitung Sollwert			
Grenzwert	Nitrifikation 1 [%]	Nitrifikation 2 [%]	Summe [%]
2.0 mg/l	11.5	11.1	22.6
1.5 mg/l	+ 9.0	+ 9.2	+ 18.2
Kombiniert	20.5	20.3	<b>40.8</b>

Unterschreitung Sollwert			
Grenzwert	Nitrifikation 1 [%]	Nitrifikation 2 [%]	Summe [%]
2.0 mg/l	- 1.9	- 1.6	- 3.5
1.5 mg/l	- (- 1.2)	- (- 1.0)	- (- 2.2)
Kombiniert	- 0.7	- 0.6	<b>- 1.3</b>

Zusammenfassung Über-/Unterschreitung			
Grenzwert	Nitrifikation 1 [%]	Nitrifikation 2 [%]	Summe [%]
2.0 mg/l	9.6	9.5	19.1
1.5 mg/l	+ 10.2	+ 10.2	+ 20.4
Kombiniert	19.8	19.7	<b>39.5</b>

Energie-Einsparung		
Grenzwert	Energie [kWh]*	Preis [€]**
2.0 mg/l	28.000	8.400
1.5 mg/l	+ 28.000	+ 8.400
Kombiniert	56.000	16.800

\* Ermittelt aus Sensor Energie-Gebläse 1-3 mit einer Einsparung von 5% pro 0,5 mg/l Senkung

\*\* Angenommener Strompreis von 0,30 € / kWh

- Durchschnitts-Sauerstoff-Gehalt in den beiden Belebungsbecken liegt bei 2.5 mg/l
- Bei einer Senkung der Sauerstoff-Konzentration um 1 mg/l werden etwa 10 % der Stromkosten eingespart
- Bei einem Jahresverbrauch von etwa 560.000 kWh für die Belebung, beläuft sich dies auf etwa 56.000 kWh, was bei einem Strompreis von 0.30 €/kWh einer Summe von **16.800 €** pro Jahr entspricht

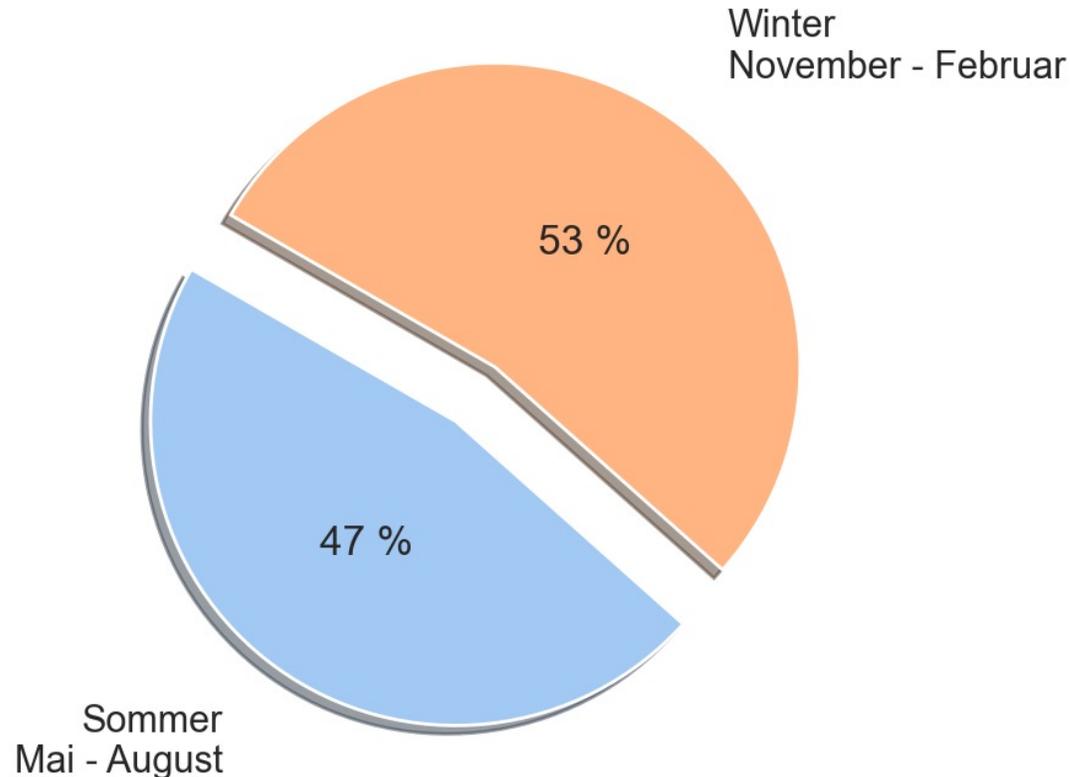
# Sauerstoff – Verbrauch Sommer/Winter

1. Datengrundlage

2. Potentialanalyse

3. Konzept

Durchschnittliche O<sub>2</sub>-Fracht Sommer/Winter

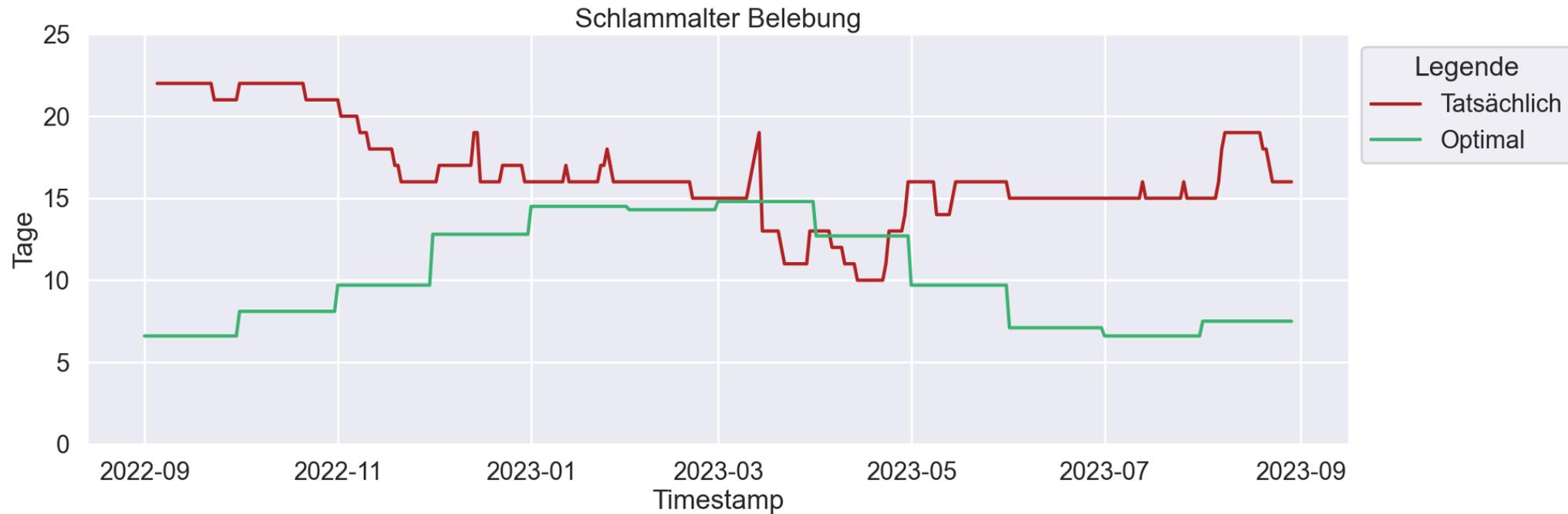


- Sauerstoff-Fracht gleichverteilt über Sommer- und Wintermonate
- Könnte auf ein zu hohes Schlammalter in den Sommermonaten hindeuten, da hier der Verbrauch theoretisch niedriger sein sollte

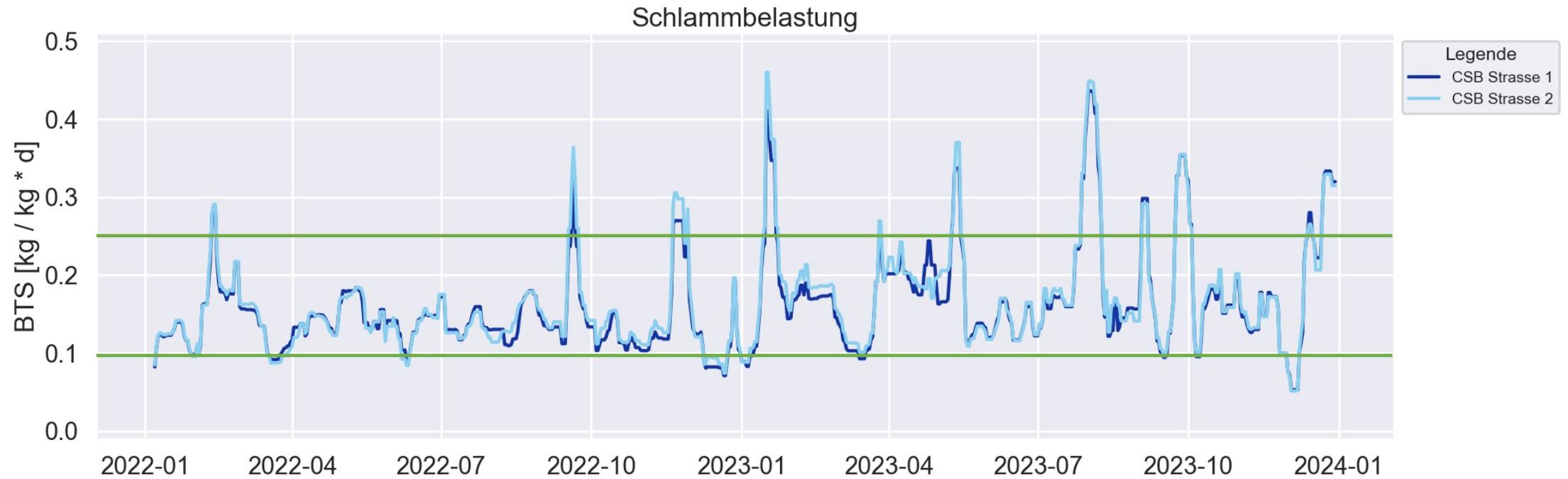
1. Steuerimpuls zur flexibleren Regelung der Sauerstoff Zugabe
2. Live Vorhersage von Sauerstoffwerten durch ML-Algorithmen.  
Anschließend angepasste Sauerstoffdosierung ähnlich der jetzigen Steuerung.  
Grenzwerte basierend auf  $\text{NH}_4\text{-N}$  Frachtwerten unter Einbezug weiterer Faktoren ( $\text{NH}_4\text{-N}$  Ablauf, Schlammalter,  $\text{NO}_3\text{-N}$  etc.) → 10-15 Leitparameter
3. Anpassung der „Reaktionsgeschwindigkeit“ der Sauerstoffzugabe durch frühzeitiges bzw. präventives Steuern der Grenzwerte

## Vorgehensweise:

1. Bestimmung des optimalen Schlammalters sowie des tatsächlichen Schlammalters getrennt nach Straße
2. Bestimmung der Schlammbelastung
3. Kontrolle des Schlammindex
4. Überprüfung des C : N : P Verhältnisses (Soll = 200 : 5 : 1)

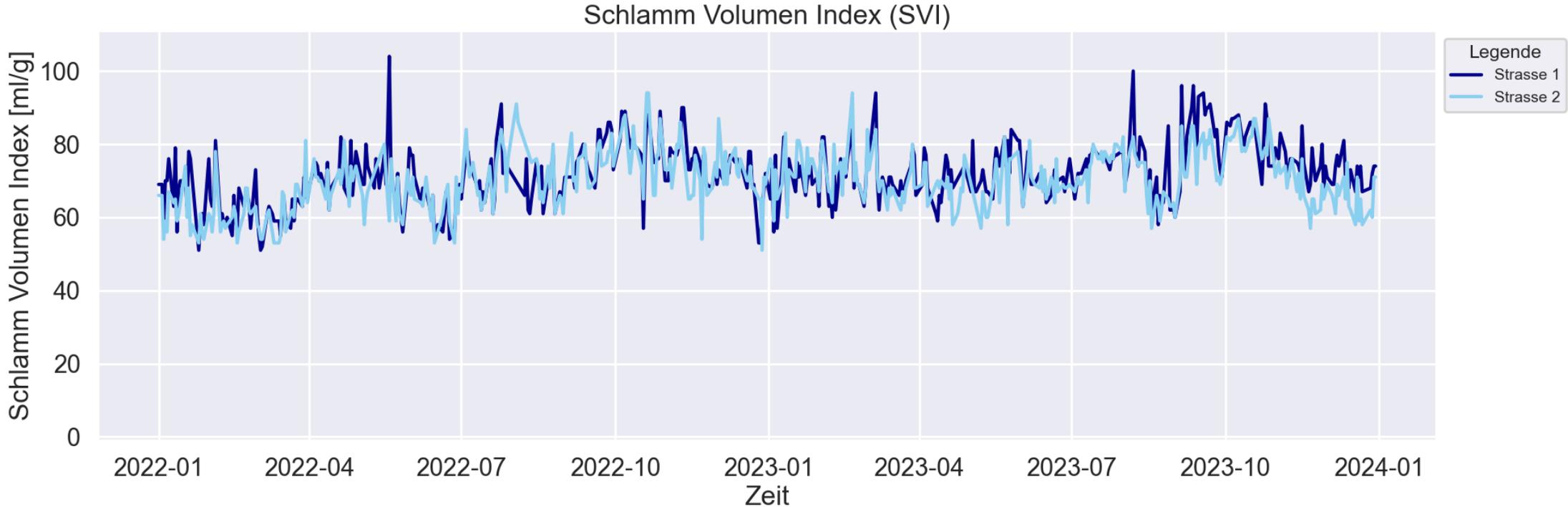


Kein wirklicher Unterschied zwischen Sommer und Winterbetrieb (Schlammalter wird kaum angepasst)

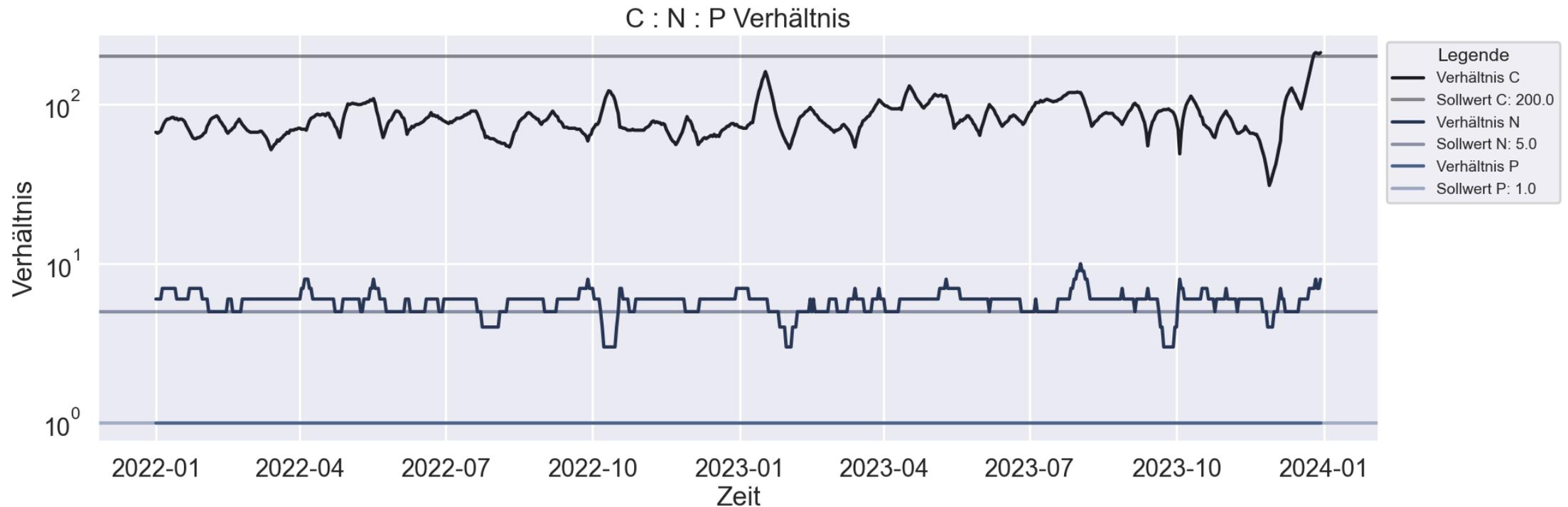


- Im Mittel befindet sich die Schlammbelastung mit 0.21 im Optimal Bereich zwischen 0.10 und 0.25
- Einzelne Spitzen nach oben sowie nach unten treten auf

# Schlammalter – Schlammindex (SVI)



Schlamm Volumen Index liegt unter dem kritischen Grenzwert von 150 ml/g



Das durchschnittliche Verhältnis liegt bei 83 : 6 : 1 und weicht damit vor allem beim CSB deutlich vom optimalen Verhältnis (200 : 5 : 1) ab:

1. Abweichung C: - 117
2. Abweichung N: + 1

1. Zwei mögliche Herangehensweisen: Steuerimpuls oder Entscheidungshilfen basiert
  - a) Eine automatische Steuerung bietet den Vorteil das eine deutlich präzisere Steuerung ermöglicht wird (Bspw. in der Nacht oder am Wochenende) sowie Fehler bei der Umsetzung verhindert werden
2. Anpassung des Schlammalters an die „optimalen“ Werte unter Berücksichtigung der Schlammbelastung
3. Anpassung zwischen Sommer und Winter Betrieb (Langsamer Übergang um Biologie zu „schützen“)
4. Eventuelle Maßnahmen zur Verbesserung des C:N:P Verhältnisses

## Vorgehensweise:

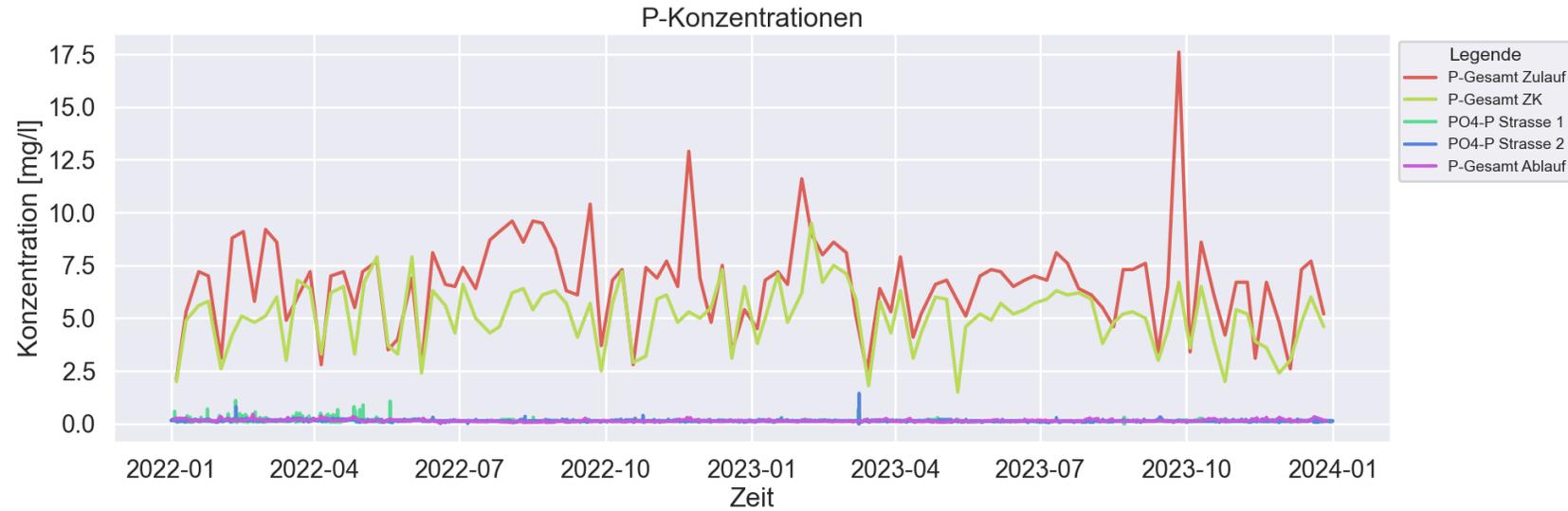
1. Betrachtung der Phosphat-Konzentrationen, sowie der Phosphat-Fracht
2. Fällmittel-Verbrauch im Hinblick auf die Phosphat-Konzentration
3. Analyse der Fällmittel-Nutzung über das Jahr
4. Aktuelle Säurekapazität vs. Optimale Säurekapazität

# Phosphat Fällung - P-Konzentrationen

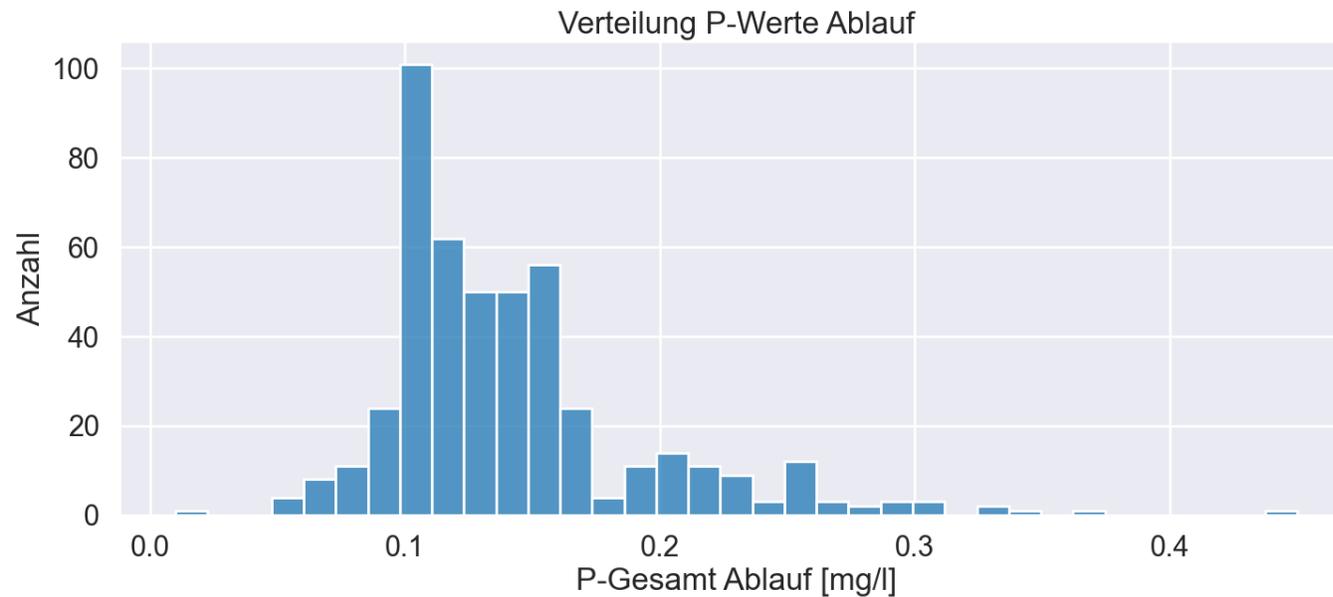
1. Datengrundlage

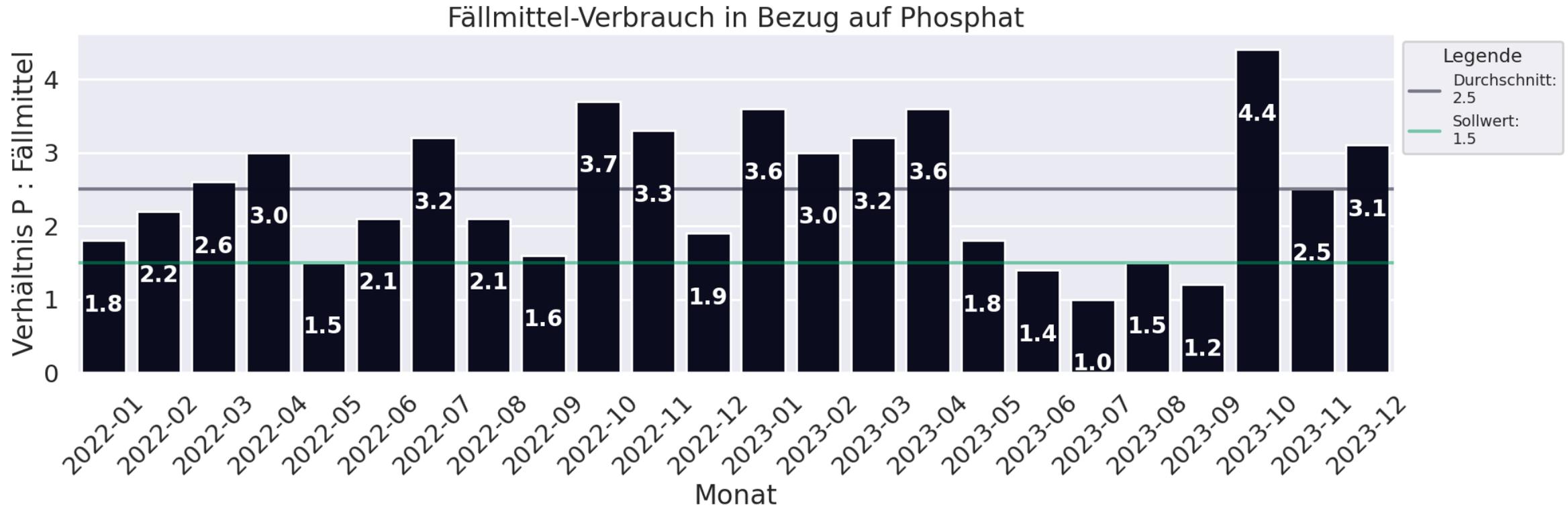
2. Potentialanalyse

3. Konzept



- Mittelwerte:
  - P-Gesamt Zulauf: 6.65 mg/l
  - P-Gesamt ZK: 5.10 mg/l
  - P-Gesamt Ablauf: 0.14 mg/l





- In den Wintermonaten ist das Verhältnis zwischen PO<sub>4</sub>-P und Fällmittel deutlich niedriger als in den Sommermonaten
- Die Abweichung vom Sollwert beträgt im Mittel 40%, wir gehen konservativ von einem Einsparungspotential zwischen **15-40%** aus

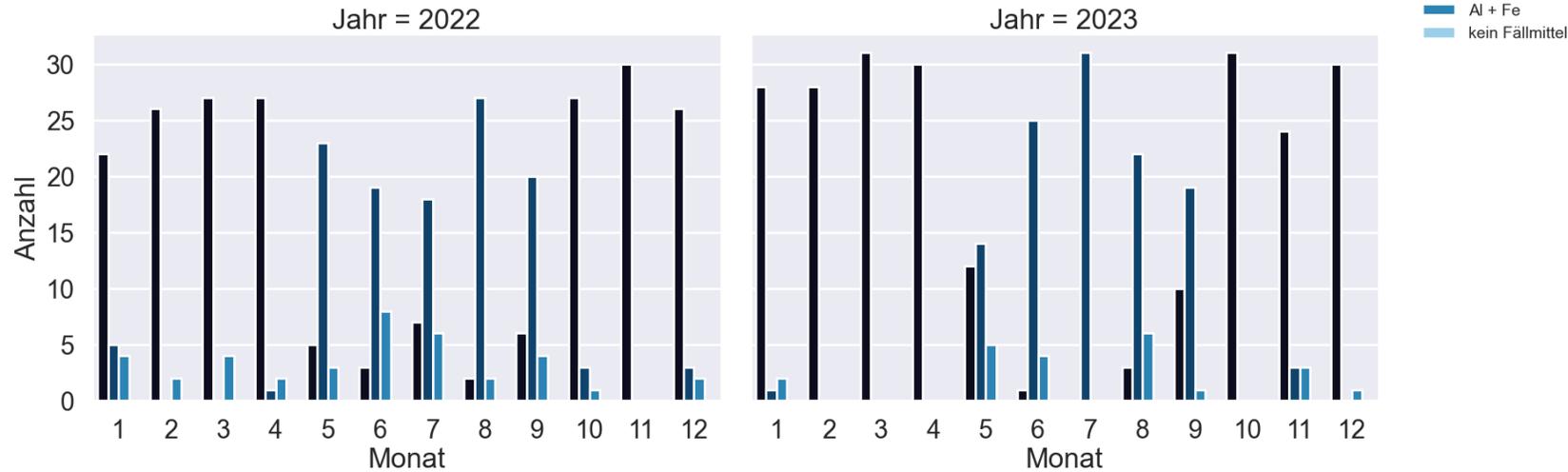
# Phosphat Fällung - Kennzahlen Verbrauch

1. Datengrundlage

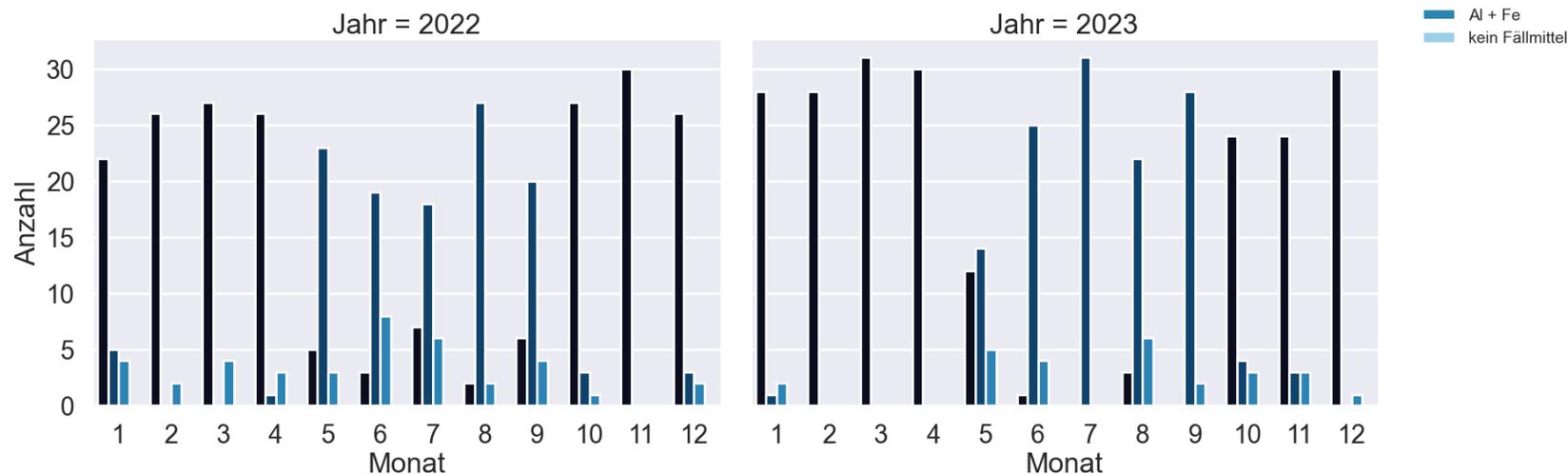
2. Potentialanalyse

3. Konzept

### Fällmittel Nutzung Strasse 1



### Fällmittel Nutzung Strasse 2



- In den Wintermonaten wird verstärkt Aluminiumsulfat genutzt, während in den Sommermonaten häufiger Eisen(II)chlorid eingesetzt wird

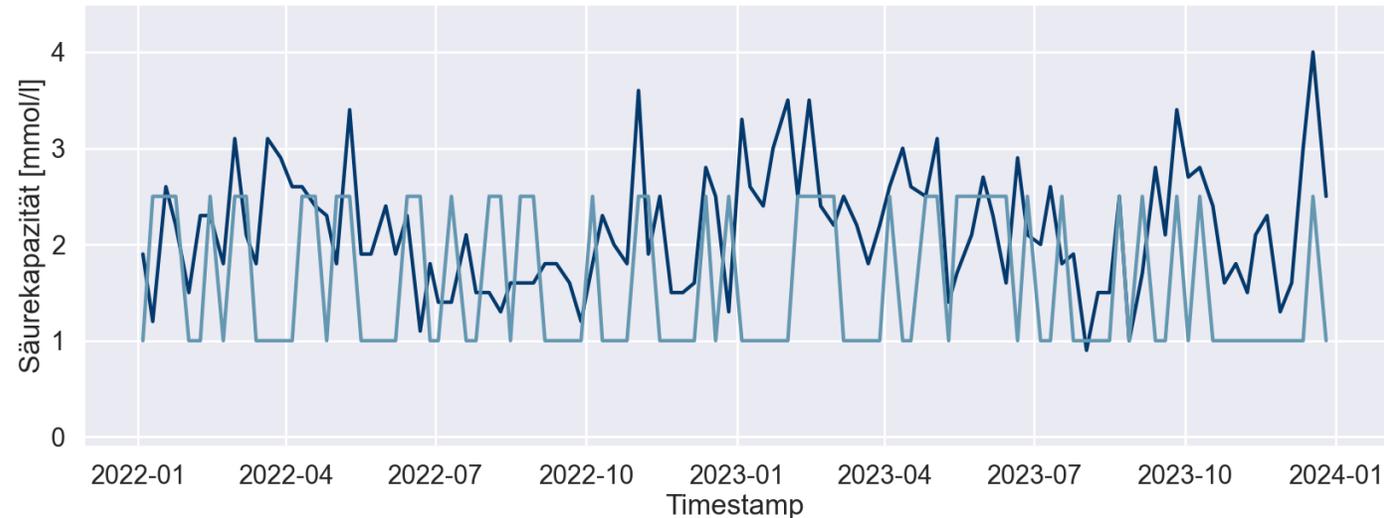
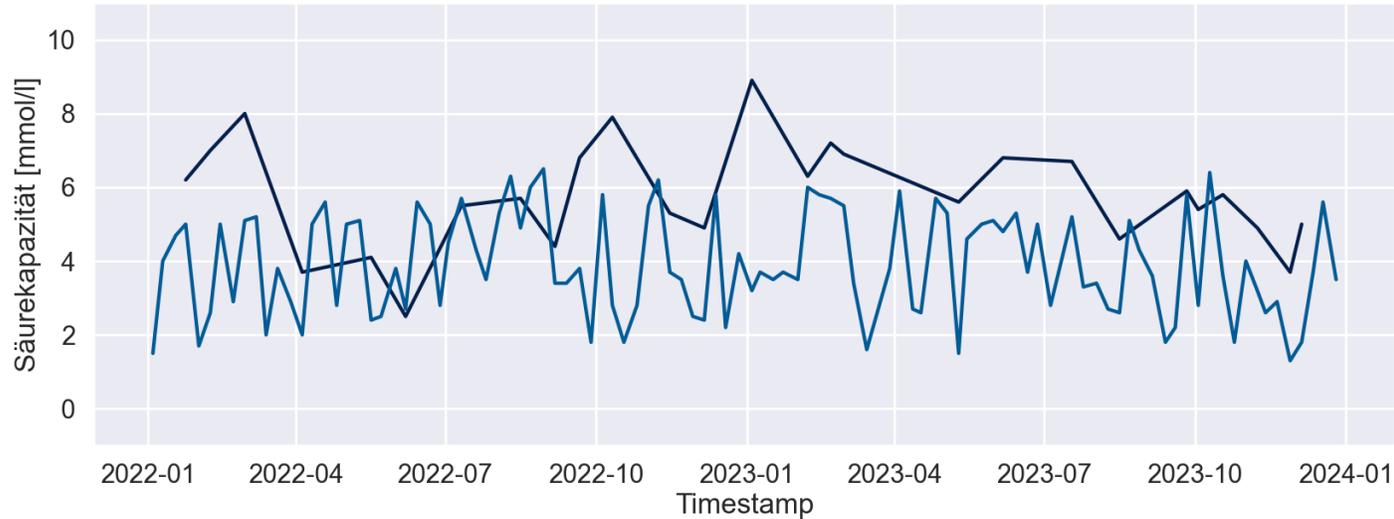
# Phosphat Fällung - Säurekapazität

1. Datengrundlage

2. Potentialanalyse

3. Konzept

Säurekapazität in Zulauf und Ablauf



- **Säurekapazität Zulauf Soll:**

Abschätzung erfolgt über Säurekapazität Ablauf Soll sowie verbrauchter Säurekapazität für Nitrifikation und Phosphat-Fällung

- Säurekapazität im Zulauf meist ausreichend
- allerdings findet Messung der Säurekapazität nur etwa alle 7 Tage statt

- **Säurekapazität Ablauf Soll:**

Säurekapazität im Ablauf meist über Soll-Wert (An trockenen Tagen mindestens 2.5 mmol/l, andernfalls mindestens 1 mmol/l)

1. Zwei mögliche Herangehensweisen: Steuerimpuls oder Entscheidungshilfen basiert
  - a) Eine automatische Steuerung bietet den Vorteil das eine deutlich präzisere Steuerung ermöglicht wird (Bspw. in der Nacht oder am Wochenende) sowie Fehler bei der Umsetzung verhindert werden
1. Automatische optimierte Fällmittelzugabe basierend auf mehreren Leitparametern (PO<sub>4</sub>-Ablauf, PO<sub>4</sub>-P Fracht, Temperatur, Säurekapazität etc.).
2. Erweiterung der Steuerung durch ML-Vorhersagen. (PO<sub>4</sub>-Ablauf in X Stunden, Fällmittel Effizienz unter gegebenen Umständen etc.)

Vorgehensweise:

Nähere Betrachtung von acht Sensorgruppen hinsichtlich Fehlmessungen zur anschließenden Demonstration der Fehlererkennung

- a) NO<sub>3</sub>-N
- b) NH<sub>4</sub>-N
- c) O<sub>2</sub>
- d) pH
- e) Temperatur
- f) Durchflussmengen

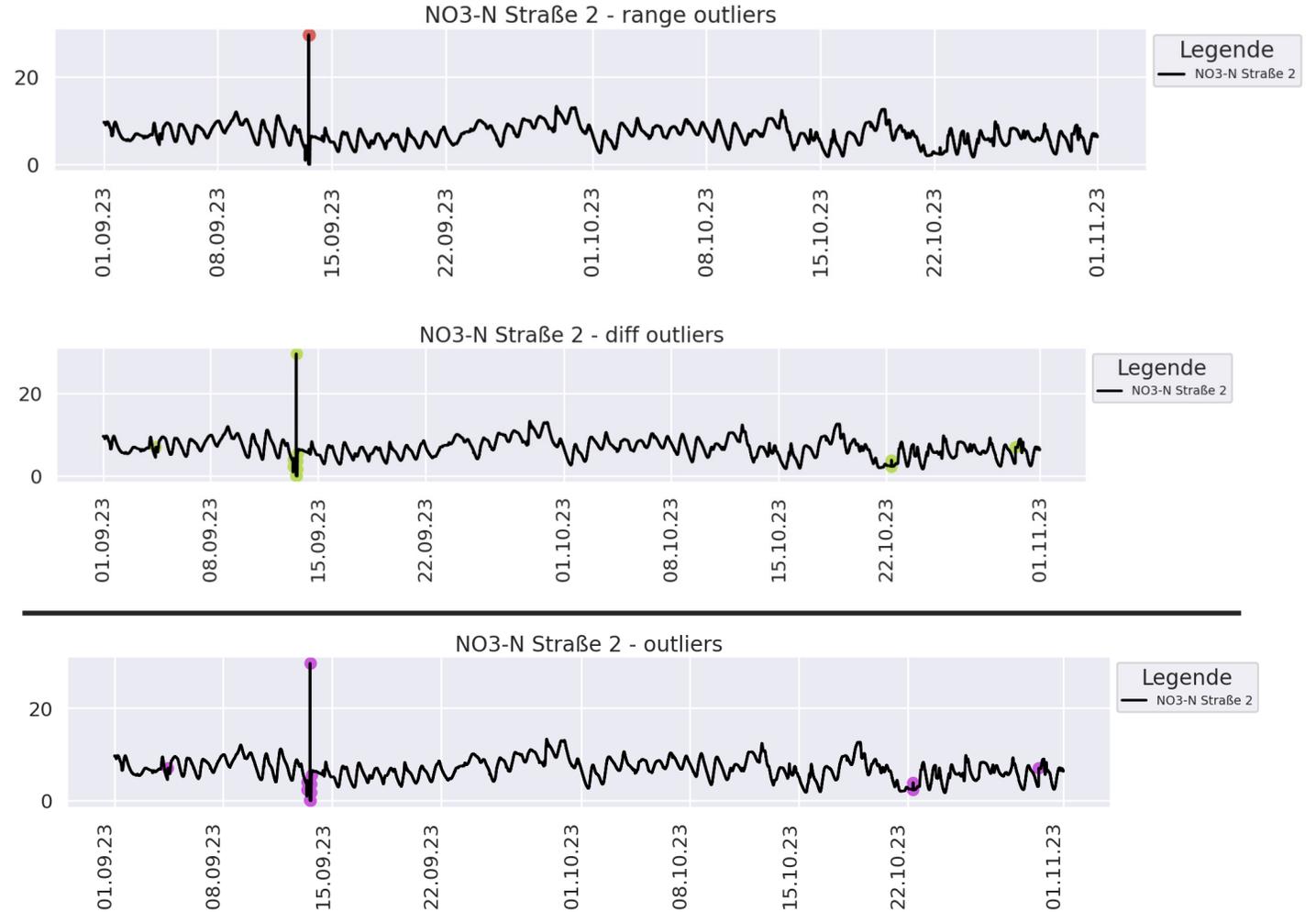
## Range & Diff

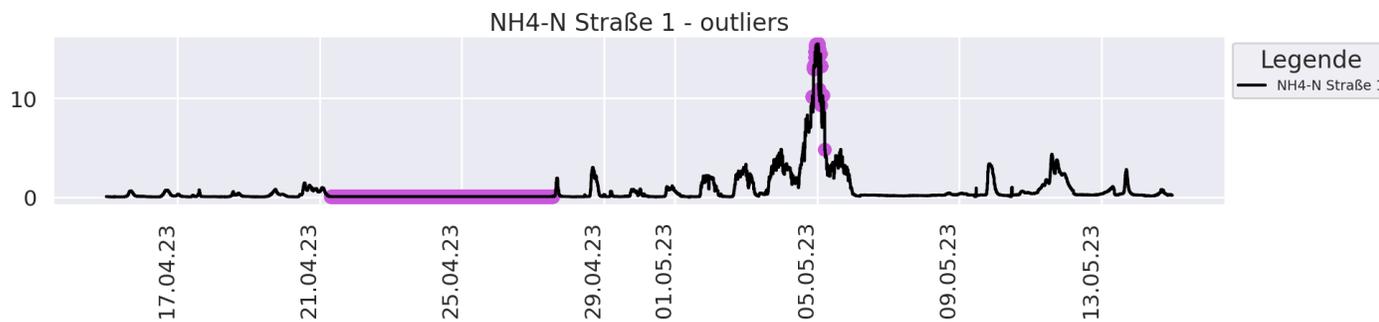
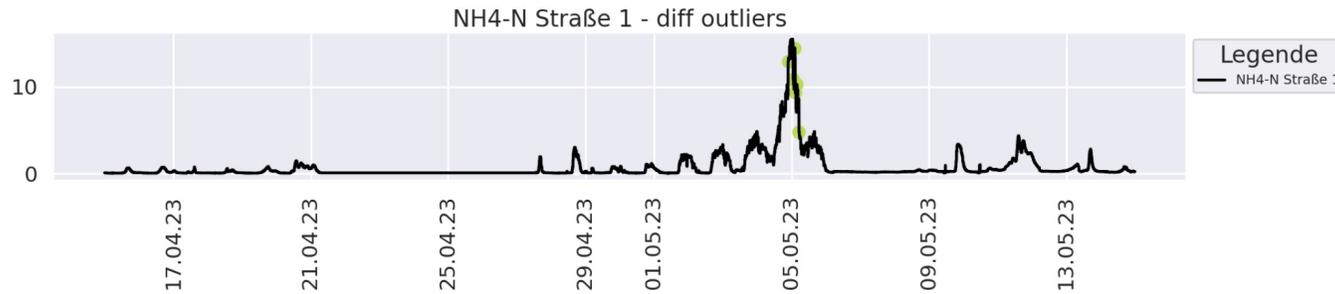
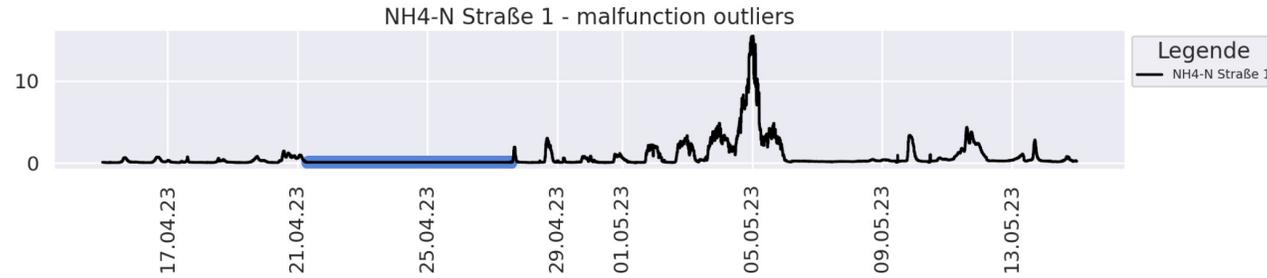
### Diff:

Aufeinander folgende Messwerte mit ungewöhnlich hohen Abweichungen werden als Ausreißer erkannt

### Range:

Setzen von festen Grenzwerten (Begrenzung nach oben und unten möglich)





## Range, Diff & Stagnation

### Diff:

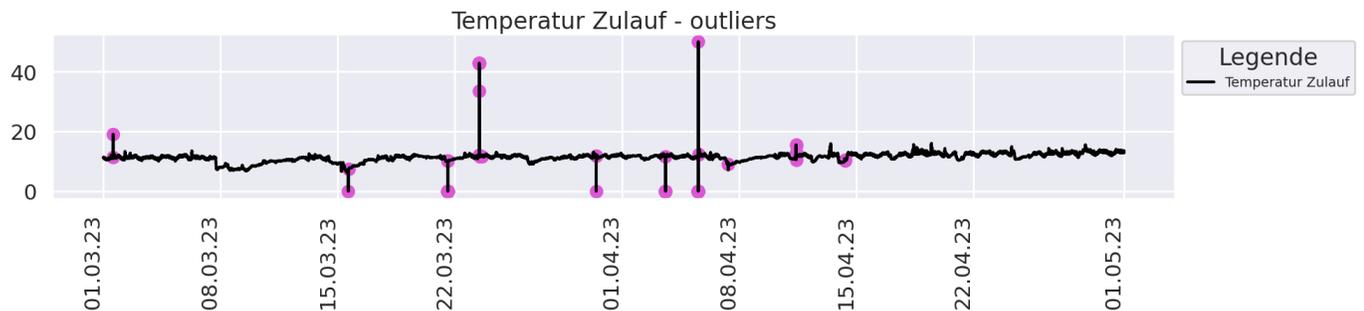
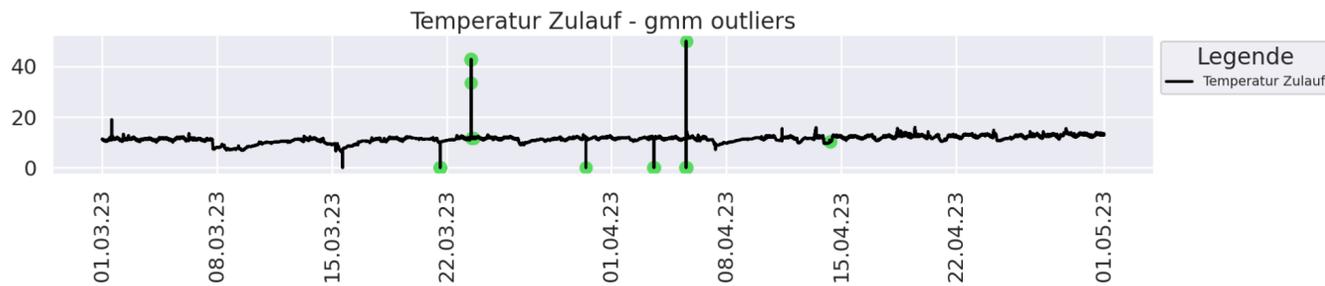
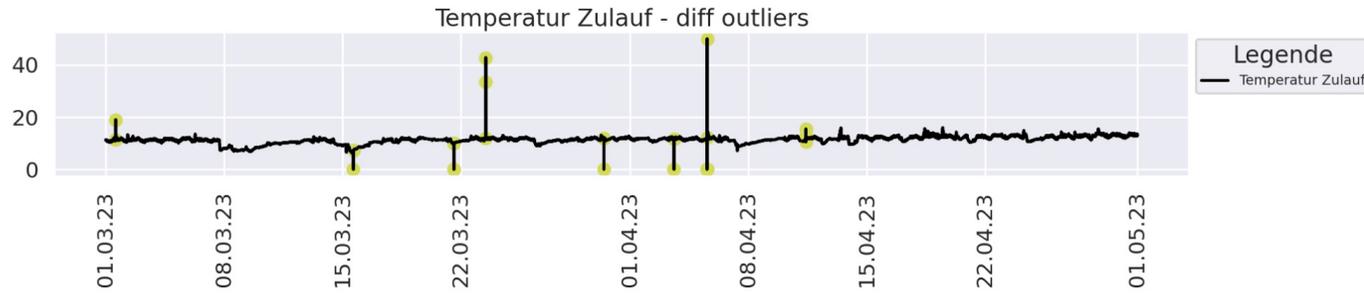
Aufeinander folgende Messwerte mit ungewöhnlich hohen Abweichungen werden als Ausreißer erkannt

### Stagnation / Malfunction:

„Hängenbleiben“ des Sensors wird detektiert – unabhängig von seinem Messwert-Bereich

### Alle Ausreißer:

- Zusammenfügen aller zuvor besprochenen Ausreißer-Methoden
- Zusätzliche Informationen durch Stagnations-Methode: Messwerte befinden sich nicht nur außerhalb des normalen Messbereichs, sondern Sensor ist stagniert



## Diff & GMM

### Diff:

Aufeinander folgende Messwerte mit ungewöhnlich hohen Abweichungen werden als Ausreißer erkannt

### GMM:

Verteilungsähnlichkeit zwischen Eingangssensoren – zu große erkannte Abweichungen stellen Ausreißer da

### Alle Ausreißer:

Diff-Methode erkennt teilweise Spitzen der Peaks nicht, da sie nur die Abweichungen zwischen aufeinander folgenden Messwerten betrachtet diese werden durch die GMM-Methode erkannt

1. Implementierung "einfacher" Fehlererkennungsmethoden für einen Großteil der verfahrenstechnisch relevanten Sensoren
2. Implementierung von komplexeren Erkennungsmechaniken für spezifische „problematische“ Sensoren
3. Visuelle Markierung von fehlerhaften Werten in nerou elements sowie Speicherung dieser Information in der Datenbank
4. Entscheidungshilfen basiertes Warnsystem für die Mitarbeiter falls bestimmte Sensoren länger ausgefallen sind oder geeicht/gereinigt werden müssen

Vier mögliche Ansatzpunkte für ML-Algorithmen

1. **Sauerstoff Regelung** (Steuerimpuls)
  - a) ca. 40% Sauerstoff / 10% Energie / 17.000€
2. **Fällmittel-Zugabe** (Steuerimpuls/Entscheidungshilfen)
  - a) 100% erhöhter Verbrauch im Durchschnitt
3. **Fehlererkennung** (Passiv + Entscheidungshilfen)
  - a) Bspw. 25 Ausfall Ereignisse in O2 Straße 1 und 2 im Jahr 2023
4. **Schlammalter** (Steuerimpuls/Entscheidungshilfen)
  - a) Starke Schwankungen im Schlammalter über das Jahr

Beim Sauerstoff und der Fällmittel Zugabe lässt sich ein Optimierungspotential deutlich erkennen/ermitteln. Die automatische Fehlererkennung sollte zu einer Verbesserung des Anlagenbetriebs führen. Über eine Steuerung/Optimierung des Schlammalters sollte diskutiert werden.

# Konzeptvorschlag

1. Datengrundlage

2. Potentialanalyse

3. Konzept

Der Konzeptvorschlag ist sehr Individuell und basiert auf der Potenzialanalyse.