

Künstlich neuronale Netze im Abwasser

Voraussetzungen, Herausforderungen und praktische Implementierung

30.09.2026

Anlagenübersicht Kläranlage Trier

Hauptkläranlage Trier:

Ausbaugröße:	170.000 EW
Stromverbrauch:	3.250.000 kWh/a
Gereinigtes Abwasser:	10.400.000 m³/a
Kanalnetzlänge:	500 km

Stromerzeugung:

- 2 BHKW: 3.070.000 kWh/a
- PV-Anlagen: 160.000 kWh/a
- Wasserkraftturbine: 70.000 kWh/a
- **Gesamt: 3.300.000 kWh/a**



Was sind künstlich neuronale Netze ?

- **Künstliche Neuronale Netze sind lernende mathematische Modelle**
  → Arbeiten nach dem Abbild biologischer Nervenzellen
  → erkennen Zusammenhänge in großen und komplexen Datenmengen
- **KNN können Prognosen oder Entscheidungen erstellen**
  → zukünftige Prozesswerte vorhersagen
  → optimale Sollwerte oder Betriebsweisen ableiten
- **Geeignet für komplexe Prozesse**
  → wenn viele Einflussgrößen gleichzeitig wirken
  → Wenn klassische mathematische Zusammenhänge nur schwer abzubilden sind
  → Wenn WENN-DANN Abfragen nicht ausreichend sind
- **KNN sind KEINE „KI“ !**
  → Ein KNN versteht den Prozess nicht wie ein Mensch, sondern erkennt mathematische Muster in Daten.
  → Es arbeitet nur innerhalb der Aufgaben, für die es trainiert wurde, und entwickelt keine eigenen Ziele oder Absichten.

Zielvorstellung 2013 → KlärKraftWerk Trier



Voraussetzung und Fragen vor dem Einsatz von KNN

- **Klare Zieldefinition**
  →Welcher Bereich der Kläranlage soll optimiert werden und mit welchem Ziel ?
  - Energieeinsparung
  - Verringerung von Verbrauchsmaterialien
  - Prozessoptimierung
- **Technische und betriebliche Rahmenbedingungen**
  → Welche Schnittstellen der Datenübertragung und Steuerung gibt es (PLS, SPS, usw.) ?
  → Welchen historischen Daten sind vorhanden und wie ist die Datenqualität ?
  → Ist das Personal vorhanden, um die benötigten Schnittstellen und Daten zu liefern ?
- **Informationsbeschaffung**
  → Gibt es vergleichbare Projekte ?
  → Austausch mit anderen Anlagen über bereits durchgeführte Projekte
  → ggf. Machbarkeitsstudie
- **Wann ist ein KNN sinnvoll ?**
  → Wenn klassische Regelungen oder Kennlinien an ihre Grenzen kommen
  → Technische Maßnahmen, wie die Erneuerung von Aggregaten, wurden bereits durchgeführt

Herausforderungen vor dem Einsatz von KNN

Das Frühzeitige Einbinden der MA ist das A und O !

- **Akzeptanz beim Betriebspersonals schaffen**
  Häufige Fragen und Ängste:
  → Mache ich meine Arbeit nicht gut genug ?
  → Holt das KNN mir meinen Arbeitsplatz weg ?
  → Welche Auswirkungen hat es auf meinen Arbeitsalltag ?
- Entscheidungen des KNN sind nicht immer unmittelbar nachvollziehbar. Auch hier muss ein „Vertrauen“ in das KNN aufgebaut werden.
- **So viel wie nötig, so wenig wie möglich!**
  → Welche Prozesse steuere ich als Betreiber noch selbst, welche das KNN?
  → Was passiert bei einem Ausfall der KNN? (Rückfallebene)
  → Welche Sicherheitsregeln müssen gelten?
- **IT-Sicherheit**
  → Sichere Kommunikation zwischen KNN, PLS und SPS (Einbindung der IT von Beginn an !)
  → Klare Zugriffsrechte und Schutz vor externen Zugriffen

Umsetzungspfad der KNN

Effizienzsteigerung

2017



Sauerstoffvorgaben in der biol. Reinigungsstufe anhand von Frachtprognosen

Jährliche Einsparung: Ca. 20%

2019



Steuerung der biol. P-Elimination und RLS-Kreisläufe

Jährliche Einsparung: Ca. 6%

Flexibilisierung

2024



Energetische Ausregelung des HKW und ETP mithilfe von Energieprognosen. Faulbehälter-bewirtschaftung

Erhöhung des Eigendeckungsgrades

2024/2025



Kanalnetz-management Verstetigung des Kläranlagenzulaufs, Kanal als Energiespeicher Erhöhung der Energieeffizienz, Verringerung der Abschlagsmenge

Analyse

2025



Datenvalidierung und Anomaliedetektion mittels KNN

Erfassung von Anomalien in gemessenen Daten

Ermittlung von „kleineren“ Stromverbrauchern

Transformation

2026

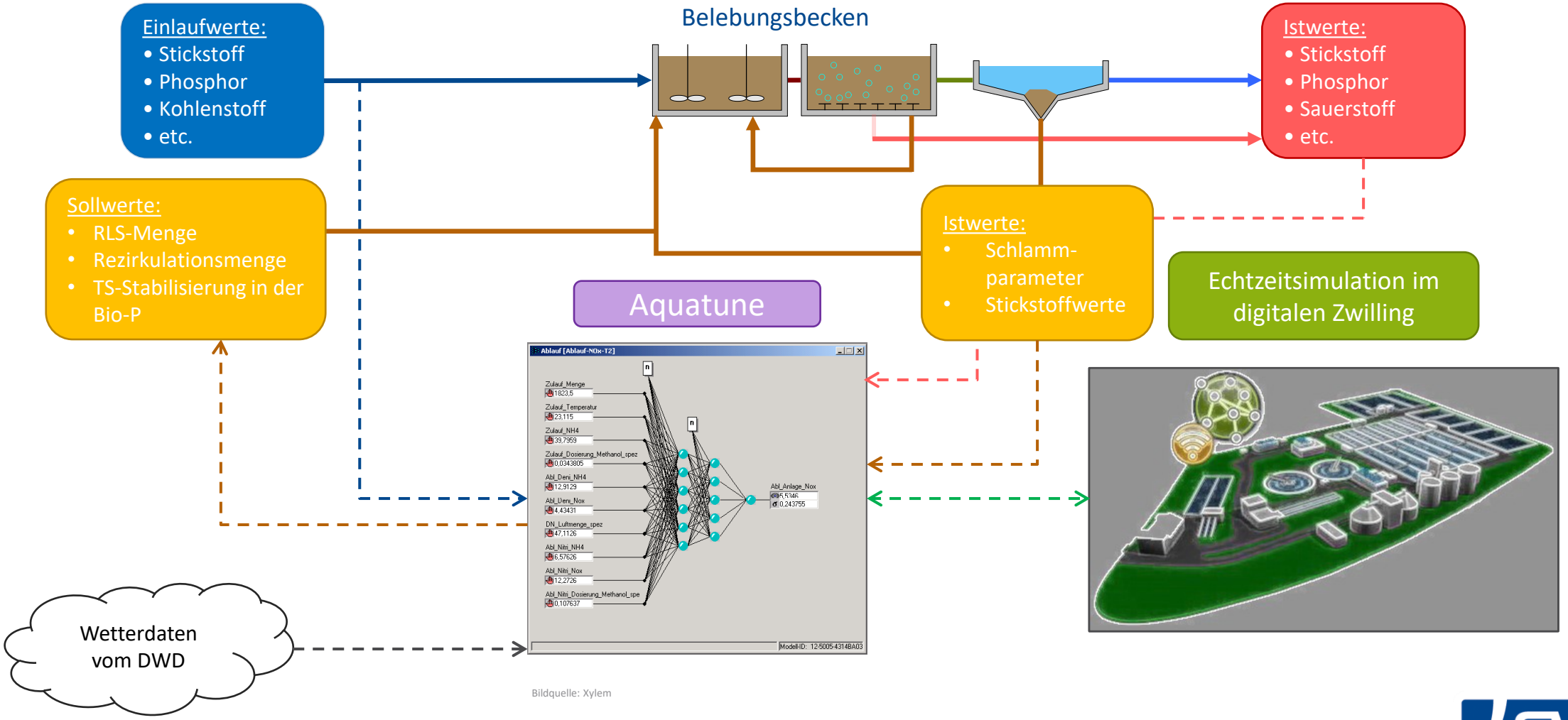


Überführung aller KNN in eine gemeinsame Cloud

Ausrichtung auf NIS2- & KRITIS-Konformität

Optimierung der Lachgasemissionen im biol. Bereich

Erste Schritte der KNN (2017 & 2019)



Bildquelle: Xylem

Herausforderungen während des Betriebes

Ein KNN ist nur so gut wie die Daten, die ihm zur Verfügung stehen.

- **Datenqualität dauerhaft sicherstellen**
  → Wie oft erfolgt ein Nachtraining?
  → Wer kontrolliert die Daten und wie?
- **Austausch mit dem Hersteller**
  → Aufwendiger Austausch, besonders während der Implementierung
  → Fehler direkt beseitigen!
- **Überwachung und Validierung des KNN**
  → Welche Mehrwerte werden tatsächlich erreicht?
  → Sind die Vorschläfe plausibel?
- **Störungen und Ausfälle**
  → Dokumentation beim Ausfall des KNN

Umsetzungspfad der KNN

Effizienzsteigerung

2017



Sauerstoffvorgaben in der biol. Reinigungsstufe anhand von Frachtprognosen

Jährliche Einsparung: Ca. 20%

2019



Steuerung der biol. P-Elimination und RLS-Kreisläufe

Jährliche Einsparung: Ca. 6%

Flexibilisierung

2024



Energetische Ausregelung des HKW und ETP mithilfe von Energieprognosen. Faulbehälter-bewirtschaftung

Erhöhung des Eigendeckungsgrades

2024/2025



Kanalnetz-management Verstetigung des Kläranlagenzulaufs, Kanal als Energiespeicher Erhöhung der Energieeffizienz, Verringerung der Abschlagsmenge

Analyse

2025



Datenvalidierung und Anomaliedetektion mittels KNN

Erfassung von Anomalien in gemessenen Daten

Ermittlung von „kleineren“ Stromverbrauchern

Transformation

2026

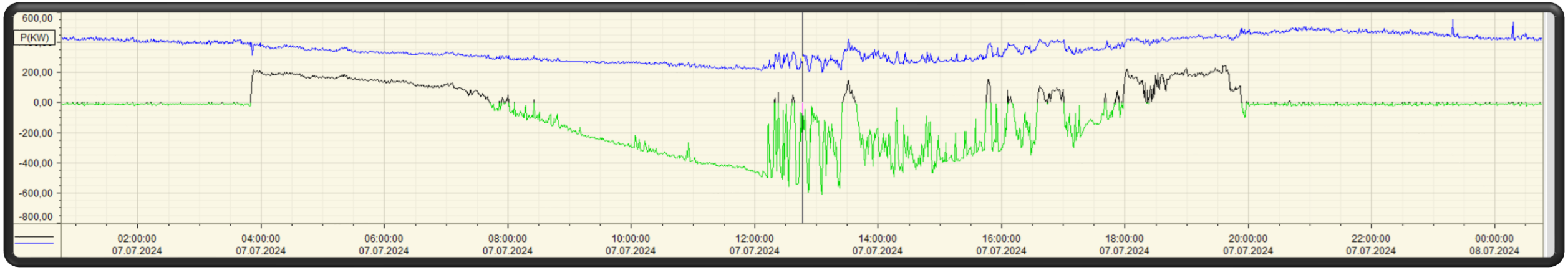


Überführung aller Systeme in eine gemeinsame Cloud

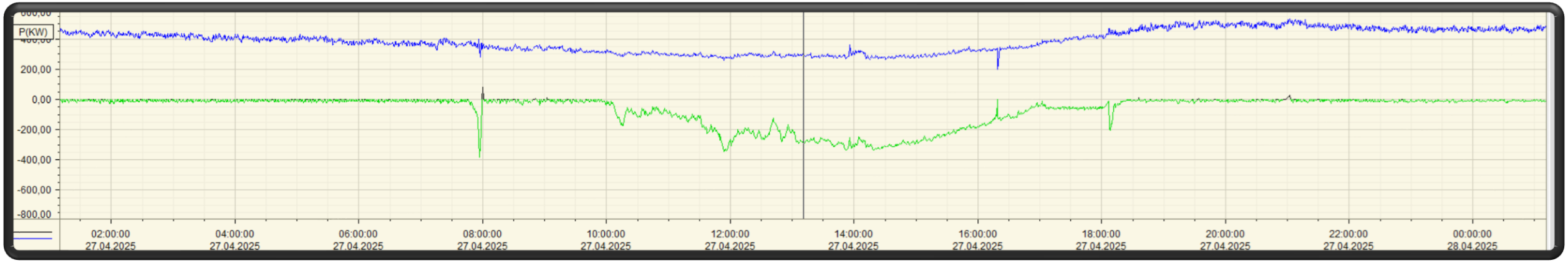
Ausrichtung auf NIS2- & KRITIS-Konformität

Optimierung der Lachgasemissionen im biol. Bereich

Lastgang ohne neuronales Netz

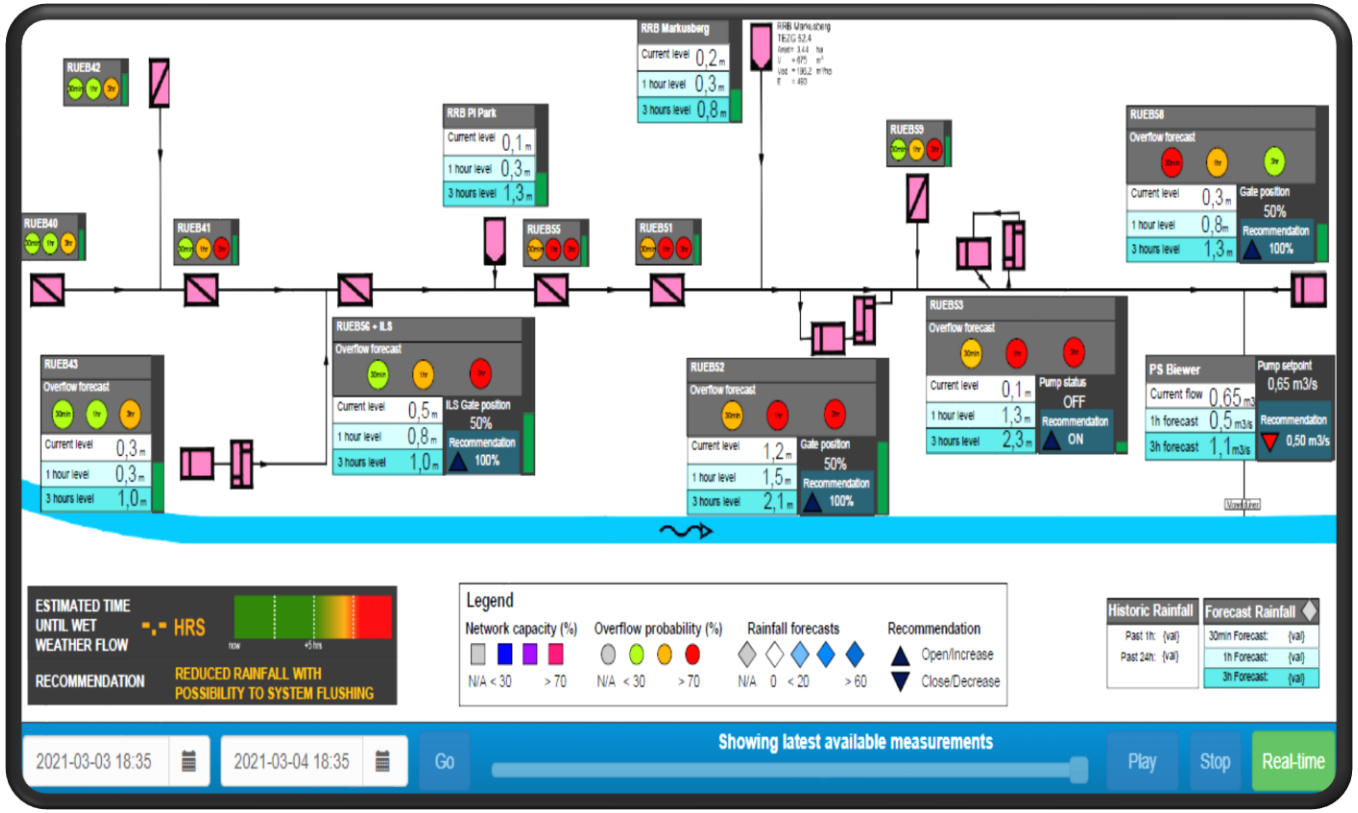


Lastgang mit neuronalem Netz



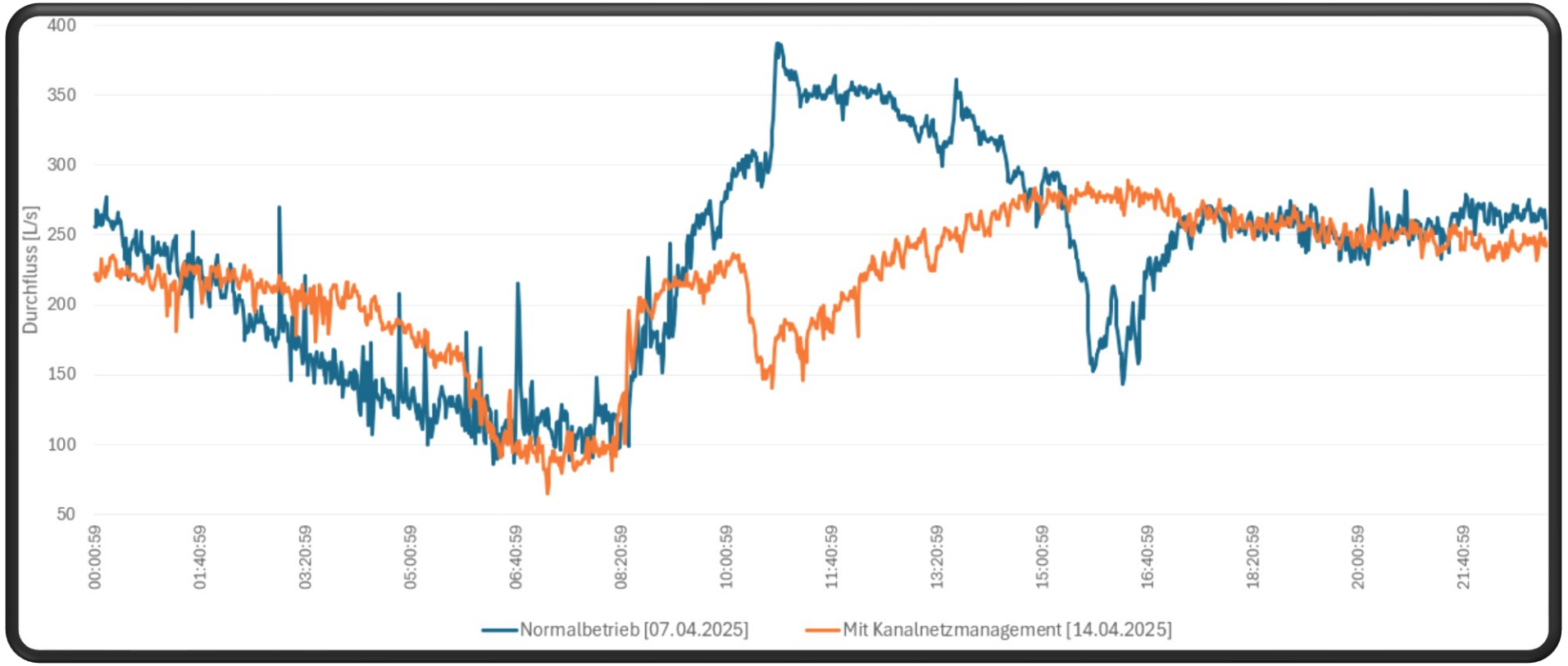
Kanalnetzmanagement (Stufe 4)

- Optimierte Nutzung der vorhandenen Speicherkapazität im Kanalnetz
  - Intelligente Vernetzung vorhandener Regenüberlaufbecken
  - Nutzung des Kanalvolumens als zusätzliches Speichervolumen
- Verstetigung des Zulaufes zur Kläranlage
  - Möglichkeit zum Betrieb des Klärprozesses im energieoptimierten Betriebspunktes
- Transparenz über die Auslastung des Kanalnetzes
  - Virtuelle Höhenstandsmessungen dienen zur Füllstandskontrolle von Pumpwerken und Regenüberlaufbecken



Bildquelle: Xylem

Testbetrieb der Verstetigung des Kläranlagenzulauf



- Im ersten Testbetrieb des Kanalnetzmanagements konnte eine Glättung des Zulaufes von rund 30% im Tagesgang erreicht werden
- Nächster Testbetrieb nach Optimierung der Programmierung ist geplant für November/Dezember 2025

Veränderungen durch den Einsatz von KNN

- **Wandel des Arbeitsumfeldes**
  → Bei Störungen oder Ausfällen muss sicher auf die konventionelle Betriebsweise gewechselt werden können
  → Neue Routinen für Kontrolle, Dokumentation und Bewertung der Anlage
  → Zusätzliches Wissen über Funktionsweise und Grenzen des KNN notwendig
- **Mehraufwand für die Pflege des KNN**
  → Datenqualität, Modellgüte und Schnittstellen müssen permanent überwacht werden
  → Nachtraining, Anpassungen und Abstimmung mit dem Hersteller einplanen
- **Neue Rollen und Qualifikationen**
  → Zusätzlicher Bedarf an Personal mit Schnittstellenkompetenz zwischen Verfahrenstechnik, Automatisierung und IT
  → Schulungen und Weiterqualifizierung des bestehenden Personals

Positive Effekte durch die eingesetzte KNN

- Verringerung des Energiebedarfs in der biologischen Reinigungsstufe von rund 26%
  - 20% Verringerung durch Optimierung der Belüftungsstragie
  - 6% Verringerung durch gezielte Steuerung des RLS

- Biologische Phosphatelimination von 30% auf etwa 70% gesteigert
  - Verringerung des eingesetzten Fällmittels um rund 30%
  - Kein Einsatz von aluminiumhaltigem Fällmittel zur Bekämpfung von fadenförmigen Bakterien seit 2019

- Verbesserung der Flockenstruktur im Belebtschlamm
  - Verringerung des Flockenabtriebs in der Nachklärung durch verbesserte Absetzeigenschaften
  - Geringerer Anteil an Schwimmschlamm auf der Nachklärung

- Stabilisierung des Reinigungsprozesses
  - Geringere Anfälligkeit gegenüber Stoßbelastungen
  - Kein „Auswaschen“ des Belebtschlamms aus der Biologie im Regenwetterfall



Umsetzungspfad der KNN

Effizienzsteigerung

2017



Sauerstoffvorgaben in der biol. Reinigungsstufe anhand von Frachtprognosen

Jährliche Einsparung: Ca. 20%

2019



Steuerung der biol. P-Elimination und RLS-Kreisläufe

Jährliche Einsparung: Ca. 6%

Flexibilisierung

2024



Energetische Ausregelung des HKW und ETP mithilfe von Energieprognosen. Faulbehälter-bewirtschaftung

Erhöhung des Eigendeckungsgrades

2024/2025



Kanalnetz-management Verstetigung des Kläranlagenzulaufs, Kanal als Energiespeicher Erhöhung der Energieeffizienz, Verringerung der Abschlagsmenge

Analyse

2025



Datenvalidierung und Anomaliedetektion mittels KNN

Erfassung von Anomalien in gemessenen Daten

Ermittlung von „kleineren“ Stromverbrauchern

Transformation

2026



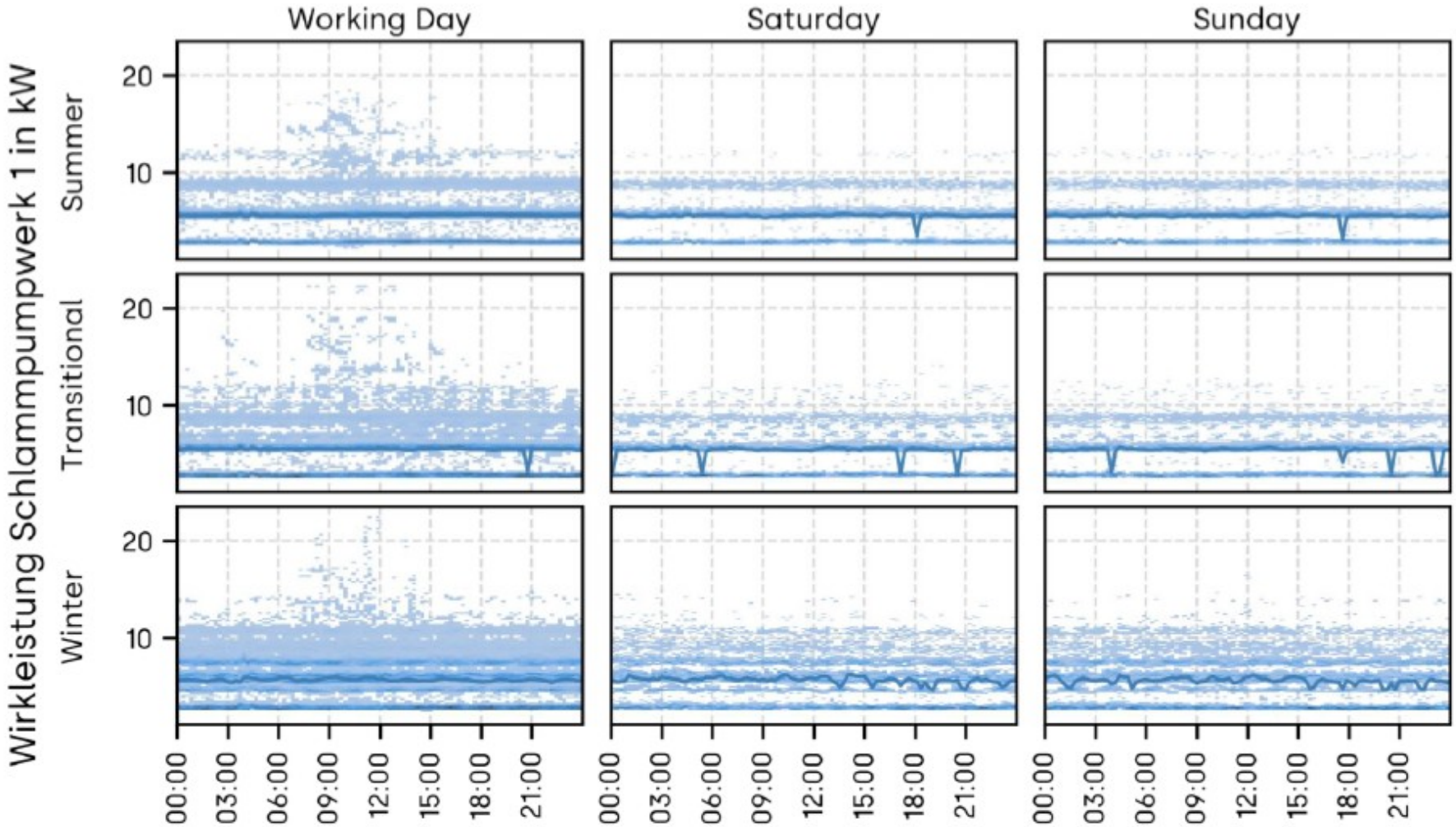
Überführung aller Systeme in eine gemeinsame Cloud

Ausrichtung auf NIS2- & KRITIS-Konformität

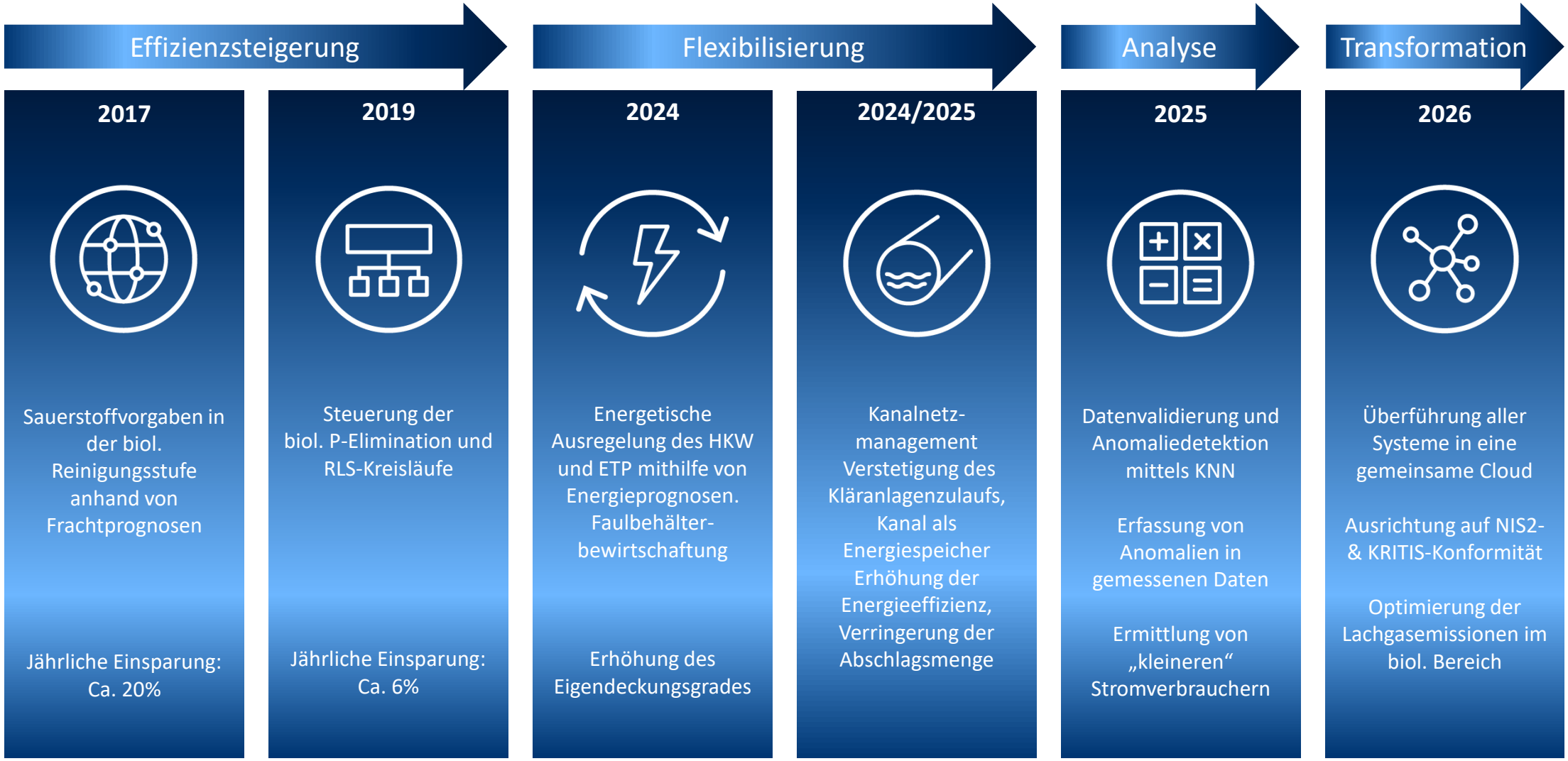
Optimierung der Lachgasemissionen im biol. Bereich

Datenvalidierung, Anomaliedetektion und Clusteranalyse

- Möglichkeit zur Saison- und Tagesanalyse
- Die visuelle Darstellung ermöglicht die Entwicklung von neuen und energieoptimierten Betriebsstrategien
  - Automatisierung von händig betriebenen Prozessen
  - Umlegen von Pumpzeiten in Zeiten mit hoher Energieproduktion
- Anlagenspezifische Anomaliedetektion und -benennung
  - Ermittlung von „Kleinstverbrauchen“
  - Frühzeitiges Erkennen von Verschleiß oder Abnutzung an Anlagenbauteilen



Thema 2: Cloudlösung oder lokaler Betrieb der KNN ?



Wir denken heute schon an morgen.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Marius Barbian
SWT-AöR
Tel.: 0651 – 717 7301
Marius.Barbian@swt.de