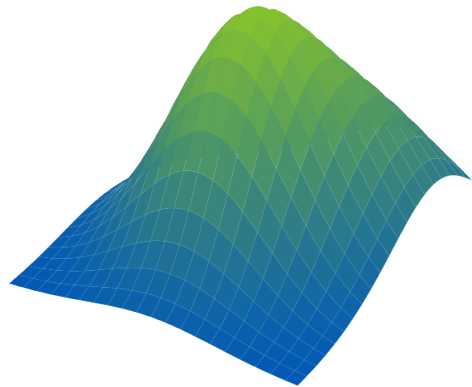


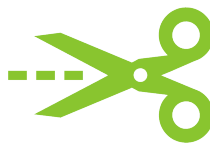
Produktübersicht

Der adaptive Kennfeldregler (adaptive map controller – kurz: amc) ist eine innovative Lösung zur Vorgabe eines Sauerstoffsollwerts im Belebtschlammverfahren. Sein selbstoptimierender Algorithmus ermöglicht es dem Regler, einen optimalen Sauerstoffgehalt in den Belebungsstraßen zu erzielen. Dadurch wird die Abwasserreinigung effizienter und der Energieverbrauch des Belüftungssystems wird reduziert. Der adaptive Kennfeldregler ist für den Einsatz in industriellen und kommunalen Kläranlagen konzipiert. Dabei kann der Kennfeldregler sowohl in Anlagen mit dauerbelüfteter Nitrifikation als auch in Belebungsbecken mit intermittierender Belüftung eingesetzt werden.



Minimierung des Energieeinsatzes

Durch den Einsatz des adaptiven Kennfeldreglers wird der Sollwert für die Belüftung optimal an den aktuellen Sauerstoffbedarf angepasst, so dass immer nur so viel Sauerstoff in die Belebungsstrecke gelangt, wie gerade benötigt wird, und somit nur so wenig Energie wie nötig verbraucht wird.



Kappung der Ammonium- Spitzenbelastung

Der adaptive Kennfeldregler enthält eine Niederschlagserkennung. Diese ermöglicht bei einsetzendem Regen eine frühzeitige Sauerstoffanreicherung im Belebungsbecken und sorgt somit für eine Verminderung der Ammoniumspitzen.



Automatische Generierung von Anlagenwissen ohne historische Daten

Der adaptive Kennfeldregler baut sein Anlagenwissen in Form eines mehrdimensionalen Kennfeldes zur Laufzeit selbstständig auf. Erste Optimierungen werden bereits nach wenigen Betriebsstunden durchgeführt. Historische Messdaten sind somit nicht erforderlich und der Einsatz des Kennfeldreglers ist auch bei Neuanlagen möglich.

Technische Spezifikationen

Der adaptive Kennfeldregler wird auf einem BOX-PC von Phoenix Contact betrieben. Die wichtigsten technischen Spezifikationen des BOX-PCs sind in den folgenden Tabellen aufgeführt.¹

Versorgung

Versorgungsspannung	24 V DC
Netzteil	24 V DC
Stromaufnahme maximal	2.04 A
Stromaufnahme typisch	0.82 A

Umgebungsbedingungen

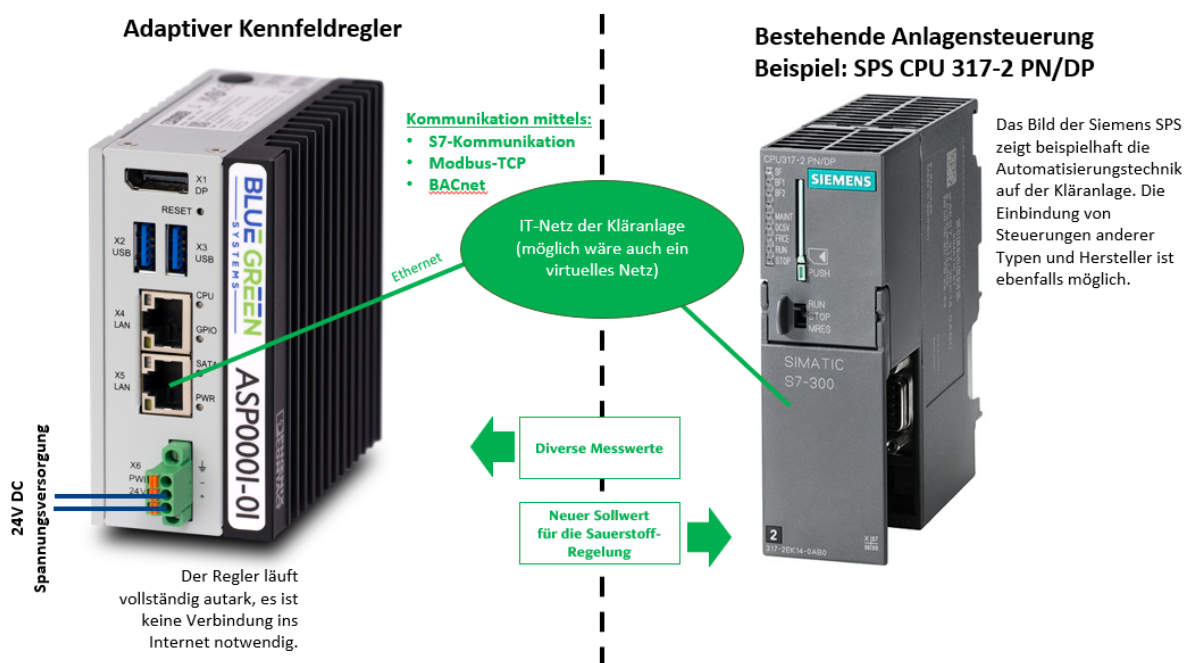
Schutzart	IP30
Umgebungstemperatur (Betrieb)	−20 °C bis 60 °C
Zulässige Luftfeuchtigkeit (Betrieb)	10 % bis 95 %

Außenmaße

Breite	100 mm
Höhe	80 mm
Tiefe	100 mm

Integration in die Automatisierungsanlage

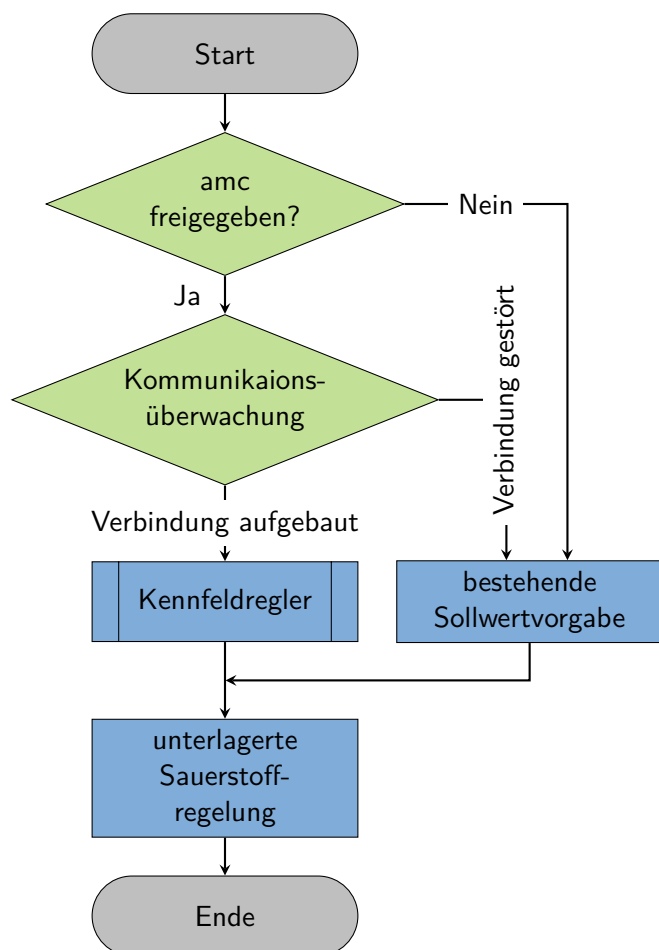
Die Verbindung zur Automatisierungseinrichtung kann über die folgenden Schnittstellen hergestellt werden. Weitere Kommunikationsschnittstellen können auf Anfrage realisiert werden.



¹ Siehe <https://www.phoenixcontact.com/de-de/produkte/box-pc-v13-upc-1459506> für mehr Informationen.

Die Einbindung des adaptiven Kennfeldreglers erfolgt direkt in die Prozessebene des Automatisierungssystems. Der Eingriff erfolgt direkt anstelle der im Automatisierungsprogramm realisierten Sauerstoffsollwertvorgabe für das jeweilige Belebungsbecken. Dieser kann anlagen-spezifisch unterschiedlich realisiert sein und wird auch bei Ausfall des adaptiven Kennfeldreglers benötigt. Die vorhandene Sauerstoffregelung, die der Sollwertvorgabe unterlagert ist, wird durch den Kennfeldregler nicht ersetzt oder verändert. Es wird lediglich die Vorgabe des Sollwertes durch unser System vorgenommen.

Da der Kennfeldregler direkt in die Prozessebene der Automationsstation integriert wird und kein vordefiniertes Kennfeld auf Basis historischer Daten benötigt, reduziert sich die Implementierungszeit auf ein Minimum, so dass die Installation in 1 bis 2 Tagen durchgeführt werden kann.



Voraussetzungen für den Einsatz des adaptiven Kennfeldreglers

Je detaillierter eine Kläranlage mit Online-Messungen messtechnisch erfasst ist, desto spezifischer kann der Kennfeldregler auf die jeweilige Aufgabenstellung angepasst und individuell eingestellt werden. Für die Optimierung des Sauerstoffgehaltes in der Nitrifikation reichen Zulaufmenge, Temperatur, Sauerstoffgehalt und Ammoniumkonzentration im Ablauf der Anlage bereits für sehr gute Ergebnisse aus.

Abgrenzung zu den Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI)

Neuronale Netze versuchen immer, sich an die vorhandenen Trainingsdaten so anzupassen, dass sie diese in Summe bestmöglich widerspiegeln. Dadurch kommt der Auswahl der Trainingsdaten eine immense Bedeutung zu und bei schlecht ausgewählten Trainingsdaten wird das Neuronale Netz keine sinnvollen Ergebnisse produzieren. Dagegen erlernt unser Kennfeldregler im laufenden Betrieb zu jeder spezifischen Situation die richtige Ausgabe in dem Moment, wo diese Situation auftritt, so dass man sich über die Auswahl von *Trainingsdaten* überhaupt keine Gedanken machen muss.

Im Gegensatz zu Neuronalen Netzen ist unser Kennfeldregler auch kein *Blackbox*-System. Die Schritte des Kennfeldreglers sind klar nachvollziehbar und können im Nachhinein durch verschiedene Auswertungen nachvollzogen werden. Gegenüber einem neuronalen Netz ist dies ein wesentlicher Vorteil, der das Vertrauen des Kläranlagenbetreibers sichert.

Zusätzlich liefert der Kennfeldregler eine Protokolldatei, welche die Entwicklung des Kennfeldes sowie dessen Entscheidungen in Form eines Performanceprotokolls darstellt.

Referenzen

In diesem Abschnitt werden zwei erfolgreiche Einbauten des adaptiven Kennfeldreglers kurz vorgestellt: Der Einsatz des Kennfeldreglers auf der Kläranlage Oldenburg und auf der Kläranlage Bremen-Seehausen.

Kläranlage Oldenburg



Die Kläranlage Oldenburg ist mit 210.000 Einwohnern eine der größten Kläranlagen in Niedersachsen und verfügt über eine Belebungsstufe mit 4 parallel betriebenen Belebungsbecken. Auf

der Kläranlage Oldenburg wurde im Oktober 2023 der adaptive Kennfeldregler für die Belebungsstufe installiert. Die Anlage konnte durch den Einsatz des Kennfeldreglers über die Laufzeit eine durchschnittliche Energieeinsparung von 10 % erzielen. Die Kläranlage Oldenburg liegt energetisch, bezogen auf den Energie-

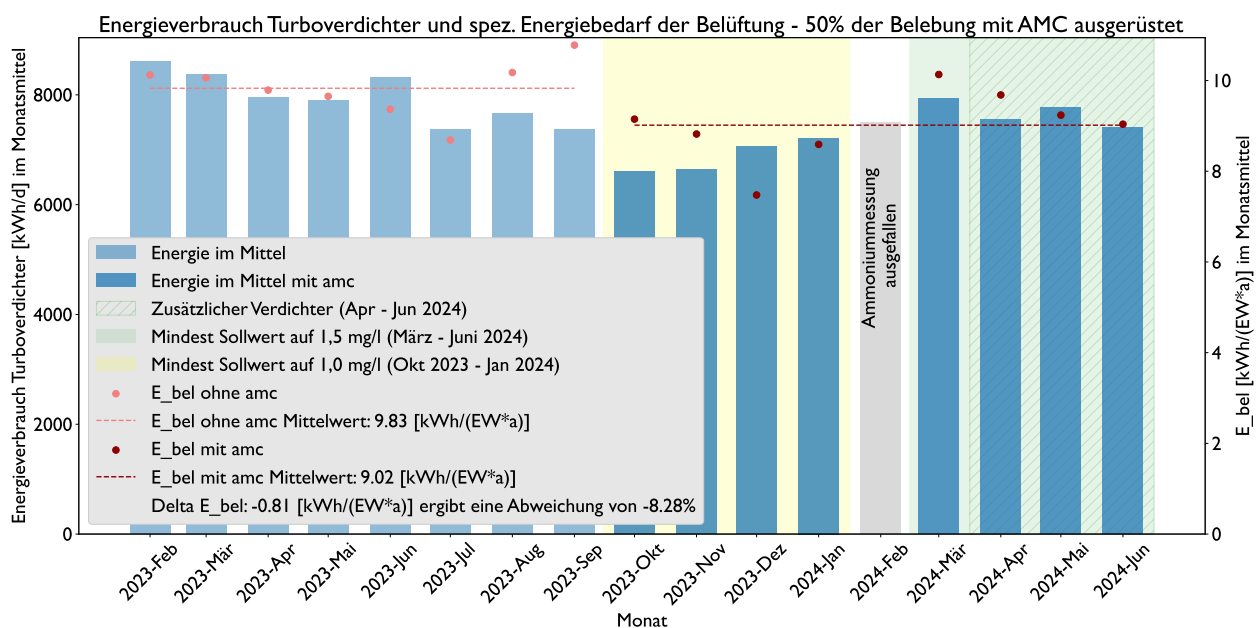


Abbildung 1: Energieauswertung der Belebungsstufe der Kläranlage Oldenburg

einsatz für die Belüftung der Belebungsbecken, bereits vor dem Einsatz des Kennfeldreglers mit einem Energieeinsatz von 9.83 [kWh/(EW · a)] unter den besten 10% der Kläranlagen in Deutschland (siehe Abb. 2). Im Mittel konnte der Energieeinsatz durch den Kennfeldregler um weitere 10 % gesenkt werden, wobei nur zwei der vier Belebungsbecken mit dem adaptiven Kennfeldregler ausgerüstet wurden.

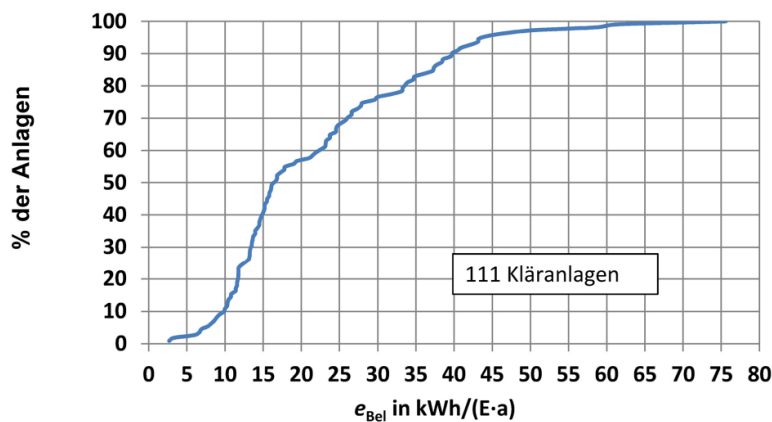


Abbildung 2: Spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung von Kläranlagen.

Quelle: DWA (2015). Arbeitsblatt DWA-A 216: Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen, Hennef. ISBN: 978-3-88721-276-6.

Die Kennfeldregelung wurde im Oktober 2023 mit einem Mindestsollwert von 1,0 mg/l gestartet, womit sehr gute Ergebnisse erzielt wurden, um jedoch die Anlagensicherheit zu keinem Zeitpunkt zu gefährden, wurde der Mindestsollwert im Februar 2024 auf 1,5 mg/l erhöht. Dabei wurde festgestellt, dass die Ammoniummessung, die als Messgröße in den adaptiven Kennfeldregler einfließt, fehlerhaft ist. Dadurch konnte sich der Regler in diesem Monat nicht optimal entwickeln. Das durch die fehlerhafte Sonde geführte Kennfeld, welches einen Wert von 0 mg/l ausgab und somit vom Kennfeldregler nicht als fehlerhafter Messwert erkannt werden konnte, wird ab März 2024 durch den Kennfeldregler selbst korrigiert.

Darüber hinaus wurde im April 2024 ein zusätzlicher Verdichter einer neueren Generation zur bestehenden Anlage in Betrieb genommen. Dadurch wird die bestehende Sauerstoffregelung verändert, was zu einem veränderten Anlagenverhalten führt. Die Regelung der Verdichter sieht nun vor, dass der neue Verdichter im Dauerbetrieb läuft und die alten Verdichter bei Bedarf zugeschaltet werden, was zu einem erhöhten Energieverbrauch führen kann. Es ist zu erkennen, dass sich der Kennfeldregler an das geänderte Verhalten anpasst und nun mit den neuen Bedingungen einen optimalen Sauerstoffeintrag bei möglichst geringem Energieeinsatz erreicht.

Trotz der aufgetretenen Schwierigkeiten und Änderungen an der Belebungsanlage konnte mit dem Kennfeldregler ein energetischer Vorteil von 10% erzielt werden, obwohl nur 50% der Kläranlage mit dem adaptiven Kennfeldregler ausgerüstet wurden.

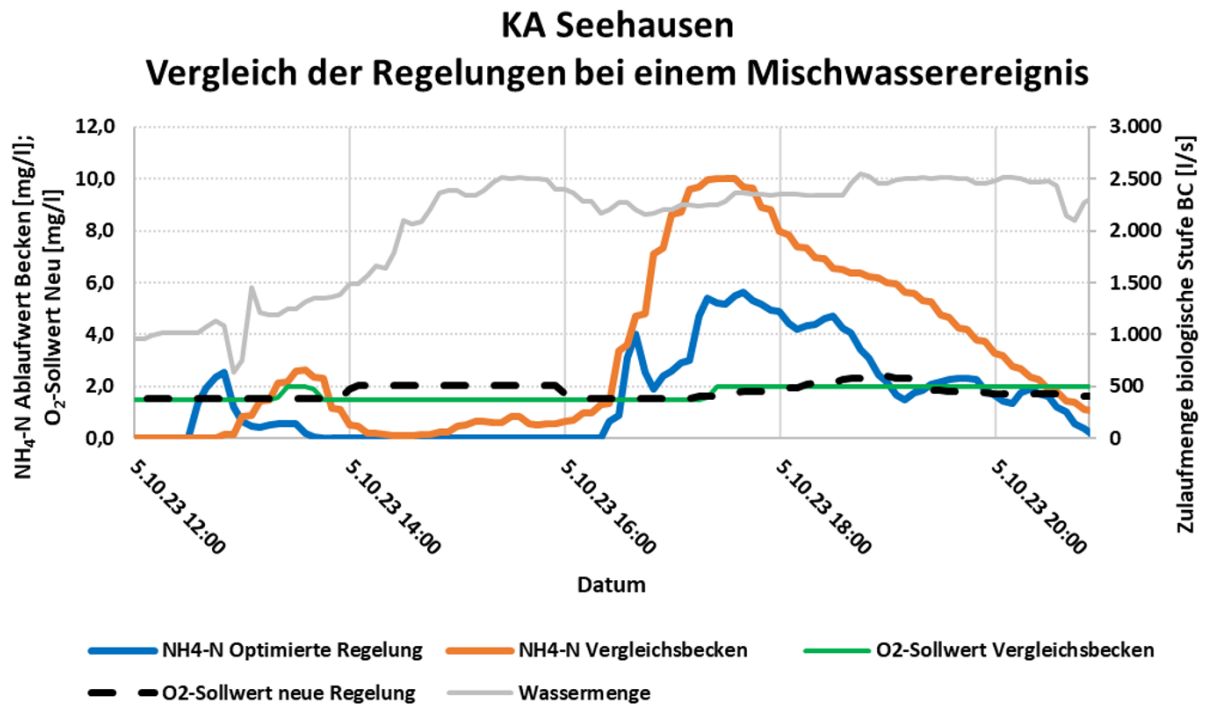
Kläranlage Seehausen der Stadt Bremen



Die Kläranlage Seehausen der Stadt Bremen ist mit einer Ausbaugröße von 1 Million Einwohnerwerten eine der größten Kläranlagen Deutschlands und verfügt über eine Belebungsstufe mit 6 parallel betriebenen Belebungsbecken. Der adaptive Kennfeld-

regler ist seit Anfang 2023 auf der Kläranlage Seehausen installiert. Aufgrund der Bauart der Kläranlage konnte der Einsatz des Kennfeldreglers direkt mit der ursprünglichen Sauerstoffsollwertvorgabe verglichen werden. Zwei gleich dimensionierte Belebungsbecken mit getrennter Sauerstoffversorgung erhalten den gleichen Abwasserzulauf und eignen sich somit für den Vergleich der beiden Regelstrategien.

Es konnte gezeigt werden, dass bei der Kennfeldregelung neben einer Energieeinsparung auch die Ammoniumspitzen effizient reduziert werden. Das folgende Diagramm zeigt, dass frühzeitig ohne vorhandene Belastung der Sauerstoffsollwert angehoben wurde und dadurch das Belebungsbecken mit Sauerstoff angereichert und die darauf folgende Ammoniumspitze gegenüber dem Vergleichsbecken um 40 bis 50 % im Ablauf reduziert werden konnte.



Auswertung der Ammoniumspitzenbelastung auf der Kläranlage Seehausen mit einem Vergleichsbecken

Kontakt

Sie sind herzlich eingeladen, mit uns in Kontakt zu treten. Auf unserer Website finden Sie die entsprechenden Formulare (<https://www.blue-green-systems.de>) oder kontaktieren Sie uns direkt unter:

BLUE GREEN Systems GmbH

Visbeker Straße 55
27793 Wildeshausen
Deutschland

Telefon: 04431 9360 112

E-Mail: info@blue-green-system.de

Webseite: <https://www.blue-green-systems.de>



Partner



Institut für
Automatisierungstechnik