Schlussbericht zur Messkampagne „Ammoniumregelung mittels pH-Sensoren“

Zeitraum Messkampagne:

16.9.2016 – 15.11.2016

rittmeyer BRUGG

Rittmeyer AG
Postfach 1660, Inwilerriedstrasse 57, CH-6341 Baar
Web: www.rittmeyer.com, E-Mail: info@rittmeyer.com

INHALT

Inhalt 1
Zusammenfassung 1
1 Einleitung 2
2 Material & Methoden 2
2.1 Materialumfang & Kalibration 2
2.2 Setup / Installationsorte 2
2.3 Zeitlicher Ablauf der Messkampagne 3
2.4 Theoretischer Hintergrund zur Ammoniumregelung mittels pH-Sonden 4
2.5 Umschaltregeln zwischen Modi Eco und Normal 4
3 Resultate & Diskussion 6
3.1 Ergebnis Messkampagne 6
3.2 Alternativer Ansatz 8
3.3 Schlussfolgerung 10

ZUSAMMENFASSUNG

Während Phasen tiefer Belastung können die Sauerstoffsollwerte in der Biologie temporär reduziert werden und somit Prozessluft resp. Strom gespart werden. Heutzutage wird vielfach anhand eines Ammonium-Messwertes beurteilt, ob die Belüftung aktuell reduziert werden kann. Der Nachteil ist, dass diese Sonden sehr wartungsintensiv sind. Da die Nitrifikation der Biologie den pH verändert, kann auch anhand der pH-Differenz über die Biologie beurteilt werden, ob und wann die Belüftung reduziert werden kann. Nebst einem reduzierten Energieverbrauch der ARA soll diese Quasi-Ammoniumregelung eine verbesserte Denitrifikation ermöglichen.

Auf der ARA Untermarch wurde zur Machbarkeitsbeurteilung einer solchen Regelung vom 16.9.2016 – 15.11.2016 eine Messkampagne durchgeführt. Dabei wurde das Belebungsbecken 5 beprobt. Die Datenauswertung zeigt, dass bei der ARA Untermarch die Korrelation zwischen pH-Differenz und Ammoniumkonzentration stark genug ausgebildet ist, um die Ammoniumregelung mittels pH-Sonden umzusetzen.

Da die ARA Untermarch bei Trockenwetter einen sehr regelmässigen Verlauf des Zuflusses aufweist, wird ein weiterer, vielversprechender Ansatz vorgestellt. Bei diesem Ansatz wird die angenommene Belastung anhand des Zufluss-Signales einer bestimmten „Belastungsgruppe" zugeordnet. Jede Belastungsgruppe verfügt über ein eigenes, optimiertes Belüftungsmuster, das dann angewendet wird.

1 EINLEITUNG

Dieses Dokument beurteilt die Möglichkeiten zur Ammoniumregelung mittels pH-Sonden auf der ARA Untermarch (SZ) basierend auf den Ergebnissen der Messkampagne vom 16.9.2016 – 15.11.2016. Die notwendigen Parameter wurden im Belüftungsbecken 5 gemessen.

2 MATERIAL & METHODEN

2.1 MATERIALUMFANG & KALIBRATION

Das Material zur Pilotierung setzte sich zusammen aus:

- Messumformer; Typ: Liquiline CM444 Endress und Hauser
- 2 pH-Sonden; Typ: CPS11d Endress und Hauser
- 1 Ammoniumsonde; Typ: ISEmaxCAS40D Endress und Hauser (pH, NH_4-N)
- Druckluftkompressor zur Reinigung der Ammoniumsonde (bereitgestellt durch ARA)

Die Sonden mussten sich nach der Platzierung zunächst an die Matrix anpassen und konnten deshalb nicht direkt nach der Installation kalibriert werden. Die Kalibrierung und Unterhalt/Reinigung wurde deshalb später (9.11.2016) durch den Betrieb ausgeführt.

2.2 SETUP / INSTALLATIONSORTE

Auf der ARA Untermarch fliesst das Wasser zunächst durch 4 Denitrifikationsbecken (BB 1 – 4 à je 375 m^3) und wird anschliessend aufgeteilt auf die Belüftungsbecken 5 & 6 (à je 1650 m^3). Beprobt wurde das Belüftungsbecken 5. Es besteht aus zwei Kompartimenten, wobei das vordere Kompartiment (ca. 1/3 des Volumens) die belüftete Hochlast darstellt.

Die pH-Sonden wurden zu Beginn und im Ablauf des Belüftungsbecken 5 platziert. Die Ammoniumsonde wurde ungefähr in der Mitte des belüfteten Volumens installiert (Abbildung 1). Um zu prüfen, ob alle pH-Sonden korrekt messen, wurden später alle Sonden in den Zulauf gehängt. Anschliessend wurde eine pH-Sonde wieder im Ablauf platziert – während die Ammoniumsonde weiterhin die Konzentration im Zulauf erfasste.

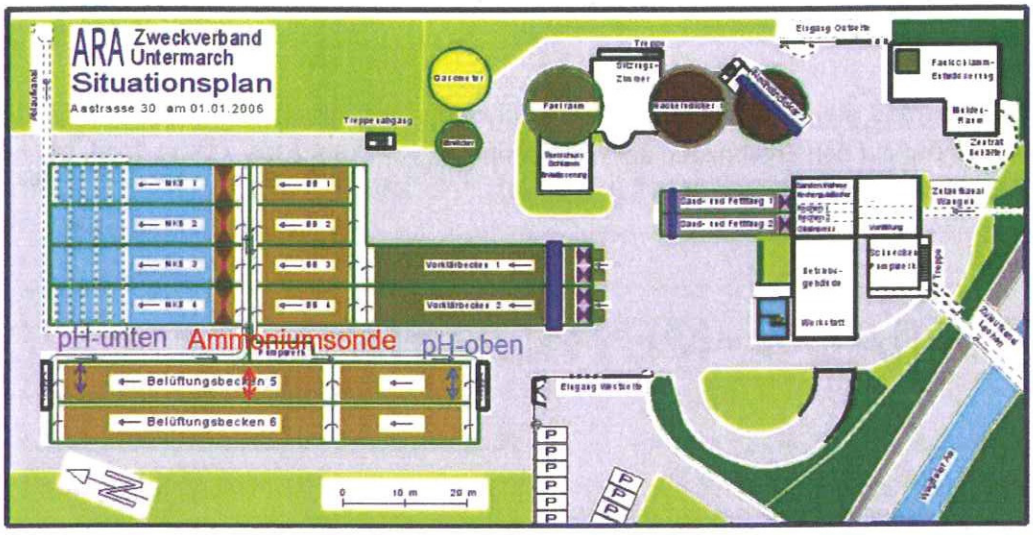

Abbildung 1: Installationsorte der Sonden auf der ARA Untermarch bei Beginn der Messkampagne.

2.3 ZEITLICHER ABLAUF DER MESSKAMPAGNE

16.9.2016:	Installation Messkampagne
21.9.2016:	Stromausfall von ca. 6 Stunden
9.11.2016:	Sondenkalibration; Sämtliche Sonden wurden zu Testzwecken zum Zulauf von BB5 verschoben
11.11.2016:	Eine pH-Sonde wurde zurück in den Ablauf von BB5 versetzt.
15.11.2016:	Auslesen Daten vor Ort
Folgt:	Abräumen Messkampagne

2.4 THEORETISCHER HINTERGRUND ZUR AMMONIUMREGELUNG MITTELS PH-SONDEN

Während Phasen tiefer Belastung können die Sauerstoffsollwerte in der Biologie temporär reduziert werden und somit Prozessluft resp. Strom gespart werden. Heutzutage wird vielfach anhand eines Ammonium-Messwertes beurteilt, ob die Belüftung aktuell reduziert werden kann. Der Nachteil ist, dass diese Sonden sehr wartungsintensiv sind. Da die Nitrifikation der Biologie den pH verändert, kann auch anhand der pH-Differenz über die Biologie beurteilt werden, ob und wann die Belüftung reduziert werden kann.

Nebst einem reduzierten Energieverbrauch der ARA soll diese Quasi-Ammoniumregelung eine verbesserte Denitrifikation ermöglichen. Sobald Ammonium vorhanden ist, wird der Sauerstoff-Sollwert erhöht, um die Reinigungsleistung zu garantieren. Zu diesem Zweck sollen die Maxima und Minima in der pH-Differenz-Kurve erkannt werden und anhand dieser sollen quantitative Regellogiken die NH4-Frachtsituation laufend überprüfen.

Der Algorithmus arbeitet mit einer 2-Punkt Regelung. Diese besteht aus den Modi ECO und NORMAL. Eco entspricht dabei tiefen O2-Sollwerten bei wenig Ammonium, Normal arbeitet mit hohen O2-Sollwerten bei viel Ammonium.

2.5 UMSCHALTREGELN ZWISCHEN MODI ECO UND NORMAL

Wie in Abbildung 2 schematisch zu sehen ist, kann die pH Differenz (blau) anstelle des Ammoniumsignals (grün) helfen, die Sollwerte der Sauerstoffregelung anzupassen.

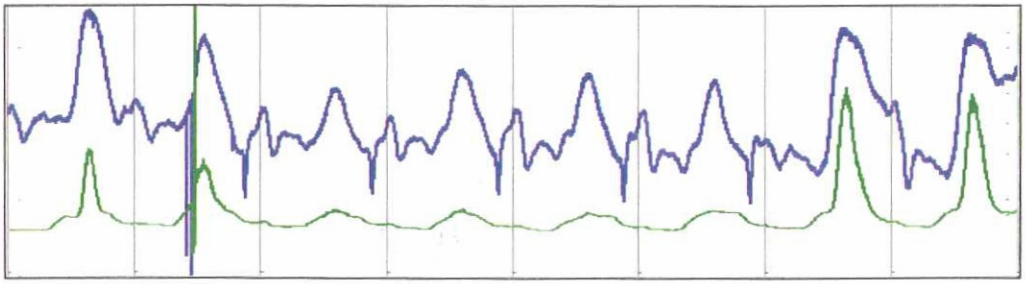

Abbildung 2: Schematische Darstellung des pH Differenz- und Ammonium-Verlaufs über die Zeit; grün: Ammonium Biologie, schwarz: pH Differenz (Biologie oben minus Biologie unten)

Dazu ist es in einem ersten Schritt notwendig, dass der in RITUNE implementierte Algorithmus die Extrema (Minima/Maxima) der pH Differenz robust und effektiv erkennt. Danach übernimmt eine parametrierbare Regellogik die qualitativen Merkmale (Extrema und Tendenz der pH Differenz) und führt online eine Entscheidung herbei.

Nebst den Parametern zu der Datenverarbeitung/Glättung der pH-Differenzkurve sowie zur Minimum-Maximum-Erkennung hat der Benutzer auch zahlreiche Möglichkeiten, Einfluss zu nehmen, ob ein Minimum nun als globales (aktives) Minimum oder nur als lokales „Zwischenminimum" gilt, und deshalb keinen Einfluss auf die Schaltpunkte hat. Das RITUNE-Modul zur Ammoniumregelung bietet daher zahlreiche Parameter, um den Algorithmus optimal auf die Randbedingungen der ARA anzupassen.

Die wählbaren Umschaltregeln werden im Folgenden grob vereinfacht vorgestellt. Sie können einzeln aktiviert/deaktiviert werden.

Regeln in Eco-Modus um auf Normal-Modus zu schalten:

1. Minimum muss erkannt werden: dies ist eine Art Referenzwert, der gegen Sondendrifts robust ist (grüne Dreiecke in Abbildung 3).
2. Die pH Differenz steigt mehr als DiffMaxMinCrit über den Referenzwert/Minimum. Dies verkörpert eine angestiegene Ammoniumkonzentration (vertikaler grüner Strich in Abbildung 3).
3. Die pH-Differenz muss abfallend sein, d.h. nach Überschreiten von DiffMaxMinCrit muss ein Maximum erkannt werden (rote Vierecke in Abbildung 3).

Regeln in Normal-Modus um auf Eco-Modus zu schalten:

1. Minimum erkennen (grüne Dreiecke in Abbildung 3).
2. Minimale Regelzeit für Normal (x Min)
3. pH Differenz kleiner als letztes akzeptiertes Minimum plus ValueTolerance (vertikaler blauer Strich in Abbildung 3)

Zusätzliche Optionen:

Weitere Regeloptionen umfassen minimale Zeitperioden und maximale Zeitperioden für die beiden Modi sowie zusätzliche statistische Eingabeparameter zur Erkennung der Minima/Maxima.

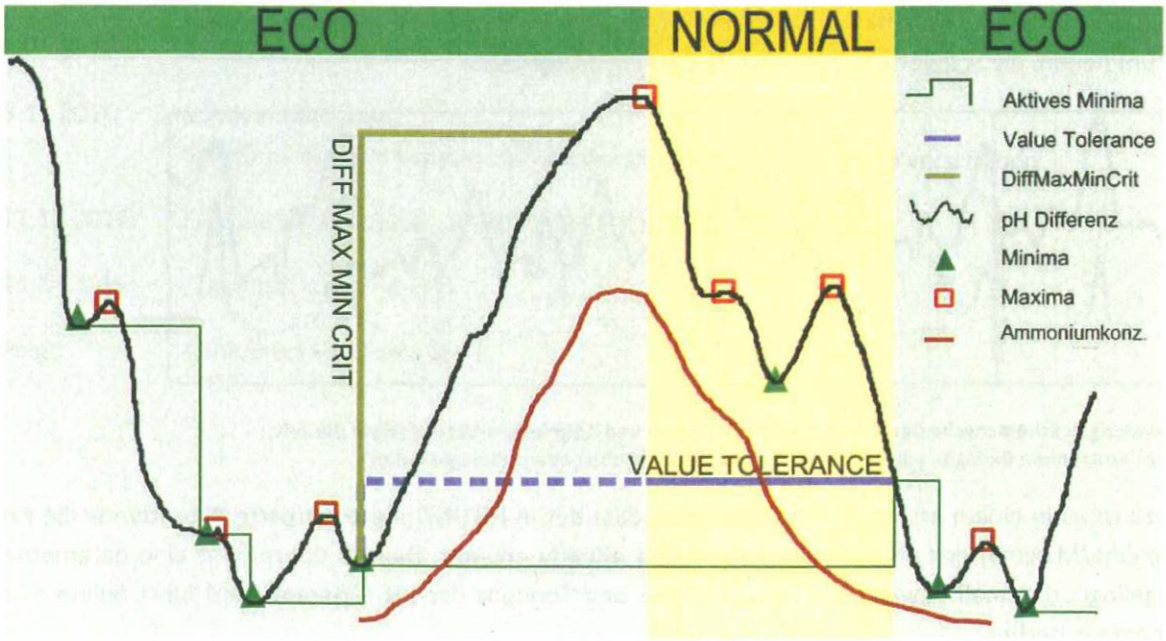

Abbildung 3: pH-Differenzverlauf (schwarz), Ammoniummessung (rot), Minima, Maxima sowie die beiden für die Umschaltungen notwendigen Schwellenwerte DiffMaxMinCrit (zur Umschaltung von Eco zur Normal) und ValueTolerance (zur Umschaltung von Normal zu Eco).

3 RESULTATE & DISKUSSION

3.1 ERGEBNIS MESSKAMPAGNE

In einer ersten Phase der Messkampagne konnte keine Korrelation zwischen pH-Differenz und Ammoniumkonzentration festgestellt werden. Die Sonden wurden allerdings auch nicht an die neuen Gegebenheiten angepasst resp. kalibriert. Um zu testen, ob allenfalls pH-Sonden defekt sind, wurden sämtliche Sonden kalibriert und für zwei Tage beim Zulauf Biologie platziert. Anschliessend wurde eine pH-Sonde zurück in den Ablauf platziert. Die Ammoniumsonde misst generell sehr tiefe Werte – sie wurde beim Zulauf belassen, da sie dort in einem optimaleren Messbereich funktionieren kann.

Abbildung 4 zeigt den Verlauf der pH-Werte. Während der Zeit, wo alle Sonden beieinander im Wasser hingen, massen die Sonden 3.1 (Zulauf BB5) und 3.2 (Ablauf BB5) sehr ähnliche Werte. Die pH-Sonde der Ionenselektiven Sonde (ISE) weist eine Verschiebung zu den anderen Sonden auf – der Verlauf ist aber ähnlich. Die 3 pH-Sonden werden daher als funktionierend eingestuft.

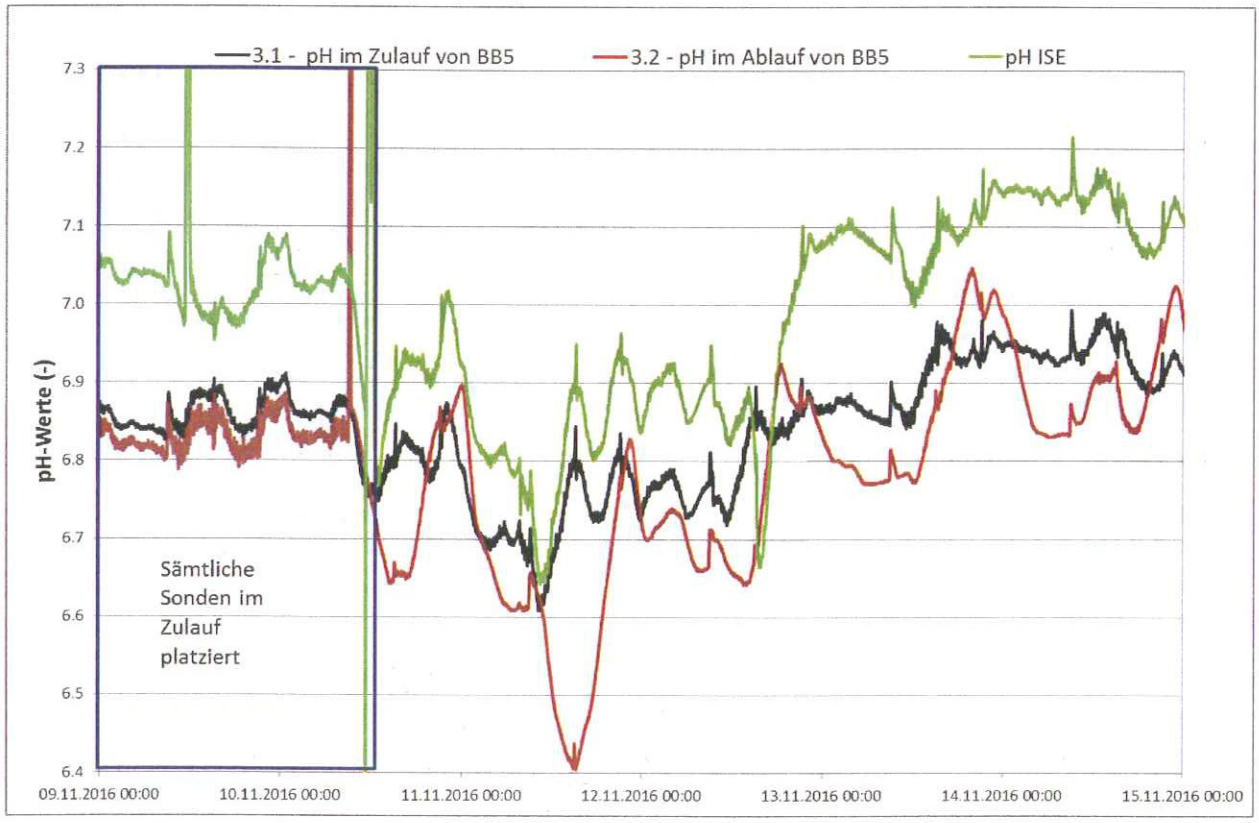

Abbildung 4: Verlauf der pH-Werte vom 9.11.2016 bis 15.11.2016. Die ersten zwei Tage waren sämtliche Sonden im Zulauf zu BB5 platziert – die Ablaufsonde wurde anschliessend zurück in den Ablauf von BB5 versetzt.

Abbildung 5 zeigt den Verlauf der Ammoniumkonzentration während der Messkampagne. Sie misst in der Mitte von BB5 über lange Phasen Konzentrationen von 0 mg/l und Spitzen um die 1 mg/l. Zwei Wochen nach Start der Messkampagne scheint die Sonde verschmutzt und misst permanent 0 mg/l. Nach der Umplatzie-

rung in den Zulauf von BB5 und der Kalibration misst die Ammoniumsonden höhere Konzentrationen. Die Frachtspitzen treffen nun auch wie erwartet früher bei der Ammoniumsonde ein. Obwohl hier das vorgeklärte Abwasser mindestens 1:1 mit Rücklaufschlamm vermischt wird, sind die Konzentration tiefer als erwartet. Den absoluten Ammoniumwerten ist nicht zu trauen – der Tagesverlauf scheint jedoch plausibel.

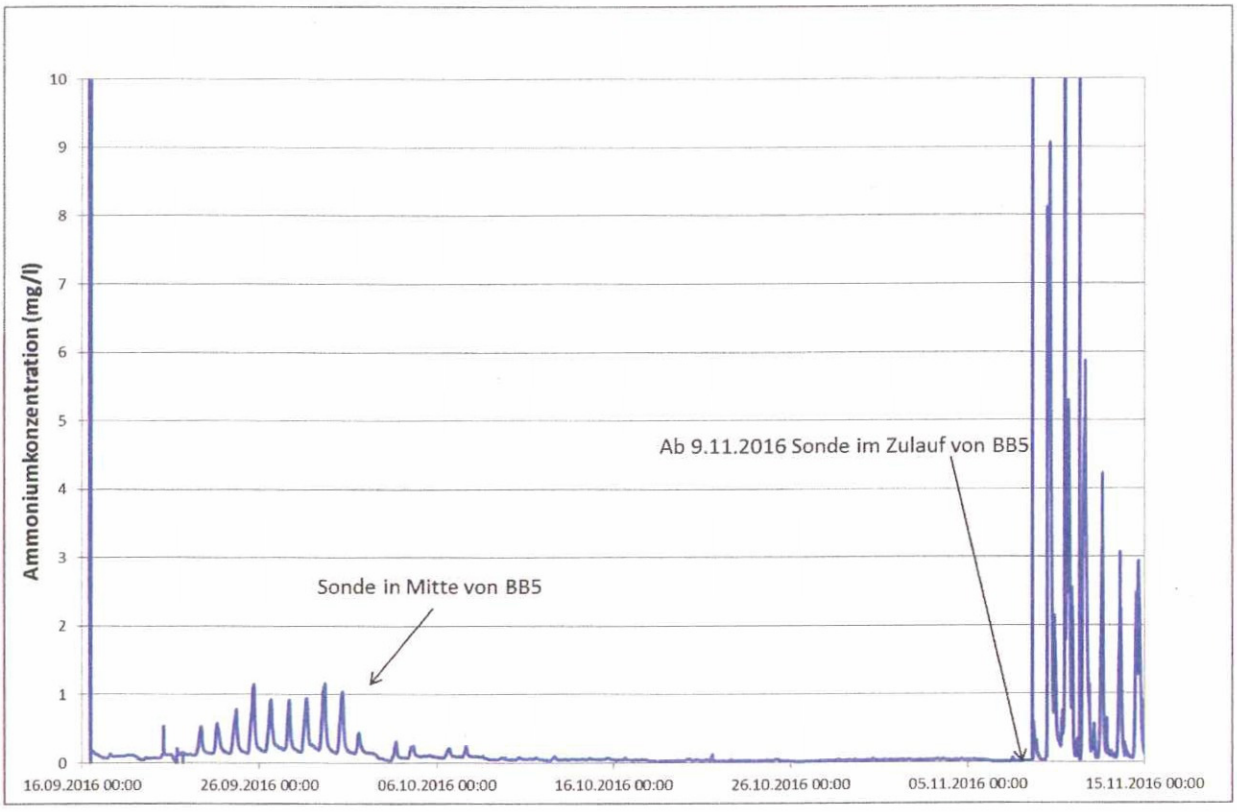

Abbildung 5: Verlauf der Ammoniumkonzentration während der Messkampagne.

Abbildung 6 zeigt den pH-Differenzverlauf über BB5 sowie die Ammoniumkonzentration im Zulauf zu BB5 vom 10. – 15.11.2016. Die ersten 3 Tage ist die Korrelation sehr hoch – die anschliessenden zwei Tage vom 13.11. und 14.11.2016 steigt die pH-Differenz schon vor der Ammoniumspitze an. Dies ist durchaus möglich, da die Ammoniumsonde erst ab einer gewissen Konzentration effektiv etwas zu messen scheint. Im vorliegenden Fall hätte der Algorithmus einfach etwas früher als nötig die Sauerstoffsollwerte erhöht. Damit liegt man aber bezüglich der Einleitbedingungen auf der sicheren Seite. Die Korrelation ist genügend stark ausgebildet, damit anhand des pH-Differenzverlaufes die Sauerstoffsollwerte phasenweise tiefer gesetzt werden können.

Inwieweit die Sauerstoffsollwerte von den (hardware-)technischen Randbedingungen her tiefer gesetzt werden können, ist allerdings noch abzuklären. In der Vergangenheit traten Verstopfungen bei den Belüftern auf, wenn die Gebläse über längere Zeiträume mit kleiner Leistung fuhren. Heute werden deshalb abwechslungsweise bei tiefer Belastung BB5 und BB6 intermittierend belüftet – so dass die Belüfter wieder genügend gespült werden, wenn die Belüftung nach einer ca. 20 minütigen Pause einsetzt. Der Betrieb einer intermittierenden Betriebsweise basierend auf dem pH-Ammoniumregelungsmodul kann geprüft werden.

Nebst Modi Eco und Normal, kann im Modul bei Bedarf auch ein Sicherheitsmodus aktiviert werden. In Abhängigkeit bestimmter Regeln würden dann die Sauerstoffsollwerte noch höher als im Normal-Modus gesetzt. Auf der ARA Untermarch sinkt die Wassertemperatur wegen Schmelzwasser oftmals schlagartig auf 5°C ab und die Nitritwerte im Ablauf steigen an (die Nitrifikation ist in der Regel auf Temperaturen über 10°C ausgelegt). Solche flexiblen Übersteuerungsregeln können direkt im Modul integriert werden, so dass über das ganze Jahr betrachtet nicht nur Strom gespart sondern auch erhöhte Sicherheit ins System gebracht wird.

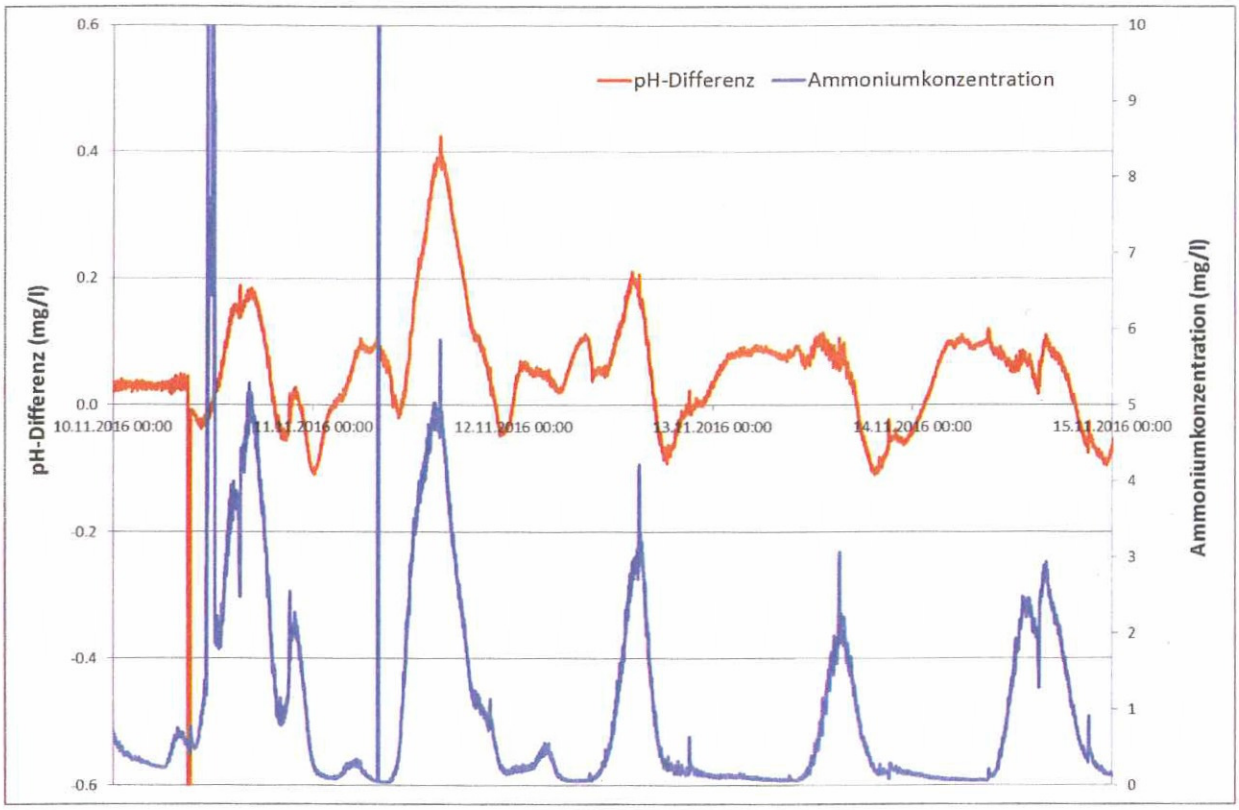

Abbildung 6: Verlauf der pH-Differenz (über BB5) und der Ammoniumkonzentration (im Zulauf zu BB5).

3.2 ALTERNATIVER ANSATZ

Beim Betrachten der PLS-Daten fällt auf, dass an Trockenwettertagen der Zufluss ein typisches Verlaufsmuster aufweist und auch die Gebläseleistung weist an jedem Tag dasselbe Muster auf (siehe Abbildung 7). Ein RITUNE-Modul, das Tagesgänge analysiert und Gruppen mit ähnlichen Verläufen bildet kann eingesetzt werden, um Abweichungen von üblichen Tagesgängen festzustellen (siehe Abbildung 8).

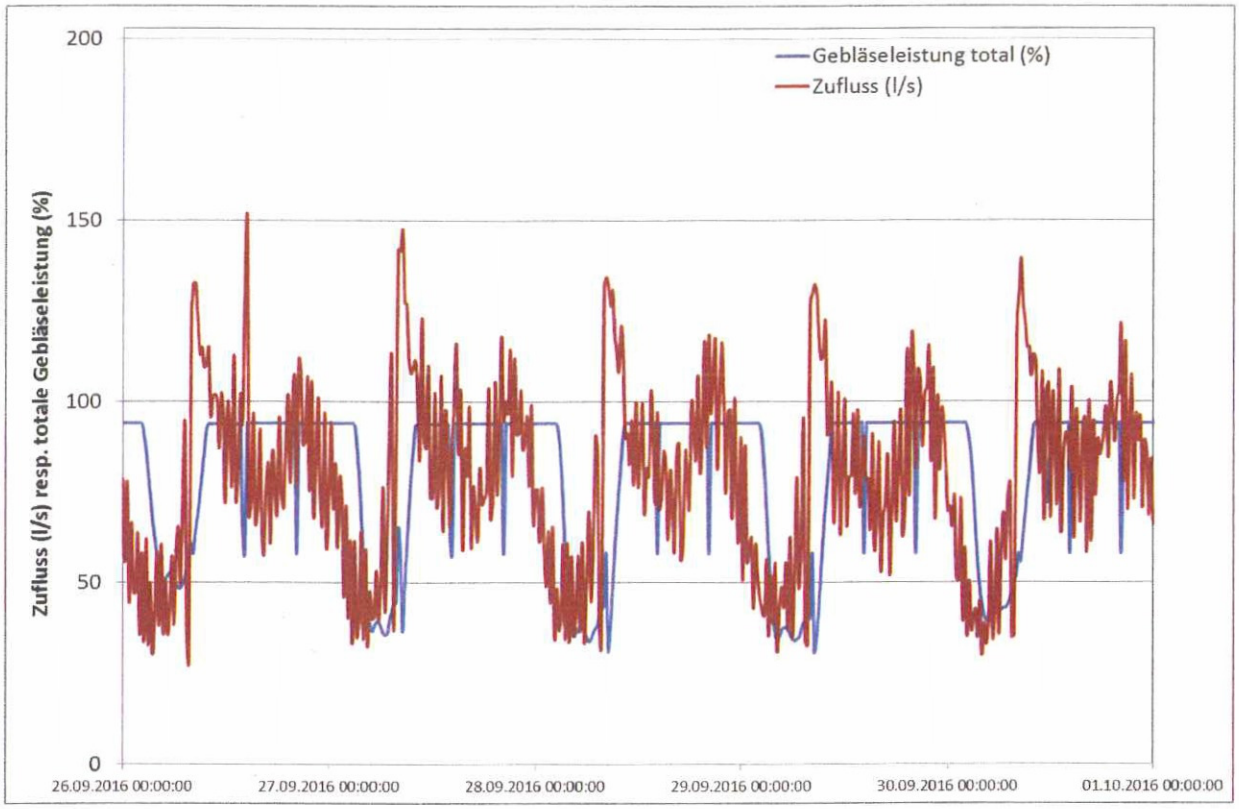

Abbildung 7: Verlauf des ARA-Zuflusses und der totalen Gebläseleistung an fünf „typischen" Trockenwettertagen.

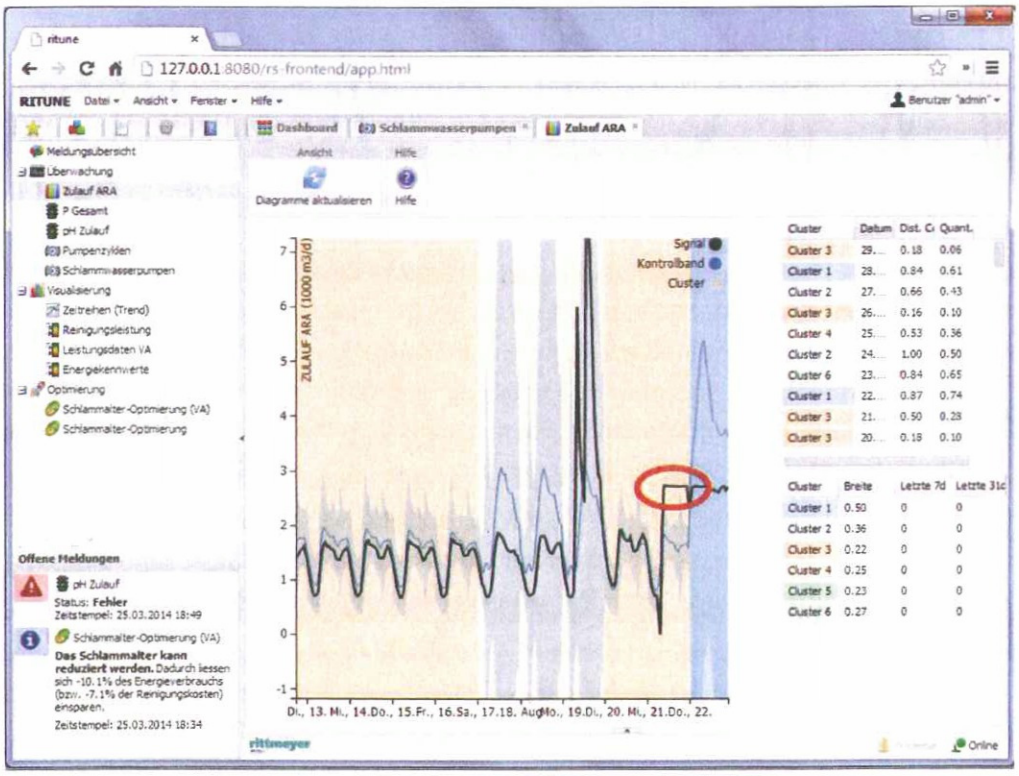

Abbildung 8: Ausschnitt aus der Ansichtsmaske des Signal-Anomalie-Detektors.

Für die Zuflussdaten der ARA Untermarch wurden mit RITUNE typische Tagesverläufe analysiert (Abbildung 9). Intermittierende Belüftungsmuster bzw. zugehörige Sauerstoffsollwerte in der Belebung können nun abhängig gemacht werden von den Gruppen (Clustern), denen die Tagesgänge zugeordnet werden. Die Ablauflaborwerte könnten an das Modul angeknüpft werden, so dass die Fensterbreiten der Pausenzeiten laufend optimiert werden können.

Dieses Modul erfordert keinerlei zusätzliche Messtechnik – bietet aber etwas weniger Transparenz als das pH-Ammoniumregelungsmodul.

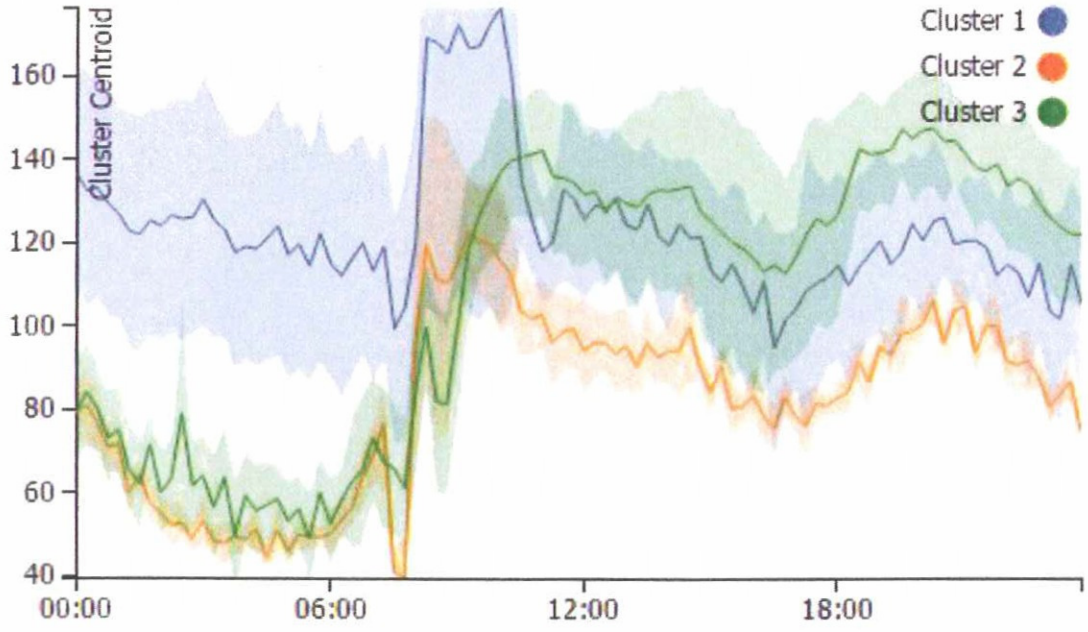

Abbildung 9: Typische Tagesverläufe des Zufluss auf der ARA Untermarch, basierend auf den Daten von September bis November 2016.

3.3 SCHLUSSFOLGERUNG

Der Zusammenhang zwischen pH-Differenz und Ammoniumkonzentration ist auf der ARA Untermarch genügend stark ausgebildet, dass mit dem pH-Ammoniumregelungsmodul die Sauerstoffsollwerte dynamisch gesetzt werden können.

Gleichzeitig wurde ein weiterer, vielversprechender Ansatz zur Optimierung der Belüftung vorgestellt, der ohne den Einsatz zusätzlicher Messtechnik auskommt.

KAM, 18.11.2016