



WHITE PAPER

Erhebliche Kostensenkung durch die dynamische Belüftung der Nitrifikation

Je nach Anlagenausbautyp der Abwasserreinigungsanlage (ARA) liegt der Energieverbrauch der Belüftungsanlage des Nitrifikationsprozesses bei 50 – 95 %. [REF1]

Durch die Überwachung des Ammoniumgehaltes kann die Nitrifikation anhand des aktuellen Sauerstoffbedarfs der nitrifizierenden Bakterien gesteuert werden. Eine niedrige Ammoniumkonzentration ist ein Indikator für eine effiziente Belüftung und gibt gleichzeitig Aufschluss auf die abgeschlossene Reinigung des Abwassers.

Aufgrund der unter Sauerstoffmangel möglichen Umwandlung von Ammonium / Nitrit in Lachgas wird die Nitrifikation in den meisten ARAs in der

Schweiz generell mit 2 mg O₂/L belüftet. Diese Belüftungsmenge basiert auf einem Erfahrungswert und widerspiegelt nicht den aktuellen Bedarf der Ammoniumfracht im Abwasserstrom. [REF1]

Durch die frachtabhängige dynamische Belüftungsregelung können Engpässe, welche in Durchbrüchen von Ammonium / Nitrit und in die mögliche Umwandlung in Lachgas enden, minimiert werden. Andererseits kann die Überbelüftung der Belüftungsbecken reduziert und dadurch der Energieverbrauch der Belüftungspumpen erheblich gesenkt werden.

EINFÜHRUNG

Die Quelle und Basis jeden Lebens ist Wasser. Es ist die Grundlage für Nahrungsmittel und Energie, wird zur Pflege und Reinigung, sowie als Haupttransportmittel verwendet. Nach dem Gebrauch beinhaltet es nicht nur notwendige Mineralien und Spurenelemente, sondern weist Kontaminationen auf, welche vor der Rückführung in den Kreislauf behandelt und wieder entfernt werden müssen.

Eines von mehreren Zielen der Behandlung in der ARA besteht im Abbau des Ammoniums, welches als Umweltgift nicht in zu hohen Konzentrationen zurückgeführt werden darf.

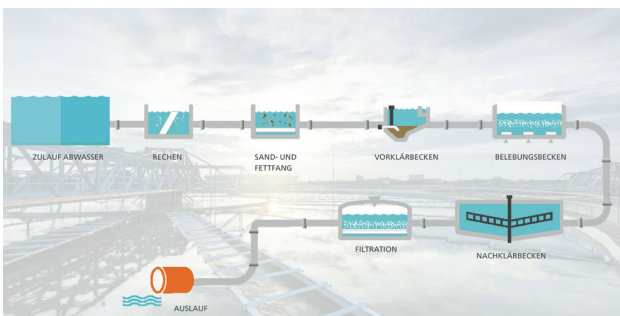


Abb. 1. Schematischer Aufbau einer ARA

Dieses White Paper legt seinen Schwerpunkt auf die Effizienzsteigerung des Nitrifikationsprozess ohne Senkung der Reinigungsleistung oder Steigerung der Lachgasemissionen. Diese Parameter können weiter optimiert und gleichzeitig Energie eingespart werden.

ANALYSENTECHNIK

Die Ammoniumkonzentration wird mittels der Dynamischen Standardaddition (DSA) gemessen. Während der Analyse werden die Ammoniumionen aufgrund der Zugabe von Lauge als Ammoniak angetrieben.



Abb.2. Reaktionsgleichung

Die äussere Membran der Sonde erlaubt das Durchdiffundieren des Ammoniaks. Die dadurch entstehende pH-Änderung im Innenelektrolyt wird mittels einer kombinierten Glassonde verfolgt und gibt Aufschluss auf die Konzentration.

Diese einzigartige und sehr robuste Messtechnik erfordert keine Probenvorbereitung und verwendet dadurch **unfiltrierte** Proben des Belebungsbeckens.



Abb. 3. Standort des 2026 Ammonium Prozess Analyzers inkl. Probenzufuhr und Sauerstoffmessstelle.

Der ONLINE Prozess Analyser führt die Reinigung und Kalibrierung vollständig automatisch durch. Nach jeder sechsten Messung werden die Messzelle und die Probenleitungen mit Säure gereinigt, sodass das biologische Wachstum reduziert werden kann. Die Kalibrierung der Ammoniumsonde wird einmal täglich durchgeführt.



Abb. 4. Biologisches Wachstum stört die Messung nicht sonderlich (manuelle Reinigung alle 3 Monate)

| Messtechnik | Photometrisch | Sonde | Analyzer |
|---------------------------------|---------------|-------------|----------------|
| Probenvorbereitung | filtrieren | keine | keine |
| Reinigungsintervall (manuell) | 1 x / Woche | 1 x / Woche | 1 x / Quartal |
| Kalibrationsintervall (manuell) | 1 x / Woche | 1 x / Woche | automatisch |
| Reagenzien notwendig | ja (giftig) | ja | ja |
| Verschleppungsgefahr | gross | keine | keine |
| Biofilm sensitiv | anfällig | anfällig | nicht anfällig |
| Kaliuminterferenzen | nicht störend | störend | nicht störend |

Abb. 5. Vergleichstabelle der verschiedenen Messtechniken.

DYNAMISCHE REGELUNG BELÜFTUNGSANLAGE

Die grosse Variabilität des Zulaufs der ARA ist für die Prozessoptimierung eine riesige Herausforderung. Um eine optimale Behandlung des Abwassers garantieren zu können, ist die gezielte Belüftung der verschiedenen Zonen der Belebungsbecken einer der wichtigsten Parameter. Eine präzise Belüftung, welche an die Fracht des Zulaufs gekoppelt wird, kann folgende Aspekte optimieren:

- Energieverbrauch
- Ammonium/Nitrit-Abbau
- Lachgasemission
- Anlagensicherheit

Die Hauptanforderung einer Regelung ist, dass sie in ihrem Verhalten robust gehalten werden kann und dadurch die Anlage nicht zum Oszillieren bringt.

Sauerstoff stellt neben den nitrifizierenden Bakterien im Belebtschlamm den wichtigsten Faktor der Nitrifikation dar. Jedoch nicht nur die Nitrifikation, auch die Oxidation der organischen Kohlenstoffverbindungen (CSB) benötigen eine beträchtliche Menge an Sauerstoff. Da es sich bei der Nitrifikation um den deutlich langsameren der beiden gleichzeitig ablaufenden Prozessen handelt, dient der Abbau von Ammonium als Indikator der abgeschlossenen Reinigung des Abwassers [REF4].

Die Nitrifikationsgeschwindigkeit hängt von den Konzentrationen des Sauerstoffs, des Ammoniums und der Nitrifikanten, sowie von der Temperatur ab. Von diesen Faktoren kann nur auf die Sauerstoffkonzentration flexible eingegangen werden, da die Fracht des Zulaufs stark variiert, die Konzentration oder das Alter der Nitrifikanten nicht zeitnah geändert werden kann und die Temperatur jahreszeitenabhängig ist. Dies macht den Sauerstoff zum Motor der Reaktionskinetik, womit die gezielte Belüftung den Ammoniumabbau beschleunigt.

Die Reaktionsgeschwindigkeit ist bei Weitem nicht linear, weswegen das Monod-Kinetik-Modell [REF2] herangezogen werden kann, bei welchem ein Sättigungsbeiwert der Konzentration bei 50 % der maximalen Geschwindigkeit angenommen wird. Insofern die Sauerstoffkonzentration über dem Sättigungsbeiwert liegt, läuft die Reaktion schneller ab, liegt sie darunter, langsamer. Abb. 6 zeigt das

Verhältnis dieses Modells. Die intensive Linie stellt die gängige Annahme eines Sättigungsbeiwerts von $0.5 \text{ mg O}_2/\text{L}$. [REF3]

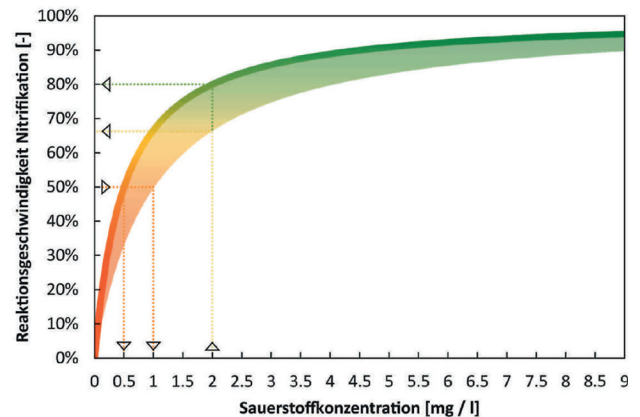


Abb. 6. Bei Vorhandensein von Ammonium zeigt die intensive Linie eine Reaktionskinetik von 50 % bei $0.5 \text{ mg O}_2/\text{L}$ und 80 % bei $2 \text{ mg O}_2/\text{L}$. Der transparente Bereich zeigt die Verschlechterung des Sättigungsbeiwerts und die damit langsamere Reaktionsgeschwindigkeit, welche zu 50 % bei $1 \text{ mg O}_2/\text{L}$ und niedriger wie 70 % bei $2 \text{ mg O}_2/\text{L}$ führt. [REF4]

Während eines Gewitters können zwei Faktoren zu Durchbrüchen von Ammonium führen:

- Es kann nicht genug Sauerstoff gefördert werden, um die Reaktionskinetik zu halten.
- Der gestiegene Durchfluss steht in keinem Verhältnis zur Verweilzeit in der Nitrifikation.

Die maximale Belüftungsrate hängt zudem auch von der Intensität (Nm^3/h) der Membranen ab. Abb. 7 zeigt die Verschlechterung des Sauerstofftransfers aufgrund einer Überlast der Belüftungsmembranen.

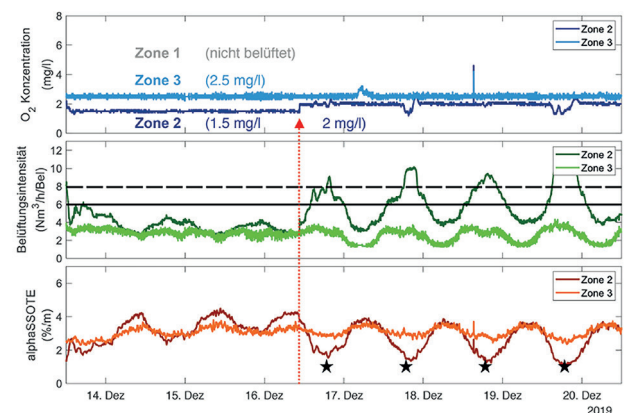


Abb. 7. Erste Grafik: Sauerstoffkonzentration, Mittlere Grafik: Belüftungsintensität der Membranen (schwarze Linie: Nennbetrieb, gestrichelte Linie: max. Beaufschlagung der Belüftungselemente), letzte Grafik: Sauerstofftransfer (Sterne markieren geringen Transfer), roter Pfeil zeigt Sauerstoffkonzentrationserhöhung. [REF5]

RESULTATE FELDTTEST ARA ERZO OFTRINGEN

Seit Ende November 2022 reduziert die ARA der ERZO in Oftringen die Belüftung in der dritten Zone. Von den üblichen 2 mg O₂/L wurde diese auf 1.5 mg O₂/L gesenkt. Der Test zeigt eine Energieersparnis von 4.3 % (Jan. 22/Jan. 23) bei einer praktisch gleichbleibenden Effizienz (Abbau NH₄-N) von 99.59 % (Jan. 22) zu 99.52 % (Jan. 23), und dies trotz stark gestiegener Fracht (Jan. 22: 13 '515.4 kg / Jan. 23: 14 '916.3 kg).

| Zeitraum | Jan. 21 | Jan. 22 | Jan. 23 |
|--|---------|---------|-------------|
| Energieverbrauch [kWh] | 46 027 | 49 979 | 52 730 |
| Fracht NH ₄ -N Zulauf [kg] | 12 949 | 13 515 | 14 916 |
| Fracht NH ₄ -N Auslauf [kg] | 445 | 55.9 | 71.6 |
| Fracht NH ₄ -N abgebaut [kg] | 12503 | 13460 | 14845 |
| Effizienz Abbau NH ₄ -N [%] | 96.56 | 99.59 | 99.52 |
| Energieverbrauch pro kg NH ₄ -N [kWh] | 3.68 | 3.71 | 3.55 |

Abb. 8. Trotz der niedrigeren Effizienz der Nitrifikation im Januar 2021 konnte die ARA der ERZO in Oftringen die Tagesgrenzwerte einhalten.

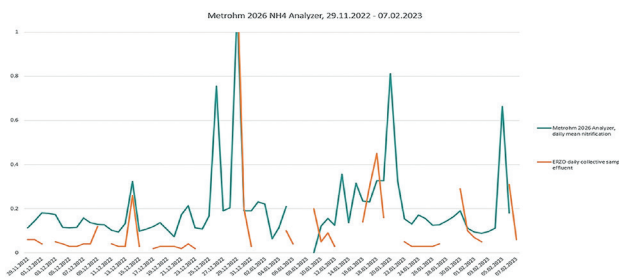


Abb. 9. Vergleich Analyserresultate (Nitrifikation) vs. Tagessammelproben (Auslauf)

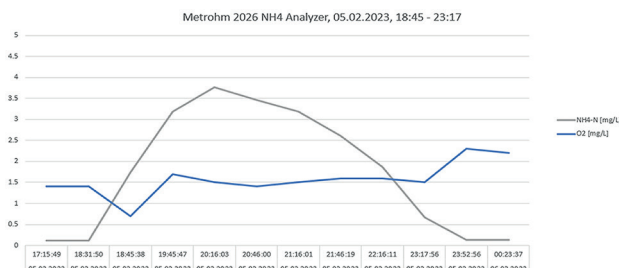


Abb. 10. NH₄-N Durchbruch der Nitrifikationszone 3 aufgrund eines Regeneignisses

RESUMÉ FELDTTEST ARA ERZO OFTRINGEN

Während der Teststellung von November 2022 – Februar 2023 wies das System eine gute Messwertübereinstimmung zu den Tagessammelproben des Auslaufs der ARA auf.

Mithilfe von Abb. 10 kann aufgezeigt werden, dass zu Beginn des Durchbruchs die O₂ Konzentration kurzzeitig absackt. Auf diesen Zustand reagiert die Belüftungseinheit und kann aufgrund ausreichender Kapazität das O₂ Level wieder zurück auf 1.5 mg O₂/L einstellen. Gleichzeitig zeigt diese Grafik auch, dass der Gehalt des NH₄-N weiter steigt. Ohne diese Überwachung würde der Durchbruch nicht deutlich sichtbar. Mit Hilfe der dynamischen Regelung der Belüftung könnte die O₂-Konzentration weiter erhöht werden, wodurch die Reaktionskinetik gesteigert und der Ammoniumabbau beschleunigt, werden hätten können.

Das Gesamtsystem, sowie der Analyzer an sich sind sehr robust, einfach in der Bedienung und stellen im Betrieb praktisch keinen Betreuungsaufwand dar. (Der Innenelektrolyt der Sonde muss periodisch gewechselt und die Reagenzien aufgefüllt werden.)

Das Messsystem ist für die Anlagentypen "SBR" (Single Batch Reactor), A-I, klassisches Belebtschlammverfahren und Hybridanlagen geeignet.

Im nächsten Schritt wird der Analyzer in die Prozesssteuerung integriert, so dass anhand des aktuellen Ammoniumgehaltes die Belüftung dynamisch gesteuert und der Prozess weiter optimiert werden kann, wodurch weitere Energieeinsparungen zu erwarten sind.

Referenzen

- 1 VSA - Handbuch Energie in ARA [2010]
- 2 M. Henze - Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, IWA Publishing [2000]
- 3 G. Koch - Calibration and validation of activated sludge model no. 3 for swiss municipal wastewater [2000]
- 4 P. Weber - Sauerstoff - Treibstoff für die Nitrifikation, AQUA & GAS N°7/8 [2016]
- 5 D. Braun - Dynamische Regelung der Ara Hofen, AQUA & GAS N°1 [2022]

Datum 06.03.2023

Autoren Dr. Yves Buchmüller, Eduardo Santoli, Jonas Grozinger / Process Analytics Department / Metrohm Schweiz AG