

# Robuste und leistungsfähige Regelungskonzepte für Kläranlagen

Daniel Braun, Luzia Sturzenegger (Zürich/Schweiz), Markus Gresch und Willi Gujer (Dübendorf/Schweiz)

## Zusammenfassung

Die Analyse der Belüftungsregelungen von verschiedenen schweizerischen Kläranlagen zeigt, dass gekoppelte Regelkreise ein häufig anzutreffendes Problem sind. Kopplungen über die gemeinsame Luftverteilung für die Tiefenbelüftung der aeroben Becken sind mit geeigneten regelungstechnischen Maßnahmen relativ einfach zu beheben. Schwieriger zu beherrschen sind regelungstechnische Probleme, die sich durch großskalige Strömungsphänomene im Belebungsbecken ergeben. In solchen Fällen messen die chemischen Sensoren für Sauerstoff, Ammonium und Nitrat nicht den gewünschten repräsentativen Wert, der für die Regelung gebraucht wird. Eine sorgfältige hydraulische Planung des Reaktors und eine adäquate Anzahl Sensoren sind eine Grundvoraussetzung für robuste und leistungsfähige Regelungen. Es ist wichtig, dass die ursprünglich geplanten Regelungskonzepte auch nach der Inbetriebnahme anhand der Betriebsdaten und allfälligen Messkampagnen periodisch überprüft und gegebenenfalls an neue Betriebsbedingungen angepasst werden.

**Schlagwörter:** Abwasserreinigung, kommunal, Kläranlage, MSR-Technik, belebter Schlamm, Nitrifikation, Belüftung, Regelung, Gleitdruckregler, Regelkreis, gekoppelt, kaskadiert, Strömung, großskalig

DOI: 10.3242/kae2012.08.002

## Abstract

### Robust and Efficient Control Strategies for Waste Water Treatment Plants

An analysis of the control strategies of the activated sludge process in several Swiss waste water treatment plants reveals that coupled control loops are often seen as obstacle. Control loops coupled through the common air duct of the aeration are relatively easy to decouple by means of standard control techniques (e.g. most open valve strategies). More difficult are control problems due to large-scale hydraulic flow patterns in the activated sludge tank. In these cases the chemical sensors for oxygen, ammonia or nitrate do not measure a representative value for the tank, which is needed for well-designed control loops. Therefore thorough planning of the hydraulic properties of the activated sludge tank including the mixing elements is a prerequisite for well-designed control strategies. In addition, an adequate number of sensors are needed to obtain representative measurements of the load of the plant. Implemented control strategies have to be revised periodically on the basis of operating data and possibly with additional measurements to validate whether the original operational conditions are still valid.

**Key words:** wastewater treatment municipal, wastewater treatment plant, measurement and control technology, activated sludge, nitrification, aeration, control, open valve controller, coupled, cascaded, flow, large-scaled

## 1 Einleitung

Zum Betreiben der Belebungsbecken von Kläranlagen braucht es eine Vielzahl von Sensoren und Aktoren, damit der Betrieb in Bezug auf Energie, Betriebsmitteleinsatz und den Schadstoffabbau optimiert werden kann. Typische Laständerungen ergeben sich durch den Tagesgang, den Wochengang, die Jahreszeiten sowie durch Wetterereignisse und durch unregelmäßige Entlastungen von industriellen Betrieben. In der Praxis führt die Vielzahl der Sensoren und Aktoren bei den Regelungen häufig zu Problemen mit gekoppelten Regelkreisen, die sich als Oszillationen mit unterschiedlichsten Frequenzen auf den Sensorsignalen und bei den Aktoren bemerkbar machen. Diese Oszillationen erschweren häufig die Anwendung von fortschrittlichen Regelungsstrategien und machen eine sinnvolle Interpretation der Betriebsdaten unmöglich.

Die wichtigsten biologischen Prozesse im Belebungsbecken sind heute bekannt und können mit mathematischen Modellen

gut beschrieben werden [1–3]. Wichtig für die Regelungstechnik ist insbesondere der Prozess der Nitrifikation. Einerseits braucht die Oxidation des Ammoniums zu Nitrat sehr viel Sauerstoff und andererseits ist die vollständige Oxidation des Ammoniums in kommunalem Abwasser ein guter Indikator für den abgeschlossenen Reinigungsprozess. Die Reaktionsgeschwindigkeit der Nitrifikation in einem Belebungsbecken ist über einen großen Konzentrationsbereich von Ammonium konstant und hängt meist nur von der Temperatur und der Nitrifikantenkonzentration ab. Erst bei tiefen Ammoniumkonzentrationen fällt die Reaktionsgeschwindigkeit schnell ab.

Dieser Sachverhalt kann gut mit einem Batchversuch illustriert werden, bei dem Ammonium zum belebten Schlamm gegeben wird. In Abbildung 1 sieht man, wie die Sauerstoffzehrung über längere Zeit konstant bei  $1100 \text{ mg}/(\text{l} \times \text{d})$  bleibt, beim Ammonium-Sättigungsbeiwert der Nitrifikation fällt die

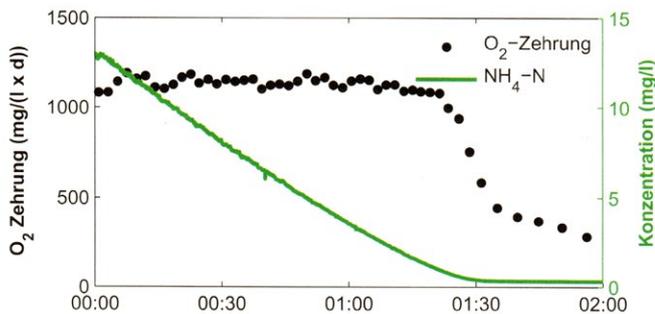


Abb. 1: Batchversuch Sauerstoffrespiration: Die Sauerstoffzehrung der Bakterien fällt nach der vollständigen Oxidation des Ammoniums schnell ab.

Sauerstoffzehrung schnell auf den Wert von  $400 \text{ mg}/(\text{l} \times \text{d})$  ab. Diese Sauerstoffzehrung entspricht der endogenen Atmung des belebten Schlammes. Regelungstechnisch gesehen ist dieser schnelle Abfall ein stark nichtlineares Verhalten des Systems und kann deshalb bei kontinuierlich arbeitenden Belebungsbecken zu schwierig vorhersagbaren Effekten führen.

Es wurden verschiedene Kläranlagen in der Schweiz untersucht (Ergolz 1, Ergolz 2, Werdhölzli Zürich, Kloten Opfikon, Niederglatt), und es zeigten sich immer wieder ähnliche Problemstellungen. Kopplungen der Sauerstoff-Regelkreise bei der Luftverteilung über den gemeinsamen Kollektor sind ein bekanntes Phänomen, und mit einem gut eingestellten Gleitdruckregler kann das Problem sowohl aus energetischer wie auch aus regelungstechnischer Sicht sinnvoll behoben werden [4, 5]. Probleme können sich auch durch großskalige Strömungsstrukturen im Belebungsbecken ergeben. Die Tiefenbelüftung von aeroben Becken dient neben der Sauerstoffzufuhr für die Biologie auch der Durchmischung des belebten Schlammes. Ist bei kontinuierlich betriebenen Anlagen das aerobe Becken nicht hinreichend unterteilt, kann dies durch die Zweiphasenströmung zu unerwarteten Mischeffekten führen.

## 2 Fallbeispiele für gekoppelte Regelkreise und großskalige Strömungseffekte

### 2.1 Kläranlage Werdhölzli in Zürich

Die Regelung der Sauerstoffkonzentration der zwölf Belebungsbecken der Kläranlage Werdhölzli war im Jahr 2001 sehr instabil (Abbildung 2, links). Die Luftverteilung von je sechs Becken der Süd- und der Nordseite erfolgte über einen gemeinsamen Kollektor. Infolge der Kopplung der Sauerstoffregelkreise über den gemeinsamen Kollektor kam es zu schnellen Druckschwankungen im Kollektor. Diese Druckschwankungen führten zur instabilen Regelung der Sauerstoffregelkreise. Im Frühling 2003 wurde die Sauerstoffregelung der aeroben Becken neu programmiert, es wurde ein Gleitdruckregler eingebaut. Aufgrund des Umbaus konnten ca. 10 % Energie eingespart werden. Allerdings traten in der Nacht sehr häufig Oszillationen der Sauerstoffkonzentrationen mit einer Periode von ca. einer Stunde auf (Abbildung 2, rechts).

Anfängliche Vermutungen, dass es sich um Kopplungen des Gleitdruckreglers mit den Sauerstoffregelkreisen handelt, konnten nicht bestätigt werden. Vielmehr wurden am Ort der Sauerstoffmessungen auffällig regelmäßige Oszillationen der Sauerstoffkonzentrationen mit einer Periode von ca. 7 Minuten

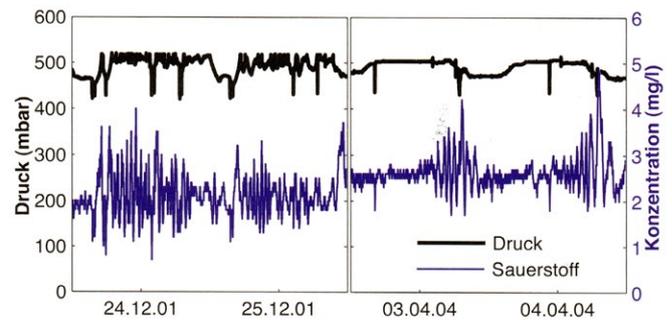


Abb. 2: Druck im Kollektor und Sauerstoffkonzentration des fünften Beckens der Südseite der Kläranlage Werdhölzli, vor (links) und nach dem Einbau des Gleitdruckreglers (rechts)

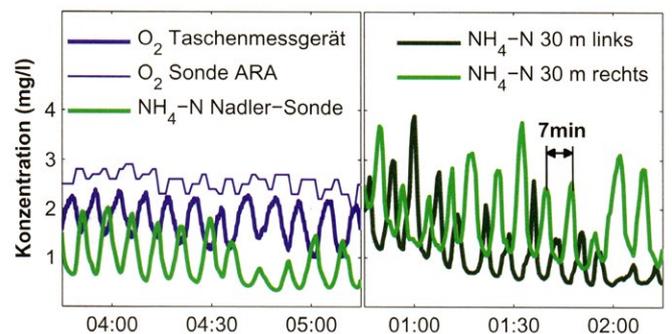


Abb. 3: Kläranlage Werdhölzli: Ammonium- und Sauerstoffsignale am 6. Mai 2004 (links). Ammoniumsignale am linken und rechten Beckenrand am 21. August 2009 (rechts)

gefunden. Diese Oszillationen konnten nur mit einem zusätzlichen Sauerstoffsensoren beobachtet werden, da die Sauerstoffsignale der Betriebssonden sehr stark gedämpft waren. Weitere Messungen mit Ammoniumsonden zeigten, dass die Ammoniumkonzentrationen ebenfalls mit einer Periode von sieben Minuten oszillierten und zwar in Antiphase zum Sauerstoffsignal (Abbildung 3, links). Zudem stellten wir fest, dass in der Nacht und am frühen Morgen die Ammoniumkonzentrationen bei den Betriebssauerstoffsonden typischerweise bei ca.  $1 \text{ mg}/\text{l}$  lagen, also im Bereich des Sättigungsbeiwertes der Nitrifikation. Damit war es naheliegend, dass die 7-minütigen Sauerstoffoszillationen durch die Ammoniumoszillationen verursacht wurden. Da die mittlere Aufenthaltszeit des Abwassers in den Belebungsbecken bei ca. fünf Stunden lag, mussten die Ammoniumschwankungen durch interne Strömungen verursacht werden. Mit insgesamt 20 Ammoniumsonden, verteilt über das gesamte Belebungsbecken, konnten der Bereich dieser Strömungserscheinungen eingegrenzt und die Strömungen charakterisiert werden [6, 7].

Auffällig war, dass die Ammoniumoszillationen im mittleren Bereich des Beckens am stärksten waren und die Ammoniumsignale auf der linken und der rechten Seite des Belebungsbeckens wiederum in Antiphase zueinander standen (Abbildung 3, rechts). Betrachtet man nun die Verteilung der Belüftungselemente im nicht unterteilten aeroben Becken, stellt man fest, dass im Bereich, in dem wir die Ammoniumoszillationen fanden, die Belüfterdichte abnahm (Abbildung 4). Bei den vorderen beiden Registern waren jeweils 440 Belüftungselemente montiert, und die Belüftungsstränge waren bis an den Beckenrand verlegt. Beim mittleren Register waren 400 Belüftungselemente montiert, hier betrug der Abstand der au-

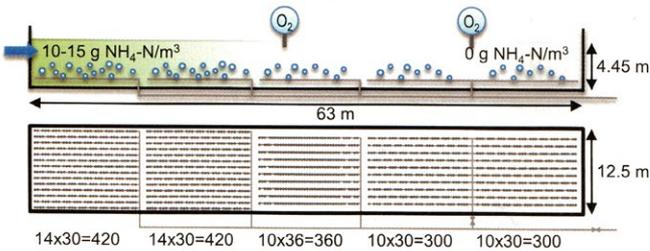


Abb. 4: Beckengeometrie des aeroben Reaktors der Kläranlage Werdhölzli. Unten sind die Anzahl der Belüftungselemente pro Zone angegeben.

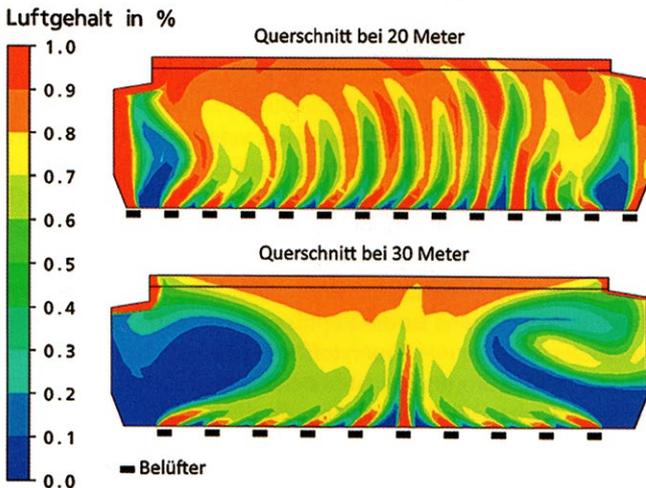


Abb. 5: Dreidimensionale CFD-Rechnungen für die Belebungsbecken der Kläranlage Werdhölzli. Gezeigt wird der Luftanteil im Reaktorquerschnitt. Durch die fehlenden Belüftungsstränge am Rand des Reaktors bei 30 m werden Querwalzen erzeugt (Bild unten).

ßeren Belüftungsstränge zur Wand 1 m. Bei den hinteren beiden Registern waren je 360 Belüftungselemente montiert. Mit CFD-Rechnungen (CFD: Computational Fluid Dynamics) konnte nachgewiesen werden, dass ein Abstand der Belüftungsstränge zur Wand von 1 m bereits ausreicht, um im mittleren und hinteren Bereich der Belebungsbecken Querwalzen zu induzieren (Abbildung 5, unten). Damit konnte die links-rechts Asymmetrie des Ammoniumsignals plausibel gemacht werden. Schlussendlich gelang mit 3D-CFD-Rechnungen und mit Messungen mit einem Akustischen Doppler-Strömungsmesser [Acoustic-Doppler-Velocimeter (ADV)] sowie Druckdifferenzmessungen der Nachweis, dass die Sieben-Minuten Oszillationen der Strömung durch die spezielle Anordnung der Belüftungselemente verursacht wurden [8, 9]. Treibende Kraft für die Oszillation war einerseits der Belüftungsgradient längs des Beckens, durch den der Luftanteil von ca. 1,2 % im vorderen Teil des Beckens auf deutlich unter 0,8 % im hinteren Bereich des Beckens abfiel. Andererseits wurde durch die nicht vollständig homogene Anordnung der Belüftungselemente im Mittelbereich die Bildung von einer regulären Längswalze behindert. Es kam zu einem wechselseitigen Abfließen des belebten Schlammes auf den beiden Seiten.

Mit einem stark vereinfachten Modell der hydraulischen Strömungen, der biologischen Prozesse und der Sauerstoffregelung gelang schlussendlich der Nachweis, dass die Regleroszillation mit der Periode von einer Stunde, die der Ausgangs-

punkt dieser Untersuchungen war, durch die starke Dämpfung des Signals der Sauerstoffelektrode und durch die gewählten PI-Werte (PI: proportional-integral) des Sauerstoffreglers verursacht wurden. Das vereinfachte Modell zeigte, dass Regleroszillationen nur dann zu erwarten waren, wenn die Ammoniumkonzentration bei der Betriebssauerstoffsonde um den Sättigungsbeiwert der Nitrifikation lag (ca. 1 mg/L), dieser Fall trat in der Kläranlage Werdhölzli regelmäßig nach Mitternacht und bis in den frühen Morgen ein (Abbildung 2, rechts).

## 2.2 Kläranlage Ergolz 1

Die Kläranlage Ergolz 1 des Amts für industrielle Betriebe Basel-Landschaft (AIB) mit Standort in Sissach hat ein Einzugsgebiet von 35 000 Einwohnergleichwerten. Die Anlage hat drei Becken mit je einer anoxischen und drei aeroben Zonen, die mit einem Schieber für die Regelung der Luftzufuhr und den zugehörigen Sauerstoffsonden ausgerüstet sind. Die einzelnen aeroben Zonen waren zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht durch den Einbau von Zwischenwänden voneinander getrennt. Die Regelung der Schieber zeigte ein auffällig unregelmäßiges Verhalten, das kaum mit dem Lastverhalten der Anlage zu korrelieren war. Insbesondere auffällig war, dass der Schieber der vierten und somit hintersten Zone immer wieder über längere Zeiten vollständig geöffnet war.

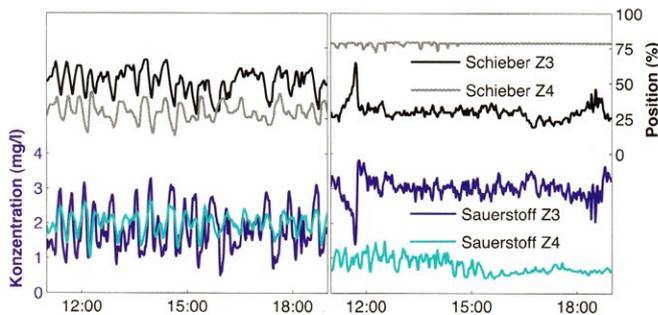


Abb. 6: Fallbeispiel Ergolz1: Sauerstoff und Schieberstellungen in den Zonen 3 und 4. Normalbetrieb am 7. Juli 2010 (links) und Betrieb bei stabiler Walze am 9. August 2010 (rechts)

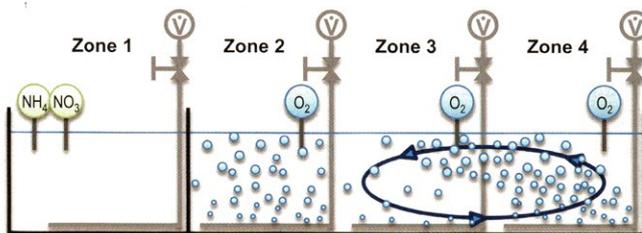


Abb. 7: Schematische Darstellung der Walzenbildung im nicht unterteilten aeroben Becken der Kläranlage Ergolz 1. Die Sauerstoffsonde der Zone 4 steht in einer belüftungsarmen Zone.

Bei einer Überprüfung der Betriebsdaten, konnte häufig beobachtet werden, dass das hinterste Register stark belüftet wurde, während das Register der dritten Zone praktisch vollständig gedrosselt war (Abbildung 6, rechts). Erstaunlicherweise zeigt in diesen Phasen die Sauerstoffsonde der dritten Zone eine hohe Sauerstoffkonzentration, während in der vierten Zone die gemessene Sauerstoffkonzentration unter dem Sollwert lag. Dieses Verhalten der Regelung konnte auf großskalige Strömungseffekte zurückgeführt werden (Abbildung 7).

Durch die starke Belüftung der vierten Zone kam es zeitweise zur Bildung einer Walze, welche die sauerstoffreiche Belebtschlamm Mischung zur Sauerstoffsonde der dritten Zone transportierte und so die Belüftung der dritten Zone drosselte. Dies wiederum stabilisierte die Walze, sodass dieser Zustand über mehrere Tage anhalten konnte. Bei der detaillierten Analyse der Betriebsdaten konnten auch Fälle gefunden werden, bei denen die Belüftung der zweiten und der dritten Zone über hydraulische Effekte gekoppelt wurden. Das unregelmäßige Verhalten der Belüftung konnte durch den Einbau von Zwischenwänden gelöst werden.

### 3 Diskussion

Unsere Untersuchungen von verschiedenen Kläranlagen zeigen, dass gekoppelte Regelkreise ein häufig anzutreffendes Problem sind. Die Regelungstechnik stellt hier ein breites Arsenal möglicher Lösungsansätze zur Verfügung, die unterschiedlich komplex sein können [10, 11]. Ein einfach einzusetzendes Konzept ist die Kaskadierung von Regelkreisen. Bei dieser Methode werden die Regelkreise so geschachtelt, dass verschiedene Aufgaben unterschiedlich schnell geregelt werden. Für eine gute Entkopplung der hierarchisch gegliederten Regelkreise sollten sich die Regelfrequenzen pro Ebene um einen Faktor ca. 10 unterscheiden. Der Gleitdruckregler ist eine spezielle Lö-



Abb. 8: Verallgemeinertes Konzept des Gleitdruckreglers. Vorschlag für die Kaskadierung der Regelkreise und typische Regelfrequenzen

sung dieses Konzepts, das noch weiter verallgemeinert werden kann (Abbildung 8). Bei der dynamischen Regelung der Sollwerte können außer dem Druck im Kollektor auch Sauerstoffkonzentration und die Faulwasserdosierung aufgrund der geschätzten Fracht angepasst werden.

Ein anderes grundsätzliches Problem bei der Regelung des Belebungsverfahrens ist die Repräsentativität der gemessenen intensiven Größen wie Sauerstoff- oder Ammoniumkonzentrationen. Diese Anforderung ist in Belebungsbecken in der Praxis in den seltensten Fällen gegeben, da die Becken im Allgemeinen nicht als voll durchmischte Reaktoren konstruiert werden. Es ist auch kaum möglich, eine repräsentative Position des Detektors zu finden, da diese Position von der momentanen Belastung des Reaktors und somit vom Tages-, Wochen- und Jahresgang abhängt. Denkbar ist, mit Modellannahmen diesen Informationsmangel zu kompensieren. Die Modelle müssten allerdings zwangsweise stark vereinfacht werden, und somit werden sie mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Diese Unsicherheiten können dazu führen, dass es schwierig ist, eine stabile Regelung zu erreichen, die auch in besonderen Situationen, wie Regenereignissen oder unvorhergesehenen Lastfällen, zum Beispiel von Industriebetrieben, richtig reagiert.

Das Problem der repräsentativen Messung in Belebungsbecken kann durch großskalige Strömungsphänomene zusätzlich verschärft werden. Mit CFD-Rechnungen könnten solche Strömungen vor der Realisierung des Projekts untersucht werden. Allerdings sind solche Rechnungen immer noch recht aufwendig, und der verantwortliche Ingenieur braucht viel Erfahrung, um die Resultate der Berechnungen in prozess- und regelungstechnisch relevante Informationen umzusetzen. Wie das Fallbeispiel der Kläranlage Werdhölzli gezeigt hat, können relativ kleine Asymmetrien in der Reaktorgeometrie zu unerwarteten Effekten führen. Die Resultate der CFD-Rechnungen sollten in jedem Fall nach dem Bau der Anlage experimentell validiert werden. Dafür können unterschiedliche Methoden wie Strömungsmessungen oder Messungen mit konservativen oder reaktiven Tracern eingesetzt werden. Benutzt man in aeroben Becken Sauerstoff oder Ammonium als reaktive Tracer zum Nachweis von großskaligen Strömungen, hat man den Vorteil, dass man prozessrelevante Parameter direkt beobachtet und so zusätzliche Unsicherheiten, die sich durch die Modellbildung ergeben, vermieden werden können. In anoxischen Becken haben sich ionenselektive Nitratsonden zum Nachweis von Strömungseffekten bewährt.

## 4 Schlussfolgerungen

Das Belebungsverfahren, wie es heute weltweit in unterschiedlichen Anlagentypen und mit unterschiedlichen Optimierungszielen angewendet wird, ist ein sehr robuster Prozess, der das Abwasser von kommunalen und auch industriellen Betrieben in einem breiten Bereich der Prozessvariablen reinigen kann. Fortschrittliche Regelungsstrategien sind zunehmend erwünscht, um den Reinigungsprozess zu optimieren, die Kapazität einer vorhandenen Anlage zu erhöhen und Energie zu sparen.

Die Analyse bestehender Anlagen zeigt, dass die Belebungsbecken hydraulisch sorgfältig geplant werden müssen. Wegen der schnellen Abnahme der Sauerstoffrespiration bei nahezu vollständiger Oxidation des vorhandenen Ammoniums verhalten sich Regelkreise bei hydraulisch ungenügend geplanten Belebungsbecken häufig instabil. Die schnelle Reduktion der Sauerstoffzehrung bei vollständigem Abbau des Ammoniums kann aber auch als willkommene Regelgröße für eine fortschrittliche Regelungsstrategie verwendet werden. Dazu ist neben einem geeigneten Design des Belebungsbeckens auch eine adäquate Anzahl von Sensoren nötig, die dazu dienen, den momentanen Belastungsgrad möglichst genau abzuschätzen. Bei kontinuierlichen Reaktoren hilfreich sind Volumenstrommessungen der Luft von den einzelnen Registern, um die Sauerstoffzehrung der einzelnen Zonen zu quantifizieren. Mit diesen Informationen können die Sollwerte für die Sauerstoffkonzentrationen, die Faulwasserdosierung sowie allenfalls der Sollwert für den Rücklaufschlamm dynamisch an die momentane Belastung angepasst werden. Durch ein verallgemeinertes Konzept der Kaskadierung von Regelkreisen für Kläranlagen werden Kopplungen von Regelkreisen systematisch vermieden.

Die sinkenden Preise für chemische Sensoren werden in Zukunft einen vermehrten Einsatz solcher Sensoren zur Folge haben. Einfache Modelle des biochemischen Abbaus der Schadstoffe liefern zusammen mit Sensoren teilweise redundante Informationen. Einerseits kann diese Redundanz genutzt werden, um die Regelkreise fehlertoleranter und damit robuster zu machen, andererseits kann der Betreiber mit geeigneter Softwareunterstützung diese Informationen nutzen, um ungewöhnliche Betriebszustände zu detektieren, Asymmetrien von Straßen zu erkennen, und nicht zuletzt können diese Informationen auch zur Optimierung der Regelungsstrategie und für die Planung von allfälligen Erweiterungsbauten herangezogen werden.

### Literatur

[1] W. Gujer, M. Henze, T. Mino, M. van Loosdrecht: Activated sludge model no. 3, *Water Sci. Technol.* 1999, 39 (1), 183–193  
 [2] M. Henze, W. Gujer, T. Mino, M. Van Loosdrecht: *Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*, IWA Publishing, London, 2000  
 [3] G. Koch, M. Kuhni, W. Gujer, H. Siegrist: Calibration and validation of activated sludge model no. 3 for swiss municipal wastewater, *Water Res.* 2000, 34 (14), 3580–3590  
 [4] J. Alex, T. B. To, P. Hartwig: Improved design and optimization of aeration control for wwtps by dynamic simulation, *Water Sci. Technol.* 2002, 45 (4–5), 365–372  
 [5] K. Holzenthal: Gleitdruckregelung von Klärwerksverdichtern, *KA – Abwasser, Abfall* 2003, 50 (9), 1157–1161  
 [6] D. Braun, W. Gujer: Reactive tracers reveal hydraulic and control instabilities in full-scale activated sludge plant, *Water Sci. Technol.* 2008, 57 (7), 1001–1007

[7] M. Gresch, D. Braun, W. Gujer: Using reactive tracers to detect flow field anomalies in water treatment reactors, *Water Res.* 2011, 45 (5), 1984–1994  
 [8] M. Gresch, D. Braun, W. Gujer: The role of the flow pattern in wastewater aeration tanks, *Water Sci. Technol.* 2010, 61 (2), 407–414  
 [9] M. Gresch, M. Armbruster, D. Braun, W. Gujer: Effects of aeration patterns on the flow field in wastewater aeration tanks, *Water Res.* 2011, 45 (2), 810–818  
 [10] H. Unbehauen: *Regelungstechnik 1*, Vieweg, Wiesbaden, 2005  
 [11] L. Guzzella: *Analysis and synthesis of single-input single-output control systems*, vdf Hochschulverlag AG, Zürich, 2007

### Autoren

Daniel Braun  
 Luzia Sturzenegger  
 ETH Zürich  
 Institut für Umweltingenieurwissenschaften  
 HIF C23.2  
 Schafmattstrasse 6, 8093 Zürich, Schweiz

Dr. Markus Gresch  
 Prof. Dr. Willi Gujer  
 ETH Zürich und Eawag  
 Institut für Umweltingenieurwissenschaften  
 8600 Dübendorf, Schweiz

E-Mail: braun@stab.baug.ethz.ch





**MECANA**  
UMWELTECHNIK

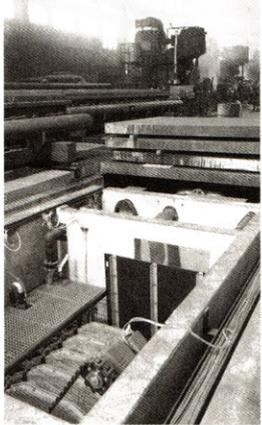
kombiniert Innovation  
mit langjähriger  
Erfahrung

---

**Mecana-Polstofffilter**

Neue Anwendungsgebiete bei der Filtration von:

- Stahlwerkabwasser
- Strassenabwasser
- Mischwasser
- Seewasser
- Wasser aus der Schnellentkarbonisierung
- Abwasser nach Pulver-Aktivkohle-Anwendung (Elimination von Mikroschadstoffen)



Auch in diesen Fällen zeigen Polstofffilter sehr gute Ablaufwerte und können ihre Vorteile hinsichtlich Kompaktheit, Energieverbrauch, kontinuierlicher Betriebsweise usw. ausspielen.

Mecana Umwelttechnik GmbH • CH-8864 Reichenburg  
 Telefon: +41 (55) 464 12 00 • Fax: +41 (55) 464 12 01  
 info@mecana.ch • www.mecana.ch

