

VERWENDUNG VON SUMMENPARAMETERN ZUR REGELUNG VON BELEBUNGSANLAGEN

G. Fröse, St. Köhler

1. EINLEITUNG

Entsprechend ihrer allgemeinen Bedeutung in der Abwassertechnik werden Summenparameter auch als Meßgrößen bei der automatischen Steuerung und Regelung der in einem Belebungsbecken ablaufenden Prozesse verwendet.

In diesem Zusammenhang sind allerdings nur die Parameter interessant, die mit kontinuierlich oder quasikontinuierlich arbeitenden Meßgeräten online erfaßt werden können. Die folgende Aufstellung gibt einen Überblick über diese Parameter in der Reihenfolge ihrer ungefähren Einsatzhäufigkeit auf kommunalen Kläranlagen:

- Leitfähigkeit
- Redoxpotential
- Trübung
- Schlammvolumen
- BSB
- CSB
- UV-Absorption (SAK)
- TOC, DOC
- Gesamtphosphor
- Zehrung
- Säurekapazität
- Gesamtstickstoff

Im folgenden soll die Verwendung der genannten Parameter im Rahmen von Steuerungen und Regelungen betrachtet werden. Dabei werden neben den in der Praxis anzutreffenden Verfahren auch einige weiterführende Möglichkeiten aufgezeigt.

Die Darstellung beschränkt sich in erster Linie auf kommunale Belebungsanlagen, die je nach Typ und Ausrüstung folgende Möglichkeiten zur automatischen Beeinflussung der Prozesse bieten:

- Steuerung des Sauerstoffeintrags (Intensität, zeitliche und räumliche Verteilung),
- Bewirtschaftung von internen Kreisläufen bzw. Bypass-Strömen,
- Fällmitteldosierung,
- Substratdosierung,
- Dosierung von Stoffen zur Einstellung des pH-Wertes,
- Beeinflussung des Überschußschlammabzugs,
- Bewirtschaften von Speicherräumen.

2. ANWENDUNG VON SUMMENPARAMETERN

2.1 CSB, BSB, TOC, DOC

CSB-, BSB-, TOC- und DOC Meßgeräte liefern Informationen über die organische Verschmutzung des Abwassers. Ohne auf die Unterschiede zwischen den einzelnen Parametern einzugehen, läßt sich feststellen, daß diese Werte hauptsächlich zur Überwachung und Dokumentation der Zu- und Ablaufkonzentrationen herangezogen werden (in verschiedenen Ländern ist die Messung des TOC im Ablauf vorgeschrieben).

Im Rahmen von Anlagensteuerungen sind darüber hinaus folgende Anwendungen möglich und in einigen Fällen auch realisiert:

- Frachtausgleich durch Zwischenspeichern von Abwasser,
- Dosierung externen Kohlenstoffsubstrats (z.B. zur Erhöhung der Denitrifikationsrate),
- Gezielte Einleitung von Trübwasser während der belastungsschwachen Zeiten,
- Steuerung von Bypass-Strömen.

2.2 Trübung

Die Trübung im sichtbaren Bereich des Lichts wird als Meßgröße zur Regelung der Denitrifikation verwendet. Ein zusammen mit Anlagen eines bestimmten Herstellers verbreitetes System besteht aus einem kleinen Absatzbecken, das kontinuierlich mit Schlamm aus der Belebung beschickt wird und einem Fotometer, mit dem die Trübung des Abflaus aus diesem Becken gemessen wird. Man geht davon aus, daß es beim Übergang vom anoxischen in das anaerobe Milieu - also bei vollständiger Nitratreduktion - zu einem meßbaren Anstieg der Trübung kommt und damit ein Kriterium für das Ende einer Denitrifikationsphase zur Verfügung steht.

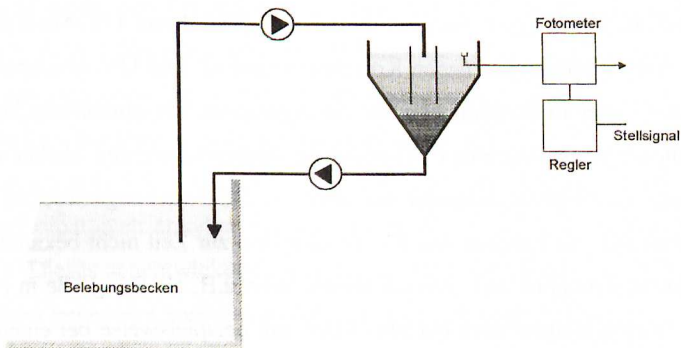


Bild 1: Schema einer Regelung nach der Trübung in einem Meßreaktor

Eine weitere, durchaus häufige Anwendung von Trübungsmessungen ist die direkte Überwachung des Nachklärbeckenablaufs. Daraus lassen sich anlagenspezifisch weitere Aussagen ableiten:

- die hydraulische Belastung der Nachklärung,
- Hinweise auf Betriebsstörungen der Nachklärung,
- die Restverschmutzung, die bei schwach belasteten Anlagen vorwiegend aus abtreibenden Bakterienflocken besteht,
- der Schlammexport über den Ablauf.

Mit gewissen Einschränkungen könnte darüber hinaus ein Flockenzerfall, wie er sich bei zu geringer Pufferkapazität einstellt, detektiert werden. Um diese Erkennung sicherzustellen, sollten allerdings weitere Meßgrößen (z.B. pH-Wert) herangezogen werden. Gegebenenfalls könnten daraufhin (auch automatisch) Abhilfemaßnahmen wie Zudosierung von Alkalien oder verstärkte Denitrifikation eingeleitet werden.

2.3 UV-Absorption bei 254 nm (SAK)

Eine Variante der Trübungsmessung ist die Bestimmung der UV-Absorption bei einer Wellenlänge von 254 nm. In verschiedenen Untersuchungen /MATSCHÉ UND RUIDER, 1982/ wurde festgestellt, daß zwischen dieser UV-Absorption und dem CSB eine abwasserspezifische Korrelation besteht. Die UV-Absorption kann daher als möglicher Ersatzparameter für die organische Verschmutzung betrachtet und in ähnlicher Weise wie eine CSB-Messung verwendet werden. Bisher wird die UV-Messung als Summenparameter vor allem zu Überwachungszwecken gemessen; Anwendungen im Rahmen von Regelungen sind zur Zeit nicht bekannt. Es erscheint allerdings möglich und sinnvoll, diesen Wert z.B. als Störgröße in eine Regelung der Stickstoffelimination einzubeziehen, um beispielsweise bei einem CSB-

Anstieg das aerobe Schlammalter durch längeres oder verstärktes Belüften zu erhöhen.

Unter der Voraussetzung, daß die entsprechenden Sensoren auch in Rohabwasser mit akzeptablem Wartungsaufwand einsetzbar sind, könnten UV-Absorptionsmessungen auch zur Bewirtschaftung von Speicherräumen auf der Kläranlage selbst oder im Kanalnetz eingesetzt werden.

2.4 Redoxpotential

Die Messung des Redoxpotentials im Belebtschlamm hat in den letzten Jahren erheblich an Bedeutung und Verbreitung gewonnen, nachdem Sensoren entwickelt worden waren, die auch im Schlamm über akzeptable Zeiträume zuverlässig und ohne ständige Wartungsarbeiten betrieben werden können. Eine inzwischen häufige Anwendung dieses Summenparameters ist die Regelung der Denitrifikation über den Verlauf des Redoxpotentials: Dieses Verfahren nutzt die Tatsache, daß beim Erreichen des Nitratnullpunktes während einer Denitrifikationsphase ein Knick in der Redoxganglinie auftritt. Im Vergleich zur einer Regelung nach der Nitratkonzentration liegen die Vorteile in den geringen Investitionskosten und dem wartungsarmen Betrieb.

Voraussetzung für den Einsatz eines solchen Systems ist allerdings wie bei der zuvor beschriebenen Regelung nach der Ablauftrübung eine intermittierende bzw. alternierende Betriebsweise sowie eine Belebungsanlage, die von ihrer Auslegung und Belastung her eine vollständige Denitrifikation erlaubt.

Die relativ „abstrakte“ Parametrierung z.B. über Steigungsgrenzwerte wird bei einem selbstparametrierenden System, das in diesem Jahr auf den Markt kommt, entfallen. Dieses neuentwickelte System weist darüber hinaus eine größere Unempfindlichkeit gegenüber saisonalen und auch tageszeitlichen Schwankungen des Redoxniveaus auf.

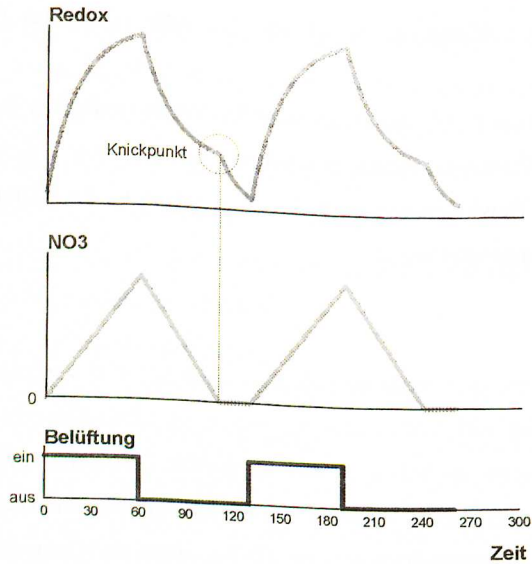


Bild 2: Nitrat- und Redoxganglinien bei intermittierender Belüftung

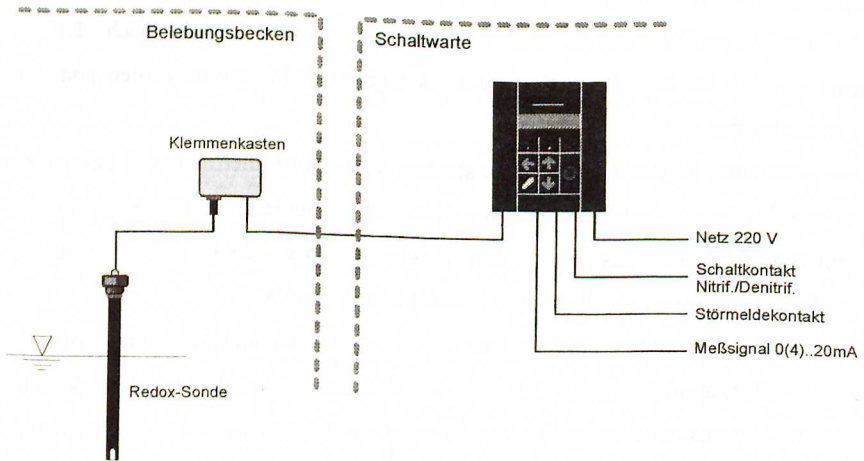


Bild 3: Schema einer Denitrifikationsregelung nach dem Redoxpotential

Im Zusammenhang mit der biologischen Phosphorelimination werden ebenfalls Redoxmessungen eingesetzt, um das Milieu im anaeroben Rücklösebecken zu beurteilen /EKAMA, MARAIS, 1985; BANTZ et. al., 1985; TRACY, FLAMMINO, 1987; TEICHFISCHER, 1994/. Eine Steuerung oder Regelung läßt sich daraus nicht ableiten, da die Ursachen und Randbedingungen des Prozesses bisher noch nicht hinreichend bekannt sind. Es ist jedoch zu vermuten, daß das Redoxpotential als Kontrollparameter neben anderen Meßgrößen auch künftig eine Rolle bei der biologischen Phosphorelimination spielen wird.

2.5 Leitfähigkeit

Leitfähigkeitsmessungen sind auf sehr vielen Kläranlagen im Zu- oder Ablauf bzw. im Belebungsbecken installiert. Der Meßwert wird in fast allen Fällen lediglich zur Erkennung und Dokumentation von Betriebsstörungen (Einleiterüberwachung) verwendet. Weitere Anwendungen - auch im Rahmen von Steuerungen und Regelungen - könnten sich künftig aus einer zusammenfassenden Bewertung der Leitfähigkeit und anderen (Summen-) Parametern ergeben. Auf entsprechende Ansätze wird später noch näher eingegangen.

2.6 Zehrung

Auf mehreren Anlagen hat sich die Sauerstoffzehrung im Zusammenhang mit der Stickstoffelimination als sinnvoller Parameter zur Steuerung der Belüftungsintensität bzw. der Belüftungsdauer erwiesen. Bei einem zuerst von der TU Wien auf der Kläranlage Wien Blumental eingesetzten System besteht die Meßeinrichtung aus einem kleinen Behälter, der kontinuierlich mit Schlamm und Abwasser beschickt und konstant belüftet wird. Der sich dabei einstellende Sauerstoffgehalt liefert ein Maß für die aktuelle Zehrung im Belebungsbecken.

Für die intermittierende oder alternierende Denitrifikation wurden Verfahren entwickelt, die die Zehrung direkt aus dem Abfall der Sauerstoffkonzentration zu Beginn einer Denitrifikationsphase ermitteln und nach dem Meßwert die Dauer der jeweiligen Denitrifikationsphase einstellen. Der Vorteil eines derartigen Systems ist ein sehr geringer Mehraufwand hinsichtlich der Investition und Wartung. In den meisten Fällen können bereits vorhandene Meßeinrichtungen (Sauerstoffmessung) benutzt werden. Da es sich in Bezug auf die Stickstoffelimination jedoch um eine reine Steuerung handelt, ist die erzielbare Genauigkeit geringer als bei einer entsprechenden Regelung z.B. nach Nitrat oder Redox.

2.7 Säurekapazität

Bei schwach gepufferten Abwässern kann es im Zusammenhang mit der Stickstoffelimination erforderlich sein, Alkalien zu dosieren, um einen zu weitgehenden Verbrauch an Pufferkapazität und die dadurch verursachten Auswirkungen auf den Belebtschlamm (Flockenzerfall, Auswaschen der Nitrifikanten) zu verhindern. Eine Bestimmung der Säurekapazität im Ablauf oder im Belebtschlamm liefert die zuverlässigste Information über die vorhandene Restpufferung und läßt sich auch zur Regelung der Alkalidosierung einsetzen. Nachteilig ist der relativ hohe Aufwand, der mit dieser Messung verbunden ist.

2.8 Gesamtstickstoff

Online-Meßgeräte zur Gesamtstickstoff-Bestimmung stehen erst seit kurzer Zeit zur Verfügung. Im Rahmen von Steuerungen oder Regelungen erscheint die Verwendung dieses Parameters wenig sinnvoll, da die Überwachung der Prozesse eine Differenzierung der Stickstoffkomponenten erfordert und die hierfür benötigten Analysengeräte verfügbar sind. Als Anwendungsbereich für die Bestimmung des Gesamtstickstoffs verbleibt daher die Zu- und Ablaufkontrolle.

2.9 Gesamtphosphor

Die relativ aufwendige Gesamtphosphormessung wird wie die CSB-, BSB- oder TOC-Messung vorwiegend zur Überwachung und Dokumentation der Zu- und Ablaufkonzentration eingesetzt. In Einzelfällen kann der im Zulauf gemessene Gesamtphosphorgehalt zusammen mit der Wassermenge auch zur frachtabhängigen Steuerung einer Fällmitteldosierung herangezogen werden.

2.10 Schlammvolumen

Das Schlammvolumen kann zu den Summenparametern gerechnet werden, da es typischerweise einer Vielzahl von Einflußgrößen unterliegt. In den meisten Fällen werden Schlammvolumenmessungen im Labor durchgeführt und über den Regler „Mensch“ zur Beeinflussung von Belebungsanlagen herangezogen. In einigen Fällen werden jedoch auch quasikontinuierlich arbeitende automatische Meßgeräte eingesetzt, um über das Schlammvolumen die Rücklaufschlammförderung und/oder den Überschußschlammabzug und damit letztendlich die Biomasse im Belebungsbecken zu regeln. Da eine solche Regelung sehr indirekt wirkt und der Zusammenhang zwischen den einzelnen Parametern nicht allgemeingültig und zudem nur unsicher angegeben werden kann, ist der Nutzen derartiger Systeme anzuzweifeln.

3. BEISPIELE FÜR DIE VERKNÜPFUNG VON PARAMETERN

Bisher wurden im wesentlichen die Möglichkeiten für Steuerungen und Regelungen beschrieben, die sich aus einzelnen Summenparametern ergeben. Nachfolgend soll demonstriert werden, daß es durchaus sinnvoll sein kann, mehrere Meßgrößen in Konstellation zu bewerten. Gerade im Zusammenhang mit Summenparametern, die jeder für sich das tatsächliche Geschehen nur undifferenziert wiedergeben, kann eine solche Vorgehensweise die Aussagefähigkeit deutlich erhöhen. Ferner besteht die Möglichkeit, relativ einfach und zuverlässig zu messende Summenparameter in

Steuerungen/Regelungen nach Einzelparametern einzubeziehen, um dadurch die Redundanz und den Wirkungsbereich solcher Systeme zu erhöhen sowie eine Grundlage für Plausibilitätskontrollen zu schaffen.

3.1 Kombination aus Ammonium- und Redoxregelung

Ein Beispiel für eine solche Kombination ist die Regelung der Stickstoffelimination nach der Ammoniumkonzentration und dem Redoxpotentialverlauf.

Der wesentliche Vorteil eines solchen Systems besteht darin, daß die Regelung auf beide Teilprozesse der Stickstoffelimination, Nitrifikation und Denitrifikation, wirkt und damit eine umfassende Optimierung möglich wird. Weiterhin ist eine höhere Betriebssicherheit gegeben, da bei Ausfall eines Meßwertes ein zweiter zur Verfügung steht, der -mit eingeschränktem Wirkungsbereich- auch allein eine sichere Regelung ermöglicht.

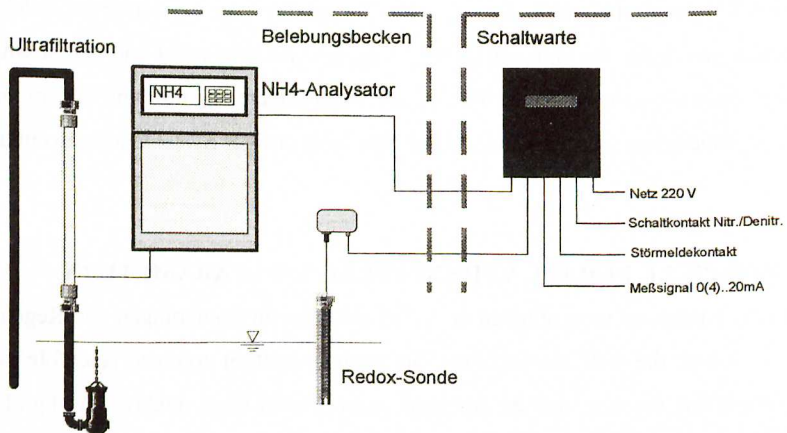


Bild 4: Kombinierte Regelung nach Ammonium und Redox

Zu den nachfolgenden Beispielen ist anzumerken, daß hier nicht inhaltliche Aspekte, sondern mögliche Vorgehensweisen bei der Kombination verschiedener Parameter dargestellt werden sollen.

3.2 Parameterkombination zur Optimierung der P-Elimination

3.2 Parameterkombination zur Optimierung der P-Elimination

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurden Möglichkeiten untersucht, die biologisch-chemische Phosphorelimination zu optimieren /WEBER, 1993/. Dabei wurden Korrelationen zwischen der P-Konzentration und der Leitfähigkeit im Zulauf sowie zwischen der Nitratkonzentration und dem Redoxpotential in der anoxischen Zone gefunden. Als anlagenspezifische Lösung würde daraufhin die nachfolgend dargestellte Steuerung realisiert:

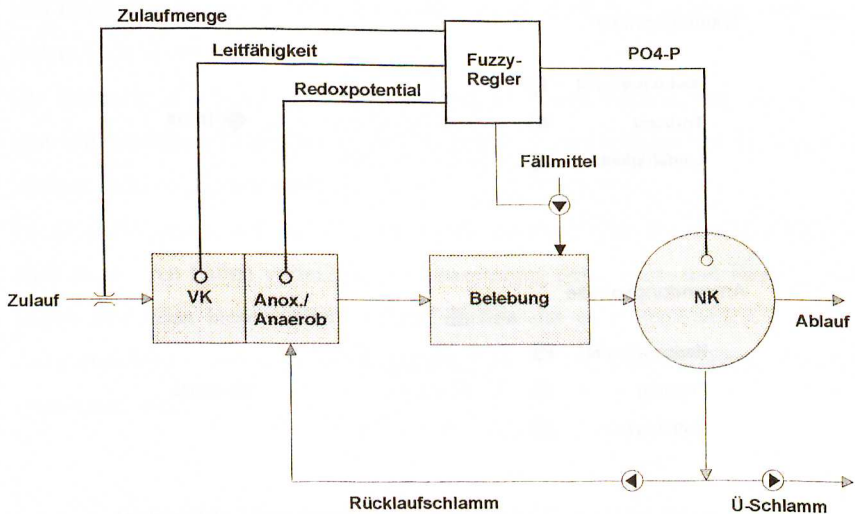


Bild 5: Steuerungs- und Regelungssystem für die P-Fällmitteldosierung (nach Prospekt der Firma Prominent)

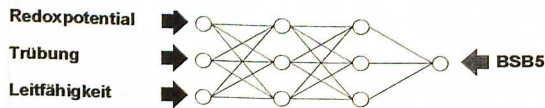
3.3 Ableitung eines Parameters mit Hilfe eines neuronalen Netzes

Ein weiteres Beispiel soll demonstrieren, daß sich bei einem bestimmten Abwasser aus der Konstellation verschiedener (Summen)-Parameter ein anderer Parameter - hier ebenfalls ein Summenparameter, der BSB₅ - ableiten läßt. Hilfsmittel ist dabei ein sogenanntes neuronales Netz, das in der Lage ist, einer Konstellation von Eingangsgrößen eine oder auch mehrere Ausgangsgrößen zuzuordnen.

Voraussetzung ist eine „Lern-“ bzw. „Trainingsphase“, in der das Netz wiederholt mit zusammengehörigen Meßwerten der Ein- und Ausgangsgrößen konfrontiert wird.

Im Ergebnis (Bild 7) zeigt sich eine zufriedenstellende Korrelation zwischen berechnetem und gemessenem BSB₅.

Trainingsphase



Anwendungsphase

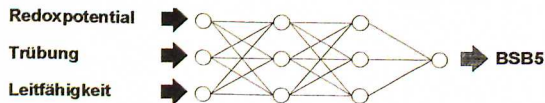


Bild 6: Ableitung des BSB aus Redoxpotential, Trübung und Leitfähigkeit
(nach WINKLER, 1994)

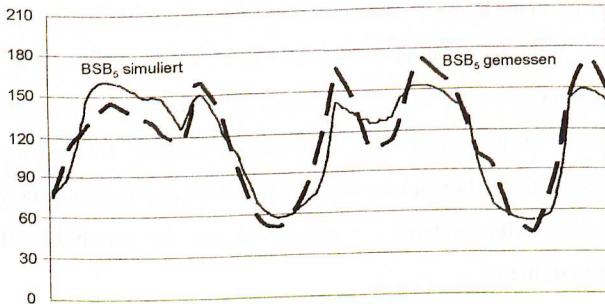


Bild 7: Vergleich zwischen gemessenem und berechnetem BSB₅ (nach WINKLER, 1994)

Die konkreten Parameterkonstellationen und -korrelationen sind sicher auch in diesem Beispiel anlagen- und abwasserspezifisch und deshalb nicht ohne weiteres auf andere Fälle übertragbar.

Die Beispiele zeigen jedoch, daß es möglich ist, durch Verknüpfung von Parametern Informationen zu gewinnen, die bei isolierter Betrachtung der einzelnen Parameter nicht zu erhalten sind.

Es ist anzunehmen, daß sich die gezeigten Prinzipien der Parameterkombination auch in anderen Fällen vorteilhaft zur Erweiterung der Steuer- und Regelmöglichkeiten anwenden lassen. Nicht zuletzt dürften die anlagenspezifisch ermittelten Zusammenhänge auch im Hinblick auf den Einsatz von wissensbasierten Systemen interessant sein.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Einige der in der Abwassertechnik gebräuchlichen Summenparameter weisen auch im Rahmen von Anlagensteuerungen und -regelungen ein breites Anwendungsspektrum auf und können zur Vereinfachung oder Absicherung von Regelungen

dienen. Dies betrifft insbesondere die Summenparameter Redoxpotential, Trübung und SAK. Andere Summenparameter wie z.B. BSB, CSB, TOC, DOC, Zehrung und Säurekapazität lassen sich unter bestimmten Randbedingungen (Anlagenkonfiguration, Abwasserzusammensetzung) sinnvoll anwenden. Interessante weiterführende Möglichkeiten - insbesondere auch im Hinblick auf den Einsatz neuronaler Netze und wissensbasierter Systeme - ergeben sich aus der simultanen Bewertung mehrerer Summenparameter.

Literatur:

MATSCHÉ, N., RUIDER, E.: UV-Absorption, ein aussagekräftiger Parameter zur Erfassung der Restverschmutzung von biologisch gereinigtem Abwasser

Wasser-Abwasser-Gewässer, Bd. 49, 1982

EKAMA, G. A., MARAIS, G.v.R.: Zusätzliche Phosphorelimination beim Belebungsverfahren - Erfahrungen in Südafrika

GWF Wasser/Abwasser 126, H.5, S.241-289, 1985

BANTZ, I., MERTSCH, V., PINNEKAMP, J. : Notwendigkeit und Probleme der Phosphate-
limination aus dem Abwasser.

Abwassertechnik H.5, S. 33-37, 1985

TRACY, K. D., FLAMMINO, A. : Biochemistry and energetics of biological phosphorus removal.

Biological Phosphate Removal from Wastewaters

IAWPRC International Specialized Conference Rome,

Pergamon Press p.15, 1987

TEICHFISCHER, T.: Der Einfluß schwankender Abwasserzusammensetzungen auf die vermehrte biologische Phosphatelimination und Möglichkeiten zur Prozeßstabilisierung

Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft TU Braunschweig,

H. 57, 1994

WEBER, J.: Phosphorelimination auf der Kläranlage des Abwasserzweckverbandes Heidelberg
Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, Bd. 68, S.165-
182, 1993

WINKLER, U.: Einsatz computergestützter Methoden für den Betrieb von Kläranlagen unter
besonderer Berücksichtigung neuronaler Netzwerke
Schriftenreihe des Instituts WAR der TH Darmstadt, Bd. 75, S. 245-258, 1994

Verfasser:

Dipl. Ing. G. Fröse
c/o AQUADATA GmbH
Große Straße 5
38116 Braunschweig

Dipl. Ing. St. Köhler
c/o AQUADATA GmbH
Büro Süd
Südliche Stadtmauerstr. 15A
91054 Erlangen