

MESSUNG DER SAUERSTOFFZUFUHR IN BELEBTEM SCHLAMM MIT UND OHNE HILFSSTOFFE (ABSORPTIONS- UND DESORPTIONSMESSUNGEN)

Wilhelm Frey, Korneuburg (Österreich)

1. EINLEITUNG

„Um die Kosten für die Abwasserreinigung so gering wie möglich zu halten, muß an den laufenden Aufwendungen gespart werden. Da die Energiekosten für die Belüftung ein wesentlicher Anteil der Betriebskosten von Belebungsanlagen sind, ist es von großem Interesse, die Wirtschaftlichkeit der Belüfter immer weiter zu verbessern.“

Schrieb Kayser im Dezember 1966 [1]. Diese Aussage ist heute genauso aktuell wie damals

Die Messung der Sauerstoffzufuhr ist ein wichtiges Werkzeug zur Beurteilung, Entwicklung und Verbesserung der eingesetzten Belüftungseinrichtungen.

Für Vergleichszwecke werden häufig Reinwasserwerte herangezogen. Der Grund dafür liegt in den zweifellos stärkeren Störeinflüssen und damit größeren Meßtoleranz bei Messungen in belebtem Schlamm. Im Hinblick auf eine gesicherte und kostengünstige Abwasserreinigung ist jedoch die Sauerstoffzufuhr und der Sauerstoffertrag in belebtem Schlamm entscheidend.

Ziel dieses Aufsatzes ist es eine Hilfestellung bei der Versuchsdurchführung zu geben, um die erzielbare Genauigkeit bei solchen Messungen zu verbessern.

Im Rahmen dieses Vortrages wird auf Absorptions- und Desorptionsmessungen eingegangen. Dem Verfasser liegen keine Erfahrungen mit Tracer-Methoden vor, der interessierte Leser muß auf die Literatur verwiesen werden [2] [3] [4].

2. VORAUSSETZUNGEN UND EINTEILUNG DER MESSUNGEN

Messungen der Sauerstoffzufuhr in belebtem Schlamm sind grundsätzlich nur möglich, wenn der Sauerstoffverbrauch der Mikroorganismen während der Messung praktisch konstant ist. Versuche mit veränderlicher Atmung liefern unbrauchbare Resultate.

Es ist möglich mit ansteigendem Sauerstoffgehalt (Absorptionsmessung) oder abnehmendem Sauerstoffgehalt (Desorptionsmessung) zu arbeiten.

Messungen in belebtem Schlamm können mit und ohne Durchfluß durchgeführt werden. Für Messungen ohne Durchfluß werden der Abwasser- und Rücklaufschlammzufluß und ggf. die interne Rezirkulation vor Versuchsbeginn unterbrochen. Die Belüftungsleistung wird auf einen vorgegebenen Wert eingestellt. Mit dem Versuch wird erst begonnen, wenn sich im belebten Schlamm eine annähernd konstante Atmung, gekennzeichnet durch einen konstanten Sauerstoffgehalt, eingestellt hat. Da hierdurch zugleich TOC, CSB und Tenside auf konstant geringe Konzentrationen sinken, ist die Reproduzierbarkeit von Versuchen zu verschiedenen Zeiten mit gleicher Belüftungsleistung höher als bei Messungen mit Durchfluß.

Bei Messungen mit Durchfluß bleibt das Belebungsbecken mit belebtem Schlamm voll in Betrieb, es wird aber die Belüftungsleistung auf einen vorgegebenen Wert eingestellt. Da der Belüftungskoeffizient ($\alpha k_{L a_{20}}$) von der beim Versuch vorhandenen Wasserqualität (Salzgehalt, TOC, CSB, Tensiden usw.) abhängig ist, wird man bei Messungen an verschiedenen Tagen und zu verschiedenen Zeiten verschiedene $\alpha k_{L a_{20}}$ - bzw. αOC -Werte feststellen. Für den Nachweis von Garantien erscheinen diese Messungen daher weniger geeignet.

Belebtschlamm ist kein definiertes Medium. Die Messung von Schlamm- und Abwasserparametern gibt einen qualitativen Anhaltspunkt bei der Interpretation von Versuchsergebnissen. Die quantitativen Abhängigkeiten der Meßwerte von den Werten der Schlamm- und Abwasseruntersuchung sind nur in sehr geringem Umfang bekannt [5]. Eine Umrechnung ist nicht möglich.

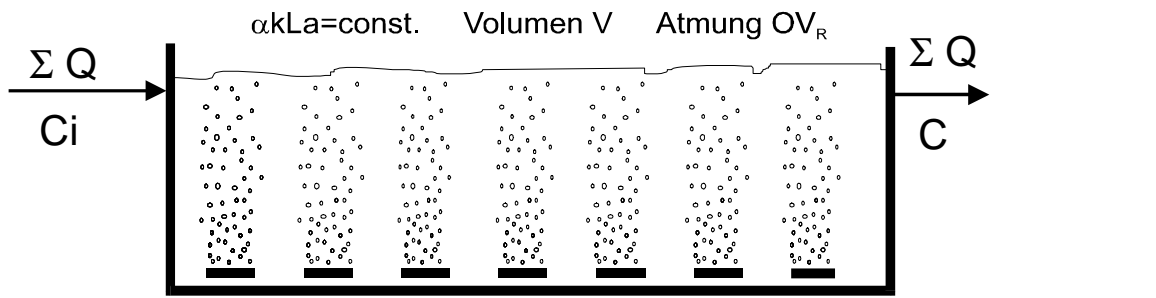
Die Messung von Schlammparametern ist nur sinnvoll, wenn die Anlage hydraulisch im Gleichgewicht ist (d.h. nicht unmittelbar nach Beginn eines Regens messen).

Selbstverständlich gibt nur der „echte“ Betrieb die „waren“ Werte wieder. Aber die zu erwartenden Meßfehler sind auch am größten. Nach Abwägung der Vor- und Nachteile erachtet der Verfasser dieses Aufsatzes die Messung ohne Durchfluß für einen brauchbaren Kompromiß.

3. THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Die theoretische Basis der Messungen wird ausführlich in [6] und [7] erläutert. Eine Zusammenfassung findet sich im ATV Merkblatt 209. An dieser Stelle sollen nur die wesentlichen Grundlagen dargestellt werden.

Für ein voll durchmischtes Belebungsbecken kann man folgende differenzielle Bilanzgleichung für den Sauerstoff aufstellen:



$$dt \cdot [\Sigma Q \cdot c_i + V \cdot \alpha k_{L,a} \cdot (\beta \cdot c_s - c)] = V \cdot dc + dt \cdot (V \cdot OV_R + \Sigma Q \cdot c) \quad (1)$$

ΣQ Summe der Zuläufe zum Belebungsbecken

c_i gelöst-Sauerstoffkonzentration im Zulauf

c aktuelle gelöst-Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken

V Volumen des Belebungsbeckens

$\alpha k_{L,a}$ Belüftungskoeffizient in belebtem Schlamm

β Salzfaktor

OV_R Sauerstoffverbrauch (Atmung)

Auf der linken Seite steht die Sauerstoffzufuhr und auf der rechten Seite der Sauerstoffverbrauch. Unter der Voraussetzung, dass in der Gleichung 1

- nur die gelöst-Sauerstoffkonzentration c von der Zeit abhängig und im ganzen Becken zu jedem Zeitpunkt gleich ist
- alle anderen Parameter praktisch konstant sind
- nach langer Belüftungszeit ($t \rightarrow \infty$) sich ein scheinbarer Sättigungswert c^* ($\frac{dc}{dt} = 0$ und damit $c = c^*$) im Belebungsbecken einstellt

kann man Gleichung 2 herleiten.

$$\frac{dc}{dt} = (\alpha k_{L,a} + q) \cdot (c^* - c) \quad (2)$$

$\frac{dc}{dt}$ Veränderung der gelöst-Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken

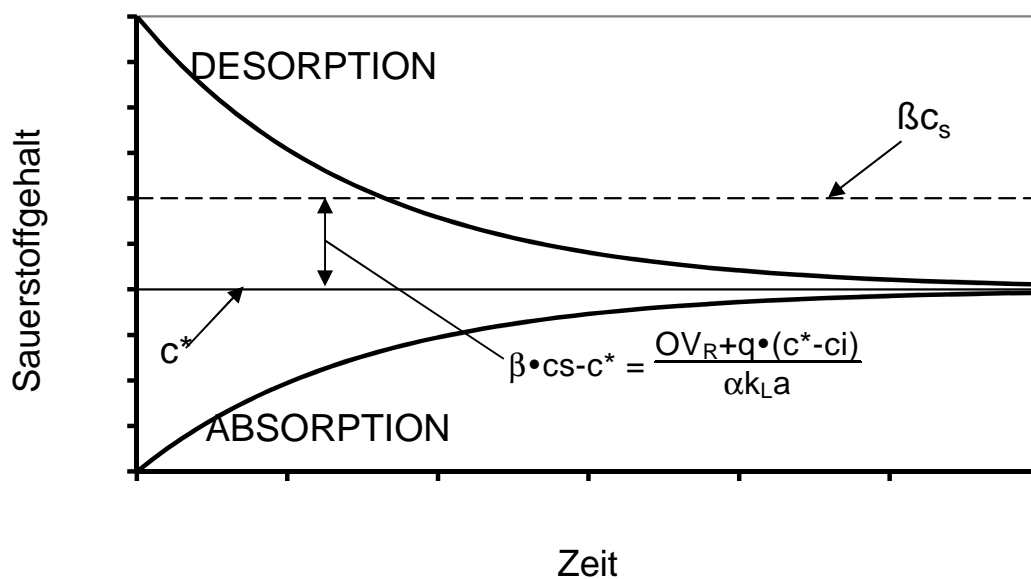
q Raumbeschickung des Belebungsbeckens ($\Sigma Q/V$)

c^* scheinbare Sauerstoffsättigungskonzentration

Löst man die Gleichung 2, so erhält man

$$c = c^* - (c^* - c_0) \cdot e^{-(\alpha k_L a + q) \cdot t} \quad (3)$$

Die Gleichung 3 ist nun die Basis für die Auswertung, sie gilt gleichermaßen für steigende (Absorptionsmessungen) und fallende Sauerstoffgehalte (Desorptionsmessungen). Es kann das gleiche Auswerteschema zur Anwendung gelangen (Achtung auf die Startwerte für die Iteration!). Über die Vorgangsweise bei der Ermittlung der drei Parameter c^* , c_0 und $\alpha k_L a$ wird im Rahmen dieses Seminars an anderer Stelle berichtet. Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf des Sauerstoffgehaltes bei einem Absorptionsversuch und einem Desorptionsversuch.



onsversuch.

Der Belüftungskoeffizient ermöglicht nun die Berechnung der Sauerstoffzufuhr (αOC in kg/h) und des Sauerstoffertrages (αOP in kg/kWh). Stehen Meßergebnisse von Reinwasserversuchen mit der gleichen Einstellung der Belüftungseinrichtung zur Verfügung kann der α -Wert (Grenzflächenfaktor) berechnet werden.

4. VERGLEICH ABSORPTION -DESORPTION

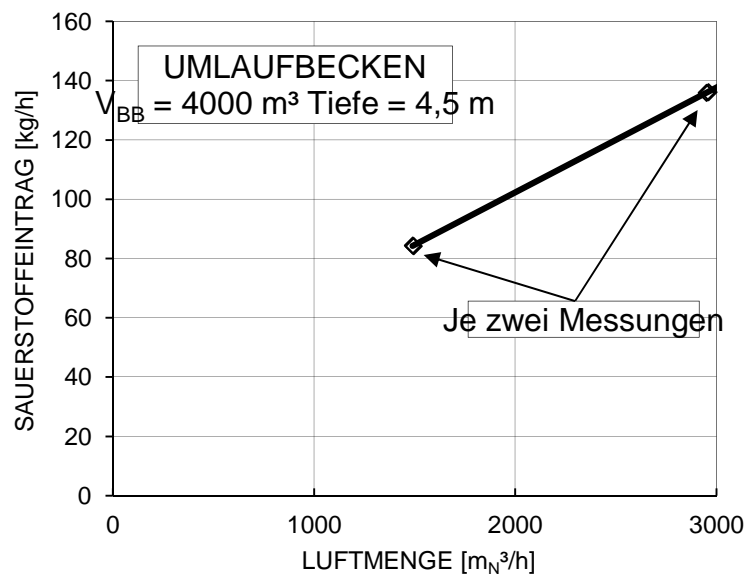
Über die Gleichwertigkeit der Resultate von Absorptions- und Desorptionsmessungen wurde schon früher berichtet [7], [8] und [9].

Die eigenen Erfahrungen zeigen, dass mit der gleichen Einstellung des Belüftungssystemes hintereinander durchgeführte Absorptions- und Desorptionsmessungen praktisch gleiche Ergebnisse liefern. Auch laufend durchgeführte

Atmungsmessungen haben nie einen Hinweis auf eine Schädigung der Mikroorganismen, durch die Zugabe von Hilfsstoffen, ergeben.

Beispielhaft möchte ich die Resultate von abwechselnd durchgeführten Absorptions- und Desorptionsmessungen nennen. Als Hilfsstoff wurde in beiden Fällen Wasserstoffperoxid 35%-ig eingesetzt.

Auf einer Anlage mit großen Umlaufbecken und Druckbelüftung wurden zwei Einstellungen des Belüftungssystems getestet. Die Versuchseinstellung mit geringer Luftmenge wurde als Desorptionsmessung und die mit hoher Luftmenge als Absorptionsmessung durchgeführt. Jede Einstellung wurde zweimal gemessen. Es waren 6 Sauerstoffsonden im Einsatz. Beginnend mit einem Auf-



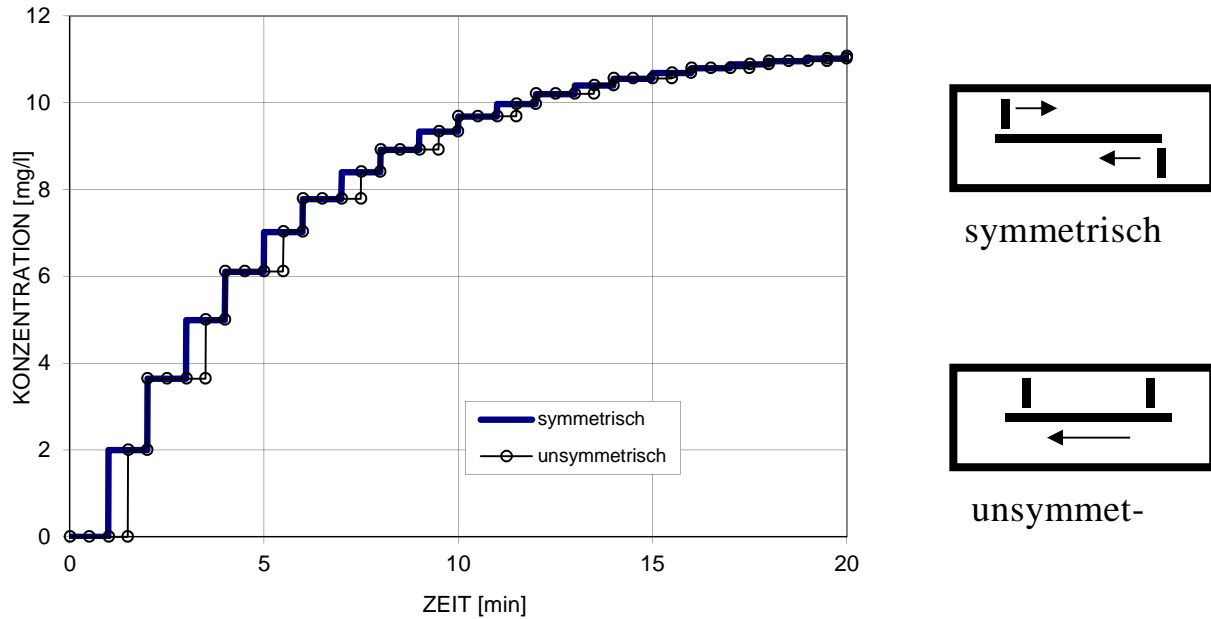
lüftversuch wurden abwechselnd Versuche mit steigendem und fallendem Sauerstoffgehalt gefahren. Die Versuche mit 3000 m³/h waren Auflüftversuche die mit 1500 m³ waren Desorptionsmessungen. Die Ergebnisse der Messungen sind in nebenstehender Abbildung dargestellt.

Auf einer anderen Anlage mit einem kreisringförmigen Becken mit einem Volumen von 360 m³ wurde bei hintereinander durchgeführte Absorptions- und Desorptionsmessung (H₂O₂) nur eine Abweichung des $\alpha_{kL}a$ -Wertes von $\pm 2\%$ vom Mittelwert der 4 Sonden festgestellt.

5. BECKENGEOMETRIE - UMLAUFBECKEN

Die in Punkt 3 angegebene Bilanzgleichung gilt nur für vollständige Mischbecken. Ein total durchmisches Becken wird dadurch gekennzeichnet, dass zu jedem Zeitpunkt an jeder Stelle der gleiche Sauerstoffgehalt zu finden ist. Nur wenn an jeder Stelle der gleiche Sauerstoffgehalt ist tragen die Belüfter auch gleich viel Sauerstoff ein. Sind nur wenige Belüfter vorhanden so erhält man einen treppenförmigen Verlauf der Sauerstoffanstiegskurve.

Die folgende Abbildung zeigt den Unterschied zwischen einer symmetrischen und einer unsymmetrischen Belüfteranordnung für einen Absorptionsversuch in Reinwasser.



Als symmetrische Belüfteranordnung wird eine solche verstanden, bei der der Fließweg zwischen den Belüftern gleich lang ist. Bei der unsymmetrischen Anordnung ist der Fließweg zwischen den Belüftern nicht gleich lang. Man erkennt, dass unabhängig von der Belüfteranordnung jeder Belüfter zu jedem Zeitpunkt die gleiche Sauerstoffzufuhrleistung hat. In Reinwasser können Umlaufbecken daher wie Mischbecken behandelt werden [10].

In belebtem Schlamm ist durch die Atmungsaktivität genau diese Voraussetzung (gleicher Sauerstoffeintrag jedes Belüfters) bei unsymmetrischer Belüfteranordnung nicht mehr gegeben. Auf dem Fließweg von einem Belüfter zum nächsten wird Sauerstoff verbraucht. Sind die Wege und damit die Zeiten ungleich lang, so ist die Sauerstoffkonzentration bei den Belüftern unterschiedlich. Der Belüfter mit der kürzeren vorgelagerten Fließstrecke arbeitet bei einem höheren Sauerstoffgehalt und trägt daher weniger Sauerstoff ein [11]. Man erhält auswertbare Sauerstoffanstiegs- und Desorptionskurven, der Belüftungskoeffizient wird aber nicht richtig gemessen. Um eine quantitative Abschätzung des Einflusses einer unsymmetrischen Anordnung zu erhalten muß man auch berücksichtigen, dass der Belüfter mit dem längsten vorgelagerten Fließweg bei einem niedrigeren Sauerstoffgehalt arbeitet und daher mehr Sauerstoff einträgt als bei einer symmetrischen Belüfteranordnung.

Wir haben 2 Messungen in belebtem Schlamm in einem Umlaufbecken ($V_{BB} = 5000 \text{ m}^3$) mit Walzenbelüftern (10 Stück, $\varnothing 1\text{m}$, Länge á 9m) durchgeführt. Es waren 7 Rotoren einmal in (fast) symmetrischer Anordnung und einmal unsymmetrisch in Betrieb. Der Unterschied der Meßwerte lag im Bereich der Meßgenauigkeit. Leider konnten keine weiteren Versuche durchgeführt werden.

6. HILFSSTOFFE

Der Einsatz von Hilfsstoffen bietet sich immer an, wenn:

- Die Aktivität des Schlammes so gering ist, dass das Aufzehren des Sauerstoffes sehr lange Zeit in Anspruch nimmt.
- Keine geeigneten Mischeinrichtungen vorhanden sind um den Schlamm in Schwebelage zu halten.
- Es nach dem Einschalten des Belüftungssystems lange dauert, bis sich konstante hydraulische Verhältnisse einstellen (große Umlaufbecken).
- Das Belüftungssystem unter den Belebtschlammbedingungen keine Auflüftung auf mindestens $0,5 c_s$ erlaubt

Bei Versuchen ohne Hilfsstoffe (in der Regel Absorptionsversuche) muß die Belüftung sehr weitgehend gedrosselt bzw. gänzlich abgestellt werden, um ein Aufzehren des Sauerstoffes im Becken zu erreichen. Je geringer die Atmung ist desto weiter ist die Sauerstoffzufuhr zu vermindern.

Versuche mit Hilfsstoffen haben in der Regel den Vorteil, dass das Belüftungssystem nur teilweise oder gar nicht eingedrosselt werden muß. Das Strömungsprofil im Becken wird daher nur gering oder gar nicht beeinflusst.

Als Hilfsstoffe werden Sauerstoffgas oder Wasserstoffperoxid eingesetzt. Beide Substanzen erhöhen die gelöste-Sauerstoffkonzentration im Belebtschlamm.

Die Handhabung und der Einsatz obiger Stoffe erfordert das Einhalten entsprechender Sicherheitsvorschriften. Bei Sauerstoff besteht erhöhte Entzündungsgefahr bis hin zur Explosion. Wasserstoffperoxid ist eine ätzende Flüssigkeit, jeder Haut und speziell Augenkontakt ist zu vermeiden.

6.1 EINSATZFORM UND KOSTEN DER HILFSSTOFFE

Als Richtwert für die Kosten der Hilfsstoffe, auf Basis März 1998, können folgende Werte verwendet werden. Die Angaben sind exklusive Umsatzsteuer.

- Sauerstoff kostet ca. 0,3 DM/kg (Abnahmemenge größer 2000 kg), weiters ist eine Bereitstellungsgebühr für Tankfahrzeug und Verdampfer (Leistung 1000kg/h) von 1200,-- DM pro Arbeitstag zu kalkulieren. Für kleinere Anlagen kann man Sauerstoff in Gasflaschen einsetzen. Ein Bündel mit 12 Flaschen (à 50 Liter mit 200 bar) enthält rund 150 kg Sauerstoff. Die Kosten liegen etwa bei 5,--DM/kgO₂.

- Ein Gebinde mit 65 kg Wasserstoffperoxid 35%-ig kostet ca. 100,-- DM. Darin sind ca. 10 kg Sauerstoff enthalten. Die Kosten für ein Kilogramm Sauerstoff betragen daher ca. 10,--DM/kgO₂.

Bei der Berechnung welche Hilfsstoffe kostengünstiger sind muß auch der Aufwand für die Einspeisung in das Luftsystem (zusätzliche Leitungen und Armaturen) bzw. die Zugabe berücksichtigt werden. Bei größeren Anlagen ist jedenfalls Reinsauerstoff die preisgünstigere Lösung.

7. VERSUCHSTECHNIK

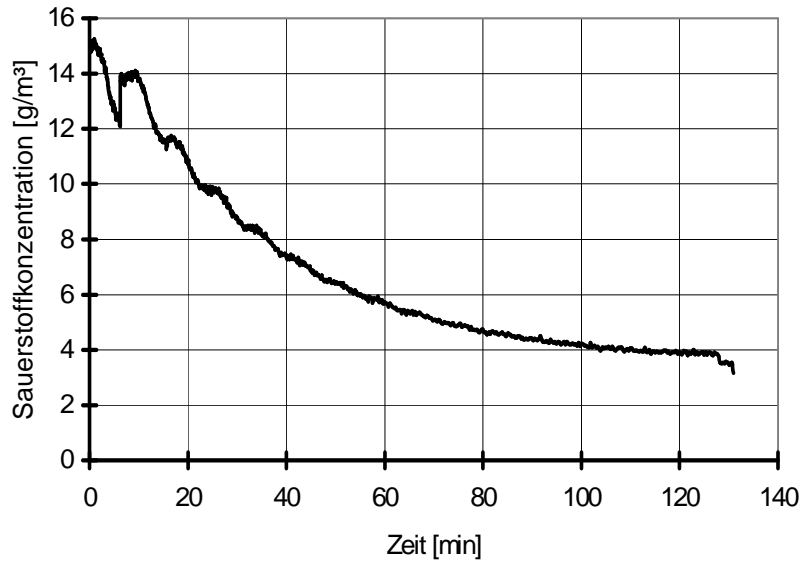
Die Zugabe der Hilfsstoffe bei Messungen in belebtem Schlamm hat mit der gleichen Sorgfalt zu erfolgen wie die Einbringung der Chemikalien bei Reinwassermessungen. Bereiche höherer Konzentration („Wolken“) sind zu vermeiden.

Es ist darauf zu achten, dass der eingebrachte Sauerstoff Zeit hat in Lösung zu gehen und nicht gasförmig aus dem Becken entweicht [7]. Um die Verluste beim Wasserstoffperoxid gering zu halten sollte es über Schläuche in das Becken geleitet werden.

Das Einblasen des Sauerstoffs erfolgt in der Regel in den durch die Hauptluftleitung strömenden Luftvolumenstrom. Die Berechnung der erforderlichen Sauerstoffmasse kann entsprechend ATV Merkblatt M209 erfolgen. WAGNER [12] empfiehlt aus Sicherheitsgründen die Sauerstoffkonzentration im eingeblasenen Luft/Sauerstoffgemisch mit 40 Vol% zu begrenzen.

Wir haben, nach Diskussion mit den beteiligten Fachfirmen, auch reinen Sauerstoff eingeblasen. Voraussetzung dafür ist, dass das Belüftungssystem bei der geringen Beaufschlagung eine gleichmäßige Abgasung gewährleistet und das Rohrleitungssystem und die Armaturen praktisch fettfrei sind.

Besondere Bedeutung hat diese Aufgabe bei der Einbringung der Hilfsstoffe in Umlaufbecken. Wir gehen in der Regel folgendermaßen vor: Zunächst wird die Umlaufzeit im Becken durch eine Strömungsmessung oder eine stoßartige Zugabe des Hilfsstoffes an einer Stelle ermittelt. Aus der Beckenausführung (z.B. Anzahl der Brücken) ergibt sich die Anzahl der Dosierstellen. Wir wählen dann die Zugabezeit so, dass eine mehrfache Überdeckung aller Volumenelemente gegeben ist. Eine nicht sehr gelungene Zugabe von Wasserstoffperoxid zeigt die nachstehende Abbildung.



Wenn periodische Schwankungen durch ungleichmäßige Chemikaliengabe auftreten, so ist die Auswertung fehlerbehaftet. Das Weglassen von Werten am Beginn des Versuches ist, wenn Schwankungen auftreten, problematisch.

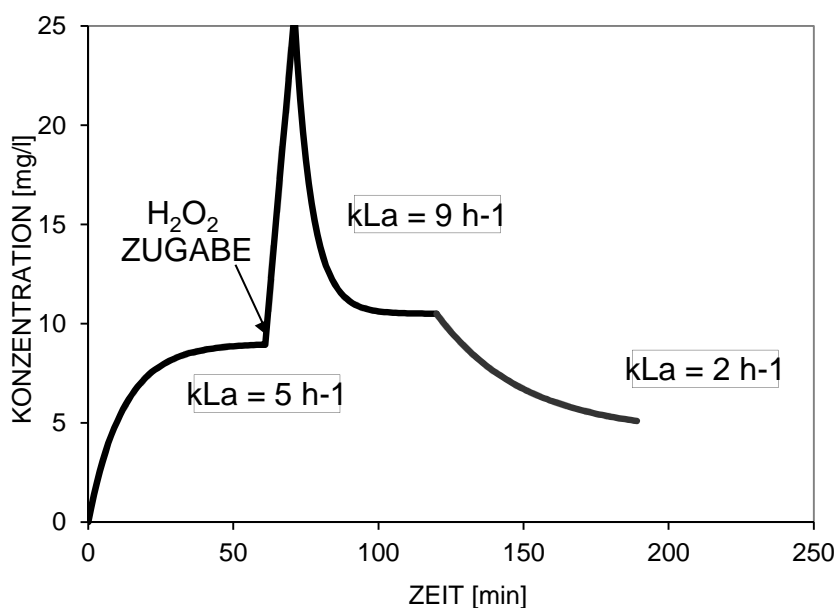
Bei der Auswertung solcher Kurven ist sehr

sorgfältig vorzugehen. In der folgenden Tabelle sind die Auswertergebnisse für den αk_{La} angegeben. Es wurden einmal alle Werte zur Berechnung des αk_{La} verwendet und dann 5% bzw. 10% der Werte am Beginn der Messung weggelassen.

	αk_{La} -Werte [h^{-1}]
0%	1,5
5%	1,9
10%	1,8

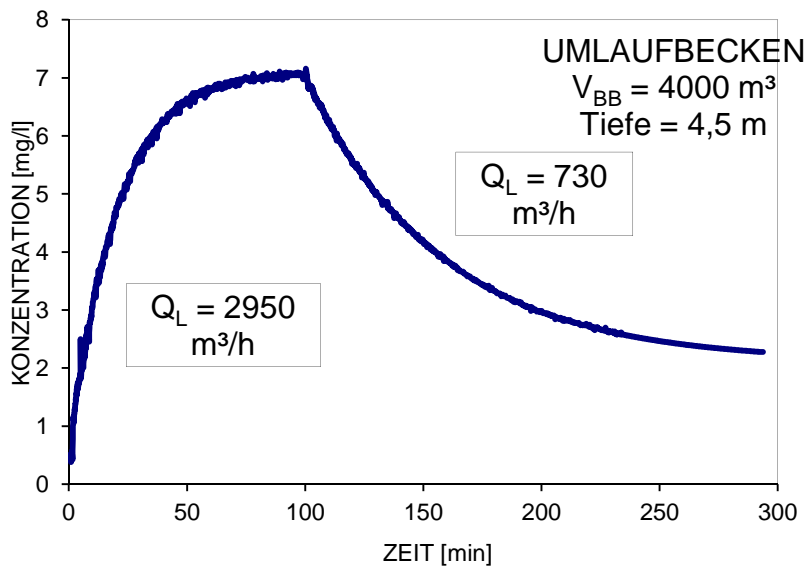
Es treten Unterschiede im αk_{La} bis 20% auf. Weitere Versuche auf der Anlage haben gezeigt, daß der „wahre“ Wert etwa $1,8 h^{-1}$ beträgt.

7.1 VERSUCHSPLANUNG – ZEITAUFWAND



Hintereinander durchgeführte Absorptions- und Desorptionsmessungen ermöglichen eine Reduktion der Menge der Hilfsstoffe und verringern den Zeitaufwand für die Messungen. Die nebenstehende Abbildung zeigt eine mögliche Kombination.

Die nächste Abbildung zeigt die Kombination einer Absorptions- und einer Desorptionsmessung.



Bei dieser Anlage war eine Messung mit geringer Sauerstoffzufuhr vom Auftraggeber verlangt worden. Durch diese Versuchstechnik konnte gänzlich auf Hilfsstoffe verzichtet und die Zeit für die Messung deutlich verkürzt werden.

8. EINFLUSSFAKTOREN UND GRENZEN DER SAUERSTOFF-ZUFUHRMESSUNG IN BELEBTEM SCHLAMM

An Beispielen aus meiner Meßpraxis möchte ich eine „Hitliste“ der aufgetretenen Fragestellungen und Probleme bei Messungen in Belebtschlamm erstellen und diskutieren.

Bei den Erfahrungen wird nicht zwingend zwischen solchen die nur bei Belebtschlammmessungen auftreten und solchen die nur für Reinwasser interessant sind unterschieden.

8.1 SCHLAMMAKTIVITÄT

Die Atmung der Mikroorganismen ist ein zentrales Thema bei Versuchen in belebtem Schlamm. Es treten zwei Arten von Schwierigkeiten auf.

- Probleme durch hohe oder niedere Atmungen
- Beeinflussung der Resultate durch veränderliche Atmungswerte

8.1.1 Hohe und niedrige Atmung

Hohe als auch geringe Atmungswerte bestimmen häufig welche Methode, Absorption oder Desorption, für die Messung zum Einsatz gelangt.

Bei geringen Atmungsaktivitäten kann es sehr lange dauern bis die Sauerstoffkonzentration abnimmt und ein Absorptionsversuch gefahren werden kann.

Auf einer Anlage mit einem Oberflächenbelüfter, Atmung ca. 4mg/l/h, haben wir versucht kurzzeitig Abwasser zuzugeben um die Zehrung zu erhöhen. Das hat auch gut geklappt, nur mußten wir nach der Zugabe einige Zeit warten und

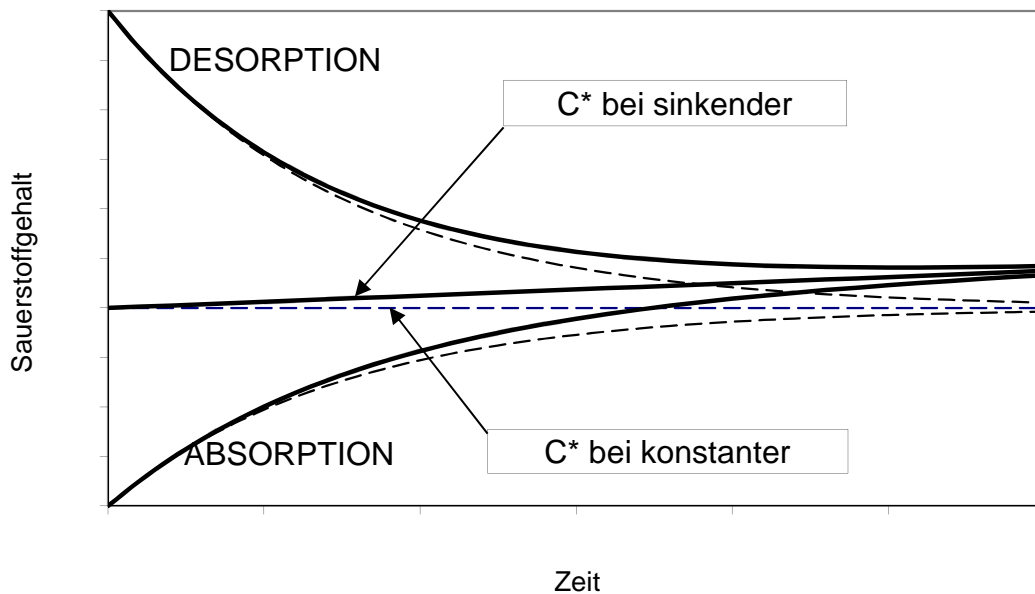
dabei immer wieder belüften damit die Atmung wieder halbwegs konstant wurde. Der Zeitaufwand für die Versuche konnte dadurch nicht reduziert werden.

Bei hohen Zehrungsraten und geringer Kapazität des Belüftungssystems sind häufig nur Desorptionsversuche möglich.

8.1.2 Veränderliche Atmung

Eine Grundvoraussetzung für Messungen in belebtem Schlamm ist eine konstante Atmung während des Versuches [6] [11] [13].

Sinkt bei Absorptionsversuchen die Atmung, so steigt die sich einstellende scheinbare Sättigungskonzentration C^* . Die aktuellen Sauerstoffgehalte „laufen“ dem Sättigungswert hinterher und es wird ein zu kleiner $\alpha k_L a$ Wert berechnet. Bei Desorptionsversuchen kommt, bei sinkender Atmung, der scheinbare Sättigungswert dem aktuellen Sauerstoffgehalt entgegen und es wird ein zu großer $\alpha k_L a$ ermittelt. Dieser Sachverhalt ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Bei steigender Atmung kehren sich die Verhältnisse um.



Sinkende Atmungswerte (bei Absorptionsmessungen) treten häufig dadurch auf, dass der Sauerstoffgehalt vor Beginn einer Messung längere Zeit Null war.

Wird zwischen zwei Messungen zu lange gewartet, so entsteht ein „Sauerstoffdefizit“. Beim Einschalten der Belüftung stellt sich dadurch eine deutlich höhere Atmung als am Anfang der Zehrungsphase ein. Die Schlammaktivität sinkt dann während des Versuches relativ rasch ab. Solche Messungen sind praktisch nicht verwertbar.

Wir begegnen diesem Sachverhalt dadurch, dass wir die Messung bei einem Sauerstoffgehalt von 1-2mg/l starten.

Speziell gefährdet sind Versuche die unmittelbar nach der Mittagspause gefahren werden. Wir sind dazu übergegangen, das Mittag- oder auch Abendessen ausfallen zu lassen, um eine ausreichende Sauerstoffversorgung des Schlammes sicherzustellen.

Eine leidvolle Erfahrung haben wir auf einer Anlage mit zwei runden Belebungsbecken mit einem Volumen von je 7000 m³ und einer Wassertiefe von 9,4 m gemacht. Es wurden Absorptionsversuche durchgeführt. Wir hatten vor der ersten Messung etwa 1 Stunde keinen Sauerstoff im Becken. Die Resultate waren um ca.15% kleiner, als jene der später korrekt durchgeführten Versuche.

8.2 KLEINE SAUERSTOFFZUFUHR

Bei kleiner Sauerstoffzufuhr wird die Versuchsdauer groß. Bei geringer Belüfterleistung ist meist auch die Durchmischung des Beckens nicht mehr gewährleistet. Speziell bei belüfteten Teichanlagen sind der Meßtechnik Grenzen gesetzt. Ich lehne es ab in solchen Becken Messungen durchzuführen, da die Ergebnisse einer Diskussion nicht standhalten und jedenfalls mit großen Unsicherheiten behaftet sind.

8.3 FEHLENDE MISCH EINRICHTUNGEN

Soll der Sauerstoff durch die Mikroorganismen aufgezehrt werden, so muß eine Mischung des sauerstoffhaltigen Wassers mit dem Belebtschlamm erfolgen. Damit sich die Mikroorganismen im Becken nicht absetzen, muß gemischt werden, sind keine Mischaggregate vorhanden kann die Mischung auch mit dem Belüftungssystem erfolgen. Bei geringen Zehrungsraten resultieren daraus manchmal unrealistisch lange Wartezeiten. Dieser Umstand sollte jedenfalls vor der geplanten Messung geprüft werden. Es ist dann eine andere Meßmethode, eben z.B. die Desorptionsmethode, anzuwenden.

Das Problem hatten wir auf einer Anlage mit Kreiselbelüftern. Das zuständige Amt der Landesregierung wollte keinesfalls den Einsatz von Peroxid. Die Zeitdauer bis der Sauerstoffgehalt auf ca. 2 mg/l zurückgegangen war betrug, durch die Mischphasen mit Sauerstoffeintrag, ca. 2 Stunden.

8.4 SCHAUM UND FLOTIEREN VON SCHLAMM

Ein sehr häufig auftretendes Problem ist die Schaumbildung auf der Beckenoberfläche und das Flotieren von Schlamm. Bei einigen Messungen ist es zum Austreten des Schlammes aus dem Becken gekommen, was je nach Beckenform und Toleranz des Kläranlagenbetreibers unterschiedliche Konsequenzen hatte.

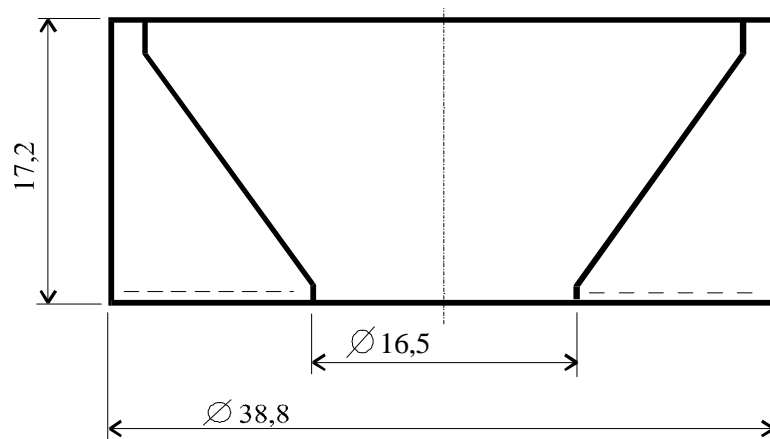
In einigen Fällen konnten wir durch Besprühen mit Wasser die Schaumbildung soweit eindämmen, dass die Versuche verwertbar waren.

Eine kritische Situation entsteht in der Regel bei vollständig abgedeckten Becken. Wenn hier starke Schaumbildung auftritt kann es im ungünstigsten Fall zur Zerstörung der Abdeckung kommen. Auf einer großen Anlage (siehe nachstehende Tabelle) sind wir mit einem „blauen Auge“ davongekommen.

<u>ANLAGENSPEZIFIKATION</u>			
Art des zu reinigenden Abwassers:	Kommunal und Industrie	Gerinnebreite:	8,0 m
Volumen der Belebungsbecken:	44.000 m ³	Wassertiefe:	7,5 m
Volumen des Versuchsbeckens:	11.000 m ³	Belüftungssystem:	Düsen
Art des Beckens:	umlauf	Art der Messung:	Absorption ohne Durchfluß

Der Schaum ist „nur“ in das Luftabsaugesystem gelangt wo anschließend umfangreiche Reinigungsarbeiten erforderlich waren.

Der unangenehmste Fall war eine Anlage mit zwei Klärtürmen mit einer Wassertiefe von 15,5 m und einem Volumen von je 9600 m³. Die Becken ragen ca. 10 m aus dem Gelände heraus. Der Beckenquerschnitt ist aus folgender Abbildung ersichtlich. Der außen liegende Ringraum ist das Belebungsbecken und der innere Teil das Nachklärbecken.



Durch die geringe Oberfläche bezogen auf das Beckenvolumen hat die Schaumbildung trotz sofortigem Versuchsabbruch zu einem massiven Schaumaustritt geführt. Der untersuchte Klärturm wurde dadurch in einen Schlammantel gehüllt. Die Messungen wurden abgebrochen. Die Einstellung mit der maximalen Luftmenge konnte bis heute nicht gemessen werden.

Die Flotation von Schlamm erfordert zwar meist keinen Abbruch der Messungen, hat aber in der Regel zur Folge, dass die Versuche nicht verwertbar sind. Durch die Flotation wird der Schlamm aus dem Wasserkörper an die Oberfläche des Beckens verlagert. Im Becken ist keine gleichmäßige Schlammkon-

zentration mehr gegeben. Dadurch sinkt auch die Atmungsaktivität in tieferen Wasserschichten und die Messung ist entsprechend den Ausführungen über „veränderliche Atmung“ nicht verwertbar.

Wir hatten so einen Fall bei einer Absorptionsmessung auf einer Anlage mit 8 Längsbecken (je 10 x 32 m) mit abgestufter Belüfteranordnung. Es waren zwei Felder mit unterschiedlicher Belegungsdichte installiert. Das gemessene Becken hatte ein Volumen von ca. 1300 m³ und eine Wassertiefe von 4 m.

Die Flotatdecke war bis zu 30 cm dick. Die Trockensubstanz im Beckenkörper war inhomogen. Eine repräsentative Probenahme für die Atmungsmessung war nicht möglich. Wir haben dann direkt im Becken während der Zehrungsphase die Atmung gemessen. Nachdem sich die Flotatschicht stabilisiert hatte, wurden die Messungen 3 mal mit der gleichen Einstellung des Belüftungssystems wiederholt. Die folgende Tabelle zeigt die αk_{La} -Werte (Mittelwert von 3 Sonden) der beiden unterschiedlich belegten Beckenbereiche.

	αk_{La} [h ⁻¹]	
	Bereich 1	Bereich 2
Versuch 1	3,77	6,79
Versuch 2	3,55	6,74
Versuch 3	4,07	6,81

Die Werte waren, nachdem sich die Schlammschicht gebildet hatte, praktisch stabil und wurden auch zur Beurteilung des Systems herangezogen.

8.5 SONDENVERSCHMUTZUNG DURCH SPINNSTOFFE

Bei Anlagen mit geringer oder ohne Vorklärung, wie sie heute zur Stickstoffelimination häufig gebaut werden, ist ein weiteres Problem festzustellen. Die Sauerstoffsonden verlegen sich manchmal in kurzer Zeit mit Spinnstoffen. Wodurch das Meßsignal abfällt und falsche Sauerstoffkonzentrationen registriert werden. In der Regel erkennt man diese Verlegung der Sonden gut an wieder sinkenden und unruhigen Meßwerten.

Wir haben versucht durch eine sehr flexible Sondenbefestigung die Verlegungen zu vermeiden. Häufig war trotzdem eine Reinigung, auch während der Messung erforderlich.

Üblicherweise montieren wir die Sonden wie folgt. An einem Stahlzylinder (ca. 10 kg) wird ein Seil befestigt und dieses in das Becken gehängt. Die Sonden werden durch ein Stück Rohr, das als Beschwerung dient, geschoben und mit Kabelbindern und Feuerwehkarabinern so fixiert, dass die Membranfläche etwa vertikal steht. Wenn alle Sonden der Meßstelle so vorbereitet sind werden

sie mit den Feuerwehrkarabinern in das Seil eingehakt und in die gewünschte Tiefe hinuntergelassen.

Wenn die Sondenpositionierung in der Nähe von Röhreinrichtungen erfolgen muß, wird ein Stahlseil am Beckenboden befestigt. Die Sondenbefestigung erfolgt wie oben ausgeführt.

Auf einer Anlage mit 4 Umlaufbecken á 11000m³ und einer Wassertiefe von 7,5 m hatten wir ein Stahlseil schlaufenförmig zum Beckenboden spannen lassen. Die Messung dauerte drei Tage. Als wir am Ende der Messung die Sonden heraufziehen wollten war das nicht möglich. Das Seil mußte durchgeschnitten werden. Die Verzopfungen am Seil hatten einen Durchmesser bis zu 20 cm.

Auf Anlagen ohne Vorklärung ist es erforderlich die Sonden in regelmäßigen Abständen auf Verzopfungen zu kontrollieren.

Eine Überraschung haben wir auf einer Anlage erlebt wo bis kurz vor der Messung ein großer Mischwasserzulauf vorhanden war. Die Sonden und die Seile waren in sehr kurzer Zeit total verzopft. Bei Betrachtung des Materials fanden wir eine erhebliche Menge an lebendigen Regenwürmern!

8.6 LUFTVERSORGUNG

Eine Problemstellung die nicht zwingend nur bei Messungen unter Betriebsbedingungen auftritt ist die Versorgung des zu untersuchenden Beckens mit einem vorgegebenen Luftvolumenstrom.

Ist keine Zuordnung eines oder mehrerer Gebläse auf das gewünschte Becken möglich, so ist entweder die Luftmenge, die in das zu untersuchende Becken geleitet wird, zu messen oder in allen Becken bzw. Beckenteilen die mit Luft versorgt werden eine Sauerstoffzufuhrmessung durchzuführen.

Jedenfalls unzulässig, auch bei baugleichen Becken, ist die Annahme, dass sich der Luftvolumenstrom gleichmäßig auf alle Becken verteilt!

Auf kleinen Anlagen muß häufig für die Messung die Sauerstoffversorgung anderer Becken unterbrochen werden. Eine exakte Versuchsplanung und die Information der zuständigen Gewässeraufsichtorgane ist anzuraten.

8.6.1 **Dichtheit des Rohrsystemes**

Auf großen Anlagen haben wir viele Versuche wiederholen müssen, weil sich während der Messung gezeigt hat, dass an anderen Stellen als beabsichtigt auch Luft austrat.

Auch eine im Vorfeld der Messungen durchgeführte Dichtheitsprüfung ist keine Garantie, dass durch veränderte Vordruckverhältnisse während der eigentlichen Messung nicht plötzlich weitere Undichtigkeiten entstehen. Jedem für die Messung Verantwortlichen kann nur dringend empfohlen werden während der

ersten Messung einen Rundgang längs des Rohrsystems zu machen und sehr genau auf mögliche Undichtigkeiten zu achten.

Wir hatten einen Fall wo zwischen den Rohrleitungsflanschen eine pastöse Dichtmasse war, die sich durch die erhöhte Temperatur während der Messung verflüssigt hatte. Das Rohrsystem wurde dadurch komplett unbrauchbar.

Eine weitere Undichtigkeit auf einer großen Anlage ($V_{BB} = 4 \times 11000 \text{ m}^3$; Wassertiefe= 7,5 m) konnten wir nur durch Zufall entdecken. Während der Messung begann es zu regnen. Auf der Straße bildete sich ein Wasserfilm der zu kochen schien. Die Erklärung war, dass die im Erdreich verlegte Hauptluftleitung, aus Faserzement (Durchmesser ca. 1,2 m), an einem Krümmer auseinandergegangen war.

8.6.2 Anfahren der Gebläse

Beim Starten der Versuche auf Anlagen die bereits voll in Betrieb sind, ist die Steuerungs- und Regelungstechnik manchmal ein Hemmnis. Im Normalbetrieb einer Anlage wird das Gebläse nicht in kurzen Zeitabständen ein- und wieder ausgeschaltet. Durch die Steuer- und Regelalgorithmen werden solche „abnormalen Zustände“ verhindert.

Wir hatten auf einer Anlage mit 2 zylindrischen Becken, Volumen je 2600 m^3 , Wassertiefe 11,2 m, den Fall, dass wir die Luft zum Mischen benutzen mußten. Die Druckluftherzeugung erfolgte mit einem Turboverdichter mit 400 kW. Das Prozeßleitsystem hatte Verriegelungen programmiert die nur eine Schalthäufigkeit von 2 x pro Stunde zugelassen hat. Nachdem wir in 10 Stunden so keinen auswertbaren Versuch fahren konnten (der Sauerstoffgehalt sank immer zu lange auf Null, wodurch die Atmung beim Anfahren der Messungen zunächst hoch war und dann abgesunken ist) haben wir nächsten Tag das komplette Prozeßleitsystem lahmgelegt und sind die Turbo's inclusive der Anfahrentlastungen händisch hochgefahren.

9. LITERATUR

- [1] KAYSER R. (1967): Ermittlung der Sauerstoffzufuhr von Abwasserbelüftern unter Betriebsbedingungen. Veröffentlichung des Institutes für Stadtbauwesen, Technische Hochschule Braunschweig
- [2] ASCE (1993): Standard Guidelines for in-process oxygen transfer testing, American Society of Civil Eng., New York
- [3] NEAL L. und TSIVOUGLOU, E.C (1974).: Tracer Measurements of Aeration Performance. J. Water Pollution Contr. Fed.46;
- [4] NEAL L (1979): Use of Tracers for Evaluation of Oxygen Transfer. Proceedings: Workshop Toward an Oxygen Transfer Standard 11-14. April 1978; EPA-600/9-78-021;
- [5] EPA (1989): Design Manual, Fine Pore Aeration Systems; EPA-625/1-89/023;
- [6] KAYSER R. (1977): Zur Frage der Überprüfung des Sauerstoffeintrages, 12. ÖWWV Seminar, Raach , Wiener Mitteilungen Band 22
- [7] KAYSER R. (1982): Wirtschaftlichkeit verschiedener Belüftungssysteme unter Betriebsbedingungen, 17. ÖWWV Seminar, Wiener Mitteilungen, Band 47
- [8] KAYSER R. (1984): Erfahrungen mit getrennten Systemen von Umwälzung und Druckbelüftung; 7. Wassertechnisches Seminar Darmstadt, WAR Band 23
- [9] BOYLE W.C. (1991): Bedingungen für Garantien für Belüftungseinrichtungen unter Betriebsbedingungen; Veröff.Inst.f. Stadtbauwesen, TU Braunschweig, Heft 50
- [10] KAYSER R. (1986): Möglichkeiten und Grenzen der Bestimmung der Sauerstoffzufuhr in Reinwasser und unter Betriebsbedingungen, Wiener Mitteilungen Bd.64
- [11] KAYSER R. (1991): Voraussetzungen für die Durchführbarkeit von Sauerstoffeintragungsmessungen im Betrieb; Veröff. Inst. f. Stadtbauwesen, TU Braunschweig, Heft 50,
- [12] WAGNER M. (1997): Sauerstoffzufuhrmessungen in Reinwasser mit der Desorptionsmethode unter Zugabe von Reinsauerstoff; gwf Wasser – Abwasser 138, Nr.4
- [13] BURDE M. (1986): Batch-Versuche zur Bestimmung des Sauerstoffübertragungsfaktors α , unveröffentlichte Diplomarbeit, TU Braunschweig

Dipl.-Ing. Dr. techn. Wilhelm FREY
 Ingenieurkonsulent für Maschinenbau
 ABB-Abwassertechnische Ausbildung und Beratung
 Leobendorf/Hofgartenstraße 4/2
 A-2100 Korneuburg
 ÖSTERREICH
 Tel. u. Fax ++43 2262 68173