



Staatlich befugter und beedeter Ingenieurkonsulent für Maschinenbau
Lehrbeauftragter an der Technischen Universität Wien

Dipl.-Ing. Dr. techn. **Wilhelm P. FREY**

AAB - Abwassertechnische Ausbildung und Beratung

A - 2100 Korneuburg/Leobendorf, Hofgartenstraße 4/2
Telefon: 02262/68173 Fax: 02262/66385 mobil ☎:0664/1420181 email: aab.frey@aon.at

ENDBERICHT

Forschungsprojekt 2008

„GARANTIENACHWEISE FÜR DIE MASCHINELLE
AUSRÜSTUNG VON KLÄRANLAGEN –
BELÜFTUNGSSYSTEME UND RÜHRWERKE“

Gefördert durch Mittel der Kläranlagennachbarschaften,
Marc-Aurel-Strasse 5, 1010 Wien

DATUM: 12. Oktober 2009

GZ: 9-09/001



Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	2
2. VORGANGSWEISE.....	2
3. BELÜFTUNGSSYSTEME.....	3
3.1 GARANTIENACHWEIS FÜR BELÜFTUNGSSYSTEME.....	3
3.2 METHODIK DER SAUERSTOFFZUFUHRMESSUNG.....	6
3.3 HINWEISE FÜR DIE VORBEREITUNG UND DURCHFÜHRUNG VON ABNAHMEMESSUNGEN AN BELÜFTUNGSSYSTEMEN	8
4. RÜHRWERKE.....	22
4.1 GARANTIENACHWEIS FÜR RÜHRWERKE	22
4.2 METHODIK VON ABNAHMEMESSUNGEN AN RÜHRWERKEN	23
4.3 HINWEISE FÜR DIE VORBEREITUNG UND DURCHFÜHRUNG VON ABNAHMEMESSUNGEN AN RÜHRWERKEN	25
5. LITERATUR.....	29
6. ANHANG	29
6.1 CHECKLISTE ZUR VORBEREITUNG UND DURCHFÜHRUNG VON ABNAHMEMESSUNGEN AN BELÜFTUNGSSYSTEMEN	29
6.2 CHECKLISTE ZUR VORBEREITUNG UND DURCHFÜHRUNG VON ABNAHMEMESSUNGEN AN RÜHRWERKEN	34

1. AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Im Zuge der Erweiterung, Instandhaltung sowie Anpassung an den Stand der Technik werden auf vielen Kläranlagen Teile der maschinellen Ausrüstung ertüchtigt bzw. ausgetauscht. In den Ausschreibungen wird die Leistungsfähigkeit von Anlagenteilen häufig durch vom Anbieter anzugebende Garantiewerte abgesichert. Zur Überprüfung der zugesicherten Werte werden Abnahmemessungen durchgeführt.

Je nach Größe und Komplexität des Projektes, sowie der Erfahrung und Sorgfalt des Planers finden sich in den Ausschreibungen neben den Garantiewerten auch Hinweise auf die Methodik der Durchführung und die zulässigen Abweichungen. Die Praxis zeigt, dass trotz aller Bemühungen im Einzelfall oft einige Fragen offen bleiben, die zusätzliche vertragliche Vereinbarungen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer erfordern.

Der Schwerpunkt des vorliegenden Projektes ist die maschinelle Ausrüstung des Belebungsbeckens. Konkret wurde das Belüftungssystem mit allen Komponenten (Gebläse, Rohrleitungen, Belüftungselemente) sowie die Rührwerke bearbeitet.

Das Forschungsprojekt verfolgt das Ziel eine Hilfestellung bei der Planung, Vorbereitung und Durchführung von Garantiemessungen zu geben. Diese Aufgabe wird in zwei Teilen behandelt.

Der erste Teil beschäftigt sich mit den gängigen Formulierungen in Ausschreibungen für Sauerstoffzufuhrversuche und Strömungsgeschwindigkeitsmessung in Umlaufbecken. Auf Basis der Vorgaben in Leistungsverzeichnissen wurde der Ist-Zustand aufgenommen und das Ausmaß zusätzlicher Vereinbarungen abgeschätzt. Problematische und/oder missverständliche Formulierungen der Garantiebedingungen werden aufgezeigt und Verbesserungsvorschläge gegeben.

Im zweiten Teil wurden für Sauerstoffzufuhrversuche und Strömungsgeschwindigkeitsmessung

- die erforderliche Vorbereitungen für Abnahmemessungen
- Handlungsanweisungen für die Durchführung sowie
- Hinweise für die Bewertung der Resultate

erarbeitet.

2. VORGANGSWEISE

Zur Erläuterung der Durchführung von Abnahmemessungen an Belüftungssysteme und Rührwerken werden gängige Methoden besprochen. Der Schwerpunkt wurde dabei auf die praxisrelevanten Teilbereiche ausgerichtet.

Anhand vorliegender Ausschreibungstexte und Gesprächen mit Planern wurde der übliche Stand von Garantieformulierungen erhoben und mit Erfahrungen aus der Praxis von Abnahmemessungen abgeglichen. Parallel zur Analyse der Ausschreibungstexte wurden mit ausgewählten Kläranlagenbetreibern die Erfahrungen bei durchgeführten Testläufen gesichtet und die wesentlichen Punkte für die Vorbereitung und Durchführung gesammelt. In diesem Arbeitsschritt wurden auch Praxisinformationen zur Bewertung der Ergebnisse zusammengetragen.

Im Rahmen von Abnahmemessungen (z.B. Sauerstoffzufuhrmessung, Rührwerksabnahmen) wurden die erhobenen Informationen auf ihre Praxistauglichkeit getestet und die Handlungsanweisungen ergänzt.

Die erarbeiteten Erkenntnisse wurden in Form von Checklisten aufbereitet und sind im Anhang enthalten.

3. BELÜFTUNGSSYSTEME

Bei fast allen Belüftungssystemen wird der für die Lebenstätigkeit der aeroben Mikroorganismen benötigte Sauerstoff durch atmosphärische Luft (diese enthält ca. 21 Vol% Sauerstoff) in das Wasser eingetragen.

Im Wesentlichen wird zwischen Druckbelüftungssystemen (mittelblasig; feinblasig) und Oberflächenbelüftern (Walzen, Kreisel) unterschieden.

3.1 GARANTIENACHWEIS FÜR BELÜFTUNGSSYSTEME

Durch Festlegung von Garantiewerten für die Sauerstoffzufuhr und den Sauerstoffertrag soll sichergestellt werden, dass das installierte Belüftungssystem den für die Abwasserreinigung erforderlichen Sauerstoff in das Belebungsbecken eintragen kann und die dafür eingesetzte Energie möglichst gering bleibt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Systeme werden diese Messungen im Regelfall in Reinwasser durchgeführt.

3.1.1 Ausschreibungen

In den gesichteten Ausschreibungstexten werden von den Bietern folgende Werte mehr oder weniger detailliert abgefragt:

- Sauerstoffzufuhr (bezogen auf ein oder mehrere Becken)
- Sauerstoffertrag (mit oder ohne Zusatzaggregate – z.B. Rührwerke)
- Leistungsaufnahme (Formulierungen nicht immer korrekt)
- Luftvolumenstrom (Praktisch nie Messeinrichtungen vorhanden)

Die Rahmenbedingungen, unter denen die Messwerte zu erreichen sind, sind oft mangelhaft beschrieben.

Beispiel für die Formulierung in einer Ausschreibung

... Der Sauerstoffeintrag in Abhängigkeit zur dafür aufgewendeten Energie ist anzugeben und zu garantieren.

Sauerstoffeintragungsmessung:

Der Sauerstoffeintrag wird bei einem Reinwasserversuch unter Zugrundelegung der Standardbedingungen nach EN 12255-15 gemessen.

Zeitpunkt und Durchführung dieser Messung:

Vor Inbetriebnahme der Anlage ist durch ein unabhängiges Institut (z.B. Hochschule, Versuchsanstalt etc.) im Beisein des Auftraggebers (AG) oder dessen Bevollmächtigten der Sauerstoffeintrag zu messen. Der Leistungsbedarf wird bei Elektro-Antrieben direkt aus dem Stromverbrauch ermittelt. Der Leistungsbedarf ist bei gleichzeitigem Betrieb der drei Becken zu ermitteln.

Der Auftragnehmer (AN) hat für eine gleichmäßige Beaufschlagung der einzelnen Belüftungseinrichtungen zu sorgen und diese durch geeignete Mittel nachzuweisen. Die Messergebnisse müssen in jedem Fall dem garantierten Sauerstoff-Ertrag entsprechen. Sollte die Sauerstoffeintragungsmessung und die daraus resultierende Berechnung des Sauerstoff-Ertrages ergeben, dass die angegebenen und zu garantierenden Werte nicht erreicht werden, so hat der AN auf seine Kosten alle Maßnahmen zu veranlassen, die den garantierten Ertrag sicherstellen. Sollte dies nicht zum Erfolg führen, so ist der Auftraggeber berechtigt, gegebenenfalls auch eine Ersatzvornahme durch eine Fremdfirma auf Kosten des Auftragnehmers durchführen zu lassen. Versuche, die nicht die Garantiewerte für Ein- und Ertrag ergeben, werden nicht vergütet und sind nach Vornahme ent-

sprechender Verbesserungen zu wiederholen. Die Sauerstoffeintragsmessung erfolgt bei einem Reinwasserversuch unter Zugrundelegung der Standardbedingungen nach EN 12255-15. Geforderter und zu garantierender Sauerstoffertrag : mindestens 3,0 kg O₂/kWh

Vom Bieter anzugeben und zu garantieren:

- Sauerstoffeintrag unter Standardbedingungen (Reinwasser): 160 kg/h
- Leistungsaufnahme der Belüftungsaggregate mit Frequenzumformer: 47 kW
- Sauerstoff-Ertrag pro kWh = O₂ Eintrag / Leistungsaufnahme = 3,4 kg/kWh

Die Sauerstoffeintrags und Ertragsmessungen sind entsprechend den im Abschnitt „Sauerstoffeintrags- und Ertragsgarantien“ gestellten Forderungen durchzuführen. ...

Zusätzlich werden auch solche oder ähnliche Vereinbarungen getroffen:

... Sollten die vereinbarten Garantiewerte nicht erreicht werden, so erklärt sich der Auftragnehmer unwiderruflich damit einverstanden, dass er die dem Auftraggeber dadurch verursachten Mehrkosten eines 3-jährigen Dauerbetriebes unter Volllast ersetzt. Zur Kostenermittlung wird der Preis einer kWh mit € 0,25 per 1. Jänner 2009 wertgesichert, angesetzt. Dieser Betrag wird nach Feststellung der Sauerstoffertragswerte fällig. Einer Gegenverrechnung über die Schlussrechnung des Auftragnehmers stimmt dieser zu. ...

Um die Funktion, die Leistungsfähigkeit und die Wirtschaftlichkeit sicherzustellen müssen folgende Forderungen jedenfalls in die Ausschreibung Eingang finden:

1. Nach welcher Messvorschrift soll vorgegangen werden?
2. Wer soll die Messung durchführen?
3. In welchen Becken soll gemessen werden? Wie ist bei baugleichen Becken vorzugehen? Alle messen, eines messen, hintereinander messen, gleichzeitig messen?
4. Was soll gemessen werden? Wie ist das Belüftungssystem einzustellen (Leistung, Luftvolumenstrom, etc.)? Gibt es einen Garantiepunkt oder sind mittlere (Sauerstoffertrag) und maximale Verhältnisse (Sauerstoffzufuhr) zu prüfen?
5. Welche Randbedingungen sind einzuhalten? (Wassertiefe, Eintauchtiefe bei Oberflächenbelüftern, Drehzahlen, Leistungsaufnahme, etc.)
6. Welche Maßnahmen sind bei Nichterreichen der Garantiewerte zu setzen? (Nachbesserungen, Pönale, etc.)

Erläuterungen zu obigem Beispiel

zu 1) Es ist eindeutig festgelegt, dass die EN 12255-15 [1] zur Anwendung gelangt. In vielen Ausschreibungen findet man aber auch 5 Jahre nach dem Zurückziehen der ÖN M5888 [2] immer noch die Forderung, dass diese Norm anzuwenden ist. Hier ist es Aufgabe des Prüfers darauf hinzuweisen, dass es eine neue Messvorschrift gibt.

Wenn möglich sollte die Desorptionsmethode (Auflüften mit Reinsauerstoff) zur Anwendung kommen. Diese Methode bietet den Vorteil, dass keine Salze und Schwermetalle in das Wasser und damit in die Umwelt gelangen und somit keinerlei Einschränkungen für die weitere Verwendung oder Ableitung des Wassers bestehen.

zu 2) Ein grundsätzliches Problem liegt in der Tatsache, dass die Abnahmemessungen in der Regel vom Anlagenbauer und nicht vom Bauherrn beauftragt werden. Daraus ergibt sich die Problematik, dass der Anlagenbauer eine möglichst kostengünstige Messung zukaufen möchte und der Bau-

herr möglichst präzise Ergebnisse erwartet. Speziell im Fall der Nichterreichung der Garantiewerte finden sich die Messinstitute im Spannungsfeld, ihrem Auftraggeber einen negativen Prüfbefund auszustellen, wieder. In diesen Fällen werden von den Anlagenbauern oft zusätzliche Leistungen wie Besprechungen, Fehleranalysen und Verbesserungsvorschläge erwartet, natürlich kostenlos. Die vorliegenden Erfahrungen zeigen, dass es wesentlich besser ist, wenn der Prüfer direkt durch den Bauherrn beauftragt wird und so, ohne den Druck des Anlagenbauers, arbeiten kann. Bei größeren Projekten sollten auch Referenzen des Prüfers abgefragt werden um sicherzustellen, dass die für die Messungen notwendigen Erfahrungen vorhanden sind

zu 3) Die Basisdaten der Becken, Abmessungen und Volumen sollten hier jedenfalls angegeben werden. Die Beistellung eines Plansatzes der Becken ist jedenfalls hilfreich. Wenn mehrere Becken vorhanden sind, ist anzugeben, ob in einem oder mehreren Becken gemessen werden soll. Diese Frage ist besonders bei nicht baugleichen Becken von entscheidender Bedeutung. Der Hinweis in der Ausschreibung, dass der Leistungsbedarf bei Betrieb der drei Becken zu ermitteln ist, gibt keine Information über die Anzahl der Becken in denen zu messen ist. Es wird gefordert, dass eine gleichmäßige Beaufschlagung herzustellen und durch geeignete Mittel nachzuweisen ist. In der Praxis bedeutet das, dass in die Luftleitungen Luftvolumenstrommessgeräte einzubauen sind. In der Regel werden solche Messungen eher selten ausgeführt. Damit in Zusammenhang steht die Problematik, dass keinesfalls von einer gleichmäßigen Luftverteilung auf mehrere Becken ausgegangen werden kann.

zu 4) Es ist ein Garantiepunkt, in dem die Sauerstoffzufuhr und der Sauerstoffertrag nachzuweisen sind, angegeben. Die Einstellung des Belüftungssystems wird im Ausschreibungstext nicht angesprochen. Entsprechende Festlegungen sind vor der Sauerstoffzufuhrmessung zu treffen.

Sinnvoll wäre es folgende Punkte einer Überprüfung zu unterziehen:

- Sauerstoffzufuhr [kg/h] maximal: Für den maximalen Lastfall mit Angabe des dafür erforderlichen Luftvolumenstromes (die Verfügbarkeit der Gebläseleistung und Stückelung ist zu beachten).
- Sauerstoffzufuhr [kg/h] normal: Für den normalen Betrieb mit Angabe des dafür erforderlichen Luftvolumenstromes (die Verfügbarkeit der Gebläseleistung und Stückelung ist zu beachten).
- Sauerstoffertrag [kg/kWh] normal: Für den normalen Betrieb mit Angabe des dafür erforderlichen Luftvolumenstromes (die Verfügbarkeit der Gebläseleistung und Stückelung ist zu beachten).
- Druckverluste des Systems: Saugleitung, Druckleitung (Hauptluftleitung), Armaturen, Verteilungen, Messeinrichtungen, Belüfterelemente. Es ist günstig den Druck in der Hauptleitung nach den Gebläsen und den Druck an der Beckenkronen angeben zu lassen (für eine Einblastiefe und Luftbeaufschlagung). Die Messung von Drücken ist nur aussagekräftig, wenn an der jeweiligen Messstelle der gesamte Luftvolumenstrom vorhanden ist. Um die Wirtschaftlichkeit über der Lebensdauer des Systems zu beschreiben ist vom Bieter auch der maximale Druckanstieg nach z.B. einem, zwei und vier Jahren anzugeben. Wie weit man hier auf abwasserspezifische Besonderheiten Rücksicht nimmt ist Verhandlungssache. Ein vollständiges Überwälzen des Risikos auf den Lieferanten der Belüfterelemente ist aus meiner Sicht nicht immer möglich und auch nicht seriös.

Es ist vertraglich zu vereinbaren, ob elektrische Verluste (Frequenzumrichter, Leitungsverluste) vom Bieter einzurechnen sind oder nicht.

Es ist vertraglich zu vereinbaren, wie Druckverluste von Messeinrichtungen (können erheblich sein!) bei der Ermittlung der elektrischen Leistung zu berücksichtigen sind.

zu 5) Die Sauerstoffzufuhr und der Sauerstofftrag hängen wesentlich von der Einstellung des Belüftungssystems und diversen Rahmenbedingungen ab. Folgende Punkte sollten, sofern zutreffend, angegeben werden:

- Wassertiefe, Eintauchtiefe bei Oberflächenbelüftern
- Drehzahlen von Gebläsen, Drehzahlen von Oberflächenbelüftern
- Luftvolumenstrom
- Leistungsaufnahme, etc.)

Der Hinweis auf die zu verwendende Messvorschrift, EN 12255-15, enthält einige Vorgaben für die Sauerstoffzufuhrmessung. Diese sind aber allgemeiner Natur und nicht anlagenspezifisch. Angaben zur Lage der Kläranlage (z.B. Meereshöhe) sind jedenfalls erforderlich.

zu 6) Aus der Ausschreibung muss eindeutig hervorgehen, ob „Minusabweichungen“ zugelassen sind oder ausgeschlossen werden. Die Erfahrung zeigt, dass eine Abstufung nach dem Ausmaß der Abweichung sinnvoll ist. Geringe Abweichungen, die technisch vertretbar sind sollten einer finanziellen Lösung zugeführt werden. Große Abweichungen die einen Einfluss auf den Anlagenbetrieb, d.h. die Abwasserreinigung haben, sollten durch eine technische Lösung behoben werden.

Das besprochene Beispiel zeigt typisch, dass für eine Reihe von Punkten zusätzlicher Vereinbarungen notwendig sind.

3.2 METHODIK DER SAUERSTOFFZUFUHRMESSUNG

3.2.1 Grundlagen

Zur Kontrolle, ob das Belüftungssystem die angegebene (garantierte) Leistungsfähigkeit hat werden Sauerstoffzufuhrversuche durchgeführt.

Das Ergebnisse der Messungen sind die pro Zeiteinheit in das Wasser transportierte Sauerstoffmasse und die dafür notwendige Energie.

Da für den Garantienachweis möglichst reproduzierbare Verhältnisse erforderlich sind werden die Garantiewerte in der Regel in Reinwasser durchgeführt. Es sind auch Messungen in belebtem Schlamm möglich, es muss aber eine größere Messunsicherheit eingeräumt werden. Messungen in belebtem Schlamm sind für einen Leistungsnachweis (Garantiewertüberprüfung) nicht geeignet und werden daher im Rahmen dieser Ausführungen nicht weiter behandelt.

Messungen in Reinwasser sind nach der EN 12255-15 (früher ON M5888) durchzuführen. Für Messungen in belebtem Schlamm gilt die ÖN M 5889 [3] und das DWA Merkblatt M209 [4].

In den Normen sind auch Gültigkeitsbereiche angegeben. Diese betreffen:

- Beckenform und Belüfteranordnung (Mischbecken, Umlaufbecken)
- Wasserqualität: Reinwasser maximaler Abdampfdruckstand (TDS) = 2000 mg/L (bzw. maximale Leitfähigkeit 3000 μ S/cm)
- Wassertemperatur größer 4°C
- Belüftungskoeffizient, Min – Max - Werte (Leistungsvermögen des Belüftungssystems)

Die der Auswertung zugrunde liegende Theorie gilt nur für total durchmischte Becken. Das sind solche, in denen durch die Belüftung und ggf. unterstützt durch Mischeinrichtungen, zu gleichen Zeiten gleiche Konzentrationen an allen Orten zu finden sind.

Auch Umlaufbecken gelten als total durchmischte Becken. In Umlaufbecken mit wenigen Belüftern (z.B. Walzenbelüfter) hat die Sauerstoffanstiegs- oder Abnahmekurve einen treppenförmigen Verlauf.

Für Reinwasserversuche wird das Belebungsbecken mit Reinwasser (Trinkwasser) gefüllt. Wichtig ist ein geringer Gehalt an Neutralsalzen, daher sollte der Abdampfdruckstand zu Beginn der Messungen weniger als 500 mg/L betragen. Durch die Zugabe von Natriumsulfit für die Versuche steigt der Salzgehalt weiter an. Versuche können bis zu einer Salzkonzentration von 2.000 mg/L Abdampfdruckstand durchgeführt werden; dem entspricht eine Leitfähigkeit von rd. 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Bezugstemperatur 25°C).

Messtemperatur: Die Temperatur des Wassers sollte 4°C nicht unterschreiten. Bei Abweichungen sind gesonderte Vereinbarungen zu treffen.

Der maximale messbare $k_L a$ -Wert richtet sich nach der Ansprechgeschwindigkeit der verwendeten Sauerstoffsonden. Die Zeit die eine Elektrode benötigt, um bei einer sprunghaften Konzentrationsänderung 90% des Endwertes anzuzeigen (t_{90}), soll kleiner als 1/20 der Zeit sein, die in dem zu testenden Belebungsbecken benötigt wird, um 90% des Endwertes zu erreichen. Die für den Betrieb eingesetzten Sauerstoffsonden sind für Sauerstoffzufuhrmessungen nicht verwendbar, weil sie viel zu langsam sind. Mit Laborsonden sind t_{90} -Zeiten von kleiner 15 Sekunden erreichbar, dh. es können $k_L a$ -Werte bis ca. 25 h^{-1} gemessen werden.

3.2.2 Versuchstechnik

Zur Messung der Sauerstoffzufuhrleistung eines Belüftungssystems wird der Sauerstoffgehalt im Becken zu Beginn entweder abgesenkt (**Absorptionsversuch**) oder angehoben (**Desorptionsversuch**). Anschließend wird das Belüftungssystem in Betrieb genommen und die Veränderung des Sauerstoffgehaltes in Abhängigkeit der Zeit registriert (siehe Abbildung 1).

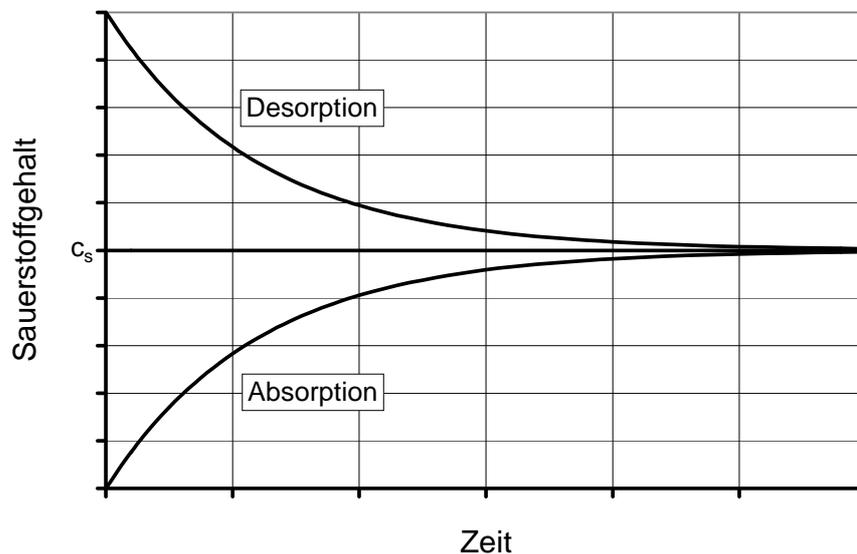


Abbildung 1: Konzentrationsverlauf bei Absorptions- und Desorptionsmessung

- Absorptionsversuch: Es wird Sauerstoff aus der Gasphase in den Wasserkörpern transportiert. Bei Reinwasserversuchen wird durch Zugabe von Natriumsulfit der im Wasser gelöste Sauerstoff gebunden, oder durch Einblasen von Stickstoff der Sauerstoffgehalt gestrippt. Der gelöste Sauerstoffgehalt steigt nach dem Versuchsbeginn an bis sich ein Gleichgewichtszustand zwischen der Gas- und Flüssigkeitsphase eingestellt hat.

- **Desorptionsversuch:** Bei Desorptionsmessungen wird die Sauerstoffzufuhr aus der Abnahme des zuvor künstlich erhöhten Sauerstoffgehaltes bestimmt. Die Erhöhung des Sauerstoffgehaltes erfolgt durch Begasen mit Reinsauerstoff. Es wird Sauerstoff aus dem Wasserkörper in die Gasphase transportiert. Der gelöst-Sauerstoffgehalt sinkt nach dem Versuchsbeginn bis sich ein Gleichgewichtszustand zwischen der Gas- und Flüssigkeitsphase eingestellt hat.

Aus den gemessenen Wertepaaren Sauerstoffgehalt/Zeit kann der Belüftungskoeffizient ermittelt werden. Mit dem Belüftungskoeffizienten und anderen Versuchsparametern wird nun die in transportierte Sauerstoffmasse pro Zeiteinheit, die **Sauerstoffzufuhr SOTR in kg/h**, berechnet. Als Nennleistung der Belüftungseinrichtung ist, nach EN 12255-15, die Sauerstoffzufuhr bei einem Sauerstoffgehalt von 0 mg O₂/L, einer Temperatur von +20°C und einem Luftdruck von 1013 hPa definiert. Dividiert man die Sauerstoffzufuhr SOTR durch die Leistungsaufnahme während der Messung erhält man eine Wirtschaftlichkeitskennzahl, den **Sauerstofftrag SAE in kg/kWh**.

3.3 HINWEISE FÜR DIE VORBEREITUNG UND DURCHFÜHRUNG VON ABNAHMEMESSUNGEN AN BELÜFTUNGSSYSTEMEN

Aus der Zusammenschau der Festlegungen in den Ausschreibungen, den Vorgaben der technischen Regelwerke zur Durchführung von Sauerstoffzufuhrmessungen [1], [4] und den vorliegenden Erfahrungen mit der Abnahme von Belüftungssystemen können folgende Empfehlungen für die Vorgangsweise abgeleitet werden.

3.3.1 Vorbereitung

Im Vorfeld der Messungen (einige Wochen vor der Messung) ist es sinnvoll die Angaben die im Leistungsverzeichnis genannt wurden gemeinsam mit allen Beteiligten durchzuarbeiten. Dabei können Abweichungen von der ursprünglichen Beckengeometrie, die zur Ausführung gelangten Komponenten des Belüftungssystems (Belüfterelemente, Gebläse, Rührwerke, etc.) sowie geänderte Garantiewerte erfasst werden. Bei komplexen Projekten empfiehlt sich eine Vorbesprechung vor Ort um einen reibungsfreien Ablauf der Abnahmemessungen zu gewährleisten. Im Rahmen einer Vorbesprechung sind Details zu besprechen und Festlegungen bzw. Vereinbarungen zu treffen. Im Folgenden werden die wesentlichen Punkte angesprochen und erörtert.

Über die Vorbesprechung ist ein Protokoll zu erstellen, dass allen Beteiligten zur Kenntnisnahme übermittelt wird.

3.3.1.1 Ergebnisse der Messung

Der wichtigste Punkt ist die exakte Festlegung, welche Werte für die Sauerstoffzufuhr und den Sauerstofftrag erreicht werden müssen. Für die Bewertung der Messergebnisse ist der Umgang mit Messabweichungen festzulegen. Bei korrekter Durchführung von Sauerstoffzufuhrmessung nach den geltenden Vorschriften sind geringe Messabweichungen zu erwarten. In der EN 12255-15 wird für normale Verhältnisse eine Genauigkeit der Ergebnisse für die Sauerstoffzufuhr von $\pm 5\%$ und für den Sauerstofftrag von $\pm 8\%$ genannt. Wenn, wie in Österreich häufig anzutreffen, in der Ausschreibung angeführt ist „... *Minustoleranzen sind nicht zugelassen* ...“, muss der Lieferant die Messunsicherheit in der Auslegungsrechnung berücksichtigen. Werden zusätzlich auch noch Schwankungen des Luftdrucks, der Luftfeuchte und der Lufttemperatur bei der Auslegung des Belüftungssystems berücksichtigt ergeben sich große Unterschiede bei den erforderlichen Komponenten (Belüfterelemente, Gebläse) und damit in den Anschaffungskosten. Details und Beispielrechnungen findet man in der Literatur [5].

3.3.1.2 Versuchsmethodik

Wenn in der Ausschreibung nicht eindeutig festgelegt, ist im Rahmen der Vorbesprechung die Methodik zu wählen. Zur Messung der Sauerstoffzufuhr in Reinwasser kommen Absorptions- und Desorptionsmessungen in Frage.

Mit Ausnahme von Oberflächenbelüftungssystemen und sehr kleinen Anlagen kommt in Österreich häufig die Desorptionsmethode mit Reinsauerstoff zum Einsatz. Das Verfahren hat unter anderem folgende Eigenschaften:

- Beim Lagern und Einspeisen des Sauerstoffs sind die entsprechenden Sicherheitsvorschriften einzuhalten [6]. Die Rohrleitungen müssen für Sauerstoffdurchleitung geeignet sein (fettfrei).
- Die Anforderungen an die Versuchswasserqualität sind geringer.
- Es kommt zu keiner Verunreinigung der Beckenkronen und Anbauteile durch Natriumsulfit.
- Die Einbringung des Sauerstoffs, auch in große Becken, ist mit geringem Personalaufwand realisierbar (keine Vorlösen des Sulfits, keine Mannschaft zum Einstreuen, etc.).
- Es erfolgt keine Aufsatzung des Versuchswassers (d.h. es können beliebig viele Versuche mit dem selben Wasser durchgeführt werden).
- Es gelangt kein Cobalt (Schwermetall) in die Umwelt (die Entsorgung des Versuchswassers stellt kein Problem dar).

3.3.1.3 Zeitpunkt der Messungen

Die Festlegung des Termins für die Messungen hat unter Bedachtnahme auf die folgenden Punkte zu erfolgen:

- Fertigstellungsgrad der Bauwerke
- Lieferung und Montage der maschinentechnischen und elektrotechnischen Ausrüstung
- Interne Abnahmen und Leistungstests durch den Lieferanten (Blasenbild, Druckproben, etc.)
- Zeit für die Befüllung des Beckens mit Reinwasser
- Einige Belüfterlieferanten verlangen, dass die Belüfter vor der eigentlichen Messung bereits einige Tage mit einer vorgegebenen Luftbeaufschlagung in Betrieb waren. Diese Zeit ist einzurechnen.
- Wetterverhältnisse, Stromabschaltungen, Wegebau, Urlaubzeit, Feiertage, etc

Erfahrungsgemäß sollten Messungen auch nicht an Montagen, Freitagen und Lückentagen angesetzt werden. Die Vorhaltung eines Reservetages, falls etwas schief geht, hat sich immer bewährt.

Auch hat das Festhalten an einem bereits überzogenen Bauzeitplan oft (mehrfache) Verschiebungen des Termins und zusätzlichen Zeitverlust zur Folge.

3.3.1.4 Auswahl des Beckens

Stehen mehrere Becken zur Auswahl, so wird man entsprechend dem Grad der Fertigstellung ein Becken wählen das gut zugänglich ist. Im Rahmen der Beckenauswahl werden auch die Sondenpositionen und der Aufstellungsort der Messdatenerfassungseinrichtungen (Datenlogger, PC) festzulegen sein.

Bei der Auswahl der Sondenpositionen und der Aufstellung der Messwertfassung sind die Kabellängen der Elektroden von Bedeutung. Eine Verlegung der Kabel auf frequentierten Wegen ist

jedenfalls zu vermeiden. Eine zentrale, wettergeschützte Aufstellung der Messdatenerfassungseinrichtung ist anzustreben. Bewährt hat sich die Aufstellung der Registriereinrichtungen in einem Bauwerk der Kläranlage. Wenn nicht anders realisierbar, ist auch die Aufstellung in einem Container, einem Fahrzeug oder einem Zelt möglich. Für die Messwertfassungseinrichtungen ist eine ausfallsicher 230 V Energieversorgung notwendig.

Das Testbecken muss gegen andere Becken bzw. Beckenbereiche abgedichtet werden. Sind die anderen Becken auch mit Reinwasser gefüllt und haben den gleichen Wasserspiegel, so genügt eine provisorische Trennwand die nicht druckwasserdicht sein muss. Überströmöffnungen sind gegebenenfalls so zu erhöhen, dass der geforderte Wasserspiegel eingestellt werden kann und während der Messung kein Wasserverlust auftritt.

Vor der Reinwasserfüllung sind aus dem Becken Grobstoffe und Baureste zu entfernen. Falls das Becken schon mit Abwasser oder Belebtschlamm in Kontakt gekommen ist, ist es sorgfältig zu reinigen. Bei Anlagen die schon teilweise in Betrieb sind ist besonders sorgfältig vorzugehen. Verunreinigungen während der Befüllung mit Reinwasser durch Abwasser (z.B. Regenereignisse) oder Rücklaufschlamm sind jedenfalls zu vermeiden.

3.3.1.5 Beckenfüllung mit Reinwasser

In vielen Fällen wird kein Trinkwasser für die Sauerstoffzufuhrmessung verwendet. Nach EN 12255-15 sind daher Vereinbarungen erforderlich. Oberflächenwasser mit niedrigem Abdampfrückstand (weniger als 500 mg/L) und geringen Gehalten an anorganischen Stoffen (z.B. Nitrat) ist als gleichwertig anzusehen.

Wasser mit Inhaltsstoffen die zu einer Komplexbildung des Cobaltkatalysators führen (organische Inhaltsstoffe, Eisen, Mangan, etc.) sind für Absorptionsmessungen nicht verwendbar. Ebenso ist Wasser mit oberflächenaktiven Substanzen, durch Algen gefärbtes Wasser und biologisch gereinigtes Abwasser nicht als Versuchswasser verwendbar. Im Zweifelsfall sind Wasseranalysen und Vorversuche zu empfehlen. Es hat sich bewährt Leitfähigkeit, die Wasserhärte, den Calcium und Magnesiumgehalt sowie der Mangan- und Eisengehalt vorab festzustellen. Bei hohen Härtegraden (größer 20°dH) besteht die Gefahr von Kalkausfällungen während der Belüftung, bei hohen Fe- und Mn-Gehalten (größer 0,5 mg/L) kann es während der Sulfitzugabe ebenfalls zu Fällungsreaktionen kommen. Eine zu hohe Leitfähigkeit des Reinwassers kann die Anzahl der Versuche einschränken.

Unabhängig davon welches Wasser verwendet wird ist die Verfügbarkeit (Leitungsdimension, Wasserentnahmerechte, Brunnenkapazität, etc.) und die daraus resultierende Füllzeit der Becken zu prüfen. Die Füllzeit ist im Vorfeld abzuschätzen. Die Füllung sollte nicht zu lange dauern, bei Sonneneinstrahlung und höheren Temperaturen kommt es sehr schnell zu Algenwachstum und einer grünen Verfärbung des Wassers. Derartiges Wasser kann die Messergebnisse beeinträchtigen.

Werden Desorptionsversuche mit Reinsauerstoff durchgeführt, können die Anforderungen an die Wasserqualität reduziert werden. Die Anwesenheit von komplexbildenden Stoffen ist unbedeutend, weil kein Cobalt als Katalysator zugegeben wird. Auch die Verwendung von Wasser mit erhöhtem Abdampfrückstand (1000 mg/L und mehr) ist möglich, weil keine Aufsalzung durch Natriumsulfit erfolgt.

3.3.1.6 Anzahl der Versuchseinstellungen

Die Anzahl der Versuchseinstellungen (minimal, maximal, mittlere Zufuhr, etc.) ist, falls abweichend von der Ausschreibung, zu vereinbaren. Werden Auflüftversuche (Absorptionsversuche) mit Natriumsulfit durchgeführt, so ist die Anzahl der Messungen durch die Aufsalzung limitiert (Leitfähigkeit max. 3000 µS/cm oder TDS max. 2000 mg/L).

Die Erfahrung zeigt, dass es sinnvoll ist Garantiewerte für die maximale Sauerstoffzufuhr (SOTR in kg/h) und den Sauerstoffertrag (SAE in kg/kWh) unter mittleren Verhältnissen anzugeben. Die in der EU gültigen Messvorschriften sehen die Durchführung von jeweils zwei Versuchen je Einstellung des Belüftungssystems vor. Damit sind bei zwei Einstellungen des Belüftungssystems vier Versuche durchzuführen.

Die Durchführung von Einzelmessungen zum Zwecke der Überprüfung von Garantiewerten ist nicht normkonform und sollte nur in Sonderfällen, wenn alle Beteiligten damit einverstanden sind und sich über die Problematik bei der Bewertung der Ergebnisse im klaren sind durchgeführt werden.

3.3.1.7 Chemikalien

Durch die Festlegung der Messmethodik ist auch festgelegt, welche Chemikalien zu beschaffen sind. Aus der Anzahl der Versuche kann mit Hilfe von Erfahrungswerten der Chemikalienbedarf abgeschätzt werden. Die Erfahrung zeigt, dass eine gewisse Reservemenge jedenfalls vorzuhalten ist. Da die Bereitschaft der Chemikalienlieferanten, nicht benötigte Ware zurück zu nehmen, sehr gering ist, muss hier mit Augenmaß vorgegangen werden. In der Praxis wird man aus Kostengründen maximal die Chemikalien für einen zusätzlichen Versuch bestellen. Werden mehr als zwei Versuche durchgeführt kann man oft durch sparsamen Umgang bei der Chemikalienzugabe Reserven für Störungen oder einen zusätzlichen Versuch aufbauen.

Erforderliche spezifische Chemikalienmengen, Lagerung und Zugabe

- Cobaltkatalysator (Lieferformen als Cobaltchlorid oder Cobaltsulfat): 0,1 bis 0,5 gCobalt/m³
Die im jeweiligen Anwendungsfall erforderliche Menge sollte durch Vorversuche mit dem Versuchswasser, siehe [4], ermittelt werden. Zum Bezug von Cobaltsalzen ist eine Giftbezugslizenz erforderlich. Die Beschaffung erfolgt daher in der Regel durch das Prüfinstitut.
- Natriumsulfit: 150 bis 300 g/m³
Geringe Mengen kommen bei vollständigen Mischbecken mit kurzer Einstreu- und Vorlaufzeit zum Einsatz. Bei Umlaufbecken oder mit Oberflächenbelüftern ausgerüsteten Becken werden größere Mengen benötigt. Das Natriumsulfit wird als Sackware mit 25 kg oder 50 kg auf Paletten angeliefert. Für das Abladen und Verbringen zum Becken ist es günstig, wenn auf der Anlage entsprechendes Gerät (z.B. Hubstapler) vorhanden ist. Für eine trockene Lagerung ist zu sorgen. Es ist festzulegen, ob eine Vorlösung des Sulfits erfolgen soll oder das Sulfit trocken zugegeben werden kann. Soll vorgelöst werden ist zu klären, wer die benötigten Behälter, Pumpen, Stromversorgung und Schläuche zur Verfügung stellt. In jedem Fall erfordert die Dosierung des Natriumsulfits die Bereitstellung von mehreren Hilfskräften.
- Reinsauerstoff (Gas in Flaschenbündel oder flüssig in Tanks mit Verdampfer): ca. 200 g/m³
Die Gebinde müssen so aufgestellt werden, dass Beschädigungen durch den Baustellenbetrieb (z.B. LKW Verkehr) jedenfalls vermieden werden. Es hat sich bewährt angelieferten Gebinde so anzuordnen, dass die Schlauchlängen zu den Einspeisestellen 20 Meter nicht übersteigen. Die Rohrleitungen müssen für Sauerstoffdurchleitung geeignet sein (fettfrei, keine Handdichtungen, etc.). Beim Lagern und Einspeisen des Sauerstoffs sind die entsprechenden Sicherheitsvorschriften [6] einzuhalten.

Die Kosten für die Chemikalien unterliegen großen Schwankungen je nach Qualität, Lieferort und Abnahmemenge.

3.3.1.8 Einstellung des Belüftungssystems

Bei **Druckbelüftungssystemen** ist eine korrekte Messung am einfachsten zu realisieren, wenn eine diskrete Zuordnung von Verdichtern zum untersuchten Becken möglich ist.

Vor allem auf großen Kläranlagen mit zentraler Gebläsestation und einigen großen Gebläsen treten Probleme auf. So kann es sein, dass auch bei geringster Gebläsedrehzahl der Luftvolumenstrom noch zu groß für das Becken oder den Beckenbereich ist. Zur Realisierung von Messungen gibt es zwei Möglichkeiten:

- man verteilt die Luft auf mehrere Becken und misst in allen mit Luft beaufschlagten Becken die Sauerstoffzufuhr

oder

- man misst die Sauerstoffzufuhr nur in einem Becken und den dem Becken zugeführten Luftvolumenstrom. Für die Zuordnung der Leistungsaufnahme ist der Gesamtvolumenstrom entweder ebenfalls zu messen oder zu berechnen.

Es kann nicht vorausgesetzt werden, dass sich der Luftvolumenstrom, auch bei vollständig symmetrischen Luftleitungen, auf zwei oder mehr Becken gleichmäßig verteilt. Daher ist es unzulässig mehrere Becken mit Luft zu versorgen, nur in einem Becken die Sauerstoffzufuhr zu messen und das Ergebnis auf alle Becken hochzurechnen.

Beispiel: Wird in einem von zwei Becken die Sauerstoffzufuhr gemessen und der Luftvolumenstrom im gemessenen Becken beträgt nur 45% des gesamten Luftvolumenstromes, so wird eine um 10% geringere Sauerstoffzufuhr ermittelt.

Um einen geringen Luftvolumenstrom für die Sauerstoffzufuhrmessung zur Verfügung zu stellen, werden Gebläse oft im Teillastbereich betrieben. Dadurch ist der Wirkungsgrad des Gebläses geringer als im Normalbetrieb. Auch die Verluste des Antriebsmotors und des Frequenzumrichters steigen im Teillastbetrieb. Der mit der gemessenen Anspeiseleistung berechnete Sauerstofftrag ist daher niedriger als jener bei Normalbetrieb. Erfahrungswerte und Musterberechnungen ergeben Minderbefunde des Sauerstofftrags von bis zu 10%.

Auf der anderen Seite treten durch den reduzierten Luftvolumenstrom in den Luftleitungen geringere Strömungsgeschwindigkeiten und damit auch geringere Druckverluste auf als im Normalbetrieb. Durch den geringeren Druckverlust in den Luftleitungen benötigt das Gebläse weniger Antriebsleistung und der mit der gemessenen Antriebsleistung berechnete Sauerstofftrag wird größer. Erfahrungswerte und Musterberechnungen ergeben vernachlässigbar gering erhöhte Sauerstoffträge von maximal 1%.

Bei **Oberflächenbelüftungssystemen** ist es sehr wichtig die Eintauchtiefe des Belüfters möglichst exakt einzustellen. Eine maximale Abweichung von $\pm 1\text{cm}$ ist anzustreben. Für den Betrieb werden Drehzahl, Eintauchtiefe und Leistungsaufnahme angegeben. Diese Werte sind in einem Testlauf (vor der eigentlichen Sauerstoffzufuhrmessung) zu verifizieren.

3.3.1.9 Einstellung und Bedienung der Gebläse

Die in den Ausschreibungen gängigen Formulierungen „... bei 80% der maximalen Gebläseleistung ...“ sind oft wenig aussagekräftig. Der Grund dafür liegt darin, dass häufig nicht angegeben wird, ob es sich dabei um den Luftvolumenstrom, die Drehzahl oder die elektrische Leistungsaufnahme handelt. Auch ist die tatsächlichen Leistungsfähigkeit des Gebläses am Versuchstag in der Regel eine andere, wie jene die sich aus den Bestelldaten ergibt und im Datenblatt des Gebläses ausgewiesen ist.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass es sinnvoll ist für den Garantienachweis einen Luftvolumenstrom anzugeben mit dem die Sauerstoffzufuhr erreicht wird. Um diesen Luftvolumenstrom bei den Garantiemessungen einzustellen, ist mit den am Messtag herrschenden Bedingungen (Luftdruck, Lufttemperatur, etc.) die Gebläsedrehzahl zu berechnen. Aus der Gebläsedrehzahl kann nun mit den Übersetzungsverhältnissen des Getriebes (z.B. Riementrieb) die Anspeisefrequenz berechnet werden, die einzustellen ist. In der Praxis hat es sich bewährt die berechnete Frequenz etwas aufzurunden und die Hauptkolbendrehzahl (=Gebläsedrehzahl) zu messen.

Die Angabe eines Luftvolumenstromes ist nur dann aussagekräftig wenn auch der Druck, die Luftfeuchtigkeit und die Temperatur angegeben werden. In der Abwassertechnik werden Luftvolumenstrome in der Regel als Kubikmeter im Normzustand (Nm^3 oder mN^3 oder m_N^3) angegeben. Als Normzustand wird trockene Luft mit einem Druck von 1013 hPa und einer Temperatur von 0°Celsius (= 273 Kelvin) bezeichnet. Für die Umrechnung auf andere Zustandsgrößen wird die Zustandsgleichung für ideale Gase verwendet. Zur Umrechnung gilt Gleichung (1):

$$V = V_N * \frac{1013}{273} * \frac{(t+273)}{p} \quad \text{Glg. (1)}$$

Darin ist V_N das Volumen (oder der Luftvolumenstrom) im Normzustand, t ist die Temperatur in Grad Celsius und p ist der Druck in hPa.

Vor den Messungen ist die Funktionstüchtigkeit und die Betriebsstabilität der Gebläse zu prüfen. Stromausfälle und daraus resultierende Gebläsestillstände während der Messungen können erhebliche Zeitverluste und Kosten (Arbeitszeit, Chemikalienkosten) zur Folge haben. Einige Gebläselieferanten fordern eine Mindest-Betriebszeit der Gebläse bevor Garantiemessungen durchgeführt werden (3-5 Tage).

Jedenfalls ist festzulegen, wer das Gebläse während der Versuche ein- und ausschaltet und die Betriebspunkte einstellt. Diese Festlegungen sind, falls während der Messung Störungen oder gar Schäden auftreten, von entscheidender Bedeutung.

3.3.1.10 Messung der elektrischen Leistungsaufnahme

Aufgrund von Erfahrungen ist die Leistungsmessung mit vom Energieversorgungsunternehmen installierten kWh-Zählern zu empfehlen. Der Vorteil liegt in der Tatsache, dass die Geräte baugleich jenen sind die zur Abrechnung des Leistungspreises eingesetzt werden. Es ist sowohl eine Ermittlung von Momentanwerten, durch Zählen der Scheibenumdrehungen pro Minute und Hochrechnen mit Zähler und Wandlerkonstanten, als auch eine Summenbildung über die Versuchsdauer möglich.

Werden andere Leistungsmessgeräte (z.B. Leistungsmessumformer) durch das Elektronunternehmen installiert so ist auf den Messbereich, die Geräteklasse (Genauigkeit) und die in der Regel temporär installierten Wandler zu achten. Keinesfalls dürfen zu Wandler mit zu großen Wandlerkonstanten zum Einsatz kommen, da sonst die gewünschte Genauigkeit nicht erreicht werden kann.

Werden keine zusätzlichen Messungen installiert, so kann auch mit mobilen Leistungsmessgeräten gearbeitet werden (z.B. echt-effektiv Leistungsmesszange). Die Leistungsmessung ist jedenfalls durch einen mit der Anlage vertrauter und befugten Elektriker zu begleiten.

Bei Betrieb mehrerer Aggregate ist jedes mit einer separaten Leistungsmessung auszurüsten. Es muss weiterhin empfohlen werden, vor Beginn der Messreihen die Leistungsaufnahme der Gebläse zu erfassen und mit den erwarteten Werten zu vergleichen. Bei hohen Abweichungen ist der Grund zu suchen und die weitere Vorgangsweise festzulegen. Bei nicht erklärbaeren Abweichungen

sollte auf eine Sauerstoffzufuhrmessung verzichtet werden so lange die Urasche nicht gefunden ist.

Werden Frequenzumrichter eingesetzt ist die Leistungsmessung oft sehr schwierig. Eine korrekte Messung der vom FU abgegebenen Leistung ist nur mit sehr teuren Leistungsanalytoren möglich. Da diese Geräte in der Regel nicht zur Verfügung stehen sind Alternativen einzusetzen. Eine elegante Lösung besteht darin die im FU eingebauten Messeinrichtungen zu nutzen. Bei vielen Geräten kann die abgegebene Elektrische Leistung direkt zur Anzeige gebracht werden. Erfahrungen, Vergleichsmessungen und Vergleichsrechnungen haben die Verwendbarkeit der Anzeigegeräte bestätigt. Steht eine echt-effektiv-Leistungsmesszange zur Verfügung kann die vom Frequenzumrichter aufgenommene elektrische Leistung, am besten für jede Phase getrennt gegen Erde, gemessen werden. Der Frequenzumrichterwirkungsgrad kann aus dem Datenblatt des FU entnommen und entsprechen berücksichtigt werden.

Bei mit Oberflächenbelüfter ausgerüsteten Becken empfiehlt sich eine registrierende (oder auch summierende) Leistungsmessung, weil die Leistungsaufnahme bei diesen Aggregaten in der Regel zu Beginn der Messung höher ist als am Ende. Der Grund dafür liegt im Aufbau der Strömung im Becken.

3.3.1.11 Erfassung des Luftvolumenstromes

Wird der von einem oder mehreren Gebläsen erzeugte Luftvolumenstrom einem Becken zugeführt in dem auch gemessen wird, so kann der Luftvolumenstrom berechnet werden. Für die Berechnung des Luftvolumenstromes sind die Zustandsgrößen der angesaugten Luft, die Druckverhältnisse am Gebläse und die Gebläsedrehzahl zu messen. Mit den Kenndaten des Gebläses und dem Formelapparat zur Gebläseberechnung kann der Ansaugluftvolumenstrom und die theoretisch erforderliche Wellenleistung berechnet werden. Stehen Prüfscheine der Gebläse zur Verfügung kann noch eine Korrektur der Katalogwerte auf das jeweilige Aggregat vorgenommen werden. Die so erhaltenen Werte sind nach Erfahrungen sehr gut verwertbar. Die Abweichungen der berechneten Werte von gemessenen Werten (z.B. Normblende nach EN ISO 5167-1 [7]) liegen in der Regel deutlich unter 5%.

Wird die Luft auf mehrere Becken verteilt und nur in einem Becken die Sauerstoffzufuhr gemessen, so ist der Luftvolumenstrom zu diesem Becken jedenfalls mit einem hochwertigen Messgerät zu messen. Die auf Kläranlagen eingesetzten Luftvolumenstrom – Messeinrichtungen haben oft nicht die für eine Abnahmemessung erforderliche Genauigkeit!

Für den temporären Einbau hat sich der Einsatz von Drosselmessgeräten nach EN ISO 5167 Teil 1, 2 und 3 bewährt. Die einfachste Möglichkeit ist es in eine vorhandene (möglichst lange) gerade Rohrleitung eine Messblende einzusetzen. Der finanzielle Aufwand für die Blende und die zusätzlichen Flansche ist je nach Rohrdurchmesser vergleichsweise gering (DN 200 ca. € 2000). Während der Sauerstoffzufuhrmessung werden der Druck vor der Blende, der Druck hinter der Blende und die Temperatur gemessen. Mit den in EN ISO 5167-1 angegebenen Formeln kann daraus der Luftvolumenstrom berechnet werden. Der durch die Messblende verursachte Druckverlust ist im Vorfeld abzuschätzen und bei der Leistungsaufnahme des Gebläses in Abzug zu bringen. Die Festlegung der Blendenabmessungen erfordert Erfahrung. Es muss ein ausreichend hoher Differenzdruck an der Blende auftreten und gleichzeitig eine Überlastung der Gebläse durch den zusätzlichen Druckverlust verhindert werden.

3.3.2 Vorbereitung der Durchführung

Am Messtag sind Kontrollen (Wasserfüllung, Einstellung der Gebläse, Schieberstellungen, etc.) durchzuführen, die Messeinrichtungen zu installieren, die Chemikaliengabe vorzubereiten, usw.. Es hat sich bewährt, dass die auf der Baustelle tätigen Personen über die Messungen informiert werden. Dabei ist auf die Wichtigkeit eines störungsfreien Ablaufes während der Versuche hinzuweisen (z.B. Stromausfall durch Installationsarbeiten an der elektrotechnischen Ausrüstung). Es ist in der Regel hilfreich die Konsequenzen (Zeitaufwand, Kosten) bei einer Unterbrechung während eines Versuches aufzuzeigen. Insbesondere ist auf die Gefahren (z.B. Sauerstofftanks, offene Schaltschränke, fehlende Gebläseabdeckungen) hinzuweisen.

3.3.2.1 Kontrollen

Es wird empfohlen vor dem Beginn der eigentlichen Messungen die vereinbarten Rahmenbedingungen zu kontrollieren. Wesentliche Punkte sind (je nach Anlage sind nicht alle Einrichtungen vorhanden):

- Zugänglichkeit des Beckens in dem gemessen werden soll. Störende Baustellen- und Montageaktivitäten am oder in unmittelbarer Nähe des Beckens oder des Aufstellungsortes der Messdatenregistrierung sind zu unterbinden.
- Aufnahme der Naturmaße des Beckens (soweit möglich)
- Vorhandensein eines wettergeschützte Aufstellungsortes für die Messdatenerfassungseinrichtungen, ev. Beschaffung von Abstellflächen
- Chemikalien (Art und Menge), Einhaltung der Sicherheitsvorschriften (bei Sauerstoff: fettfreie Leitungen!)
- Einrichtungen zum Einbringen der Chemikalien (Einspeisestelle für Sauerstoff, Vorlöseeinrichtungen für Natriumsulfit - Pumpleistungen)
- Wasserstand in den Becken (ist eine Markierung zur einfachen Kontrolle vorhanden)
- Wasserqualität (z.B. Leitfähigkeit, Temperatur, Algenwachstum)
- Dichtheit der Becken (Absperrungen zu anderen Becken)
- Testlauf und Einstellung der Gebläse (oder Oberflächenbelüfter)
- Messung der Leistungsaufnahme der Gebläse (oder Oberflächenbelüfter)
- Luftverteilung, Schieberstellungen, Dichtheit des Luftsystems (gelangt die Luft in das zu messende Becken, tritt Luft an ungewollter Stelle aus)
- Funktion der Luftvolumenstrommessung (sind die Werte plausibel)
- Betätigen der Entwässerungsleitungen (Wenn viel Wasser kommt sollte die Leitfähigkeit des Wassers gemessen werden. Stellt man die gleiche Leitfähigkeit wie im Becken fest, besteht der Verdacht, dass das Rohrleitungssystem im Becken und/oder die Belüfterelemente undicht sind.)
- Verfügbarkeit eines mit der Anlage vertrauten Elektrikers
- Verfügbarkeit von Hilfspersonal zum Einbringen der Chemikalien

3.3.2.2 Aufbau der Messeinrichtungen

Sind alle Vorbereitungen erledigt bzw. auf dem Weg einer raschen Realisierung, sind die Messeinrichtungen zu installieren. Dazu gehört:

- **Installation der Sauerstoffsonden:** Die Einbringung der Sonden in das Becken erfolgt in der Regel an Stangen oder an einem Seil bzw. einer Kette mit Ballastgewicht. Bei der Anbringung der Stangen und Ketten ist darauf zu achten, dass keine Beschädigungen an Geländern, Rohrleitungen aber auch an den Belüfterelementen im Becken verursacht werden. Bei Mischbecken ist die Sondenanordnung einfach, es genügt eine Position mit drei Sonden in verschiedenen Tiefen. Bei Umlaufbecken und Becken mit Oberflächenbelüftern hat sich größere Sondenanzahl und eine räumliche Verteilung bewährt. Dadurch können Probleme die durch ungünstige Strömungsverhältnisse im Becken auftreten besser erkannt werden. Auf eine sorgfältige Verlegung der Sondenkabel ist zu achten. Die Sondenkabel sollten nicht quer durch die Baustelle oder über Fahrwege verlegt werden (Gefahr der Beschädigung). Auch die parallele Verlegung mit Stromkabeln ist wegen Störeinflüssen zu vermeiden. Während der Verlegung ist besonders darauf zu achten, dass keine Nässe an die Steckkontakte gelangt (Regen). Zur Trocknung hat sich die Mitnahme eines Föns bewährt. Bei großen Kabellängen oder komplizierter Verlegung (Rohrdurchführungen, Fenster, etc.) hat es sich bewährt die Reihenfolge des Auslegens in umgekehrter Richtung beim Abbau der Sonden einzuhalten. Man spart einiges an „Fädelarbeit“. Wenn die Messungen an mehreren Tagen stattfinden ist es sinnvoll sich bereits vor der Kabelverlegung über die Sicherung in der Nacht Gedanken zu machen. Werden die Kabel durch Türen oder Fenster verlegt, ist durch geeignete Maßnahmen (Schutzrohr, Türanschlag, Fixierung, etc.) sicher zu stellen, dass die Kabel durch das Zufallen nicht beschädigt werden.
- **Aufbau der Datenregistrierung.** Die Aufstellung des Datenloggers, der Schreiber oder des PC (Notebook) und der Anschluss der Sauerstoff-Sondenkabel erfolgt an einem möglichst zentralen Ort. Wenn Verlängerungskabel für die Stromversorgung verlegt werden, ist sicher zu stellen, dass Unbefugte den Stecker nicht herausziehen können. Werden die Messungen im Winter durchgeführt, ist für eine Heizung zu sorgen. Wird mit elektrischen Heizgeräten gearbeitet, so ist diese an einen getrennten Stromkreis anzuschließen. Dadurch können Ausfälle der Datenregistriereinrichtung vermieden werden. Sollen auch Signale einer Luftvolumenstrommesseinrichtung (z.B. Blendenmessung) oder Gebläseparameter erfasst werden, hat es sich bewährt diese mit eigenen Datenloggern oder Notebooks zu registrieren. Wichtig ist, dass die Zeiteinstellung auf allen Registriergeräten richtig eingestellt ist, um eine Zuordnung der Daten zu gewährleisten. Alle registrierten Signale sind auf Plausibilität und Stabilität zu prüfen. Das Zeitintervall für die Registrierung des Sauerstoffgehalts sollte so gewählt werden, dass mindestens 50 Werte für die Auswertung zur Verfügung stehen. Üblicherweise wählt man ein Aufzeichnungsintervall kleiner 10 Sekunden. Bei einer Messdauer von bis zu zwei Stunden stehen so mindestens 720 Werte zur Verfügung. Es hat sich bewährt zu kontrollieren, ob alle Registriereinrichtungen die selbe, und richtige, Systemzeit haben. Anschließend ist der Datenlogger oder PC so einzustellen, dass auf Knopfdruck mit der Datenregistrierung begonnen werden kann.
- **Leistungsmessung:** Ist eine temporäre Leistungsmessung für einzelne Aggregate installiert, so ist die Anzeige auf Plausibilität zu prüfen. Wird mit einer Leistungsmesszange gearbeitet, sind die Messpunkte im Schaltschrank durch einen befugten Elektriker festzulegen und die Zugänglichkeit der Kabel und Kontakte herzustellen. Die Demontage von Abdeckungen im Schaltschrank ist unter Beachtung der erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen durchzuführen. Es ist durch entsprechende Maßnahmen (z.B. Abschließen des Schaltschranks) dafür zu sorgen, dass Unbefugte nicht in den Schaltschrank greifen.

- **Luftvolumenstrommessung:** Die Funktionsfähigkeit und die Plausibilität der Anzeige ist zu prüfen. Wurde eine Drosseleinrichtung (z.B. Messblende) installiert, so sind die Messgeräte für Druck und Temperatur zu montieren. Ist eine Registrierung dieser Daten vorgesehen, so ist auch die Datenregistrierung (z.B. Notebook) anzuschließen und die aufgezeichneten Daten auf Plausibilität zu prüfen. Wichtig ist, dass die Messstelle (Rohrdimension, Länge der Beruhigungsstrecke, Blendenabmessungen, etc.) und die Sensoren (Typen, Seriennummern, Messbereiche, etc.) dokumentiert werden und die Kalibrierdaten und Einstellungen nachvollziehbar notiert werden.
- **Gebläse:** Zur Messung der Gebläseparameter (Drehzahl, Ansaugdruck, Enddruck, Temperatur Feuchte, etc.) sind Teile der Schallschutzhaube zu entfernen, Schutzabdeckungen zu entfernen, Reflexmarken anzubringen, Druckmessstutzen zu montieren, etc. Die Durchführung dieser Arbeiten hat unter Beachtung der erforderlichen Sicherheitsvorschriften (z.B. Gebläse ausschalten und gegen Einschalten sichern) zu erfolgen. Bei einem Testlauf sind die Messwerte auf Plausibilität zu prüfen. Die Einstellung des Frequenzumrichters kann jetzt erfolgen. Es ist zu kontrollieren, ob der Frequenzumrichter nach dem Abstellen des Gebläses wieder auf die voreingestellte Frequenz hochfährt.

Je nach Komplexität der Messaufgabe und Größe der Anlage kann der Aufbau einen Tag oder auch länger dauern. Durchschnittlich muss man einen halben Arbeitstag für den Aufbau und ca. 2 Stunden für das Abbauen der Messeinrichtungen einplanen. Dies ist besonders im Winterhalbjahr von Bedeutung, weil es um 16 Uhr dunkel wird und zum Zeitpunkt von Abnahmemessungen in den seltensten Fällen eine Außenbeleuchtung zur Verfügung steht.

3.3.2.3 Chemikalien

Die in den Vorversuchen ermittelte Cobaltmenge wird in Wasser vorgelöst und möglichst lange vor den Messungen (mindestens 1 Stunde, besser 2 bis 3 Stunden) verteilt dem Becken zugegeben.

Ist die Zugabe des Natriumsulfits trocken vorgesehen werden die Säcke an die festgelegten Stellen am Beckenrand bzw. auf die Brücken transportiert. Für die Einbringung wird ein Zeitplan vorgegeben, wobei das Sulfid möglichst gleichmäßig aus den Säcken rieseln soll. Bei großen Umlaufbecken sinnvoll sein die Strömungsgeschwindigkeit abzuschätzen (ev. auch zu messen) und daraus einen Zeitplan für die Einbringung zu entwickeln. Die Erfahrung hat gezeigt, dass es günstig ist in jedes Volumenelement mehrfach Natriumsulfid zuzugeben. **Beispiel:** Ein Umlaufbecken mit 120 m Gerinnelänge und einer Strömungsgeschwindigkeit von ca. 20 cm/s hat eine theoretische Umlaufzeit von 10 Minuten. Gibt es eine durchgehende Brücke in der Mitte eines Umlaufbeckens von der das Sulfid zugegeben werden kann empfiehlt sich eine Zugabedauer von 20 Minuten. In jedes Volumenelement wird so 4 mal Natriumsulfid eingestreut.

Soll das Natriumsulfid vorgelöst werden sind die Säcke zu den Lösebehältern zu transportieren und mit dem Lösen zu beginnen. Beim Lösen des Natriumsulfids muss sehr sorgfältig vorgegangen werden (Einweisung des Hilfspersonals) um eine Klumpenbildung des Sulfids zu verhindern.

Das für die Einbringung eingesetzte Personal ist auf die ätzende Wirkung des Produktes hinzuweisen und mit Staubmasken auszustatten. Nach Beendigung der Versuche sollten die Haut (Arme, Gesicht) gründlich gereinigt und die Kleidung gewechselt werden.

Es wird empfohlen die maximale Löslichkeit des Sulfids in Wasser nicht auszuschöpfen sondern pro Kubikmeter Wasser maximal 150 kg Natriumsulfid zuzugeben. In jedem Fall ist die pro Versuch eingesetzte Chemikalienmenge zu dokumentieren.

Bei Desorptionsversuchen (Einblasen von Reinsauerstoff) sind die verbindenden Schlauchleitungen zu verlegen und anzuschließen. Dabei ist nochmals zu prüfen ob die Leitungen für Sauerstoffdurchleitung geeignet (fettfrei, keine Hanfdichtungen, etc.) sind. Beim Einsatz von Gasflaschen ist auf die Einstellung des Druckminderers zu achten. Es sollte zunächst mit niedrigem Druck begon-

nen werden und erst nachdem Gas im Becken hochsteigt der Druck langsam gesteigert werden. Werden Flüssigsauerstofftanks eingesetzt ist der Kopfdruck zu kontrollieren und ggf. einzustellen, falls erforderlich ist ein zusätzlicher Verdampfer anzuschließen.

3.3.3 Durchführung der Messungen

Unmittelbar vor Beginn der Messungen werden die Wassertiefe, die Wassertemperatur und die Leitfähigkeit gemessen. Es empfiehlt sich zu allen Messwerten auch die Zeit der Messung zu notieren.

Soll das Belüftungssystem während der Zugabe der Chemikalien laufen, ist nun die entsprechend reduzierte Gebläsedrehzahl oder Drehzahl von Oberflächenbelüftern einzustellen.

Nun wird auf ein Zeichen des für die Messung Verantwortlichen mit dem Einstreuen bzw. Einpumpen des Natriumsulfits begonnen. Bei großen Chemikalienmengen ist es notwendig immer ein Zeichen zu geben, wenn der nächste Sack zugegeben werden soll.

Bei Absorptionsversuchen empfiehlt sich nach Beendigung der Natriumsulfitzugabe die Kontrolle der Leitfähigkeit über den Beckenfläche und die Tiefe. Dadurch können „Chemikalienwolken“ erkannt werden. Durch beobachten der Signale der Sauerstoffsonden erhält man eine Vorstellung über die Verteilung der Chemikalien im Becken. Fehler die beim Einbringen der Chemikalien gemacht wurden können in der Regel nur schwer ausgeglichen werden. Bei mit Oberflächenbelüftern ausgerüsteten Becken können die Belüfter mehrfach an- und abgestellt werden um eine bessere Durchmischung zu erreichen.

Bei Desorptionsmessungen wird nun der Sauerstoff in das Luftsystem geleitet und über die Belüterelemente im Becken verteilt. Bei geringer Leistung des Belüftungssystems kann, bei Desorptionsversuchen, das Einblasen des Sauerstoffs 1- 2 Stunden dauern. Man sollte mindestens auf 25 besser 30 mg/L auflüften um eine ausreichende Konzentrationsdifferenz für die Auswertung zu haben.

Am Ende der Chemikalieneinbringung folgt eine Mischzeit. Die Länge der Einmischdauer ist von der Beckengeometrie und der Einstellung des Belüftungssystems während der Chemikalieneinbringung abhängig (0 bis 30 Minuten).

Der Start der Messung erfolgt nun durch Einstellung des Belüftungssystems auf die erforderliche Leistung. Unmittelbar nachdem die Gebläse oder Oberflächenbelüfter auf die gewünschte Drehzahl gebracht wurden, wird die Datenregistrierung gestartet. Nun wird kontrolliert, ob das Belüftungssystem wie gewünscht arbeitet (z.B. Blasenbild, keine Luft in anderen Becken). Es muss sichergestellt werden, dass sich nach dem Einschalten der Belüftung die Strömungsverhältnisse rasch stabilisieren.

Während der Sauerstoffgehalt im Becken sich verändert werden nun alle erforderlichen Messwerte mehrfach (z.B. am Anfang in der Mitte und am Ende der Messung) gemessen:

- Leistungsaufnahme Gebläse
- Einstellung Frequenzumrichter
- Drehzahl Gebläse (bei mehreren Gebläsen ist die eindeutige Zuordnung der Werte zu den Aggregaten wichtig)
- Ansaugdruck, Ansaugtemperatur und Enddruck der Gebläsestufe
- Temperatur, Druck und Feuchte der Umgebungsluft

- Leistungsaufnahme Oberflächenbelüfter (mehrfach, wenn keine Registrierung)
- Drehzahl der Oberflächenbelüfter (wenn möglich)
- ggf. Leistungsaufnahme der Rührwerke
- ggf. Daten der Luftvolumenstrommessung

Bei einem kurzfristigen Stromausfall während des Versuches (Datenaufnahme, Gebläse) kann je nach Zeitpunkt und Dauer des Ausfalls der Versuch trotzdem verwertet werden. Wichtig ist, dass bei einem Ausfall der Messsonden die Dauer exakt bekannt ist.

Die Versuchsdauer kann aus dem zu messenden Garantiewert für die Sauerstoffzufuhr abgeschätzt werden. Bei üblichen System beträgt die Versuchsdauer ca. 30 bis 120 Minuten. Es ist anzuraten den Versuch im Zweifelsfall etwas länger laufen zu lassen als die Vorausberechnung ergeben hat.

Unmittelbar nach Versuchsende sollte eine Vorauswertung durchgeführt werden, um sich einen Überblick über die Ergebnisse zu verschaffen. Bei großen Abweichungen von den erwarteten Garantiewerten sind, vor Beginn der weiteren Versuche, Überlegungen zu den Gründen anzustellen und Verbesserungsmaßnahmen durchzuführen. Die endgültige Versuchsauswertung erfolgt im Rahmen der Berichterstellung im Büro unter besseren Bedingungen (Wetter, Zuschauer, Baustellenbetrieb, etc.)

3.3.4 Auswertung der Messwerte

Der wichtigste Teil der Auswertung ist die Ermittlung des Belüftungskoeffizienten aus den registrierten Sauerstoffgehalten über der Zeit. Diese Aufgabe sollte nur mehr mit Computerunterstützung durchgeführt werden. Die grafische Auswertung mit halblogarithmischen Papier ist nicht mehr zeitgemäß und mit wesentlich größerer Unschärfe der Ergebnisse behaftet.

Nach jedem Versuch sollte vor Ort eine Grobauswertung (mittels PC-Programm) vorgenommen werden, um sich einen Überblick über die Messergebnisse zu verschaffen. Bei großen Abweichungen von den erwarteten Garantiewerten, sollte vor Beginn der nächsten Messung schon nach dem Fehler gesucht werden (falsches Beckenvolumen, falsch eingestellte Gebläse?). Die Auftraggeber der Messungen sind an Vorabinformationen über die Ergebnisse sehr interessiert. Da aber manche Berechnungen (Luftvolumenstrom, Beckenvolumen) noch mit Unschärfen behaftet sind, ist darauf hinzuweisen, dass alle Informationen nur informativen Charakter haben und nicht das Endergebnis darstellen.

3.3.4.1 Einfluss des Wetters am Messtag

Da der Lieferant des Belüftungssystems keinen Einfluss auf das Wetter bei der Abnahmemessung hat, sind diese Schwankungen bei der Bewertung der Messergebnisse zu berücksichtigen. Dies kann entweder durch die Angabe von Garantiewerten in Abhängigkeit der Zustandsgrößen der Luft oder die Vereinbarung von Umrechnungsmodalitäten auf die vereinbarten Zustandsgrößen der Luft geschehen. Der oben beschriebene Sachverhalt ist in den Regelwerken zur Durchführung von Abnahmemessungen (z.B. EN 12255-15) nicht enthalten.

Die Leistungsaufnahme eines Gebläses für einen bestimmten Ansaugluftvolumenstrom schwankt je nach Ansaugzustand der Luft. Der Luftdruck und die Temperatur haben dabei einen Einfluss von jeweils 5-10%, die Luftfeuchtigkeit maximal 1%. Unter ungünstigen Verhältnissen (niedriger Ansaugdruck, hohe Temperatur und hohe Luftfeuchte) ist die Wellenleistung eines Drehkolbengebläses für den selben Luftmassenstrom (Normkubikmeter) um bis zu 20 % (!) größer als unter günstigen Bedingungen (hoher Ansaugdruck, niedrige Temperatur, geringe Luftfeuchte).

3.3.4.2 Einfluss der Chemikalien auf das Messergebnis

Bei Absorptionsversuchen in Reinwasser wird Natriumsulfit zur Sauerstoffbindung zugegeben wodurch der Salzgehalt deutlich angehoben wird. Es ist seit vielen Jahren bekannt, dass die Sauerstoffzufuhr von Druckbelüftungssystemen mit steigender Konzentration an Neutralsalzen steigt. Der Grund dafür ist, dass sich kleine Blasen mit steigendem Salzgehalt nicht zu größeren Blasen vereinigen (Koaleszenz). Um diesen verfälschenden Einfluss zu begrenzen, wird sowohl im DWA-Merkblatt 209 als auch in der europäischen Norm EN 12255-15 für die Salzkonzentration ein Grenzwert von 2000 mg/L angegeben. Die EN empfiehlt im Hinblick auf den Salzeinfluss zusätzlich, die Versuche in einer "symmetrischen" Reihenfolge (d.h. Versuche mit gleicher Belüftungseinstellung am Beginn und am Ende einer Versuchsreihe) durchzuführen.

Der Einfluss des Salzgehaltes kann 5-10% betragen. Ohne entsprechende Korrektur sind derartige Abweichungen auch im Hinblick auf die im Regelwerk angegebenen Messunsicherheiten als nicht akzeptabel zu bezeichnen, zumal die Messunsicherheiten zur Abdeckung zufälliger Einflüsse vorgesehen sind. Im amerikanischen ASCE Standard [8] und im DWA M-209 wird als Bezugswert zur Berechnung der Sauerstoffzufuhr eine mittlere Salzkonzentration mit TDS = 1000 mg/L vorgeschlagen. Im Vergleich zu destilliertem Wasser ergibt sich dadurch eine Erhöhung der Sauerstoffzufuhr von 10 %. Die Ergebnisse von Desorptionsversuchen nach Anhebung des Sauerstoffgehaltes mit Reinsauerstoff werden hierdurch besser mit den Ergebnissen von Absorptionsversuchen vergleichbar. Im DWA Merkblatt M-209 wird für die Umrechnung folgende Gleichung (2) angegeben:

$$\text{SOTR}_{1000} = \frac{1,1 * \text{SOTR}}{1 + 0,1 * \frac{\text{TDS}}{1000}} \quad \text{Glg. (2)}$$

Darin bedeutet

SOTR_{1000} [kg/h]..... Standard Sauerstoffzufuhr umgerechnet auf einen Abdampfrückstand von 1000 mg/L

SOTR [kg/h] Standard Sauerstoffzufuhr

TDS [mg/L] Abdampfrückstand (= Salzgehalt; 1000mg/ Salzgehalt entsprechen einer Leitfähigkeit von ca. 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$)

Diese Berechnung ist für jeden Versuch vorzunehmen. Der Abdampfrückstand TDS in mg/L sollte dazu gemessen werden; er kann aber auch von einem Hilfsparameter, z. B. der elektrischen Leitfähigkeit ($\text{Lf}_{25} = 3000 \mu\text{S}/\text{cm}$ entspricht TDS = 2000 mg/L) oder dem Chemikalienverbrauch abgeleitet werden.

3.3.4.3 Messunsicherheiten

Wiederholt man eine Messung unter identischen Bedingungen, so erhält man praktisch nie den gleichen Wert. Die Ursache dieser „Messwertstreuung“ sind nicht kontrollierbare Einflüsse auf den Messwert. (Temperatur, Strömungsprofil, Verteilung der Chemikalien, elektrische Einflüsse, ...). Diese zufälligen Messabweichungen können durch Mehrfachmessungen reduziert werden. Der Grund dafür liegt darin, dass sich Fehler gegenseitig aufheben und der Mittelwert daher näher am „wahren“ Wert liegt. Systematische Fehler, wie z.B. Trägheitseinfluss der Sauerstoffsonden, sollten bei einer Sauerstoffzufuhrmessung erkannt und berücksichtigt werden, also nicht vorkommen.

Die in der EN 12255-15 genannten Genauigkeiten (=Messunsicherheiten) berücksichtigen die zufälligen Fehler die bei der Ermittlung der Sauerstoffzufuhr und des Sauerstofftrages auftreten können. Sie stellen eine Eigenschaft der Messmethode dar. Die Festlegung der zulässigen Mess-

abweichungen für die Sauerstoffzufuhr von $\pm 5\%$ und $\pm 8\%$ für den Sauerstofftrag ist auf Basis langjähriger internationaler Erfahrungen erfolgt.

Die beschriebenen Messabweichungen sind nicht dafür vorgesehen eine Minderleistung des Belüftungssystems, die durch zu knappe Bemessung oder Fertigungstoleranzen von Komponenten auftritt, abzufangen!

3.3.4.4 Umrechnungen auf andere Randbedingungen

Häufig treten bei Sauerstoffzufuhrmessungen an Druckbelüftungssystemen während der Messungen andere Einblastiefen und/oder andere Luftdurchsätze auf als in der Garantieerklärung festgelegt wurden. Die Gründe dafür sind sehr vielfältig, z.B. undichte Schieber, abweichende Zustandsgrößen der angesaugten Luft, etc..

Die Erfahrung zeigt, dass bei Abweichungen der Einblastiefe und des Luftvolumenstromes von maximal $\pm 10\%$ des Nennwertes eine einfache Umrechnung zulässig ist. Die Umrechnung der Versuchsergebnisse basiert auf der Überlegung, dass sich die Sauerstoffausnutzung, in diesen engen Grenzen, nur vernachlässigbar gering verändert.

Die Umrechnung erfolgt mit ausreichender Genauigkeit mit Hilfe der Gleichung (3)

$$SOTR_{um} = SOTR \times \frac{h_{e,soll}}{h_{e,ist}} \times \frac{Q_{L,soll}}{Q_{L,ist}} \quad \text{Glg. (3)}$$

Darin bedeutet:

$SOTR_{um}$ [kg/h] Sauerstoffzufuhr umgerechnet auf die Einblastiefe und den Luftvolumenstrom die in den Garantiebedingungen genannt wurden

$SOTR$ [kg/h]..... Sauerstoffzufuhr die im Versuch ermittelt wurde, bezogen auf Standardbedingungen

$h_{e,ist}$ [m]..... Einblastiefe während der Messung

$h_{e,soll}$ [m] Einblastiefe die in den Garantiebedingungen genannt wird

$Q_{L,ist}$ [m³/h] Luftvolumenstrom während der Messung, bezogen auf Normbedingungen

$Q_{L,soll}$ [m³/h]..... Luftvolumenstrom der in den Garantiebedingungen genannt wird, bezogen auf Normbedingungen

3.3.5 Versuchsbericht

Im Versuchsbericht sind alle Randbedingungen, Vereinbarungen, die Beckengeometrie einschließlich der Messstellen, nachvollziehbar, am besten tabellarisch, und mit Skizzen illustriert, anzugeben.

Es ist auszuführen wie die elektrische Leistung und der Luftvolumenstrom ermittelt wurden.

Die Ergebnisse der Messungen sowie die daraus berechneten Werte sind in Tabellen übersichtlich aufzubereiten. Für Versuche mit gleicher Einstellung des Belüftungssystems sind Mittelwerte zu berechnen und den Garantiewerten gegenüber zu stellen.

Besondere Vorkommnisse z.B. Gebläseausfälle sind im Versuchsbericht zu dokumentieren.

Werden Umrechnungen der Versuchsergebnisse auf eine andere Wassertiefe und/oder einen anderen Luftvolumenstrom durchgeführt, ist die Methodik zu erläutern und die verwendeten Formeln anzugeben.

Für die Anlagendokumentation ist es sinnvoll den Messbericht nicht nur in Papierform sondern auch als Datenfile (z.B. pdf - Datei) an den Auftraggeber zu übermitteln.

Alle Daten sollten mindestens zwei Jahre nach Abgabe des Versuchsberichtes aufbewahrt werden.

4. RÜHRWERKE

Da für die Stickstoffelimination Stillstandszeiten der Belüftung erforderlich sind, müssen in vielen Fällen Rührwerke zur Homogenisierung und Suspendierung in die Belebungsbecken eingebaut werden.

Rührwerke können nach ihrem Durchmesser, der Drehzahl sowie der Richtung der Zu- und Abströmung des Fluides eingeteilt werden. In Belebungsbecken werden in der Regel langsam laufende Aggregate mit großem Durchmesser und geringer Drehzahl eingesetzt. In Umlaufbecken ist die Zu- und Abströmung horizontal gerichtet, in Mischbecken findet man häufig Sohlrührwerke mit vertikaler Zuströmung und horizontaler Abströmung.

4.1 GARANTIENACHWEIS FÜR RÜHRWERKE

Die Forderung der Überprüfung der Leistungsfähigkeit von Abwasserrührwerken resultiert aus dem Zusammenwirken von Belüftungseinrichtungen und Rührwerken in Belebungsbecken. Für gleichzeitig belüftete und durchmischte Belebungsbecken müssen für die Sauerstoffzufuhr und die Durchmischung getrennte Garantiewerte formuliert werden.

Häufig wird bei Nichterreichen von Garantiewerten für die Sauerstoffzufuhr dem Rührwerk das Verschulden zugewiesen. Dieser Sachverhalt beruht darauf, dass die Lieferanten von Belüfterelementen eine gerichtete horizontale Anströmung der Belüfter von 20 – 30 cm/s voraussetzen. Diese Bedingung findet sich dann auch in der Formulierung der Garantiewerte wieder. Der Nachweis der Strömung im Bereich der Belüfterelemente bei Luftbeaufschlagung ist aber praktisch nicht möglich.

Umgekehrt wird, z.B. wenn Ablagerungen im Belebungsbecken festgestellt werden, das Belüftungssystem dafür verantwortlich gemacht.

4.1.1 Aufgaben von Rührwerken

Um einen Leistungsnachweis für ein Rührwerk durchzuführen, ist es erforderlich, die Aufgaben die ein Rührwerk erfüllen muss, festzulegen. Mögliche Aufgabenstellungen sind:

- Den Schlamm in Schwebelage zu halten, d.h. sein Absetzen zu verhindern und ggf. Ablagerungen wieder aufzuwirbeln (Ablagerungen vermeiden). Dazu werden Verwirbelungen über die Beckentiefe benötigt.
- Einbringen einer Horizontalströmung in Umlaufbecken, z.B. bei der simultanen Nitrifikation-Denitrifikation.
- Die Mischung zwischen Abwasserinhaltsstoffen und Mikroorganismen herbeizuführen (Ausgleich von Konzentrationsdifferenzen) und aufrecht zu erhalten. Unter diesem Punkt ist auch die Aufgabe das Beckenvolumen vollständig auszunutzen, d.h. Toträume und Kurzschlussströmungen zu vermeiden, zu verstehen.

4.1.2 Normen, Vorschriften und Arbeitsanweisungen

Zur Feststellung der Effizienz von Tauchmotorrührwerken gibt es die ISO 21630 [9]. Darin wird der Schub (= die Kraft die vom Rührwerk auf das Wasser wirkt) als wichtiger Parameter eingeführt. Um Rührwerke verschiedener Bauweise und verschiedener Hersteller besser vergleichen zu können, wird die spezifische Schubleistung (N/kW) abgeleitet. Je größer die spezifische Schubleistung ist, desto besser ist das Rühraggregat.

Die Ausführungen und Messvorschriften der ISO 21630 eignen sich jedoch nicht zur Überprüfung, ob das Rührwerk in der Lage ist, die gestellten Rühraufgaben, z.B. Homogenisieren, Suspendieren, zu befriedigen.

Im DWA Arbeitsblatt 131 „Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen“ [10] werden folgende Forderungen an das Belebungsbecken gestellt:

„ ... ausreichende Durchmischung, um dauerhafte Ablagerungen von Schlamm an der Beckensohle zu vermeiden; im Belüftungsbecken in der Regel sichergestellt durch die Belüftung, ggf. unterstützt durch Mischeinrichtungen; empfohlen werden als Richtwerte für die Sohlgeschwindigkeit in Bereichen außerhalb von an der Sohle installierten Belüftungseinrichtungen bei leichtem Schlamm 0,15 m/s und bei schwerem Schlamm 0,30 m/s. In anaeroben oder anoxischen Mischbecken wird die Durchmischung alleine durch Mischeinrichtungen sichergestellt, üblich sind je nach Beckengröße und -form Leistungseinträge von 1 bis 5 W/m³.“

Für Mischeinrichtungen gibt es derzeit keine allgemein gültigen Vorschriften zur Durchführung von Leistungsnachweisen in Belebungsbecken.

4.1.3 Ausschreibungen

Die zu findenden Formulierungen sind sehr unterschiedlich. Das Spektrum reicht von der Angabe einer spezifischen Motorleistung bis zu Forderungen nach mindest Strömungsgeschwindigkeiten an diversen Messpunkten. Eine Differenzierung der Strömungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Schlammeigenschaften, Beckengeometrie und Verfahrenstechnik findet praktisch nicht statt. Auch fehlen in der Regel Angaben zum Messort und der Richtung der Geschwindigkeit. So ist es für die Suspendierung von Belebtschlamm notwendig, dass Strömungsgeschwindigkeiten nach allen Richtungen auftreten, wogegen für eine gerichtete Umlaufströmung nur die Anteile der Strömungsgeschwindigkeit in Umlaufrichtung wichtig sind.

In einigen Ausschreibungen finden sich Garantieformulierungen wie *„...die Strömungsgeschwindigkeit von 30 cm/s ist bei allen auftretenden Betriebszuständen, zu jeder Zeit an jedem Ort des Beckens einzuhalten“*. Solche Forderungen sind nicht zielführend und auch nicht seriös einzuhalten.

4.2 METHODIK VON ABNAHMEMESSUNGEN AN RÜHRWERKEN

Für die Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Rührwerke kommen folgende Prüfungen und Messungen in Betracht.

- Kontrolle auf Ablagerungen
- Messung der Strömungsgeschwindigkeit
- Messung der Feststoffverteilung im Becken
- Messung des Durchmischungsverhaltens – Markierungsversuche (Tracermessung)

4.2.1 Ablagerungen

Eine Möglichkeit einen Garantienachweis für die Wirksamkeit von Rührwerken zu erbringen ist es zu kontrollieren, ob das Becken bei verschiedenen Betriebszuständen frei von Ablagerungen bleibt (Suspendieren). Dies ist jedoch erst im laufenden Betrieb zu einem relativ späten Zeitpunkt möglich.

4.2.2 Geschwindigkeitsmessungen

Um zu verhindern, dass sich Ablagerungen bilden ist weder die Richtung (Sohlgeschwindigkeit in Umlaufrichtung) noch ein Mittel- oder Medianwert wichtig. Vielmehr sind Spitzenwerte und deren Häufigkeit dafür verantwortlich, dass Ablagerungen, falls vorhanden, wieder aufgewirbelt werden. Eine Formulierung könnte lauten: „Es ist zu prüfen, ob an der Stelle A in mindestens 10% der Messzeit (z.B. 30 Minuten) eine Mindestgeschwindigkeit von 30 cm/s erreicht wird.“

Für die Messung der Strömungsgeschwindigkeit in Flüssigkeiten gibt es mobile Messgeräte.

- Hydrometrische Messflügel
- Magnetisch induktive Messgeräte
- Ultraschall - Doppler Messgeräte

Hydrometrische Messflügel und Magnetisch Induktive Geräte werden bevorzugt zur Messung einer horizontalen Geschwindigkeit verwendet. Ultraschall-Doppler Messgeräte können einen dreidimensionalen Strömungsvektor erfassen. Die Messsonden werden üblicherweise an einer Stange befestigt und im Becken an definierten Stellen positioniert.

4.2.3 Feststoffverteilung

Durch Messung der Trockensubstanz an verschiedenen Positionen im Belebungsbecken kann eine inhomogene Verteilung bzw. Fraktionierung des Belebungschlammes und eine Sedimentation erkannt werden. Die Messung der Trockensubstanz kann gravimetrische oder mit Feststoffsonden (Online-Messung) erfolgen.

Feststoffsonden werden ähnlich wie Geschwindigkeitssensoren an einer Stange montiert. Vor der Messung werden die Sonden mit dem Schlamm aus der Anlage justiert.

Bei der gravimetrischen TS Messung sind aus dem Becken Proben zu entnehmen. In der Praxis hat sich die Entnahme mit Pumpen bewährt. Dabei werden Tauchpumpen (z.B. 4 Stück) an einer Kette in festgelegten Abständen befestigt und gleich lange Schläuche montiert. Die Schläuche werden zu vier Behältern mit einem nicht zu kleinen Volumen (z.B. 150 Liter) geführt. Die Förderleistung der Pumpen muss so groß sein, dass es zu keiner Entmischung des Schlammes im Schlauch kommen kann und die Behälter in wenigen Minuten gefüllt werden können. Nach dem Abstellen der Pumpen werden die Behälter gut durchgemischt und eine Mehrfachbestimmung (z.B. 3 fach) der Trockensubstanz durchgeführt. Diese Versuche sind zeitintensiv und aufwändig.

4.2.4 Entfärbeversuche

Zur Beurteilung der Mischleistung von Rührwerken werden im Labormaßstab Entfärbeversuche durchgeführt. Dabei wird die Zeit ermittelt, bis die Reaktion im gesamten Testbecken festzustellen ist. Dabei können optisch sehr gut Toträume und/oder Kurzschlussströmungen erkannt werden. Für den großtechnischen Einsatz in Belebungsbecken eignet sich die Methode schlecht.

4.2.5 Markierungsversuche (Tracermessungen)

Bei einer Tracermessung wird eine leicht nachweisbare Substanz (z.B. Uranin – organischer Farbstoff) dem Becken zugegeben. Man kann Versuche mit und ohne Durchfluss durchführen.

Bei den Versuchen ohne Durchfluss (Standversuche) die Tracersubstanz an einer Stelle zugegeben und der Konzentrationsverlauf an verschiedenen Messpunkten registriert. Je rascher sich eine gleichmäßige Konzentration einstellt desto besser ist die Mischleistung des Rührwerkes.

Bei Durchlaufversuchen wird dem Zulauf eine Stoßmarkierung beigegeben. Aus dem zeitlichen Verlauf der Konzentration der Tracersubstanz im Ablauf kann ermittelt werden, welche Aufenthaltszeit diese Substanz im Becken hat. Das heißt, wie lange es dauert, bis die gesamte Tracersubstanz bei anhaltendem Zulauf aus dem Becken ausgewaschen wird. Außerdem ist aus der Kurvenform der Ablaufkonzentration eine Aussage über das Einmischen des Zulaufs (z.B. Toträume und Kurzschlussströmungen) möglich.

4.3 HINWEISE FÜR DIE VORBEREITUNG UND DURCHFÜHRUNG VON ABNAHMEMESSUNGEN AN RÜHRWERKEN

Garantienachweise für Rührwerke in Belebungsbecken werden erst seit einigen Jahren verlangt. Im Vergleich mit der Überprüfung von Belüftungssystemen sind Rührwerksabnahmen eine junge Disziplin. Es liegen daher vergleichsweise wenig praktische Erfahrungen bei der Prüfung der Leistungsfähigkeit von Rührwerken vor. In Österreich und Deutschland wurden in den letzten Jahren folgende Untersuchungen an Großanlagen durchgeführt:

- Messung der Strömungsgeschwindigkeit (Reinwasser und Belebtschlamm)
- Tracermessungen (Reinwasser)
- Messung der Trockensubstanzverteilung (Belebtschlamm)

Aus den vorliegenden Ergebnissen und Erfahrungen sollen auch für Abnahmemessungen an Rührwerken Empfehlungen für die Vorgangsweise abgeleitet werden.

Die bei den Belüftungssystemen genannten Punkte gelten sinngemäß auch für Rührwerke. Im Folgenden werden zusätzliche Punkte, die für den Garantienachweis von Rührwerken wichtig sind, besprochen.

4.3.1 Vorbereitung

Anders als bei den Belüftungssystemen existieren in den Leistungsverzeichnissen oft nur sehr unscharfe Aussagen über die nachzuweisenden Kennwerte. Es ist daher notwendig, in einer Vorbesprechung mit allen Beteiligten, die offenen Fragen durchzuarbeiten. Am Ende der Besprechung muss eine eindeutige Formulierung über die zu messenden Werte und detaillierte Festlegungen über die Randbedingungen vorliegen. Die Resultate der Besprechung sind schriftlich festzuhalten und von allen Beteiligten zu bestätigen.

4.3.1.1 Festlegung der Garantiewerte

Die schon erwähnte Formulierung „...die Strömungsgeschwindigkeit von 30 cm/s ist bei allen auftretenden Betriebszuständen, zu jeder Zeit an jedem Ort des Beckens einzuhalten“ ist wenig hilfreich.

Jedenfalls ist festzulegen, ob es sich bei der **Geschwindigkeit** um einen frei im Raum beweglichen Strömungsvektor oder eine Strömung in einer bestimmten Richtung handelt.

HINWEIS: Es gibt Messgeräte die in der Lage sind räumliche Geschwindigkeiten abzubilden. Diese Geräte sind jedoch empfindlich und teuer. Messungen in Belebtschlamm und im Anström-bereich von Luftblasen sind damit nur eingeschränkt realisierbar.

Einen gängigen Kompromiss stellt die Festlegung auf eine horizontale Strömung, bei Umlaufbecken in Umlaufrichtung, dar. Jedenfalls ist festzulegen, ob eine mittlere Geschwindigkeit über den Messquerschnitt, eine Sohlgeschwindigkeit über die Gerinnebreite oder Einzelmessungen an genau definierten Positionen ermittelt werden sollen.

Die nächste Frage die zu klären ist lautet: Handelt es sich bei der Strömungsgeschwindigkeit am jeweiligen Messort um einen Mittelwert oder Medianwert (50%-Wert) und welche Messdauer ist der Ermittlung zu Grunde zu legen? In der Praxis haben sich arithmetische Mittelwerte über eine Messdauer von z.B. 5 Minuten gut bewährt.

Die Strömungsgeschwindigkeit ist eine Hilfsgröße zur Beurteilung, ob das Rührwerk die ihm zugemessenen Aufgaben erfüllt. Ob die Strömungsgeschwindigkeit 10, 20 oder 30 cm/s zu betragen hat ist daher auf naturwissenschaftlicher Basis im Vorfeld nicht zu ermitteln. Die Praxis hat gezeigt, dass auch bei 15 - 20 cm/s Sohlgeschwindigkeit in Umlaufbecken nicht zwingend Ablagerungen auftreten.

Bei **Tracermessungen** ist es notwendig sich im Vorfeld mit der Strömung im Becken theoretisch auseinander zu setzen. Es gibt Rechenmodelle die eine Simulation der Verhältnisse im Becken ermöglichen. Die Garantiewerte orientieren sich an diesen Simulationsergebnissen.

Die Messung der **Trockensubstanz** kann gravimetrisch oder mit Feststoffsonden erfolgen. Der zu erreichende Wert ist eine maximale zulässige Abweichung der Trockensubstanz an den unterschiedlichen Messorten. Bei der Festlegung der maximal zulässigen Abweichung ist auf die Messunsicherheit bei der Trockensubstanzmessung Rücksicht zu nehmen. Bei der Beurteilung der Durchmischung von Belebungsbecken hat sich eine maximal zulässige Abweichung aller Messwerte vom Mittelwert von 10% bewährt.

Bei der Festlegung von Garantiewerten unter Ausschöpfung aller technischen Möglichkeiten darf die Verhältnismäßigkeit (Kosten/Nutzen-Relation) nicht unberücksichtigt bleiben.

4.3.1.2 Festlegung der Messstellen

Die Festlegung der Messstellen für die **Strömungsgeschwindigkeit** und die **Trockensubstanzverteilung** sollte so erfolgen, dass ungünstige Bereiche erfasst werden und die Zugänglichkeit einfach und gefahrlos möglich ist. Um Messungen über einen Gerinnequerschnitt durchzuführen sind Brücken oder ein Kranwagen mit Personenkorb erforderlich. Die Brücken an Umlaufbecken scheiden als Messposition häufig aus, weil dort die Rührwerke montiert sind und eine Messung unmöglich machen.

Zur Beurteilung der der Strömungsverhältnisse im Becken haben sich Profilaufnahmen mit mindestens 4 Positionen über die Gerinnebreite in mindestens 4 Wassertiefen (16 Messpunkte) bewährt. Die unterste Position sollte ca. 5 - 10 cm über der Oberkante der Belüfterelemente liegen.

Bei einer **Tracermessung** kann die Anzahl der Messpunkte auch geringer sein. Bei Überprüfung auf Toträume und Kurzschlussströmungen genügt ein Messpunkt im Beckenablauf.

Bei der Festlegung der Anzahl der Messstellen ist zu berücksichtigen, dass die erforderlichen Messgeräte teuer sind und daher selten in der erforderlichen Stückzahl zur Verfügung stehen.

4.3.1.3 Festlegung der Betriebszustände

Großes Konfliktpotential birgt die Frage, ob der Garantienachweis von Strömungsgeschwindigkeiten mit oder ohne Luftbeaufschlagung durchzuführen ist. Es ist daher detailliert anzugeben wie die Gebläse einzustellen sind, mit welcher Drehzahl und Eintauchtiefe Oberflächenbelüfter betrieben werden, welche und wie viele Rührwerke (falls mehrere vorhanden sind) betrieben werden sollen, usw.. Diese Festlegungen müssen immer in Zusammenschau mit den möglichen Messpositionen erfolgen.

Werden Strömungsmessungen oder Tracermessungen in Reinwasser durchgeführt empfiehlt sich eine gemeinsame Durchführung mit den Sauerstoffzufuhrversuchen. Der Grund dafür liegt in der bereits vorhanden Installation zur Ermittlung der Antriebsleistung von Gebläsen (oder Oberflächenbelüftern) und der Luftmenge.

Bei Strömungsmessungen in Reinwasser muss geklärt werden, ob und wie die unter Betriebsbedingungen auftretenden Zuläufe (Abwasser, Rücklaufschlamm) berücksichtigt werden. Eine Möglichkeit ist diese Volumenströme mittels Pumpen und temporären Rohrleitungen zu simulieren (großer Aufwand). Eine andere, kostengünstige Variante, ist es diese Volumenströme rechnerisch zu berücksichtigen, d.h. die Summe der Zuläufe wird gleichmäßig dem gesamten Querschnitt überlagert. In der Regel handelt es sich dabei um einen Zuschlag zur Strömungsgeschwindigkeit von 1-2 cm/s.

Werden Trockensubstanzmessungen unter realen Betriebsbedingungen durchgeführt wird empfohlen zusätzlich die Trockensubstanz im Rücklaufschlamm in kurzen Zeitabständen zu bestimmen. Treten große Schwankungen der Trockensubstanz des Rücklaufschlammes auf, sind auch die anderen Trockensubstanzmessungen mit größerer Unsicherheit behaftet. Im ungünstigsten Fall muss die Untersuchung unterbrochen bzw. abgebrochen werden und kann erst dann fortgesetzt werden, wenn sich die Verhältnisse stabilisiert haben.

4.3.2 Vorbereitung der Durchführung

Es gelten auch hier sinngemäß alle bei den Belüftungssystemen getroffenen Aussagen.

4.3.2.1 Kontrollen

Für die Wirkung eines Rührwerkes ist die Drehrichtung von Bedeutung. Diese ist vor den Messungen zu kontrollieren. In Reinwasser kann man die Drehrichtung häufig ohne Manipulationen am Rührwerk direkt im Wasserkörper sehen. In Belebtschlamm ist es notwendig das Rührwerk soweit anzuheben, bis die Rührblätter über die Wasseroberfläche ragen. Beim Hochheben des Rührwerks ist sorgsam darauf zu achten, dass Leitungen nicht in Kontakt mit den Flügeln kommen.

Der Leistungsnachweis von Rührwerken wird häufig unter realen Betriebsbedingungen in Belebtschlamm durchgeführt. Es ist dafür zu sorgen, dass während der Messungen stabile Verhältnisse im Becken herrschen. Wesentliche Punkte sind:

- Konstante Zulaufmenge: Beschickung über Regenbecken, Stauraumkanal etc.
- Konstante Rücklaufschlammförderung: Regelung ausschalten – Handbetrieb der RS-Pumpen
- Konstanter Betrieb der Belüftung: Sauerstoffregelung ausschalten – Handbetrieb der Belüftungseinrichtung. Ausschalten ev. implementierter Strategien zur Belüfterreinigung (Dehnen und Entspannen der Membranen durch Verändern des Luftvolumenstromes)

4.3.2.2 Aufbau der Messeinrichtungen

Die Gerätschaften und Messgeräte für die Durchführung von Abnahmemessungen an Rührwerken sind häufig wesentlich umfangreicher und schwerer als Sauerstoffsonden. Für den Aufbau von Pumpen, Rohrleitungen, Behältern, Messeinrichtungen und Datenregistriereinrichtungen kann ein Zeitraum von einigen Tagen erforderlich sein.

Strömungsgeschwindigkeitsmessgeräte dürfen in Belebtschlamm erst unmittelbar vor der Messung eingebaut werden. Es besteht sonst die Gefahr, dass sich Verzapfungen bilden und die Messergebnisse unbrauchbar werden.

Der Einbau der Messgeräte muss so erfolgen, dass

- die Sonden exakt positioniert werden können (z.B. an einer Stange).
- keine Beeinflussung der Strömung verursacht wird.
- die Befestigung stabil genug ist, um die durch die Anströmung verursachten Kräfte aufnehmen zu können.
- das Gestänge leicht demontierbar ist um die Messposition zu verändern.

Soll an mehreren Stellen ein Profil aufgenommen werden sind entweder mehrere Brücken zu errichten oder für einen Transport der Messbrücke zu sorgen (z.B. Autokran).

Wie schon angesprochen, stehen selten so viele Messgeräte zur Verfügung, dass eine Profilaufnahme mit z.B. 16 Messpositionen gleichzeitig erfolgen kann. Es ist daher notwendig die Messgeräte während einer Profilaufnahme zu versetzen. Je weniger Messgeräte zur Verfügung stehen, desto länger dauert eine die Erfassung aller Messwerte in einem Querschnitt. Einen guten Kompromiss, zwischen Geräteaufwand und erforderlicher Messzeit, stellt das Arbeiten mit vier Sensoren an einer Stange dar. Diese ist dann 4 Mal über die Gerinnebreite zu verschieben, um ein komplettes Profil zu erfassen.

Für die Erfassung der elektrischen Antriebsleistung von Rührwerken hat sich der Einsatz registrierender und summierender Messgeräte bewährt. Der Grund dafür ist die im Betrieb relativ stark schwankende Antriebsleistung (z.B. $\pm 10\%$). Einzelablesungen sind in der Regel mit großer Unschärfe behaftet.

4.3.3 Durchführung der Messungen

Bei Strömungsmessungen in belebtem Schlamm ist es erforderlich die Messsonden, auch während einer Messung, aus dem Wasser zu ziehen und zu kontrollieren, ob sich Verzapfungen gebildet haben. Zum Versetzen der Stange mit den Messsonden ist die Anwesenheit einer zweiten Person anzuraten. Aufgrund der Länge der Stange und der Kabel zum Messumformer und Registriereinrichtung ist oft eine Hilfestellung erforderlich. Das Hantieren mit der Stange und den daran befestigten Sensoren muss sorgfältig erfolgen, um Beschädigungen an den Messköpfen aber auch an Belüfterelementen am Beckenboden zu vermeiden.

Eine Profilaufnahme benötigt eine Zeitspanne von mindestens 1,5 – 2 Stunden. In diesem Zeitraum ist für konstante Verhältnisse im Becken zu sorgen.

5. LITERATUR

- [1] ÖNORM EN 12255-15 (Dezember 2003): Messung der Sauerstoffzufuhr in Reinwasser in Belüftungsbecken von Belebungsanlagen,
- [2] ÖNORM M 5888 (März 1998): Sauerstoffzufuhr von Belüftungseinrichtungen in Belebungsanlagen in Reinwasser und in belebtem Schlamm. ZURÜCKGEZOGEN
- [3] ÖNORM M 5889 (September 2008): Messung der Sauerstoffzufuhr von Belüftungseinrichtungen in Belebungsanlagen in belebtem Schlamm
- [4] DWA-M209 (April 2007): Messung der Sauerstoffzufuhr von Belüftungseinrichtungen in Belebungsanlagen in Reinwasser und in belebtem Schlamm
- [5] GWT RL21 (August 2002): Produktrichtlinie M 21, Druckbelüftungsanlagen, Gütegemeinschaft Wassertechnik
- [6] Merkblatt M034 (6/2001): Sauerstoff, Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie, Deutschland
- [7] ÖNORM EN ISO 5167-1: Durchflußmessung von Fluiden mit Drosselgeräten - Teil 1: Blenden, Düsen und Venturirohre in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt
- [8] ASCE Standard (2005): Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water. Third Edition, Am. Soc. of Civil Engineers, 345 East 47th Street, New York, N.Y. 10017-2399, USA
- [9] ISO 21630 (August 2007): Pumps - Testing - Submersible mixers for wastewater and similar applications
- [10] ATV-DVWK-A 131 (Mai 2000): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen

6. ANHANG

6.1 CHECKLISTE ZURVORBEREITUNG UND DURCHFÜHRUNG VON ABNAHMEMESSUNGEN AN BELÜFTUNGSSYSTEMEN

Checkliste Zur Vorbereitung und Durchführung von Abnahmemessungen an Belüftungssystemen	Ausgabe Oktober 2009 erstellt: W. Frey Seite 1 von 4
--	--

Prüfer:	Prüfdatum:
---------	------------

Nr.	Bezeichnung	Bemerkung
-----	-------------	-----------

1	Allgemeines	
1.1	Wer ist Auftraggeber der Prüfung?	
1.2	Welches Prüfinstitut führt die Messung durch? Wer ist Ansprechpartner für Rückfragen?	
1.3	Ist die Messung in nur einem Becken möglich oder ist in mehreren Becken gleichzeitig zu messen?	
1.4	In welchem Becken soll die Messung durchgeführt werden (Bezeichnung und Hauptabmessungen angeben)?	
1.5	Wurden bauliche Änderungen vorgenommen? (Beckenabmessungen, Einbauten, Wassertiefen, etc.)	
1.6	Welches Belüftungssystem ist eingebaut? (Anzahl und Anordnung der Belüfterelemente, Datenblätter, Prüfscheine, etc.)	
1.7	Entspricht das eingebaute System (Fabrikat, Type, usw.) dem angebotenen System?	
1.8	Nach welcher Messvorschrift und Messmethode wird die Messung durchgeführt?	
1.9	Sind die Rohrleitungen für Reinsauerstoff geeignet? (fettfrei, keine Hanfdichtungen, etc.)	
1.10	Termin für die Messungen:	
1.11	Wer sorgt für die Abstimmung des Termins mit anderen Auftragnehmern?	
1.12	Welches Versuchs-Wasser soll/kann verwendet werden (Verfügbarkeit, Qualität)?	
1.13	Wasseranalyse vorhanden?	
1.14	Sind weiterführende Wasseruntersuchungen erforderlich?	
1.15	Wer führt die weiterführenden Wasseruntersuchungen durch?	

Checkliste Zur Vorbereitung und Durchführung von Abnahmemessungen an Belüftungssystemen	Ausgabe Oktober 2009 erstellt: W. Frey Seite 2 von 4
--	--

Prüfer:	Prüfdatum:
---------	------------

Nr.	Bezeichnung	Bemerkung
-----	-------------	-----------

2	Garantiewerte	
2.1	Wie viele Einstellungen des Belüftungssystems werden gemessen?	
2.2	Garantiewert für die Sauerstoffzufuhr im Normalbetrieb?	
2.3	Garantiewert für den Sauerstoffertrag im Normalbetrieb?	
2.4	Garantiewert für die Sauerstoffzufuhr im Maximallastfall?	
2.5	Garantiewert für den Sauerstoffertrag im Maximallastfall?	
2.6	Druck in der Luftleitung an einer festgelegten Stelle?	
2.7	Normallastfall: Angaben zur Einstellung des Belüftungssystems (Eintauchtiefe, Einblastiefe, Drehzahl, Leistungsaufnahme Luftvolumenstrom, etc.)	
2.8	Maximallastfall: Angaben zur Einstellung des Belüftungssystems (Eintauchtiefe, Einblastiefe, Drehzahl, Leistungsaufnahme Luftvolumenstrom, etc.)	
2.9	Sollen die Rührwerke während der Messung laufen?	
2.10	Behandlung von Verlusten von Frequenzumformern bei der Berechnung des Sauerstoffertrages?	
2.11	Behandlung von (elektrischen) Leitungsverlusten bei der Berechnung des Sauerstoffertrages?	
2.12	Behandlung von (zusätzlichen) Druckverlusten durch Messeinrichtungen (z.B. Blenden) bei der Berechnung des Sauerstoffertrages?	
2.13	Wie ist mit Messabweichungen umzugehen? Sind Minusabweichungen zulässig?	
2.14	Ist eine Umrechnung der Messergebnisse in Abhängigkeit des Salzgehaltes zulässig?	
2.15	Ist eine Umrechnung der Messergebnisse auf eine andere Einblastiefe erforderlich?	
2.16	Ist eine Umrechnung der Messergebnisse auf einen anderen Luftvolumenstrom erforderlich?	

Checkliste Zur Vorbereitung und Durchführung von Abnahmemessungen an Belüftungssystemen	Ausgabe Oktober 2009 erstellt: W. Frey Seite 3 von 4
--	--

Prüfer:	Prüfdatum:
---------	------------

Nr.	Bezeichnung	Bemerkung
-----	-------------	-----------

Nr.	Bezeichnung	Bemerkung
3	Vorbereitung der Messung	
3.1	Beckenreinigung erforderlich/durchgeführt?	
3.2	Wer ist für die Wasserfüllung verantwortlich?	
3.3	Sind Öffnungen zu anderen Becken vorhanden?	
3.4	Wer verschließt Öffnungen zu anderen Becken?	
3.5	Dichtheitsprüfung der Luftleitung durchgeführt? In Ordnung?	
3.6	Sind die Becken zugänglich?	
3.7	Ist die Einbringung der Sauerstoffsonden problemlos möglich?	
3.8	Gesicherte Aufstellungsort der Messeinrichtungen (Datenlogger, Notebook) möglich?	
3.9	Wer sorgt für die unterbrechungsfreie Energieversorgung (230V) für die Datenerfassungseinrichtungen?	
3.10	Sind Anschlussstellen für die Sauerstoffeinspeisung vorhanden?	
3.11	Wer bestellt die Chemikalien?	
3.12	Wer übernimmt die Chemikalien vor Ort?	
3.13	Sind Ablade- und Transporthilfen vorhanden?	
3.14	Wo werden die Chemikalien nach der Lieferung bis zur Messung gelagert?	
3.15	Wer kümmert sich um die Retournierung der Leergebinde?	
3.16	Wer stellt Hilfspersonal für die Einbringung der Chemikalien?	
3.17	Wer beschafft Lösebehälter, Pumpen und Schläuche für die Lösung und das Einbringen von Natriumsulfit?	
3.18	Ist der Elektriker für die Leistungsmessung informiert?	
3.19	Wer stellt das Belüftungssystem ein (Drehzahl, Eintauchtiefe, Einblastiefe, Leistungsaufnahme, Frequenz, etc.)?	
3.20	Wie wird die (elektrische) Leistungsmessung durchgeführt?	
3.21	Wer stellt den kWh-Zähler bei und sorgt für die Installation?	
3.22	Wie erfolgt die Ermittlung des Luftvolumenstromes?	
3.23	Wer stellt die Luftvolumenstrommessung bei und sorgt für die Installation?	
3.24	Information anderer Auftragnehmer über die Messaktivitäten und erforderliche Einschränkungen des Baustellenbetriebes?	

finanziert aus Mitteln der ÖWAV-KAN

Checkliste Zur Vorbereitung und Durchführung von Abnahmemessungen an Belüftungssystemen		Ausgabe Oktober 2009 erstellt: W. Frey Seite 4 von 4
Prüfer:		Prüfdatum:
Nr.	Bezeichnung	Bemerkung

4	Durchführung der Messung	
4.1	Blasenbildkontrolle durchgeführt? In Ordnung?	
4.2	Einlaufen der Belüfter durchgeführt? Betriebszeit in Stunden? Luftvolumenstrom oder Gebläseeinstellung?	
4.3	Sicherheitsunterweisung aller Arbeitnehmer auf der Baustelle (Einatmen von Natriumsulfit, Brennbarkeit Reinsauerstoff, etc.)	
4.4	Information aller Auftragnehmer über Konsequenzen bei Unterbrechung einer Messung z.B. durch Stromausfall – Kosten!	
4.5	Kontrolle der (Bau- und Montage-) Aktivitäten am Messbecken und am Ort der Messdatenerfassung	
4.6	Kontrolle des Wasserstandes	
4.7	Kontrolle der Wasserqualität	
4.8	Kontrolle Wasserverlust	
4.9	Testlauf Gebläse (Einstellungen)	
4.10	Kontrolle der Luftverteilung	
4.11	Kontrolle Schieber(klappen)stellung Luftleitung	
4.12	Kontrolle Dichtheit Schieber(Klappen)	
4.13	Kontrolle der Luftvolumenstrommessung	
4.14	Kontrolle Leistungsmessung	
4.15	Betätigung Entwässerungsarmaturen	

finanziert aus Mitteln der ÖWAV-KAN

6.2 CHECKLISTE ZUR VORBEREITUNG UND DURCHFÜHRUNG VON ABNAHMEMESSUNGEN AN RÜHRWERKEN

Checkliste
 Zur Vorbereitung und Durchführung von
 Abnahmemessungen an Rührwerken

Ausgabe Oktober 2009
 erstellt: W. Frey
 Seite 1 von 3

Prüfer:

Prüfdatum:

Nr.	Bezeichnung	Bemerkung
-----	-------------	-----------

1	Allgemeines	
1.1	Wer ist Auftraggeber der Prüfung?	
1.2	Welches Prüfinstitut führt die Messung durch? Wer ist Ansprechpartner für Rückfragen?	
1.3	In welchem Becken soll die Messung durchgeführt werden (Bezeichnung und Hauptabmessungen angeben)?	
1.4	Wurden bauliche Änderungen vorgenommen? (Beckenabmessungen, Einbauten, Wassertiefen, etc.)	
1.5	Welches Rührwerk ist eingebaut? (Anzahl und Anordnung, Datenblätter, Prüfscheine, etc.)	
1.6	Entspricht das eingebaute System (Fabrikat, Type, usw.) dem angebotenen System?	
1.7	Termin für die Messungen:	
1.8	Wer sorgt für die Abstimmung des Termins mit anderen Auftragnehmern?	

2	Garantiewerte	
2.1	In welchem Medium soll gemessen werden? - Reinwasser oder Belebtschlamm	
2.2	Wie viele Einstellungen sollen gemessen werden? - ohne Luftbeaufschlagung - mit Luftbeaufschlagung (Luftvolumenstrom angeben)	
2.3	Festlegung der Garantiewerte: - Strömungsgeschwindigkeit (Mittelwerte, Medianwerte, Messorte, Zahlenwerte, etc.) - Trockensubstanzverteilung (Messorte)	
2.4	Angaben zur Einstellung der Rührwerke und des Belüftungssystems (Eintauchtiefe, Einblastiefe, Drehzahl, Leistungsaufnahme Luftvolumenstrom, etc.)	
2.5	Wie ist mit Messabweichungen umzugehen? Sind Minusabweichungen zulässig?	

Checkliste
 Zur Vorbereitung und Durchführung von
 Abnahmemessungen an Rührwerken

Ausgabe Oktober 2009
 erstellt: W. Frey
 Seite 2 von 3

Prüfer:

Prüfdatum:

Nr.	Bezeichnung	Bemerkung
3	Vorbereitung der Messung	
3.1	Sind Rezirkulationsströme vorhanden?	
3.2	Kann die Fördermenge kontrolliert werden?	
3.3	Kann die Trockensubstanz des Rücklaufschlammes kontrolliert werden?	
3.4	Sind die Becken zugänglich? Gibt es Messbrücken?	
3.5	Ist die Einbringung der Messeinrichtungen problemlos möglich?	
3.6	Gesicherte Aufstellungsort der Messeinrichtungen (Datenlogger, Notebook) möglich?	
3.7	Wer sorgt für die unterbrechungsfreie Energieversorgung (230V) für die Datenerfassungseinrichtungen?	
3.8	Wer stellt Hilfspersonal für die Einbringung der Messeinrichtungen? (Pumpen, Gefäße, etc.)	
3.9	Wer informiert den zuständigen Elektriker für die Leistungsmessung?	
3.10	Wer stellt das Belüftungssystem ein (Drehzahl, Eintauchtiefe, Einblastiefe, Leistungsaufnahme, Frequenz, etc.)?	
3.11	Wie wird die (elektrische) Leistungsmessung durchgeführt?	
3.12	Wer stellt den kWh-Zähler bei und sorgt für die Installation?	
3.13	Wie erfolgt die Ermittlung des Luftvolumenstromes?	
3.14	Wer stellt die Luftvolumenstrommessung bei und sorgt für die Installation?	
3.15	Information anderer Auftragnehmer über die Messaktivitäten und erforderliche Einschränkungen des Baustellenbetriebes?	

Checkliste
 Zur Vorbereitung und Durchführung von
 Abnahmemessungen an Rührwerken

Ausgabe Oktober 2009
 erstellt: W. Frey
 Seite 3 von 3

Prüfer:

Prüfdatum:

Nr.	Bezeichnung	Bemerkung
4	Durchführung der Messung	
4.1	Drehrichtungskontrolle der Rührwerke durchgeführt?	
4.2	Einlaufen der Rührwerke durchgeführt? Betriebszeit in Stunden?	
4.3	Konstanter Betrieb der Belüftung sichergestellt? (Handbetrieb, Regelung abschalten)	
4.4	Information aller Auftragnehmer über Konsequenzen bei Unterbrechung einer Messung z.B. durch Stromausfall – Kosten!	
4.5	Kontrolle der (Bau- und Montage-) Aktivitäten am Messbecken und am Ort der Messdatenerfassung	
4.6	Kontrolle des Wasserstandes	
4.7	Testlauf Gebläse (Einstellungen)	
4.8	Kontrolle der Luftverteilung	
4.9	Kontrolle Schieber(klappen)stellung Luftleitung	
4.10	Kontrolle Dichtheit Schieber(Klappen)	
4.11	Kontrolle der Luftvolumenstrommessung	
4.12	Kontrolle Leistungsmessung	
4.13	Betätigung Entwässerungsarmaturen	