

# Planung und Gestaltung von Belüftungssystemen

Wilhelm Frey, Leobendorf

## 1 Einleitung

Beim Belebungsverfahren benötigen die Mikroorganismen für ihren Stoffwechsel Sauerstoff, der mit dem Belüftungssystem zugeführt werden muß. Der CSB bzw. BSB<sub>5</sub> - Abbau wird in der Regel durch Schwankungen des gelöst- Sauerstoffgehaltes im Belebungsbecken, sofern er größer als 1,5 mg/l bleibt, nicht verschlechtert. Anders verhält es sich bei der bestehenden Forderung nach weitgehender Stickstoffelimination. Einerseits wird durch Absinken des Sauerstoffgehaltes sehr rasch die Nitrifikation beeinträchtigt und andererseits wird bei Rezirkulation mit hohem Sauerstoffgehalt die Denitrifikation gestört.

Die Bemessung von Belüftungseinrichtungen erfolgt in der Regel nach dem maximalen Sauerstoffbedarf. Entsprechend den Belastungsschwankungen liegt der mittlere Sauerstoffbedarf deutlich niedriger. Bei der Festlegung des erforderlichen Sauerstoffbedarfes (in Abhängigkeit unterschiedlicher Belastungsannahmen) und des erforderlichen Regelbereiches ist sorgfältig vorzugehen. Fehleinschätzungen die hier getroffen wurden sind, auch durch gewissenhafte Auswahl und Gestaltung des Belüftungssystems, selten auszubessern. Eine wirksame Regelstrategie zur möglichst genauen und raschen Anpassung der Sauerstoffzufuhr an den aktuellen Sauerstoffbedarf ist, wegen der anfallenden Energiekosten für die Belüftung und der zu erreichenden Stickstoffentfernung, unumgänglich.

Man unterscheidet im wesentlichen

- **Druckbelüftungssysteme**  
(disperse Phase Luft, kontinuierliche Phase Wasser)
- **Oberflächenbelüftungssysteme**  
(disperse Phase Wasser, kontinuierliche Phase Luft)

## 2 Aufgabe des Belüftungssystems

Bei fast allen Belüftungssystemen wird der für die Lebenstätigkeit der aeroben Mikroorganismen benötigte Sauerstoff durch atmosphärische Luft in das Wasser eingetragen. Die Belüftungssysteme in Belebungsanlagen sollen folgende Forderungen erfüllen v.d.EMDE (1969;1979):

- **Ausreichende Sauerstoffzufuhr**, um den Sauerstoffbedarf zu decken. Eine den Belastungsverhältnissen entsprechende **Regelbarkeit** der Sauerstoffzufuhr.
- **Intensive Durchmischung** des Abwasser-Schlamm-Gemisches zur gleichmäßigen Verteilung des Sauerstoffes in der Flüssigkeit bei einem angestrebten Sauerstoffgehalt von ca. 2 mg/l.
- **Ausreichende Turbulenz**, um Ablagerungen zu vermeiden und um die Schlammflocken mit den festen und gelösten Stoffen des Abwassers intensiv zu vermischen.
- **Große Betriebssicherheit**, geringe Verstopfungsanfälligkeit der Poren oder Bohrungen bei Druckluftbelüftern. Freihalten der Schaufeln und Leitkanäle der Kreiselbelüfter von Faserstoffen.
- Keine Belästigung durch **Gerüche, Aerosole** und **Lärm**.
- Niedrige **Herstellungskosten** für die Belebungsbecken und das dazugehörige Belüftungssystem. Geringer **Energieaufwand** für Sauerstoffeintrag, Umwälzung und Durchmischung.
- **Beständigkeit** gegen mechanischen und chemischen Angriff. Geringer Wartungsaufwand für Belüfter, Gebläse und Motoren.

Bei den heute häufig vorkommenden niedrigen Anlagenbelastungen sollte auch die Sicherstellung der Mischung überprüft werden. Unter der Annahme, daß eine spezifische Mischleistung von z.B.  $5 \text{ W/m}_{\text{BB}}^3$  erforderlich ist, um Ablagerungen zu vermeiden, erhält man, bei einer Einblastiefe von 5 m, eine minimale Luftmenge bezogen auf das Belebungsbeckenvolumen von ca.  $0,5 \text{ m}_N^3/\text{m}^3/\text{h}$ . Weitergehende Ausführungen findet man bei FREY (1993). Dort findet man

auch spezielle Anforderungen im Hinblick auf die Nitrifikation und Denitrifikation.

### 3 Kennzeichnende Parameter eines Belüftungssystemes

Als Nennleistung der Belüftungseinrichtung, in einem Becken vorgegebener Größe, ist die **Sauerstoffzufuhr in Reinwasser**  $OC$  [kg O<sub>2</sub>/h] (bzw. die volumenbezogene Sauerstoffzufuhr  $OC_R$  [kg O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h]) bei einem Sauerstoffgehalt von 0 mg O<sub>2</sub>/l, einer Temperatur von +20°C und einem Luftdruck von 1013,25 hPa definiert.

Aussagen über die Wirtschaftlichkeit eines Belüftungssystemes können durch die Ermittlung des **Sauerstoffertrages**  $Op$  [kg/kWh] gemacht werden. Er ist eine Wirtschaftlichkeitskennzahl und gibt an, wieviel Kilogramm Sauerstoff unter Standardbedingungen mit einer Kilo-Watt-Stunde in das Wasser eingetragen werden.

Von den Herstellern von Druckbelüftungssystemen werden gerne folgende Werte angegeben:

**spezifische Sauerstoffzufuhr**  $OC_{L,h}$

**Sauerstoffausnutzung**  $OA_h$

$$OC_{L,h} = \frac{OC}{Q_L \cdot h_E} \cdot 1000 \quad [g/m_N^3/m]$$

$$OA_h = \frac{OC_{L,h}}{3} \quad [%/m]$$

$Q_L$  ist der Luftvolumenstrom und  $h_E$  ist die Einblastiefe. Die Sauerstoffausnutzung erhält man mit dem Wissen, daß ein Normkubikmeter Luft 300gO<sub>2</sub> enthält.

Grundlegende Zusammenhänge findet man bei KAYSER (1967). Details können der ÖNORM M5888 oder dem ATV Merkblatt 209 entnommen werden.

## 4 Auslegung von Belüftungssystemen

### 4.1 Ermittlung der erforderlichen Sauerstoffzufuhr

In der abwassertechnischen Berechnung wird der maximale und möglichst auch der minimale stündliche Sauerstoffverbrauch für das Becken oder die gesamte

Anlage ermittelt. Der Sauerstoffbedarf bei der aeroben Abwasserreinigung ergibt sich aus dem Abbau der Kohlenstoffverbindungen und der Oxidation der Stickstoffverbindungen. Die Basis für die Berechnung des Sauerstoffverbrauches sind die Untersuchungen an hochbelasteten Belebungsanlagen von v.d.EMDE (1957). Das gebräuchlichste Regelwerk zur Berechnung des erforderlichen Sauerstoffbedarfes ist das ATV Arbeitsblatt 131. Es ist an dieser Stelle wichtig darauf hinzuweisen, daß im A 131 der Rechengang vorgegeben wird, der planende Ingenieur aber die **Festlegungen für die Bemessungsparameter und Bemessungslastfälle** zu treffen hat. Das Thema Bemessungsgrundlagen wurde bereits von KROISS (1990) ausführlich behandelt.

Nach Wahl des Belüftungssystems muß der Grenzflächenfaktor  $\alpha$  (früher  $\alpha$ -Wert) geschätzt werden. Nach DIN 19 569 Teil 3 hat „... *der Ausschreibende die Beckengeometrie, den Sauerstoffbedarf (kg/h) unter größten, mittleren und kleinsten Belastungsbedingungen sowie den  $\alpha$ -Wert (s.u.a. Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band 4 von 1985, Seite 319) entsprechend dem Abwasser und den Belüftungssystemen vorzugeben.*“ Nach den Erfahrungen des Verfassers kann für **Druckbelüftungssysteme**, in kommunalem Abwasser unter den heute üblichen Belastungsverhältnissen, ein Grenzflächenfaktor von 0,6 - 0,7 angesetzt werden. Für **Oberflächenbelüftungssysteme** wird üblicherweise ein  $\alpha$ -Wert von 0,9 – 0,95 angesetzt.

Dividiert man den aus der abwassertechnischen Berechnung (z.B. nach ATV-A 131) ermittelten maximalen Sauerstoffbedarf  $OV_{(C+N)}$  in [kg/h] durch den Grenzflächenfaktor  $\alpha$  erhält man die **Sauerstoffzufuhr in Reinwasser OC**, zunächst noch bezogen auf die Verhältnisse des Kläranlagenstandortes. Dieser Reinwasserwert sollte von den Bedingungen auf der Kläranlage auf Standardbedingungen (1013 hPa; 20°C) umgerechnet werden. Die Umrechnung kann mit folgender Gleichung erfolgen:

$$OC \text{ [kg/h]} = \frac{OV_{(C+N)}}{\alpha} \cdot \frac{C_{S,\text{Betrieb}}}{C_{S,\text{Betrieb}} - C_X} \cdot 1,024^{(20-T)} \cdot \frac{C_{SS,(20)}}{C_{SS,(T)}} \cdot \frac{1013}{p}$$

Darin ist

$\alpha$  [ - ]..... Grenzflächenfaktor

$\beta$  [ - ]..... Salzfaktor

$C_{SS,(20)}$  [mg/l]..... Standard-Sauerstoffsättigungswert bei 20°C und 1013 hPa

$C_{SS,(T)}$  [mg/l]..... Standard-Sauerstoffsättigungswert bei Bemessungstemperatur T

$C_X$  [mg/l]..... Sauerstoffgehalt im Betriebszustand

$C_{S,Betrieb}$  [mg/l] ... korrigierter Sauerstoffsättigungswert

$$C_{S,Betrieb} = C_{SS,(T)} \cdot \beta \cdot \left(1 + \frac{ET}{20,7}\right) \cdot \frac{p}{1013}$$

T [°C]..... Bemessungstemperatur für den Sauerstoffverbrauch

p [hPa] ..... Luftdruck in Abhängigkeit der Höhenlage der Anlage

Häufig wird auf die Umrechnung auf Standardbedingungen vereinfacht, weil die anderen Unsicherheiten der Berechnung um vieles größer sind als die Umrechnungsfaktoren zufolge eines anderen Luftdruckes und einer anderen Temperatur.

Bei intermittierender Belüftung ist die Sauerstoffzufuhr entsprechend dem Verhältnis der Laufzeit in Stunden pro Tag  $t_B$  [h] zu erhöhen:

$$OC_{(intermittierend)} = OC \cdot \frac{24}{t_B}$$

## 4.2 Bemessung von Druckbelüftungssystemen

Ziel der Auslegung des Belüftungssystems ist es den **erforderlichen Luftvolumenstrom** und die **Anzahl der Gaszerteiler** (Belüfter) zu ermitteln. Im folgenden wird der Bemessungsgang für eine gegebene Beckengeometrie und gegebene Sauerstoffzufuhr erläutert.

Man nimmt zunächst eine Belegungsdichte (und damit eine Belüfteranzahl) und eine Luftbeaufschlagung an. Für diese Werte entnimmt aus den Leistungskennlinien, des Herstellers des Belüftungssystems, die zugehörige spezifische Sauerstoffzufuhr bzw. die Sauerstoffausnutzung. Dividiert man nun die geforderte Sauerstoffzufuhr OC [kg/h] durch die spezifische Sauerstoffzufuhr [ $g/m_N^3$  bzw.  $kg/m_N^3$ ] erhält man den Luftvolumenstrom  $Q_L$  [ $m_N^3/h$ ].

Mit der angenommenen Belüfteranzahl und dem berechneten Luftvolumenstrom wird nun die Luftbeaufschlagung nachgerechnet. Nach dem ersten Rechengang wird hier selten eine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen Annahme und Nachrechnung gegeben sein. Es ist nun die Rechnung mit korrigierter Luft-

beaufschlagung und gegebenenfalls geänderter Belegungsichte solange zu wiederholen, bis die Annahme der Luftbeaufschlagung der Nachrechnung entspricht.

Mit dem so ermittelten Luftvolumenstrom sind die Gebläse auszulegen. Dabei ist auf die Regelbarkeit und Redundanz des Gesamtsystems zu achten. Weiter Hinweise findet man im ATV-H 265 und ATV-M 268. Bei der Gebläseauswahl sind die Eigenschaften der Arbeitsmaschinen zu berücksichtigen. Eingesetzt werden:

- Drehkolbenverdichter (zwei- und dreiflügelig), maximale Druckdifferenz 1 bar, Volumenströme bis ca. 20.000m<sup>3</sup>/h
- Schraubenverdichter, maximale Druckdifferenz 3,5 bar, Volumenströme bis ca. 30.000m<sup>3</sup>/h
- Turboverdichter (einstufig), maximale Druckdifferenz 1,5 bar, Volumenströme bis ca. 100.000m<sup>3</sup>/h

## 5 Druckbelüftungssysteme

Der Sauerstoffeintrag erfolgt durch im Wasser aufsteigende Luftblasen (Luft besteht aus ca. 21% O<sub>2</sub> und ca. 79% N<sub>2</sub>). Die Sauerstoffzufuhr ist abhängig von:

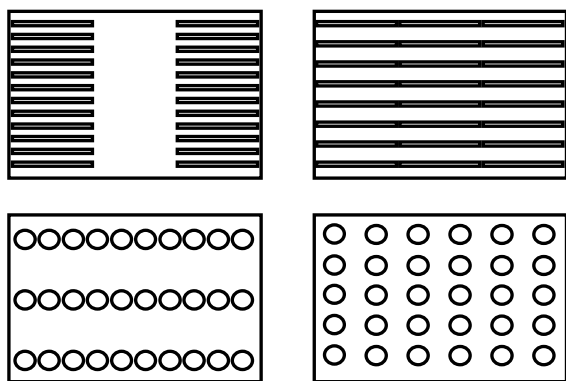
- Größe der Luftblasen
- Luftvolumenstrom
- Einblastiefe
- Strömungsverhältnissen
- Abwasserinhalstoffen

Es ist günstig, Blasen mit einem Durchmesser von 2 - 5 mm zu erzeugen, da diese noch eine gute Bewegung der Blasenoberfläche bei gleichzeitig hoher spezifischer Oberfläche haben. Zerteilt man 1m<sup>3</sup> Luft in Blasen mit einem Durchmesser von 3 mm erhält man eine Phasengrenzfläche von 2000 m<sup>2</sup>, bei Ø=6 mm nur mehr 1000 m<sup>2</sup>. Wenn die Blasen bei ihrer Entstehung kleiner als 3 mm sind spricht man von **feinblasiger Druckbelüftung**.

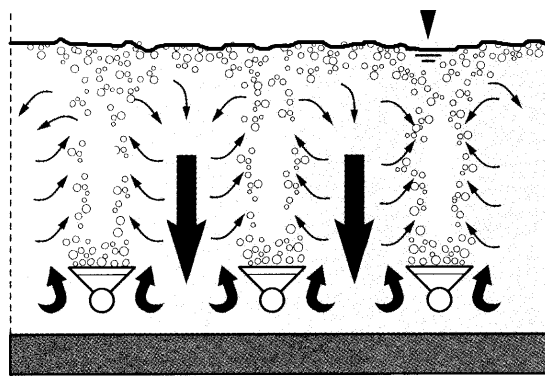
Bei den in der Abwassertechnik üblichen Wassertiefen (4-8 m) und Luftmengen steigt die Sauerstoffzufuhr (OC in  $\text{kgO}_2/\text{h}$ ) in etwa proportional zur **Luftmenge** und zur **Einblastiefe**.

Die feinblasige Belüftung wird besonders durch grenzflächenaktive Stoffe (Tenside aus Waschmitteln) beeinflusst WAGNER (1991).

Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit einer Belüftungseinrichtung ist die sich einstellende **Strömung** im Becken. Es muß jedenfalls verhindert werden, daß sich Wasserwalzen ausbilden und somit die Aufenthaltszeit der Luftblasen im Wasser verkürzen. Der Einbau der Gaszerteiler an der Beckensohle erfolgt heute praktisch ausschließlich **flächendeckend**. Wie Abbildung 1 zeigt verdient nicht jede als „flächig“ bezeichnete Belüfteranordnung diese Bezeichnung. Innerhalb der belüfteten Bereiche ist auf ein **quadratisches Rastermaß** zu achten, so daß die Ausbildung von Strömungswalzen unterbunden wird. Damit werden große, intensive Strömungsspiralen vermieden, so daß die Aufwärtsströmung des Wasser gering bleibt, woraus ein hoher Sauerstofftrag resultiert (Abbildung 2).



**Abbildung 1:** Belüfteranordnung an der Beckensohle



**Abbildung 2:** Stömungsbildung

Für die **Belüfterelemente** werden unterschiedliche Materialien und Bauformen eingesetzt.

## 5.1 Materialien

Feinblasige Belüftungselemente können in drei Kategorien bezüglich des Materials eingeteilt werden:

- Elemente aus **poröser Plastik**: Die eingesetzten Elemente aus starrporöser Plastik werden hauptsächlich aus Hochdruckpolyethylen (HDPE) oder Styrolacrylnitril (SAN) hergestellt.
- Elemente aus **keramischen Material** Ausgangsmaterialien für Elemente aus Keramik sind Aluminiumoxide, Aluminiumsilikate und Silikate. Die aus diesen Materialien geformten Elemente werden bei Temperaturen über 1000°C gebrannt. Der Porendurchmesser hängt von der Größe des Ausgangsmaterials ab und beträgt üblicherweise 40 bis 140 µm.
- Elemente mit **perforierter Membran** kamen Ende der 70er Jahre auf den Markt. Zum einen wurden Elemente aus Polyvinylchlorid (PVC) entwickelt, zum anderen Elemente aus Elastomeren (z. B. EPDM). Den Elementen aus Polyvinylchlorid werden Weichmacher zugegeben, damit sich ein weiches, elastisches Material ergibt. Je nach Herstellungsprozeß werden die flexiblen Membranen gelocht bzw. geschlitzt. Werden die Belüftungselemente mit Luft beaufschlagt, dehnen sich die Öffnungen der Löcher oder Schlitze aus, wobei sich die größten Öffnungen (und damit die größten Blasen) bei höchstem Luftvolumenstrom ergeben. Nach Abstellen der Gebläse schließen sich die Öffnungen, so daß kein belebter Schlamm in die Elemente eindringen kann. Damit ist ein intermittierender Betrieb (z.B. für Nitrifikation/Denitrifikation) möglich.

## 5.2 Bauformen

Im wesentlichen werden drei Formen von feinblasigen Belüftungselementen eingesetzt. In Abhängigkeit der Form und Größe der Belüftungselemente ist die Abgasungsfläche, d.h. die Fläche, von der sich Luftblasen ablösen, stark unterschiedlich.

- **Rohr-Belüfter** haben Längen von 0,5 - 1m. Der Rohrdurchmesser schwankt von  $\varnothing$  60 - 80mm. Als Abgasungsfläche wird der gesamte Umfang angesetzt, da moderne Rohrbelüftungselemente unabhängig vom Material allseitig ab-



gasen. Die Abgasungsfläche üblicher Rohrbelüftungselemente beträgt etwa  $0,2 \text{ m}^2/\text{m}_{\text{Rohr}}$ . In Abhängigkeit des Materials der Belüfterrohre ergibt sich ein Unterschied im Aufbau der Elemente. Keramische oder Elemente aus starrporösem Plastikmaterial bestehen aus dem eigentlichen Belüfterelement, einer inneren Zugstange mit Endkappe, Dichtungen und Anschlußgewinde. Elemente mit perforierter flexibler Membran werden aus einem Stützrohr (PVC oder Polypropylen) mit großen Luftverteilungsöffnungen gefertigt, über welche die Membran gezogen wird.

- **Teller-Belüfter** haben Durchmesser zwischen  $\varnothing 150 - 500 \text{ mm}$ . Die Abgasungsfläche beträgt dann von  $0,02$  bis  $0,2 \text{ m}^2$ . Ähnlich wie bei den Rohrbelüftern besteht das Belüfterelement aus einer starr porösen Scheibe oder aus einer Stützscheibe mit großen Luftquerschnitten über die die gelochte bzw. geschlitzte Membran gezogen wird. Es gibt hier Membranplatten mit Wulst die von einer Überwurfmutter gehalten werden, Membranplatten die über den Rand der Stützscheibe gezogen werden und mit einem Metalring fixiert, oder ebenfalls mit einer Überwurfmutter geklemmt werden, usw..
- **Platten-Belüfter** sind Belüftungselemente aus gelochtem Folienmaterial, die auf eine große Faserzement-, Metall- oder glasfaserverstärkte Kunststoffplatte gespannt werden (bekannt als Plattenbelüfter aus Folienmaterial) Die Abmessungen reichen von  $100 - 1000 \text{ mm}$  Breite und  $500-5000 \text{ mm}$  Länge.

### 5.3 Gesichtspunkte der Planung

Die Anordnung der Belüfter an der Beckensohle sollte flächig erfolgen. Es empfiehlt sich, die **Belüfterfelder in mehrere Abschnitte aufzuteilen**, so daß im Fall eines defekten Belüfters nur ein kleiner Teil des Feldes abgestellt werden muß. Moderne Belüftungselemente verfügen über konstruktiv vorgegebene „Notlaufeigenschaften“ die im Fall einer kaputten Membran die Luftmenge begrenzen.

Die Einbaugeometrie der Belüfter sollte möglichst knapp über der Beckensohle erfolgen und auch noch eine „Bewegungsfreiheit“ für Reinigungsarbeiten bieten. Alle Befestigungsteile müssen **korrosionsbeständig** sein. Die Montagekonstruktion muß festigkeitsmäßig den erwarteten Kräften (z.B. Umlaufströmung) gewachsen sein. Speziell möchte ich hier auf die Befestigung von Ent-

wässerungsleitungen und die notwendigen **Stützabstände** hinweisen. Diese Leitungen haben vergleichsweise kleine Nennweiten und werden durch die Strömung zu **Schwingungen** angeregt. Bricht eine Entwässerungsleitung unter dem Wasserspiegel so muß für die Reparatur das Becken außer Betrieb genommen werden.

Die Sauerstoffzufuhr feinblasiger Druckbelüftungssysteme ist von der **Belegungsichte** der **Einblastiefe** und **Luftbeaufschlagung** abhängig.

Die **Belegungsichte** von feinblasigen Belüftungselementen wird heute vorrangig als Verhältnis der perforierten, gelochten oder geschlitzten Gesamtfläche aller Belüftungselemente zur Belebungsbeckengrundfläche [%] definiert. Mit dieser Definition wird die unterschiedlich große Abgasungsfläche von Belüftungselementen berücksichtigt.

Neben der oben angeführten Definition wird die **Belegungsichte** vielfach als Gesamtzahl der Elemente im Belebungsbecken, bezogen auf die Beckengrundfläche, definiert. Übliche Belegungsichten bei flächendeckenden Belüftungssystemen liegen zwischen 1 bis 5 Elementen pro Quadratmeter Beckengrundfläche. Bei der Wahl geringer Belegungsichten ist auf die Vermeidung von Schlammablagerungen zu achten.

Beide Definitionen der Belegungsichte sind unproblematisch, wenn die gesamte Beckensohle mit Belüftern ausgelegt ist. Speziell bei **Umlaufbecken mit einzelnen Belüfterfeldern** sind die Definitionen so abzuändern, daß nur die Grundfläche der Belüfterfelder als Bezugsgröße verwendet wird.

Systembedingt ist mit Rohr und Plattenbelüftern eine größere Belegungsichte erreichbar als mit Tellerbelüftern. Übliche **Belegungsichten** liegen für Tellerbelüfter unter 10% bei Platten- und Rohrbelüftern bei etwa 20% und darüber.

Alle Bauformen können bei **Einblastiefen** von 4-8 m eingesetzt werden. Nach Untersuchungen von FREY (1996) sind speziell bei Plattenbelüfter mit Folienbespannung auch bei Wassertiefen von 3-4 m noch günstige Stofftauschverhältnisse zu erwarten. Aus dieser Untersuchung ist auch ersichtlich, daß die größten Sauerstoffertragswerte für alle Systeme bei Wassertiefen von 4-6 m zu erwarten sind. Bei einer Erhöhung der Wassertiefe auf 6-10 m kann die Sauerstoffzufuhr noch gesteigert werden, aber der Sauerstoffertrag zeigt sinkende Tendenz.

Die **Luftbeaufschlagung** ist jener Luftvolumenstrom der pro Flächeneinheit und Zeit durch die Gaszerteileroberfläche durchtritt. Die Luftbeaufschlagung der Belüftungselemente wird in Abhängigkeit von deren Form unterschiedlich angegeben.

- Der Luftvolumenstrom wird bei **Rohrbelüftern** auf die Länge des Rohres in Metern bezogen. Üblicherweise beträgt die Luftbeaufschlagung zwischen 4 bis 10 [ $\text{m}_\text{N}^3/\text{m}/\text{h}$ ].
- Der Luftvolumenstrom wird bei **Tellerbelüftern** auf das Element bezogen. Die Luftbeaufschlagung beträgt üblicherweise zwischen 1 bis 10 [ $\text{m}_\text{N}^3/\text{Element}/\text{h}$ ].
- Der Luftvolumenstrom wird bei **Plattenbelüftern** auf die abgasende Fläche bezogen. Die Luftbeaufschlagung beträgt üblicherweise bei den breiten Platten 2 bis 20 [ $\text{m}_\text{N}^3/\text{m}^2/\text{h}$ ] und bei den schmalen Streifen (hier wird anderes Folienmaterial eingesetzt) 20-150 [ $\text{m}_\text{N}^3/\text{m}^2/\text{h}$ ].

Rechnet man die angegebenen Luftbeaufschlagungen auf die gleiche Basis, nämlich  $\text{m}^2$  abgasende Fläche um erkennt man, daß Tellerbelüfter in der Regel bei größeren Luftbeaufschlagungen betrieben werden als Platten- und Rohrbelüfter. Wie Auswertungen FREY (1996) gezeigt haben, ist mit Tellerbelüftern, bei nicht zu großer volumenbezogener Sauerstoffzufuhr, trotz der höheren Luftbeaufschlagung die gleiche Wirtschaftlichkeit wie mit Platten und Rohrbelüftern erreichbar. Bei sehr großen  $\text{OC}_\text{R}$  – Werten haben Rohrbelüfter, durch die theoretisch mögliche Belegungsdichte von mehr als 100%, Vorteile.

Die Wahl der **Belegungsdichte** und der **Luftbeaufschlagung** beeinflusst maßgeblich die Wirtschaftlichkeit (laufende Betriebskosten) und die Anschaffungskosten der Belüftungseinrichtung. Weiterführende Informationen findet man bei FREY (1996). Als grobe Näherung gilt

- je größer die Belegungsdichte bzw. kleiner die Luftbeaufschlagung ist, desto **teurer aber auch wirtschaftlicher** im Betrieb wird das Belüftungssystem (d.h. größeres OP)

- je kleiner die Belegungsdichte bzw. größer die Luftbeaufschlagung ist, desto **billiger** (weil weniger Gaszerteiler) **aber auch unwirtschaftlicher** im Betrieb wird das Belüftungssystem (d.h. kleineres OP)

#### 5.4 Leistungskennwerte von feinblasigen Druckbelüftungssystemen in flächiger Anordnung

Es gibt in der Literatur einige zusammenfassende Darstellungen der Leistungsfähigkeit von Belüftungssystemen z.B.: PÖPEL u. WAGNER (1989); FREY (1996); ATV (1997).

Die Leistungskennwerte unterliegen wie schon angesprochen einer ausgeprägten Abhängigkeit von der Einbaugeometrie (Einblastiefe, Belegungsdichte!) und der Luftbeaufschlagung der Belüfter.

Allgemein gelten folgende Aussagen, die für die Planung und beim Betrieb von Druckluftbelüftungssystemen wichtig sind. Die genannten **Zahlenwerte** beziehen sich auf **Reinwasser**.

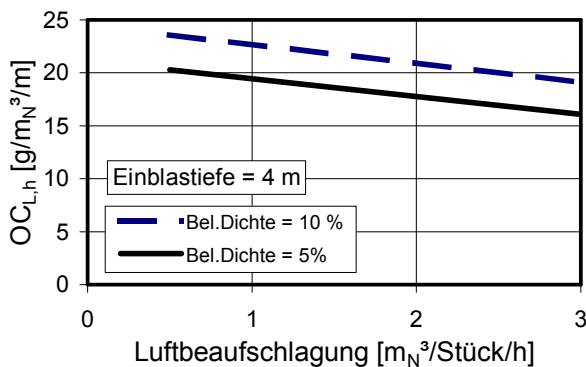
Die **volumenbezogene Sauerstoffzufuhr**  $OC_R$  von Elementen steigt linear mit größer werdendem Luftvolumenstrom an. Mit größerer Einblastiefe ergeben sich bei gleichem Luftvolumenstrom höhere Werte. Dementsprechend wird der Abluftvolumenstrom bei tiefen Belebungsbecken im Vergleich zu flachen Becken niedriger, was für eine eventuelle Abluftbehandlung von großer Bedeutung ist.

Die **spezifische Sauerstoffzufuhr**  $OC_{L,h}$ , ist für die Bemessung von Belüftungssystemen maßgebend. Insgesamt ist festzustellen, daß für alle Belüftungselemente (Teller, Rohre, Platten, etc.) gilt,  $OC_{L,h}$

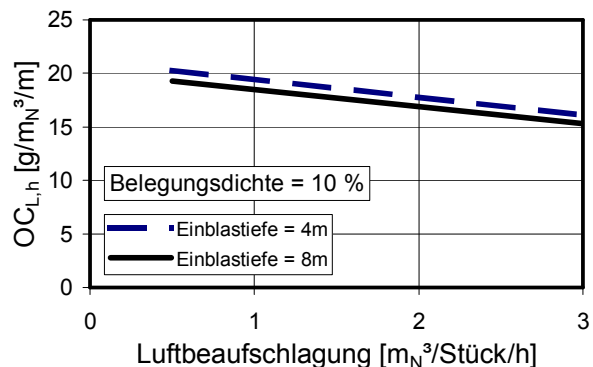
- nimmt mit steigender Einblastiefe ab,
- steigt mit zunehmender Belegungsdichte und
- sinkt mit zunehmender Luftbeaufschlagung.

Für mittlere Verhältnisse erhält man bei Einblastiefen von 4-6m beispielsweise eine spezifische Sauerstoffzufuhr  $OC_{L,h}$  von  $20 \text{ g/m}_N^3/\text{m}$ .

In den Abbildungen 3 und 4 sind die Verhältnisse für einen Tellerbelüfter dargestellt. Man erkennt, daß die Abhängigkeit von der Belegungsichte stärker ist als die der Einblastiefe. Bei größerer Einblastiefe sinkt zwar der Sauerstoffgehalt in der aufsteigenden Luftblase, aber gleichzeitig steigt auch der Sauerstoffsättigungswert (durch den Wasserdruck), so daß in Summe nur eine kleine Veränderung der spezifischen Sauerstoffzufuhr eintritt. Weiterführende Betrachtungen findet man in PÖPEL u. WAGNER (1994) und FREY(1996).



**Abbildung 3:** spezifische Sauerstoffzufuhr  $OC_{L,h}$  in Abhängigkeit der Belegungsichte



**Abbildung 4:** spezifische Sauerstoffzufuhr  $OC_{L,h}$  in Abhängigkeit der Einblastiefe

Man erkennt auch, daß bei unterschiedlichen Festlegungen für die Luftbeaufschlagung, die Belegungsichte und die Einblastiefe die gleiche spezifische Sauerstoffzufuhr erreicht werden kann.

Der **Sauerstofftrag OP** wird maßgeblich von der Größe und Art des Gebläses mitbestimmt WESPHAL (1995). Unter mittleren Verhältnissen sind Sauerstoffertragswerte (Reinwasser!) von 3 - 4 kg/kWh erzielbar. Unter optimalen Bedingungen können, speziell bei Plattenbelüftern mit Folien, auch größere Werte erreicht werden.

Bei Betrieb des Belüftungssystems in belebtem Schlamm kommt es, vorrangig durch grenzflächenaktive Stoffe, zu einer Veränderung der Sauerstoffzufuhr. Bei sonst gleichen Bedingungen ist die Sauerstoffzufuhr in belebtem Schlamm kleiner als in Reinwasser. Der **Grenzflächenfaktor ( $\alpha$ -Wert)** kann aus korrespondierenden Meßwerten eines Reinwasserversuches und einer Messung in belebtem Schlamm (unter gleichen Randbedingungen z.B. Luftmenge, Wassertiefe, etc.) berechnet werden:

$$\alpha = \frac{\text{OC in belebtem Schlamm}}{\text{OC in Reinwasser}}$$

Bei der Druckluftbelüftung sind mittlere  $\alpha$ -Werte von 0,4 bis 0,7 in Abhängigkeit vom Gehalt des Abwassers an oberflächenaktiven Stoffen (Tenside, lipophile Stoffe) zu erwarten WAGNER (1991). Mit fortschreitender Abwasserreinigung wird der  $\alpha$ -Wert größer. So werden am Einlauf des Belebungsbeckens kleinere  $\alpha$ -Werte ( $\alpha = 0,4$ ); am Ablauf größere ( $\alpha = 0,8$ ) festgestellt. Bei hohen Salzgehalten (Chloriden) steigt der  $\alpha$ -Wert wegen der verringerten Blasenkoaleszenz ZLOKARNIK (1980). Dies ist aber für die kommunale Abwasserreinigung ohne Bedeutung.

Nach den Erfahrungen des Verfassers kann für **Druckbelüftungssysteme**, in kommunalem Abwasser unter den heute üblichen Belastungsverhältnissen, ein Grenzflächenfaktor von 0,6 - 0,7 angesetzt werden.

## 5.5 Betriebserfahrungen

Das Kernproblem der feinblasigen Belüftung mit porösem Material ist die Verstopfungsgefahr. Bei Membranen stellt sich zusätzlich die Frage der Alterung.

Die Verstopfung der feinen Poren kann folgende Ursachen haben:

- Wasserseitig durch spezielle Abwasserbeschaffenheit (Ausfällungen, Fette, Öle), durch Aufwuchs von Mikroorganismen oder durch Eindringen von belebtem Schlamm beim Abschalten der Gebläse (auch bei Stromausfall).
- Luftseitig durch Verunreinigungen der angesaugten Luft (Staub, Ruß, Blütenpollen), durch Korrosionen der Luftleitungen.

Bei den Membranbelüftern steht die Frage der Haltbarkeit des Materials im Vordergrund. Folgende Beobachtungen liegen vor:

- Ballonartiges Aufweiten von Membranschläuchen, meist verursacht durch Mineralöle und ähnliche das Material schädigende Stoffe im Abwasser.
- Schrumpfen und Verspröden von Membranschläuchen durch Entweichen der Weichmacher.

- Zerstörung der Membranen durch Verstopfen mit Fällungsprodukten und dadurch zu hoher Luftbeaufschlagung. Durch periodisches Abstellen der Luft sollen die Ausfällungen wieder abgesprengt werden. Die bisherigen Erfahrungen mit dieser Methode sind erfolgversprechend.
- Luftseitige Verstopfungen der Löcher in den Membranen sind wegen der im Vergleich zu den Porengängen von Filterkerzen wesentlich größeren Öffnungen weniger problematisch. Auch kann belebter Schlamm nicht von außen eindringen, weil die Löcher sich bei ausgeschalteter Belüftung schließen.

Ursprünglich wurde den Membranen in kommunalem Abwasser ohne höhere Anteile von gewerblichen Abwässern eine kalkulatorische Lebensdauer von 5 Jahren zugemessen. Bei einigen Anlagen in Österreich und Deutschland sind Membranbelüfter nunmehr seit 10 Jahren im Betrieb und voll funktionstüchtig.

## 5.6 Einbaugeometrie Belüfter – Rührwerke

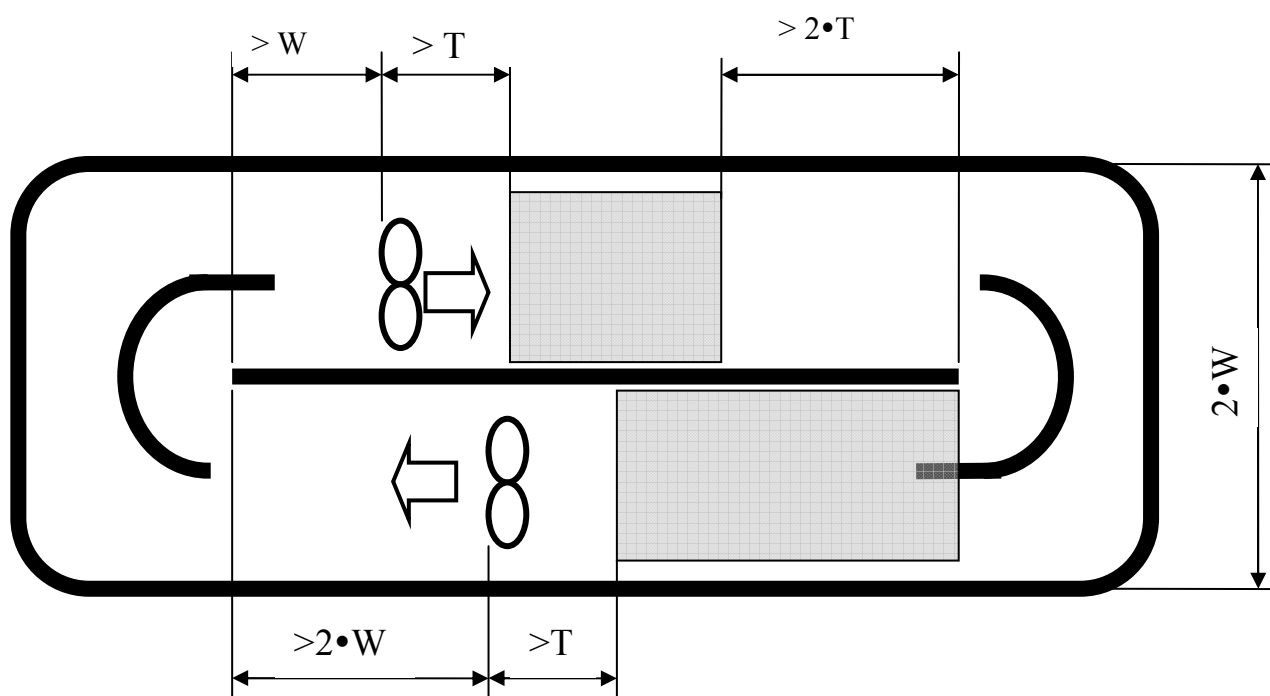
Bei den heute häufig vorkommenden niedrigen Anlagenbelastungen sollte die Sicherstellung der Mischung überprüft werden. Unter der Annahme, daß eine spezifische Mischleistung von z.B.  $5 \text{ W/m}_{\text{BB}}^3$  erforderlich ist um Ablagerungen zu vermeiden, erhält man bei einer Einblastiefe von 5 m eine minimale Luftmenge, bezogen auf das Belebungsbeckenvolumen, von ca.  $0,5 \text{ m}_\text{N}^3/\text{m}^3/\text{h}$ . Weitergehende Ausführungen findet man bei FREY (1993).

In letzter Zeit werden häufig Umlaufbecken mit Druckbelüftungssystemen ausgerüstet. Diese Konfiguration erfordert den Einsatz von Rührwerken. Beim Einsatz von Rührwerken sind drei Parameter zu beachten

- die **Position im Becken**: Förderung aus der Umlenkung heraus, Minimalabstände zu Umfassungswänden und zur Wasseroberfläche
- die **Lage relativ zu den Belüfterfeldern**: Kein Ansaugen von Luftblasen-Wassergemisch
- die **installierte Leistung**: Die zu installierende Rührwerksleistung wurde in der Vergangenheit häufig nach dem Faustwert ( $5 \text{ W/m}^3$ ) bemessen. Mit den heute zur Verfügung stehenden mathematischen Werkzeugen und Berech-

nungsmodellen ist eine feinere Abschätzung der erforderlichen Rührwerksleistung manchmal möglich RISSLER (1993). Wie Erfahrungen aus Deutschland und Österreich zeigen, können bei strömungstechnisch günstiger Gestaltung auch mit 2-4 W/m<sup>3</sup> Ablagerungen vermieden und der Belebtschlamm in Schwebelage gehalten werden. Eigenen Erfahrungen haben gezeigt, daß in einem „gefalteten“ Umlaufbecken bei geringer Rührwerksleistung von 2 W/m<sup>3</sup> und quer angeströmten Plattenbelüftern (Breite ca. 150 mm) keine Umlaufströmung zu erreichen war.

Die Hersteller geben Empfehlungen zur Positionierung der Rührwerke im Becken und zu den Belüfterfeldern an. Üblicherweise sollten folgende **Regeln** beachtet werden: Mit W wird die Gerinnebreite und mit T die Gerinnetiefe be-



zeichnet.

**Abbildung 5:** Anordnung von Belüfterfeldern und Rührwerken in Umlaufbecken

Den Projektierungsunterlagen sind auch Hinweise zu Mindestentfernungen zur Wasseroberfläche ( $>0,5-0,7\text{m}$ ), dem Boden und den Gerinnewänden ( $>0,3\text{m}$ ) zu entnehmen.

Erfahrungen zeigen, daß beim Abweichen von diesen Positionen, durch die dadurch verursachten größeren **Strömungsverluste**, im ungünstigsten Fall keine



Umlaufströmung mehr erzielt werden kann. Es besteht in der Regel ein Zusammenhang zwischen dem Luftvolumenstrom und der erzielbaren Umlaufgeschwindigkeit.

Beobachtungen aus Deutschland gehen davon aus, daß es erforderlich ist freie Wege zu schaffen in denen das Wasser durch das Belüfterfeld strömen kann, z.B. durch Abrücken der Belüfterregister von den Umfassungswänden.

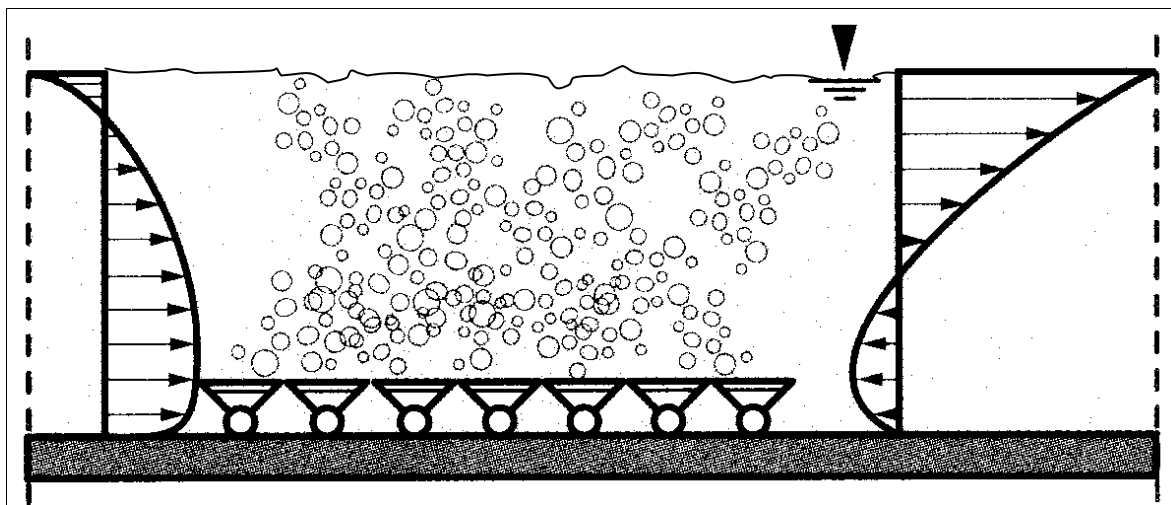
Hier sind die Ausrüsterfirmen aufgerufen die Entwicklung, von Einbau- und Bemessungsrichtlinien für das Zusammenwirken von Rührwerken und Belüftungssystemen, voranzutreiben.

### **5.7 Einfluß der Strömung in Umlaufbecken auf die Sauerstoffzufuhr**

Bei **Umlaufbecken** wurde beobachtet, daß mit steigender Umwälzleistung bei gleicher Luftmenge die Belüftungskoeffizienten überproportional ansteigen. Dem gegenüber gibt es Bemessungsvorschriften von Herstellern feinblasiger Druckbelüftungssysteme die einen Abminderungsfaktor für die Sauerstoffzufuhr, beim Einsatz in Umlaufbecken mit überlagerter Strömung vorsehen.

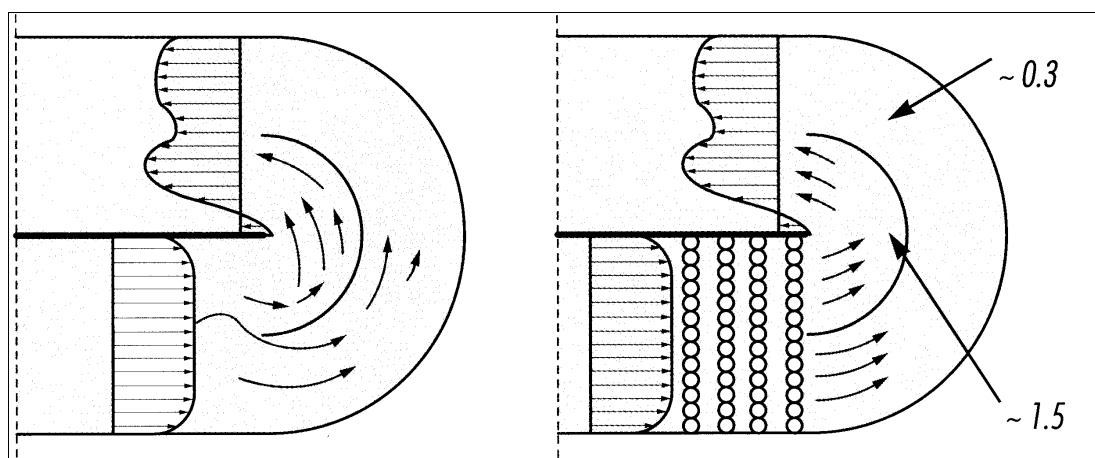
Der Grund für diese widersprüchlichen Aussagen liegt in der gegenseitigen Beeinflussung von Strömung und Stofftauschvorgängen. Da sich die Strömung in jedem Becken entsprechend der jeweiligen Beckengeometrie, Einbaulage und Leistung der Rührwerke, sowie der Anordnung der Belüfterfelder individuell einstellt gibt es derzeit keine allgemein gültige Aussage, wie sich die Sauerstoffzufuhr verändert.

**Abbildung 6** zeigt eine mögliche Ausbildung des Strömungsprofils. Dreidimensionale Messungen des Strömungsprofils in Zweiphasengemischen sind schwierig, man ist daher auf Beobachtungen an der Wasseroberfläche angewiesen. Die Abbildung entspricht den vorliegenden Beobachtungen, daß eine Umkehrung der Strömungsrichtung auftritt.



**Abbildung 6:** Geschwindigkeitsverteilung über den Fließquerschnitt

Die **Abbildung 7** gibt die Situation an den Umlenkungen wieder. Wie eigene Beobachtungen bestätigen kommt es auch bei den Rührwerken und bei den Belüfterfeldern zu Rückströmungen und Verwirbelungen.



**Abbildung 7:** Strömungsbildung an der Umlenkung (die Zahlen sind die Verlustbeiwerte)

Eigene Erfahrungen bei Messungen der Sauerstoffzufuhr in Umlaufbecken haben Erhöhungen der Sauerstoffzufuhr von bis zu 30% bei gleichbleibendem Sauerstofftrag (unter Berücksichtigung der Rührwerksleistung) ergeben.

Zu diesem Thema wurden Untersuchungen in Schweden und Finnland angestellt (RISSLER, HAHN 1995). Darin wird die Hypothese aufgestellt, daß zufolge der überlagerten horizontalen Strömung die Aufenthaltszeit der aufsteigenden Blasen, durch eine **echte Reduktion der Aufstiegs geschwindigkeit**, verlängert wird. Untersuchungen in Frankreich von DA SILVA-DERONZIER

at.al. (1994) zeigen ein ähnliches Bild. Hier wurden bei überlagerten horizontalen Strömungsgeschwindigkeiten von etwa 0,1 bis 0,5 m/s eine Erhöhung des Sauerstoffeintrages von 20 - 40 % festgestellt. Untersuchungen von Van der GRAAF (1979) ergaben bei überlagerter horizontaler Strömung eine Steigerung von etwa 50% im Vergleich zum Betrieb ohne Umwälzung.

Nach Ansicht des Verfassers treten durch die Strömung Scherkräfte an der Luftaustrittsstelle auf, die zu einer größeren Ablösefrequenz der Blasen führen wodurch kleinere Blasen entstehen und der Stofftausch positiv beeinflusst wird.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß hier eine Grauzone existiert und Forschungsbedarf besteht!

## 6 Oberflächenbelüftungssysteme

Bei allen Oberflächenbelüftern erfolgt der Sauerstoffeintrag durch die mechanische Einwirkung der Belüfter an der **Wasseroberfläche**. Die Oberflächenbelüfter erzeugen gleichzeitig Umwälzströmungen, wodurch der belebte Schlamm und die Schmutzstoffe des Abwassers vermischt und Schlammablagerungen verhindert werden. Es wird zwischen Belüftern mit **horizontaler Achse** und solchen mit **vertikaler Achse** unterschieden.

Bei Inbetriebnahme eines Oberflächenbelüftungssystemes ist zu testen ob der Betrieb mit **maximalem Betriebswasserspiegel** (entsprechende Wehrstellung und maximaler Abwasserdurchsatz) möglich ist. Häufig kommt es zu einer **Überlastung** der Antriebsmaschinen und somit zu einer Abschaltung des Gerätes.

Sollen auf einer Abwasserreinigungsanlage Oberflächenbelüfter eingesetzt werden, so ist die **Geometrie der Belebungsbecken eingeschränkt**.

Ein beherrschbares aber dennoch nicht zu unterschätzendes Problem ist das **Aufschaukeln von Wellen** durch Oberflächenbelüfter. Dadurch kommt es zu extremen Beanspruchungen von Getriebe und Antriebsmotor. Die günstigste Anordnung von Leitwänden bzw. Bremskreuzen kann oft erst nach einem Versuch festgelegt werden.

Die auftretenden Lärm-, Geruch- und Aerosol-Emissionen lassen sich durch Verbreiterung der Betonbrücken, Schalldämmung der Antriebe und durch **Aerosolsperren** weitgehend vermeiden.

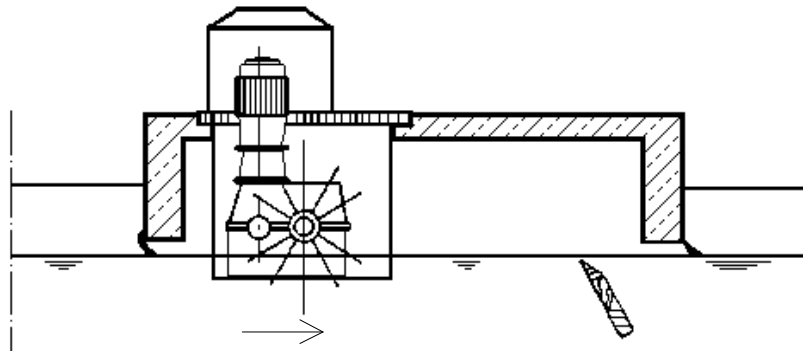
Ein weiteres Problem ist die **Eisbildung** im Winter. Einerseits können Unwuchten und damit erhöhte Lagerbeanspruchungen auftreten und andererseits können Eisbrocken direkte Beschädigungen des Belüfters verursachen.

Die Anpassung der Sauerstoffzufuhr an den Sauerstoffbedarf erfolgt durch:

- Verändern der **Anzahl** der in Betrieb befindlichen Maschinen
- Veränderung der **Drehzahl**: Bei polumschaltbarer Ausführung ist auf das Drehzahlverhältnis zu achten. Von Kreiselbelüftern weiß man, daß bei einer Reduktion der Drehzahl auf die Hälfte nur mehr ein Achtel des Sauerstoffes eingetragen wird. Als zweckmäßig hat sich eine **Drehzahlabstufung** von 3:4 erwiesen.
- Veränderung der **Eintauchtiefe**: Die gezielte Veränderung des Betriebswasserspiegels durch die Ablaufwehrklappe wird wegen der Stöße auf die Nachklärung nicht mehr angewendet.

## 6.1 Walzenbelüfter

Zu den Walzenbelüftern zählen die Bürstenbelüfter, Stabwalzen und **Mammutrotoren**, bei denen auf einer horizontalen Achse befestigte Bürsten, Kunststoff oder Stahlstäbe beim Rotieren in das Wasser einschlagen, wodurch vor allem durch Saugwirbel hinter den Belüfterelementen, ein stark turbulentes Luftblasen- Wassergemisch entsteht. Dadurch wird gleichzeitig eine Strömung in den Wasserkörper induziert. Bei Neuanlagen kommen ausschließlich Mammutrotoren mit einem Durchmesser von einem Meter und einer Länge von maximal 9 Metern zu Anwendung. Diese laufen mit Umfangsgeschwindigkeiten von 3-4 m/s.



**Abbildung 8:** Mammutrotor

Belüfterwalzen sind in der Regel in Umlaufbecken hintereinander angeordnet, sind mehrere Aggregate in Betrieb so steigt die Oberflächengeschwindigkeit. Damit sinkt die Differenzgeschwindigkeit zwischen Rotorumfangsgeschwindigkeit und Fließgeschwindigkeit wodurch die Sauerstoffzufuhr vermindert wird. Die Sauerstoffzufuhreigenschaften bei der Stabwalzenbelüftung sind nur in geringem Maß von der Abwasserzusammensetzung abhängig. Für **Oberflächenbelüftungssysteme** wird üblicherweise ein  $\alpha$ -Wert von 0,9 – 0,95 angesetzt.

Ein Vorteil dieses Systemes ist, daß es **ohne Vorklärung betrieben** werden kann. Die Lager sind neben den Getrieben die gefährdeten Punkte der Walzenbelüftung. Dabei kommt der Schmierung wesentliche Bedeutung zu. Wichtig ist die korrekte Höhenausrichtung der Lager. Um Materialversagen durch die dynamische Beanspruchung des Rotors zu vermeiden, ist es wichtig der Qualität und Maßhaltigkeit des Wellenrohres große Aufmerksamkeit zu widmen.

Walzenbelüfter werden heute in erster Linie in Umlaufbecken eingesetzt. Die Beckenbreite richtet sich nach den üblichen Rotorlängen, die zwischen 3 und 9 Metern liegen. Die optimale Beckentiefe beträgt ca. 2,5 Meter. In Deutschland laufen großtechnische Untersuchungen mit wesentlich größeren Wassertiefen.

Um die Sauerstoffzufuhr zu gewährleisten und gleichzeitig eine gute Durchmischung zu erreichen, müssen **Leit- und ggf. auch Bremswände** vorgesehen werden. Diese lenken das vom Mammutrotor abströmende, mit Blasen angereicherte Belebtschlamm-Wassergemisch in die Tiefe um.

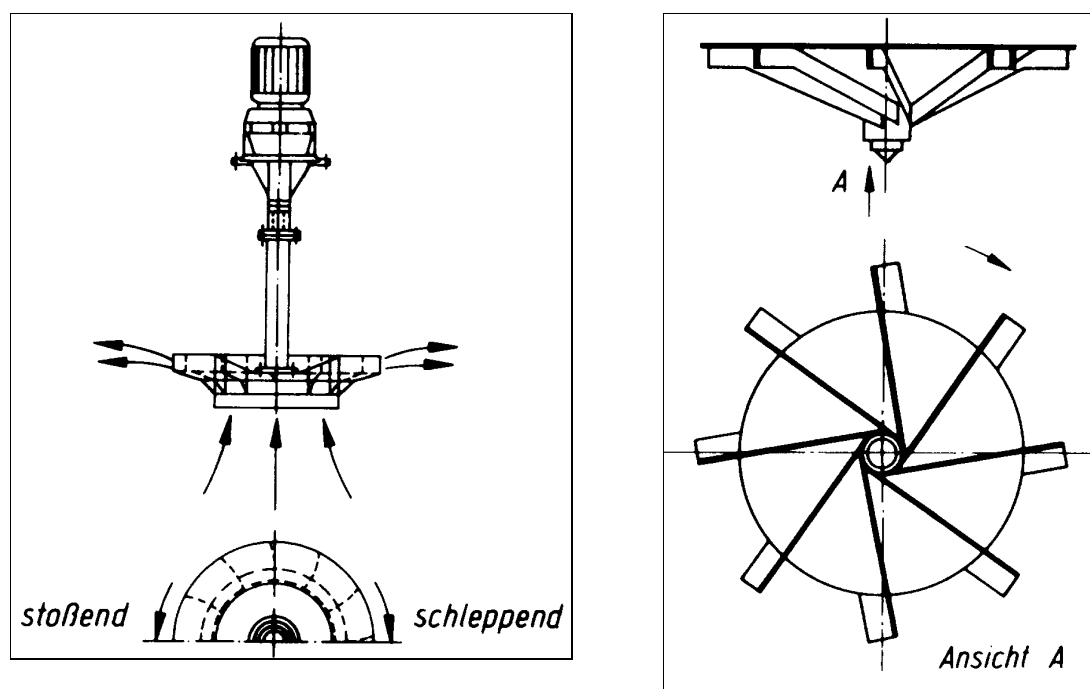
Um die Strömung am Beckenende um 180° umzulenken, sind exzentrisch angeordnete senkrechte Leitwände vorzusehen. Die Umfassungswände in diesem

Bereich sind jedenfalls strömungsgünstig auszubilden. Sind in einem Belebungsbecken mehrere Rotoren hintereinander angeordnet, so sollte der Rotorabstand nicht unter 15 Meter gewählt werden. Bei zu geringem Rotorabstand erhält man keine gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung über der Beckenhöhe und Sauerstoffeintrag und Sauerstofftrag nehmen ab (STALZER, FLECKSEDER 1975).

Bei Betrieb mehrerer Walzen hintereinander und vorhandenen Leitwänden kann man (in Reinwasser) für Überschlagsrechnungen von einer maximalen Sauerstoffzufuhr von  $7 \text{ kg/m}_{\text{Rotor}}$  und einem Sauerstofftrag von  $1,8 \text{ kg/kWh}$  ausgehen.

## 6.2 Kreiselbelüfter

Im Gegensatz zu den Walzenbelüftern rotieren die Kreiselbelüfter um eine vertikale Achse. Die verschiedenen Konstruktionen der Kreiselbelüfter haben als gemeinsames Prinzip die zentralsymmetrische Umwälzung, wobei das Wasser mittig von unten angesaugt und radial über die Oberfläche geworfen wird. Der Sauerstoffeintrag erfolgt in erster Linie in der durch den Kreisel erzeugten Turbulenzzone an der Oberfläche.



**Abbildung 9:** Kreiselbelüfter

Ein Teil der durch die Belüftungskreisel eingeschlagenen Luftblasen wird durch die Umwälzströmung in tiefere Schichten transportiert, so daß dadurch ein zusätzlicher Sauerstoffeintrag erreicht wird. Kreiselbelüfter können auch als Pumpen mit geringer Förderhöhe und hoher Förderleistung angesehen werden.

Kreiselbelüfter kann man grob in zwei Klassen einteilen:

- **offene Kreisel** greifen direkt in den Wasserkörper des Beckens, neben dem Sog von unten erzeugen sie auch eine Rundströmung.
- **geschlossene Kreisel** sind Pumpenlaufrädern ähnlich, sie saugen das Wasser von unten an und werfen es aus.

Kreisel werden mit Durchmessern bis ca. 4 m angeboten. Die Umfangsgeschwindigkeit liegt zwischen 4 und 6 m/s. Unter mittleren Verhältnissen kann man von einem Sauerstofftrag in Reinwasser von etwa 1,8 kg/kWh ausgehen.

Kreiselbelüfter können sowohl in Misch- als auch in Umlaufbecken eingesetzt werden. Bei Mischbecken sollte das Verhältnis von Beckenbreite zur Tiefe etwa 4 zu 1 betragen. Eine günstige Wassertiefe liegt zwischen 3 und 4 Metern. KNOP u. KALBSKOPF (1969)

Im Gegensatz zu den Walzenbelüftern bei denen die Wirtschaftlichkeit bei steigender spezifischer Energie abnimmt, steigt bei den Kreiseln der Sauerstofftrag mit steigender Energiedichte.

## 7 Sauerstoffzufuhrmessungen – Garantiewerte

Ein Thema, daß wenn die Planung von Belüftungssystemen behandelt wird nicht fehlen darf, ist die Überprüfung bzw. der Garantienachweis der Sauerstoffzufuhr und des Sauerstofftrages mittels Sauerstoffzufuhrmessungen. Es gilt hier einige Interaktionen der Planung und der Messung zu erläutern, um Kosten zu sparen und Diskussionen über die Meßresultate zu vermeiden. Im Folgenden werden einige wesentliche Punkte besprochen, darüber hinaus findet man im ATV M209 und der in Druck befindlichen Überarbeitung der ÖNORM M5888 weitere Hinweise.

## 7.1 Welche und wieviel Einstellungen

Bei der abwassertechnische Auslegung einer Kläranlage werden eine Vielzahl von Lastfällen durchgerechnet. Darunter befinden sich in der Regel auch Lastfälle die Umbaumaßnahmen oder eine Revision einzelner Belebungsbecken berücksichtigen. Bei diesen Lastfällen tritt dann naturgemäß eine hohe erforderliche Sauerstoffzufuhr auf. Es ist in solch einem Fall sicher wichtig diese Maximaleinstellung des Belüftungssystems zu überprüfen. Der in diesem Betriebszustand erreichbare Sauerstoffertrag hat aber keine Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit des Belüftungssystems im Normalbetrieb.

Es hat auch keinen Sinn extrem kleine Einstellungen des Belüftungssystems messen zu wollen.

Gemessen werden sollte die **maximal geforderte Sauerstoffzufuhr** sowie für einen realistisch abgeschätzten Betriebszustand, z.B. **60%** der Maximalleistung, die Sauerstoffzufuhr und der **Sauerstoffertrag**. Daraus ist ersichtlich, **daß zwei Einstellungen** des Belüftungssystemes sinnvollerweise zu messen sind. Entsprechend der ÖNORM M5888 sind dann insgesamt 4 Messungen einzuplanen.

## 7.2 Anforderungen der Sauerstoffzufuhrmessung an die Planung

Bereits im Planungsstadium einer Kläranlage ist es erforderlich einige Minimalanforderungen, die durch eine spätere Garantie-Abnahmemessung des Belüftungssystemes (Sauerstoffzufuhrmessung) auftreten werden, zu berücksichtigen. Dazu zählen unter anderem:

- Die Möglichkeit des einfachen, gleichmäßigen und gefahrlosen **Einbringens** der Chemikalien und der Meßgeräte (Probleme bei abgedeckten Becken)
- Das Vermeiden von **Wasserverlusten** während der Messung. Sowie das Vermeiden von **Wasseraustausch** zwischen Becken oder Beckenteilen die an der Messung nicht teilnehmen.
- Die Feststellung des **tatsächlichen Beckenvolumens**. Eine Teilaufgabe ist hier die Ermittlung der **Wassertiefe**. Eine einfache (im leeren Becken nivel-



lierte) Höhenmarke verbessert und vereinfacht den Versuchsablauf unheimlich.

- **Zuordenbarkeit** des erforderlichen **Luftvolumenstromes** (entsprechend der gewünschten Einstellung des Belüftungssystems) auf das zu messende Becken. Speziell bei großen Anlagen ist selten eine direkte Zuordnung von Gebläse und Becken möglich. Ist keine Zuordnung eines oder mehrerer Gebläse auf das gewünschte Becken möglich, so ist entweder die **Luftmenge**, die in das zu untersuchende Becken geleitet wird, zu **messen** oder in allen Becken bzw. Beckenteilen die mit Luft versorgt werden eine Sauerstoffzufuhrmessung durchzuführen. Ist abzusehen daß eine Luftvolumenstrommessung erforderlich ist, so sind zumindest die Flansche (zum späteren Einbau der Meßeinrichtung) sowie diverse Anschlußnippel für Temperatur und Druckmeßgeräte vorzusehen. **Jedenfalls unzulässig, auch bei baugleichen Becken, ist die Annahme, daß sich der Luftvolumenstrom gleichmäßig auf alle Becken verteilt!**
- Die Rohrleitungsführung sollte den normgerechten Einbau (Einlaufstrecken!) von Meßgeräten gestatten. Für Blenden ist die ÖNORM EN ISO 5167-1 zu beachten.
- Bei Anlagen, die schon (oder noch) teilweise in Betrieb sind, ist es häufig ein Problem die Gebläse auf das zu messende Becken zu schalten, ohne daß der Anlagenbetrieb gestört wird. Häufig muß für die Messung die restliche Anlage außer Betrieb gesetzt werden. Eine exakte Versuchsplanung und die daraus abzuleitenden Maßnahmen für einen „Notbetrieb“ sind erforderlich.
- Die Erfassung der **Antriebsleistung** der Gebläse und gegebenenfalls der Nebenaggregate (Pumpen, Rührwerke, etc.) erfordert entsprechende Berücksichtigung bei der Planung der Elektroinstallationen.

Werden ein oder mehrere der obigen Punkte nicht oder nur teilweise berücksichtigt hat das in jedem Fall einen Einfluß auf die Meßgenauigkeit. Im ungünstigsten Fall sind die geplanten Messungen weder zeitliche noch finanzielle vertretbar. Falls man sich dennoch für die Durchführung der Messungen entschließt, sollte man **vor der Messung** die akzeptierbaren Abweichungen festlegen um spätere Diskussionen kurz zu halten. In diesem Zusammenhang ist spe-

ziell auf die ÖNORM M5888 Punkt „7.3.2 Garantien“ hinzuweisen. Dort ist angeführt:

*„Wenn nichts anderes vereinbart wurde, sollte für Reinwassermessungen folgendes gelten:*

- *Die Garantie für die Sauerstoffzufuhr in Reinwasser (OC) ist erfüllt, wenn der Mittelwert aus den Messungen zuzüglich der Meßtoleranz von 5% mindestens gleich dem garantierten Wert ist.*
- *Die Garantie für den Sauerstofftrag in Reinwasser (OP) ist erfüllt, wenn der Mittelwert aus den Messungen zuzüglich der Meßtoleranz von 8 % mindestens gleich dem garantierten Wert ist.“*

## 8 Literatur

- ATV-A 131 (1991): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5000 Einwohnerwerten, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V. (GFA), St. Augustin
- ATV-H 265 (1991): Regelung der Sauerstoffzufuhr beim Belebungsverfahren
- ATV-M 268 (1997): Steuern und Regeln der N-Elimination beim Belebungsverfahren
- ATV-M 209 (1996): Messung der Sauerstoffzufuhr von Belüftungseinrichtungen in Belebungsanlagen in Reinwasser und in belebtem Schlamm
- ATV (1985): Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band IV, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn
- ATV (1997): ATV-Handbuch, Biologische und weitergehende Abwasserreinigung, 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn; ISBN 3-433-01462-0
- DIN 19 569-3: Kläranlagen, Baugrundsätze für Bauwerke und technische Ausrüstungen
- ÖNORM EN ISO 5167-1: Durchflußmessung von Fluiden mit Drosselgeräten-Teil 1: Blenden, Düsen und Venturirohre in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt
- ÖNORM M 5888: Messung der Sauerstoffzufuhr von Belüftungseinrichtungen in Belebungsanlagen in Reinwasser und in belebtem Schlamm; Gründruck 1997
- DA SILVA-DERONZIER, DUCHENE, P. und RAMEL C.: Influence of a horizontal flow on the performance of fine bubble diffused air systems. Wat. Sei. Tech. 30 No 4 (1994) S. 89-96
- v.d.EMDE W.: Beitrag zu Versuchen zur Abwasserreinigung mit belebtem Schlamm. Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der TH Hannover, Heft 1 (1957).
- v.d.EMDE W.: Belüftungssysteme und Beckenformen, Münchner Beiträge (1969)
- v.d.EMDE W.: Entscheidungskriterien bei der Wahl von Belüftungssystemen, IAWPR-Sonderkonferenz, Amsterdam, Progress in Water-Technology, Vol.II, Nr.3 (1979)
- FREY W.: Ein Beitrag zur Charakterisierung von Belüftungssystemen für die biologische Abwasserreinigung nach dem Belebungsverfahren mit Sauerstoffzufuhrmessungen, Wiener Mitteilungen Bd. 134 (1996)
- FREY W.: Anforderungen an Belüftungssysteme, Wiener Mitteilungen Bd. 110 (1993)
- GRAAF van der J.H.J.M. (1979): The combination of diffused air aeration and horizontal flow, Progress in Water Technology, Vol.11, No.3, 139-149
- KAYSER R. (1967): Ermittlung der Sauerstoffzufuhr von Abwasserbelüftern unter Betriebsbedingungen. Veröffentlichung des Institutes für Stadtbauwesen, Technische Hochschule Braunschweig

- KNOP E., KALBSKOPF K.-H.: Energetische und hydraulische Untersuchungen an mechanischen Belüftungssystemen; Gas-Wasserfach 110, S.198-201 und 266-269, (1969)
- KROISS H.: Beurteilung des Abwassers für Planung und Optimierung von Kläranlagen, Wiener Mitteilung, Band 81 2.Auflage, TU Wien (1990)
- PÖPEL, H. J. und WAGNER, M.: Sauerstoffeintrag und Sauerstoffertrag moderner Belüftungssysteme. Teil 1: Druckluftbelüftung. Korrespondenz Abwasser 36 (1989), S. 453 -457
- PÖPEL H.J., WAGNER M. (1994): Theorie und Praxis von Sauerstoffeintrag und -ertrag in tiefen Belebungsbecken, 5. Hannoversche Industrieabwassertagung, Heft 87, 111-131
- RISSLER S., HAHN T. (1995): Effect of horizontal flow on aeration, Scientific Impeller, Flygt Firmenschrift, No.3
- RISSLER S. (1993): Mixing in Activated Sludge Processes, Scientific Impeller, Flygt Firmenschrift, No.2
- STALZER W.F., FLECKSEDER H.: Strömungsverhältnisse, Energieaufnahme und Sauerstoffzufuhr in langgestreckten Umlaufbecken am Beispiel der Kläranlage Wien-Blumental, Österr. Abwasser Rundschau, 1975, 82-89
- WAGNER M.: Einfluß oberflächenaktiver Substanzen auf Stoffaustauschmechanismen und Sauerstoffeintrag, Schriftenreihe WAR der TH Darmstadt, Band 53, (1991)
- WESPTHAL G.: Leistungseintrag in Belebungsbecken – Eine grundlegende Darstellung; Korresp. Abwasser Nr.:8 (1995); 1353-1358
- ZLOKARNIK M. (1980): Koaleszenzphänomene im System gasförmig/flüssig und deren Einfluß auf den O<sub>2</sub>-Eintrag bei der biologischen Abwasserreinigung, Korresp.Abwasser 27, 728-734

Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey  
Ingenieurkonsulent für Maschinenbau  
Abwassertechnische Ausbildung und Beratung  
Leobendorf / Hofgartenstraße 4/2  
A-2100 Korneuburg  
Tel u. Fax: ++43 2262 68173  
e-mail: wfrey@iwag.tuwien.ac.at