

BELÜFTUNGSSYSTEME

W. Frey

1. EINLEITUNG

Durch die biologische Abwasserreinigung soll ein möglichst vollständiger Abbau der im Abwasser enthaltenen fäulnisfähigen organischen Stoffe erreicht werden. Hierfür werden die im natürlichen Gewässer stattfindenden Selbstreinigungsvorgänge auf kleinem Raum in konzentrierter Form für die Abwasserreinigung eingesetzt. Bei den aeroben Verfahren benötigen die Mikroorganismen für ihre Lebenstätigkeit Sauerstoff der beim Belebungsverfahren durch das Belüftungssystem zugeführt werden muß. Prinzipiell ist zwischen Druckluftsystemen und Oberflächensystemen zu unterscheiden.

2. GRUNDLAGEN DER SAUERSTOFFZUFUHR

Der Sauerstofftransport aus der Gasphase in das Abwasserbelebtschlammgemisch läßt sich vereinfacht in folgende Abschnitte gliedern:

- Transport des Gasmoleküls aus der Luft an die Konzentrationsgrenzschicht
- Diffusion durch die gasseitige Konzentrationsgrenzschicht
- Durchtritt durch die Phasengrenzschicht
- Diffusion durch die flüssigkeitsseitige Konzentrationsgrenzschicht
- Transport in das Innere der Flüssigkeit bis zur Belebtschlammflocke
- Transport durch die Zellmembran der Mikroorganismen

Zur Beschreibung der Kinetik von Teilen dieses Vorganges gibt es verschiedene theoretische Ansätze z.B. das Zweifilmmodell (LEWIS und WHITMEN 1923), das Penetrationsmodell (HIGBIE 1935) oder das Oberflächenerneuerungsmodell (DANCKWERTS 1951) usw. Mit diesen Modellen ist eine theoretische Behandlung des Stoffaustausches in Zweikomponentensystemen möglich. Mit ihrer Hilfe ist es möglich die wesentlichen Einflußfaktoren auf den Sauerstoffübergang zu erkennen. Es zeigt sich, daß neben den bekannten Einflußgrößen wie Konzentrationsgefälle Druck und Temperatur die Eigenschaften der Phasengrenzfläche (Größe, Turbulenz und Existenzdauer) für den Stofftausch von Bedeutung sind. Außerdem ist ein Einfluß der Grenzflächenform und damit der Hydrodynamik der Blasen und Tropfen zu bemerken. Aufgabe des Belüftungssystems ist es also eine möglichst große Grenzfläche zwischen der Gas- und der Flüssigphase zu erzeugen sowie eine große Turbulenz und Existenzzeit zu gewährleisten. Der Forderung der langen "Aufenthaltszeit" läuft jene nach einer großen Konzentrationsdifferenz entgegen.

2.1 Einfluß von Wasserinhaltsstoffen

Die Sauerstoffzufuhr von Belüftungssystemen wird heute in der Regel noch in Reinwasser mit etwa Trinkwasserqualität bestimmt. Durch Inhaltstoffe des Abwassers (Salze, Detergentien, usw.) wird der Sauerstoffeintrag verändert. Es ist üblich, die Verhältniszerte

$$\alpha = k_L a \text{ (Betriebsbedingungen)} / k_L a \text{ (Reinwasser)}$$

und

$$\beta = c_s \text{ (Betrieb)} / c_s \text{ (Reinwasser)}$$

anzugeben. Nach einer Arbeit von ZLOKARNIK (1980) beeinflussen Salze den α -Wert von Oberflächenbelüftern nicht. Bei Druckluftsystemen mit sehr feinen Blasen dagegen wird der

α -Wert positiv beeinflusst.

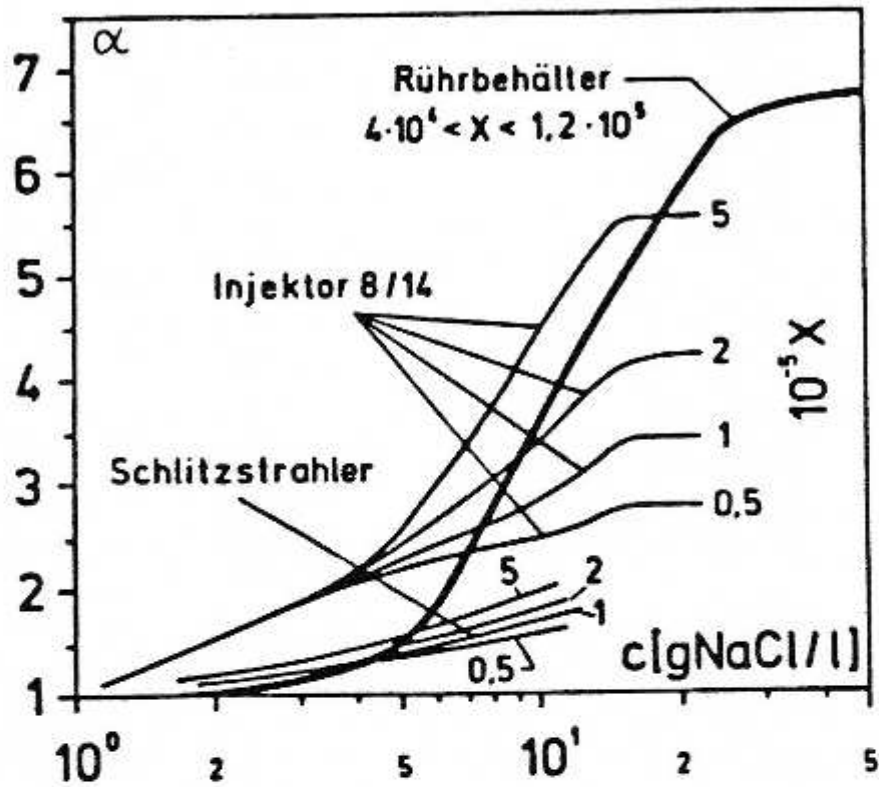


Abb.1: α -Wert in Abhängigkeit der Salzkonzentration (aus ZLOKARNIK 1979)

Die Ursache dafür ist, daß das Salz die Eigenschaft des Flüssigkeitsfilmes zwischen zwei Blasen so verändert, daß es immer weniger zur Vereinigung (Koaleszenz) von kleinen Blasen zu größeren kommt. Rohr- und Dombelüfter erzeugen zwar feine Primärgasblasen, doch koaleszieren diese wegen der relativ hohen Belastung des Belüftungsquerschnittes und wegen der einschnürenden Flüssigkeitsströmung um den Belüfter unmittelbar nach ihrer Erzeugung. Das heißt, daß bei Belüftern dieses Typs auch in Koaleszenz gehemmten Stoffsystemen bei größeren Gasdurchsätzen die Luftblasen eher zusammenlaufen als bei Injektoren, wo feine Primärgasblasen schnell in den Flüssigkeitskörper eingemischt werden und da-

durch eine Blasenkoaleszenz hintangehalten wird.

Der Abminderungsfaktor β für den Sauerstoffsättigungswert ist in kommunalem Abwasser von untergeordneter Bedeutung und kann für praktische Anwendungsfälle $= 1$ gesetzt werden.

Grenzflächenaktive Stoffe (Detergentien) lagern sich an den Grenzflächen Luft/Wasser an. Je ungestörter und je länger eine Grenzfläche besteht, desto mehr vernetzen sich die grenzflächenaktiven Moleküle miteinander. Der Sauerstoffdurchgang durch diese Grenzfläche wird durch die angelagerten Substanzen behindert, womit $\alpha < 1$ wird. (Behinderung der Oberflächenerneuerung und Turbulenz an der Phasengrenze).

Für die biologische Abwasserreinigung nach dem Belebungsverfahren bedeutet dies, daß der α -Wert mit zunehmender Reinigungsleistung (Abnahme bzw. Abbau der oberflächenaktiven Stoffe) ansteigt.

Die Moleküle der grenzflächenaktiven Stoffe können sich so gut miteinander vernetzen, daß sie die Blase quasi in Kugelform halten. Bei größeren Blasen ändert sich ständig die Form der Blase, hierdurch entsteht Bewegung in der Grenzfläche, grenzflächenaktive Stoffe können sich nicht vernetzen, der Sauerstoffdurchgang wird weniger behindert (α nur unwesentlich < 1). Ähnlich verhält es sich mit Wassertropfen, die von den Oberflächenbelüftern durch die Luft geworfen werden: Die Tropfen verändern ständig ihre Form und die Flugzeit des Tropfens ist vergleichsweise kurz, sodaß auch nicht genügend Zeit für die Vernetzung der Detergentien an der Grenzfläche vorhanden ist. Der α -Wert von Oberflächenbelüftern ist daher nahe 1.

Es ist anzumerken, daß nicht nur Detergentien als grenzflächenaktive Substanzen wirken, sondern daß auch Bakterien-schleime grenzflächenaktiv sind.

Einfluß geometrischer Parameter auf die Blasenkoaleszenz am Beispiel des BAYER Schlitzstrahlers. Da Injektoren einen Freistrahler der Dispersion Gas-Flüssigkeit von mehreren Metern Länge ausstoßen, der die umgebende Flüssigkeit einsaugt und in Bewegung versetzt, gibt es bestimmte Neigungswinkel des Freistrahlers, bei denen die umströmende Flüssigkeit eine Einschnürung bewirkt und damit eine Koaleszenzbeschleunigung einsetzt. Versuche haben ergeben, daß der Sauerstoffeintrag bei technischen Ausführungen des Schlitzstrahlers unter sonst gleichen Betriebsbedingungen um 50 % erhöht wird, wenn der Injektor anstatt mit 35° Neigungswinkel nach oben, mit 35° aus der Waagrechten zum Boden hin strahlt.

3. ANFORDERUNGEN AN BELÜFTUNGSSYSTEME

Im wesentlichen wird zwischen Druckbelüftungssystemen in verschiedenen Ausführungsformen sowie Oberflächenbelüftern in verschiedenen Bauvarianten unterschieden. Die Belüftungseinrichtung soll folgende Forderungen erfüllen:

- ausreichende Sauerstoffzufuhr um den **Sauerstoffbedarf** der Mikroorganismen abzudecken
- intensive **Durchmischung** des Abwasserschlammgemisches
- ausreichende **Strömungsgeschwindigkeit** im Becken um Ablagerungen zu vermeiden
- **Regelbarkeit** entsprechend den Belastungsverhältnissen
- hohe **Betriebssicherheit** (kein Verstopfen der Belüfter)
- **geringer Energiebedarf** für Sauerstoffzufuhr und Durchmischung
- **niedrige Baukosten** für das Belebungsbecken und die Belüftungseinrichtung
- **Beständigkeit** gegen mechanische und chemische Angriffe
- **geringer Wartungsaufwand** für die Belüfter

4. DRUCKBELÜFTUNG

Der Sauerstoffübergang erfolgt praktisch ausschließlich durch im Wasser aufsteigende Blasen, zum Teil auch schon im Belüftungsaggregat.

Es kann eine Einteilung nach der **Anordnung der Belüfterelemente** erfolgen. Heute werden die Belüftungselemente ausschließlich in Bodennähe angeordnet. Die Anordnung der Belüfter längs einer Beckenwand nennt man Linien oder Bandbelüftung. Wegen noch näher auszuführender Gründe, wie z.B. geringer Wirtschaftlichkeit, kommt diese Anordnung nicht mehr zum Einsatz. Bei neu zu errichtenden Anlagen wird man eine Flächenbelüftung vorsehen. Hier sind die Elemente, je nach Verfahrensprinzip im gesamten Becken oder in Teilen, gleichmäßig über die Beckensohle zu verteilen.

Eine weitere Gliederungsmöglichkeit ist in der **Art der Blasenentstehung** zu sehen. Die Blasen können durch Austritt aus feinen Poren, durch Dissipation energiereicher Treibstrahlen und durch mechanische Zerkleinerung durch stillstehende Einbauten oder bewegte Teile gebildet werden.

Daneben ist eine Einteilung nach der **Art der Einbringung der Luft**, d.h. ob mittels Gebläsen oder durch eine Injektorwirkung (selbstansaugend) Luft in das Belebungsbecken eingebracht wird, möglich.

Weiters kann eine Aufspaltung in Systeme die eine **Durchmischung des Beckens** nur durch die eingeblasene Luft bewerkstelligen und jene die mittels eigener Aggregate eine getrennte Umwälzung erreichen vorgenommen werden.

4.1 Allgemeine Zusammenhänge bei Druckbelüftungssystemen

Die Sauerstoffzufuhr (OC in $\text{kgO}_2/\text{m}^3\text{Becken/h}$) steigt in etwa proportional zur **Luftmenge** und proportional zur **Einblastiefe**. Bei größeren Einblastiefen steigt der Sauerstoffsättigungswert und damit geringfügig die Sauerstoffausnutzung. Die feinblasige Belüftung wird besonders durch grenzflächenaktive Stoffe (Tenside aus Waschmitteln) beeinflusst.

Bei der Linienbelüftung bildet sich eine **Strömungswalze** aus, dadurch wird die Vertikalgeschwindigkeit des aufsteigenden Luftwassergemisches erhöht und damit die Kontaktzeit der Luftblasen im Wasser verkleinert. Dies führt in der Folge zu einer gegenüber der Flächenbelüftung verminderten Sauerstoffzufuhrleistung.

4.2 Ausführungsformen

4.2.1 Feinblasige Druckbelüftung

Das am häufigsten angewandte Druckluftsystem ist die feinblasige Belüftung. Die Luft wird dabei über an der Sohle angeordnete poröse Filterrohre, Platten oder Dome in das Wasser gebracht. Die mittelblasige als auch die grobblasige Belüftung sind heute wegen ihrer geringen Wirtschaftlichkeit bedeutungslos. Neben den **porösen Keramik- oder Kunststoffkörpern** werden auch mit gelochten **Kunststoffolien** überzogene Rohre, Dome oder Platten bzw. Scheiben eingesetzt.

Der Systemdruck setzt sich aus dem der Wassertiefe entsprechenden hydraulischen Gegendruck und dem Druckverlust im Belüfter selbst zusammen. Da mit steigender Einblastiefe die Sauerstoffzufuhr geringfügig größer wird und der Energieaufwand mit wachsender Eintauchtiefe geringfügig abnimmt (zu-

folge des relativ kleiner werdenden Anteils des Austrittsdruckverlustes), ergibt sich ein günstigerer Sauerstoff-ertrag bei größeren Einblastiefen.

Bei der feinblasigen Belüftung, mit porösen Belüfterkörpern, besteht die Gefahr, daß die feinen Poren der Belüfter verstopfen. Diese Verstopfungen können wasserseitig z.B. durch Eindringen von Schlamm aber auch luftseitig durch Verunreinigungen in der zugeführten Luft (Staub, Öl) verursacht sein. Durch die zunehmende Verlegung von Poren steigt der Austrittsdruckverlust und damit sinkt der Sauerstoff-ertrag. Es ist eine periodische Reinigung und eine Erneuerung der Belüfter in entsprechenden Zeitabständen notwendig.

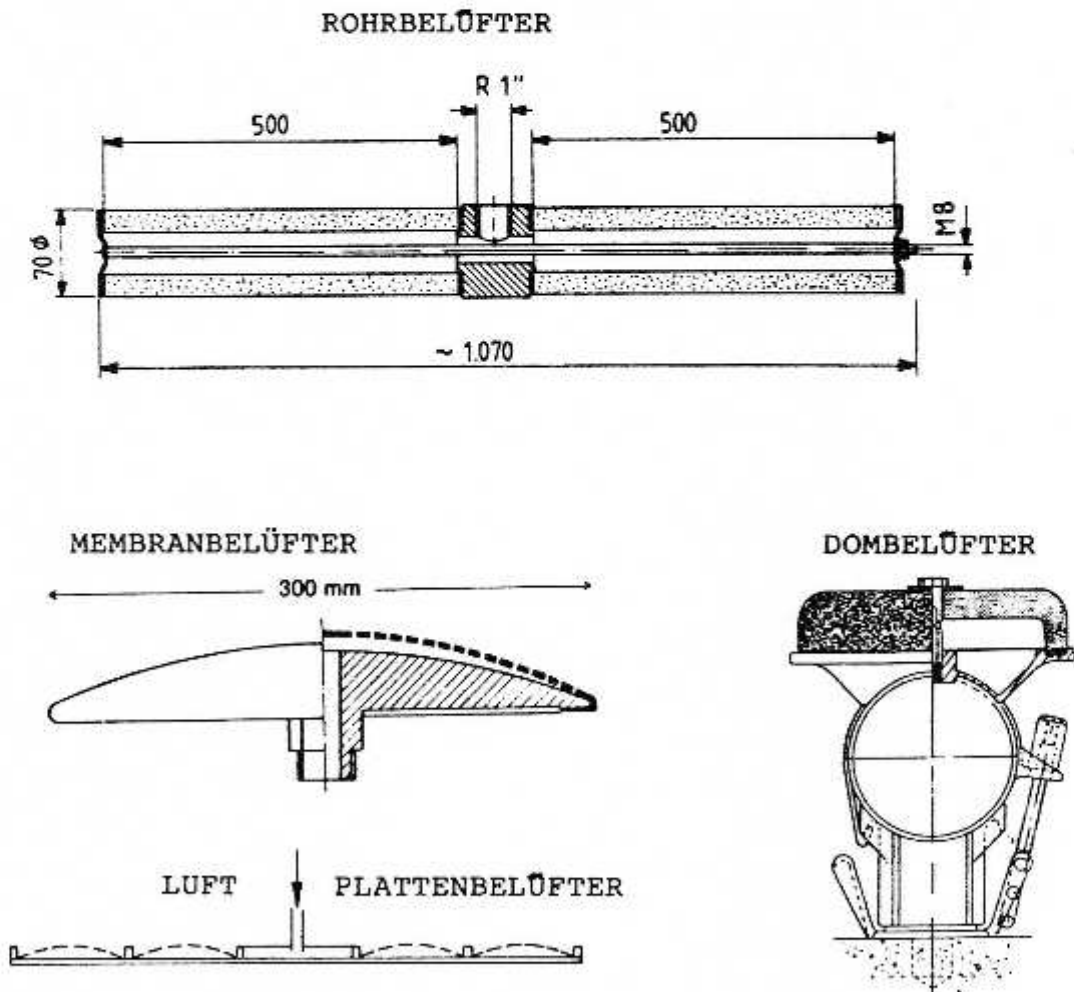


Abb.2: Bauformen von Belüfterelementen

Membranbelüfter sind theoretisch verstopfungsfrei. Hier stehen Fragen nach der chemischen und mechanischen Beanspruchbarkeit im Vordergrund. Aufgrund der hohen Sauerstoffausnutzung wird mit geringen Luftmengen gearbeitet, dadurch steht wenig Mischenergie zur Verfügung und es kann zu Ablagerungen kommen. Vorsicht ist speziell bei Anlagen ohne Sandfang und Vorklärung geboten.

Feinblasige Druckbelüftungssysteme können in Misch- und Umlaufbecken eingesetzt werden, zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit sind Wassertiefen von 5m und mehr günstig. Wesentlich ist hier das Zusammenwirken von Beckenform und der Belüfteranordnung. Speziell bei Umlaufbecken mit nicht vollständiger Belegung der Beckensohle, aus verfahrenstechnischen Gründen (Nitrifikation, Denitrifikation), muß mit geringerer Leistung des Belüftungssystems gerechnet werden.

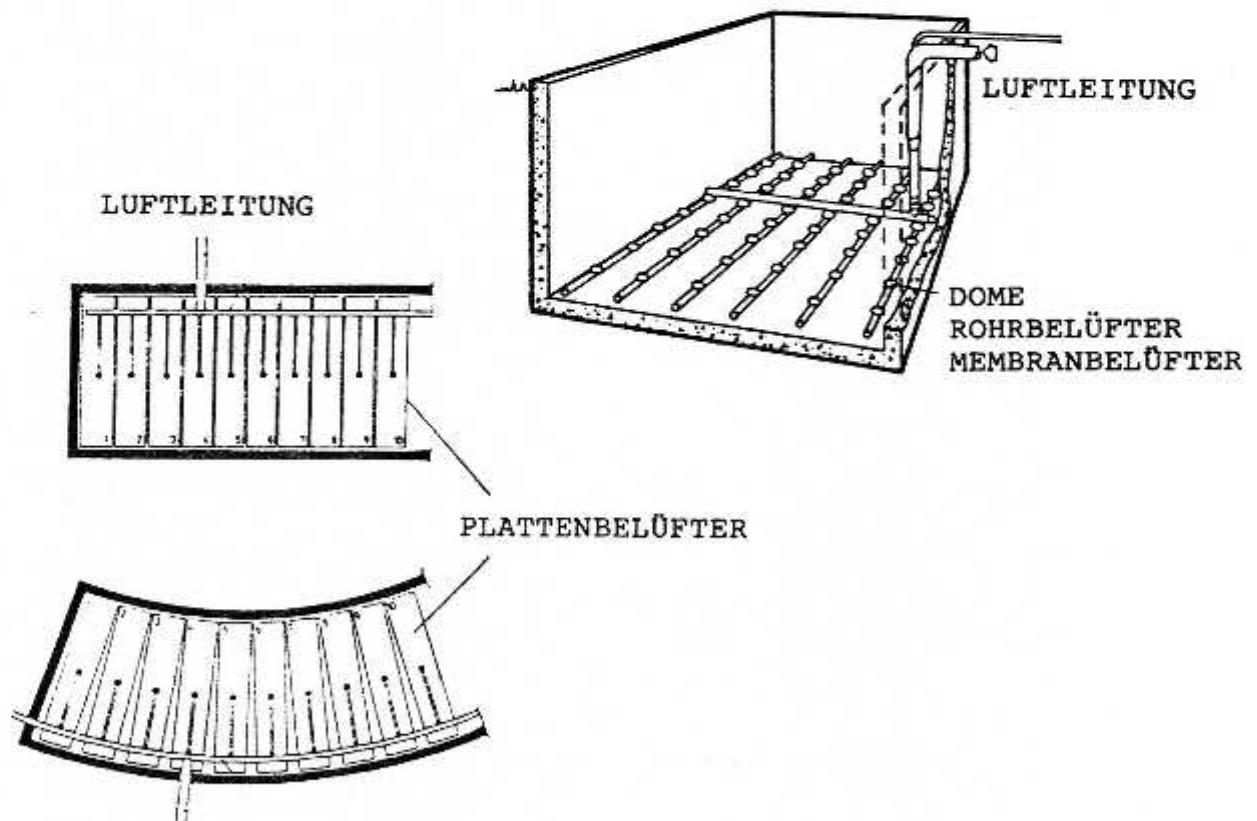


Abb.3: Einbaubeispiele

Nach eigenen Messungen und Angaben aus der Literatur (z.B. Wiener Mitteilungen Band 64, 1986) ergibt sich eine starke Streuung der Sauerstoffertragswerte. Mit den heute üblichen, flächig angeordneten, feinblasigen Belüftungssystemen sind in Reinwasser Sauerstofferträge von 2,3 - 3,5 kgO₂/kWh erreichbar. Entsprechend der Anlagenausbildung und Abwasserzusammensetzung ist mit α -Werten zwischen 0,6 und 0,7 zu rechnen. Der Energieaufwand liegt bei 5,0 - 6,0 Wh/Nm³/m_{ET}. Hohe Werte sind durch kleine Aggregate mit ungünstigen Wirkungsgraden bedingt.

4.2.2 Statische Mischer

Der statische Mischer besteht aus einem Rohr mit Einbauten. Am unteren Ende des Belüfters, nahe dem Beckenboden, wird Luft durch eine Düse eingeblasen. Die Bewegungsenergie des aufsteigenden Luft- Wassergemisches wird im Mischrohr durch Umlenkung in Flüssigkeitswirbel umgesetzt. Die auftretenden Scherkräfte zerschlagen die anfänglich groben Luftblasen und verteilen sie so, daß ein homogenes, fein dispergiertes Zweiphasengemisch erzeugt wird. Das Mischrohr weist einen Durchmesser von ca. 0,4m und eine Höhe von ca. 2,5m auf. Die Belüfter werden am Beckenboden verankert.

Die Anpassung des Sauerstoffeintrages auf den Sauerstoffbedarf erfolgt über die Änderung der Luftmenge. Da jede Belüftungseinheit hinsichtlich Strömung ihren eigenen Einflußbereich erzeugt, werden an die Grundrißgestaltung des Belebungsbeckens keine besonderen Ansprüche gestellt. Die wirtschaftliche Wassertiefe liegt im Bereich über 6 Meter.

Statische Mischer arbeiten praktisch verstopfungsfrei und setzen sich auch bei vorübergehender Abstellung der Luftzufuhr nicht zu. Für die unter Wasser liegenden Teile ist keine Wartung erforderlich.

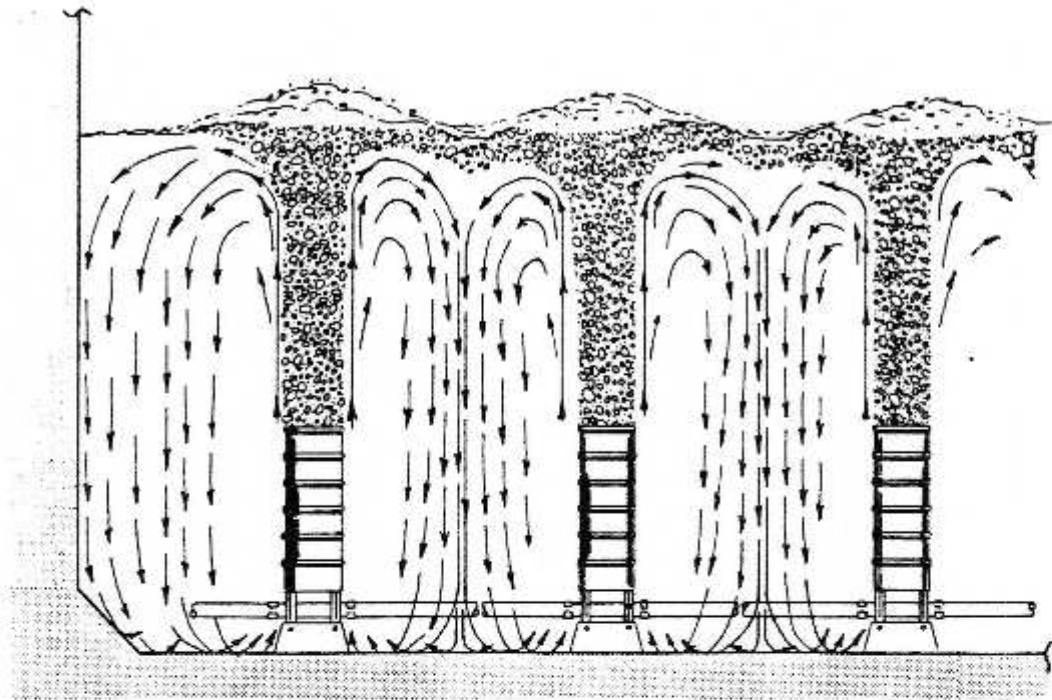


Abb.4: Statischer Mischer

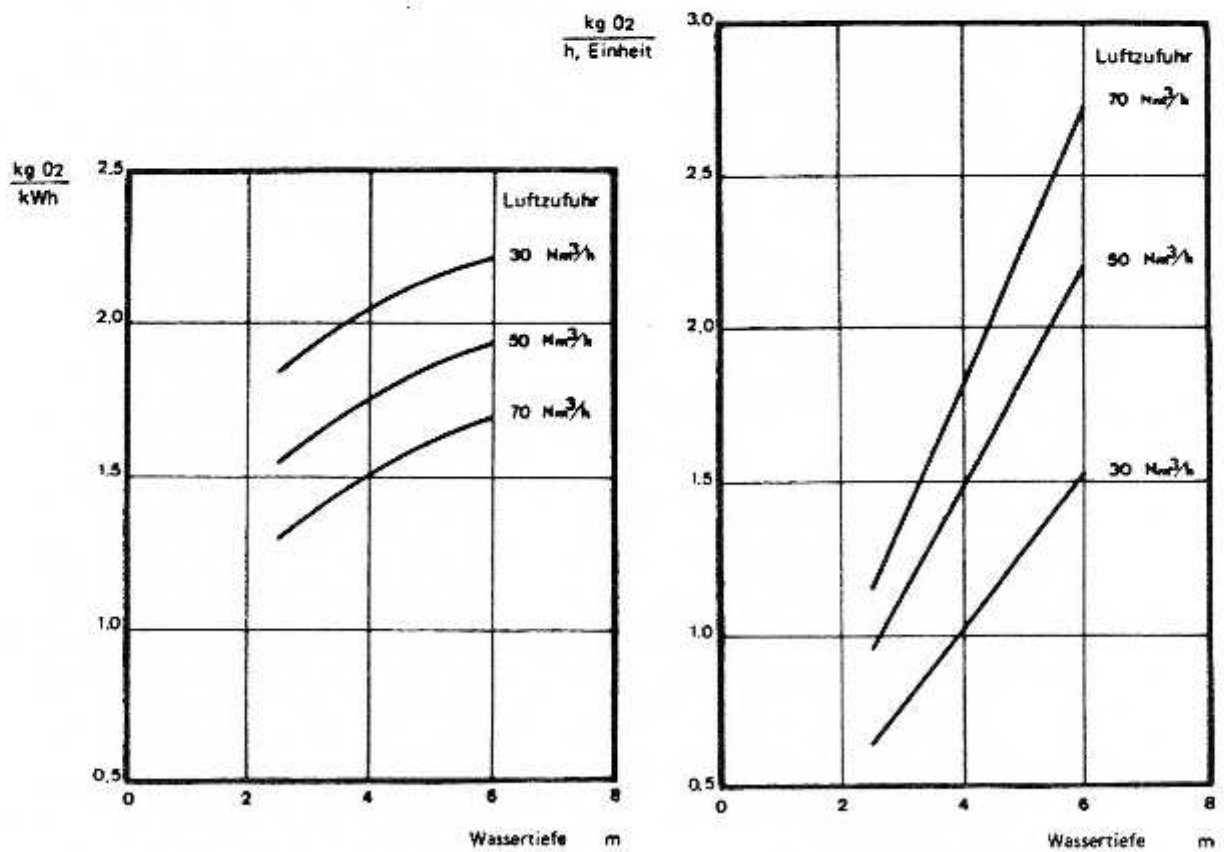


Abb.5: Zufuhrcharakteristik

Nach Messungen von HABERL (1987) werden in Reinwasser bei ca. $35 \text{ Nm}^3/\text{h}/\text{Belüfter}$ und einer Einblastiefe von $9,7 \text{ m}$ Ertragswerte von ca. $2,3 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$ erreicht. Eigene Messungen, auf einer anderen Anlage, unter Betriebsbedingungen haben bei einer Einblastiefe von $9,0 \text{ m}$ und einer Luftbeaufschlagung von $45 \text{ m}^3/\text{h}/\text{Einheit}$ einen Sauerstofftrag von $1,4 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$ ergeben. Der α -Wert wurde zu $0,65$ ermittelt.

4.2.3 Strahldüsenbelüftung

Unter dem Begriff Strahldüsenbelüfter werden alle Zweistoffdüsenbelüfter, wie Injektoren, Mischstrahldüsen und Venturidüsen zusammengefaßt, bei denen mittels eines **energiereichen Flüssigkeitsstrahles**, die über eine Mischdüse zugeführte Luft in feinste Blasen zerteilt wird. Die Luft kann durch Unterdruck, der an der Einschnürung der Düse infolge Geschwindigkeitserhöhung der Flüssigkeit entsteht, angesaugt oder durch Überdruck mittels Kompressoren in die Zweistoffdüse eingeblasen werden. Die erzeugte Gas-Flüssigkeitsdispersion verläßt die Düse in Form eines Freistrahles, der nach einer bestimmten Eindringtiefe seine Energie an die umgebende Flüssigkeit abgibt und zu einem Blasenschwarm auffächert. Die primär gebildeten Gasbläschen haben sehr kleine Durchmesser und koaleszieren (kleine Gasblasen vereinigen sich zu Größeren) je nach Abwasserbeschaffenheit, wodurch der Sauerstoffeintrag entscheidend beeinflußt wird (Größe der Phasengrenzfläche).

Bei den üblichen Ausführungsformen der Strahldüsenbelüfter werden die einzelnen Belüftereinheiten nahe der Beckensohle montiert. Je nach System werden durch die Strahldüsenbelüfter Blasensäulen mit vertikaler, geneigter oder horizontaler Treibstrahlrichtung erzeugt, wobei im allgemeinen eine Flächenbelüftung angestrebt wird. Bei intensivem horizonta-

lem Treibstrahl stellt sich in Rundbecken oder Umlaufbecken gleichzeitig eine Umlaufströmung ein.

Durch die sich ergebenden hohen Sauerstoffausnutzungsgrade kann der Luftdurchsatz verringert werden. Dadurch ergibt sich eine geringere Geruchsbelästigung der Umwelt, eine entsprechend kostengünstigere nachgeschaltete Abgasbehandlung, falls erforderlich, und verminderte Schaumprobleme.

4.2.3.1 Radialstromdüse

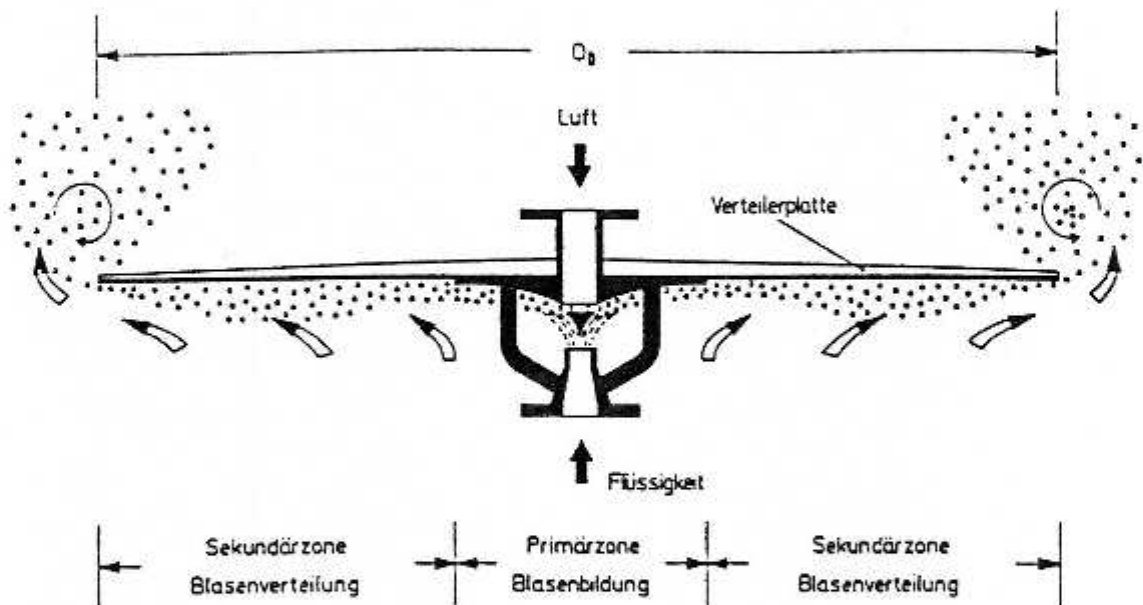


Abb.6: Radialstromdüse

Der nach oben gerichtete Treibstrahl ist hier ein runder Vollstrahl, dieser trifft auf einen gegenüberliegend, konzentrisch angeordneten Leitkegel und wird von ihm zu einem Hohlstrahl und durch ein weiteres Umlenken zu einem Flachstrahl umgeformt. Er ist allseitig nach außen gerichtet und fließt längs der Leitplatte in radialer Richtung ab. Die von oben herangeführte Luft tritt hinter dem Leitkegel hervor und über einen Ringspalt in den Flüssigkeitsstrom ein. Sie wird von der turbulenten Strömung mitgerissen und dabei zu

kleinen Blasen dispergiert. Auf den Düsenkörper kann eine Verteilerplatte aufgesetzt werden. Sie hat die Aufgabe daß turbulent strömende Blasen- Wassergemisch am raschen Ausbrechen nach oben zu hindern, und ein Beimischen von Sekundärflüssigkeit in den Blasen- Wasserstrom zu ermöglichen. Um die räumliche Verteilung des Blasen- Wassergemisches zu verbessern kann ein Leitrohr angeordnet und so eine Schlaufenströmung erzeugt werden.

In einer Versuchsanlage mit einem Durchmesser von 5 Metern, einer Wasserhöhe von ca. 18 Metern und einem Fassungsvermögen von rund 350 m^3 wurden unter günstigen Bedingungen Sauerstoffeintragsversuche unter Betriebsbedingungen durchgeführt (SELL 1985). Die Eintragsversuche wurden mit Originaldüsen (RSD 30/1500) in einer Abwasserbelebtschlamm suspension mit Abwasserzufuhr durchgeführt. Die Abwasser- und Luftzufuhr wurden einander angepaßt, so daß der gelöste O_2 -Gehalt bei Werten um $0,5 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ lag. Die Auswertung erfolgte über eine gasseitige Stoffbilanz. Abb. 7 zeigt das Kennfeld einer Radialstromdüse mit einem 30 mm Treibstrahl und einer Verteilerplatte mit 1500 mm Durchmesser.

In diesem sogenannten Belüfterkennfeld ist über dem Luft-Wasserverhältnis die Sauerstoffausnutzung in Abhängigkeit von der Treibstrahlgeschwindigkeit aufgetragen. Außerdem enthält das Diagramm Linien gleichen Sauerstoffeintrages, gleichen Luftbedarfs und gleicher Effizienz.

Das System ist in Industrieabwasserreinigungsanlagen der HÖCHST AG in sogenannten Biohochreaktoren im großtechnischen Einsatz. Die hier erzielten Sauerstofferrträge liegen in der Größenordnung zwischen $2,5$ und $3,0 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$.

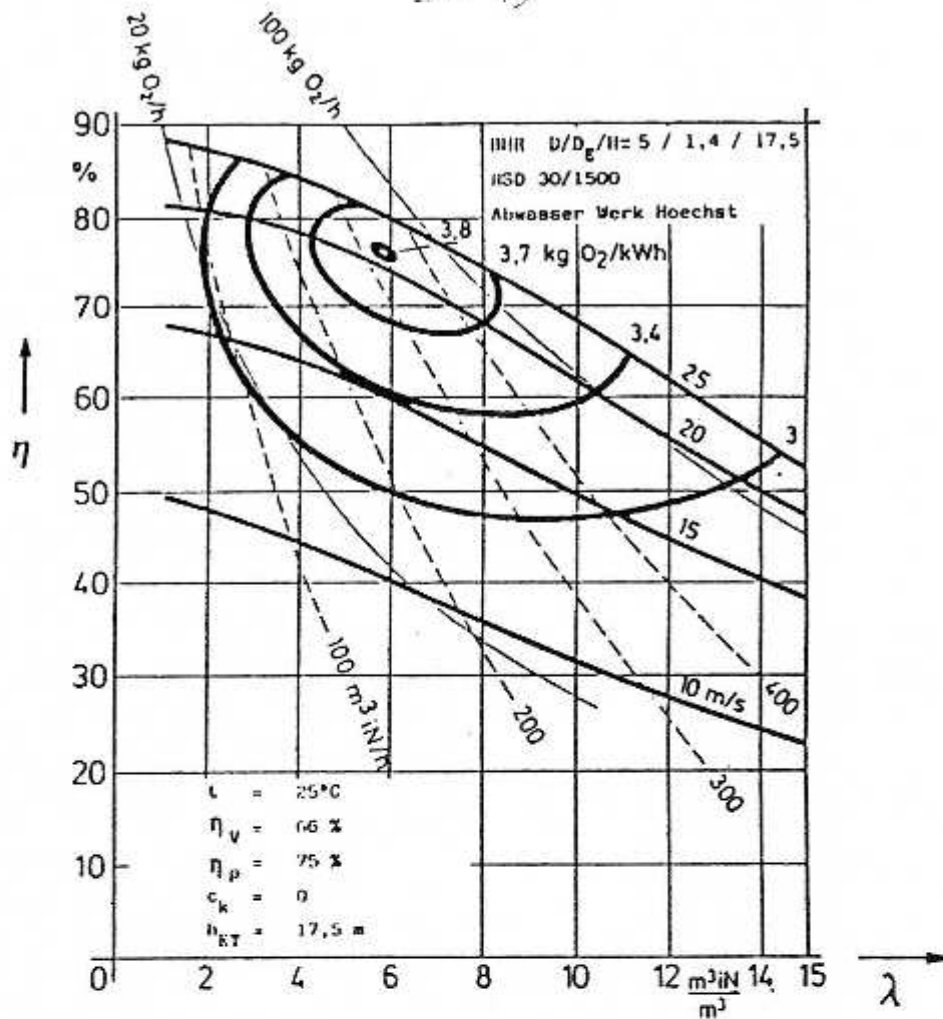


Abb.7: Kennfeld Radialstromdüse

4.2.3.2 Mischstrahldüse

Der Injektor besteht aus einem Gaseintrittsstutzen durch den Luft angesaugt wird, der Treibdüse durch die das Treibmittel gedrückt wird, der Mischkammer in der die Gas/Flüssigdispersion entsteht, der Mischdüse durch die das Zweiphasengemisch austritt und dem Diffusor, oder Mischrohr. Die Luft kann, wenn das Becken nicht zu tief ist, selbständig angesaugt werden. Um jedoch zu verhindern, daß bei Ausfall einer Treibdüse oder der Treibwasserpumpen Abwasser in die Luftleitung eindringt wird die Luft etwas höher komprimiert, als es dem hydrostatischen Druck der überstehenden Wassersäule entspricht. Die maschinentechnische Installation für die Injektorbelüftung besteht aus den Injektoren, dem Gebläse, der

Pumpe für das Treibwasser und den verbindenden Rohrleitungen. Das Verhältnis von Umlaufwasser zur Luft beträgt etwa 1 zu 5. Die Düsendurchmesser der Injektoren liegen im cm-Bereich.

Die Sauerstoffzufuhr der Injektorbelüftung hängt in erster Linie vom Verhältnis Luft zu Treibwasser und von der Beckentiefe ab; es existiert ein Optimum. Mit zunehmendem Luft- zu Wasserverhältnis sinkt der Sauerstoffausnutzungsgrad stark, da die über den Treibstrahl zur Verfügung gestellte Energie nicht mehr ausreicht, die Luft fein zu dispergieren.

Durch die CO_2 -Anreicherung (SCHWAGER, GUJER 1987) muß, wie bei der Begasung mit reinem Sauerstoff, die hemmende Wirkung von geringen pH-Werten bei der Nitrifikation berücksichtigt werden.

Um einen sicheren Betrieb der Injektorbelüftung zu gewährleisten, sollen die Injektordüsen möglichst unempfindlich gegen Verstopfung sein. Aus diesem Grund sind relativ große Düsendurchtrittsöffnungen zu wählen und eine gut funktionierende Vorklärung vorzusehen.

Auf einer Großanlage, Umlaufbecken $V_{\text{BB}}=11000\text{m}^3$, mit erheblichem Industrieabwasseranteil, ausgerüstet mit VOEST Injektoren, wurden α -Werte von ca. 0,7 gemessen. Mit diesen Zweistoffdüsen sind Sauerstoffträge in Reinwasser von bis zu $3,2 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$ erreichbar.

Der BAYER Injektor ist in zwei Bauformen auf dem Markt. In einer runden Bauform die sich zum Begasen von Flüssigkeiten eignet die koaleszenzhemmendes Verhalten aufweisen und einem sogenannten Schlitzstrahler der im Hinblick auf Abwasser mit koaleszenzfördernden Inhaltsstoffen entwickelt wurde.

Die Zweistoffdüsen gestatten es, den Sauerstoffeintrag und die Umwälzung getrennt zu betreiben. Dies ist speziell im

Hinblick auf ein Verfahrenskonzept mit Nitrifikation und Denitrifikation von Vorteil.

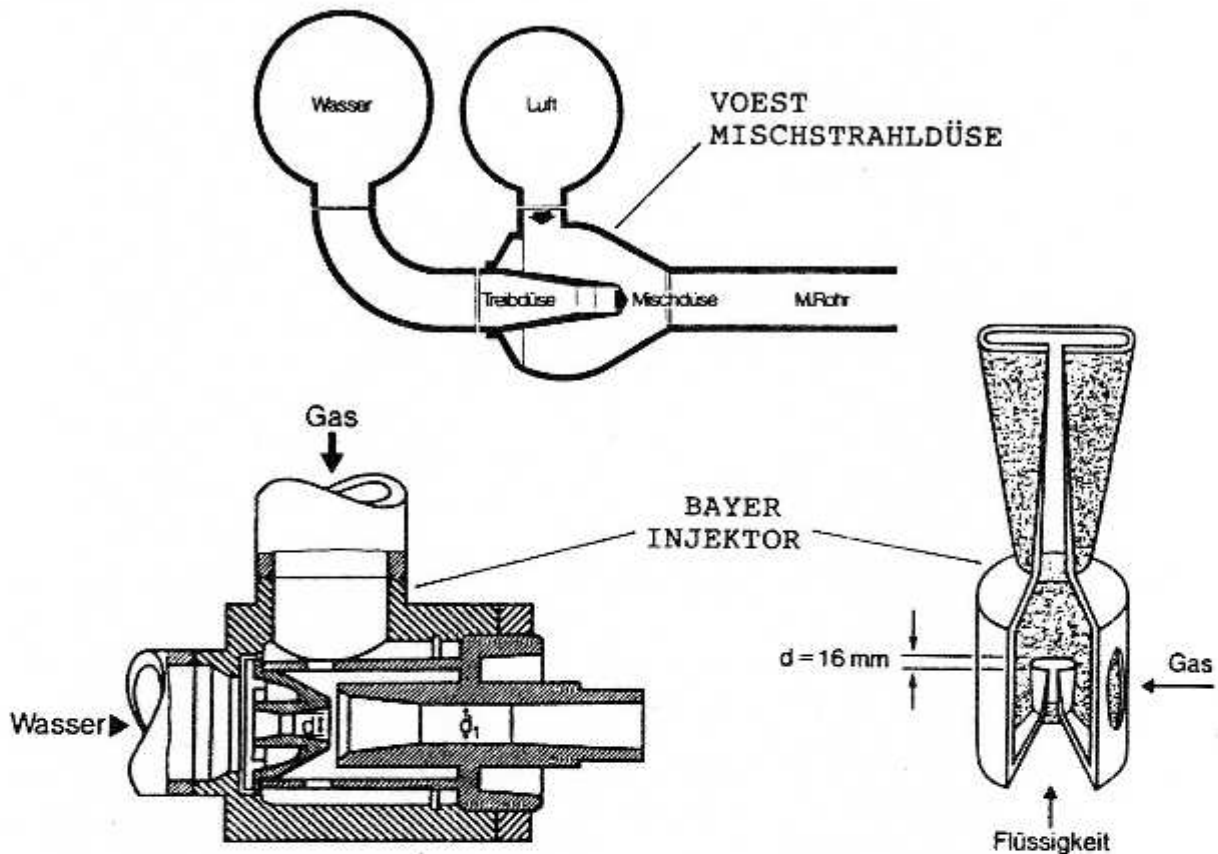


Abb.8: Aufbau von Zweistoffdüsen
(BAYER Injektoren, VOEST Mischstrahldüse)

Mischstrahlbelüftungssysteme stellen an die Beckengeometrie keine besonderen Anforderungen. Sie können sowohl in Mischbecken wie auch in Umlaufbecken eingesetzt werden wobei es nicht unbedingt erforderlich ist die gesamte Beckenfläche auszulegen. Die BAYER Injektoren werden in Vierergruppen unter 45° geneigt zur Beckensohle flächig angeordnet. Die VOEST-Mischstrahldüsen sind einzeln nebeneinander angeordnet ihre Ausströmöffnung ist ca. 5° gegen die Horizontale zur Beckensohle hin geneigt und alle Düsen zeigen in eine Richtung so daß sich eine Umlaufströmung einstellt. Durch die Verteilung der Strahldüsenbelüfter über die Beckensohle und der Wahl der Strahlrichtung ist sicherzustellen, daß durch die ausreichende Turbulenz oder Umlaufströmung Schlammabla-

gerungen vermieden werden.

Eine Sonderkonstruktion der Injektorbelüftung stellen die Tauchbelüfter dar. Pumpe, eventuell Gebläse und radial vorgesetzte Zweistoffdüsen sind hierbei zu einer Einheit zusammengefaßt. Zufolge der meist kleinen Antriebsaggregate ergibt sich bei einer Wassertiefe von 5 Metern ein Sauerstoffertrag von etwa 1,1 bis 1,4 kgO_2/kWh . Diese Einheiten können jederzeit in ein Becken eingesetzt und auch wieder demontiert werden.

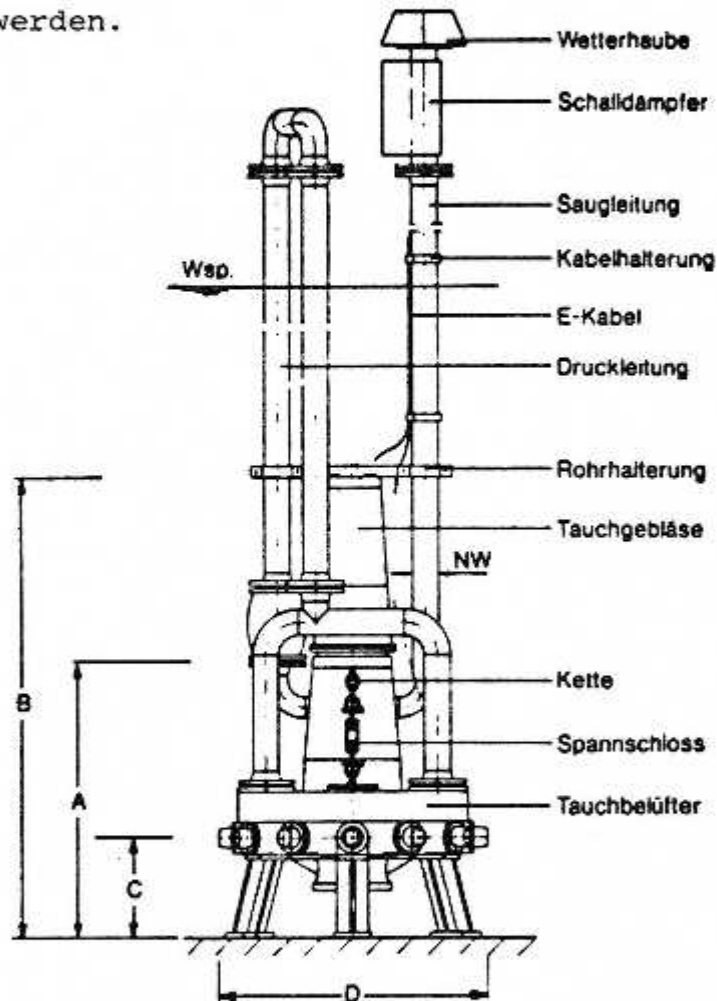


Abb.9: Tauchbelüfter

Auch Wendelbelüfter gehören in diese Gruppe. Hier erfolgt ein Teil des Sauerstoffüberganges bereits im Aggregat.

Durch die am Wellenende sitzende Wendel wird eine Strömung

erzeugt und durch den dadurch entstehenden Unterdruck Luft angesaugt. Die Luft wird beim Austritt aus dem Hüllrohr durch die Wendel zerteilt. Diese Systeme sind selten anzutreffen und von untergeordneter Bedeutung.

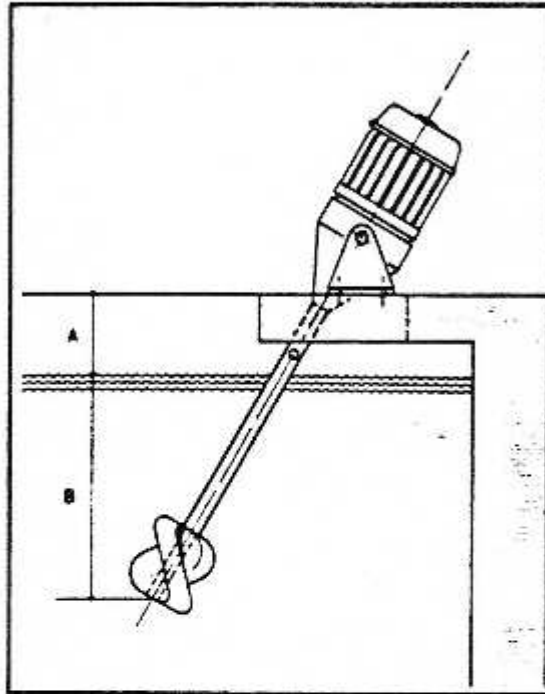


Abb.10: Wendelbelüfter

4.2.4 OKI-Turbinentauchbelüfter

Das System kommt aus Finnland und ist relativ neu auf dem österreichischen Markt. Dieser Belüfter ermöglicht eine Trennung zwischen Belüftung und Umwälzung. Das gekapselte Aggregat wird komplett in das Belebungsbecken abgesenkt und über eine flexible Luftleitung mit Druckluft versorgt. Im Mischbetrieb wird der Kegel in eine Drehbewegung versetzt, soll zusätzlich belüftet werden so wird Druckluft durch die Hohlwelle in den Hohlkegel geleitet und tritt an der Kegeloberfläche durch Schlitze aus, wobei sie, durch auf den Kegel aufgesetzte Rippen, in kleine Blasen zerschlagen und

durch die auftretende Strömung im Becken verteilt wird. Von der Herstellerfirma wird ein Sauerstofftrag von $2,2 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$ im Reinwasser angegeben. Es stehen Aggregate in verschiedenen Größen zur Verfügung wobei je nach Aggregatgröße, Einblastiefe und Luftmenge, Sauerstoffeinträge zwischen 10 und $100 \text{ kgO}_2/\text{h}$ angegeben werden.

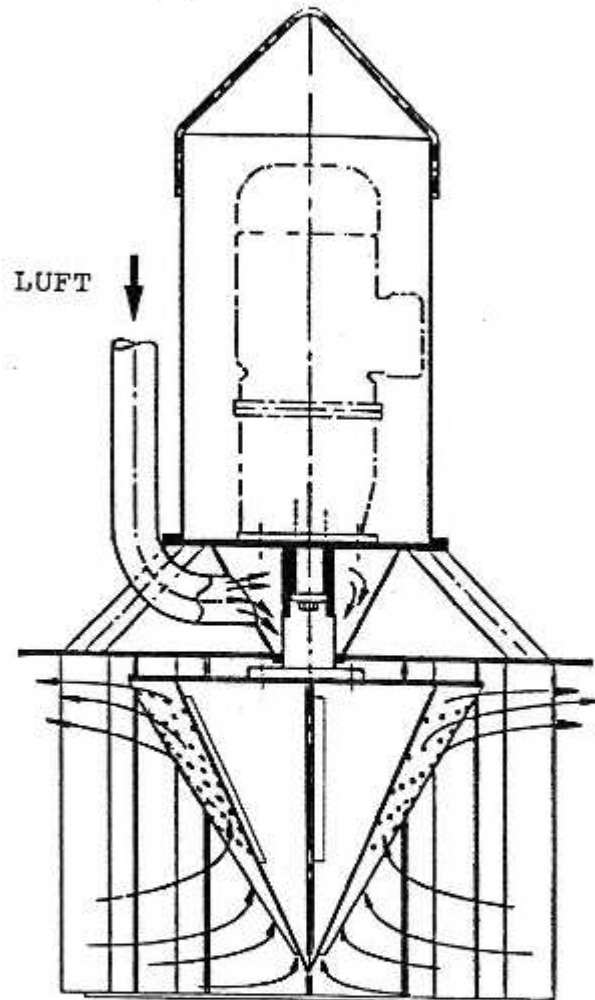


Abb.11: OKI-Turbinentauchbelüfter

Durch die relativ großen Luftaustrittsöffnungen arbeitet das System weitgehend verstopfungsfrei. Es werden keine besonderen Anforderungen an die Beckengeometrie gestellt wobei die Beckentiefe aus Wirtschaftlichkeitsgründen 4 m nicht unterschreiten sollte.

4.2.5 Blasensäulenabstrom

Beim Blasensäulenabstromreaktor, auch Submersreaktor genannt, handelt es sich um ein Belüftungssystem bei dem ein Teil des Stoffüberganges im Aggregat selbst stattfindet. Mit einer Niederdruckpumpe wird Abwasserbelebungschlammgemisch aus dem Belebungsbecken über einen Sinkkanal, in dem Luft zugeführt wird, umgewälzt. Durch Optimieren des Wasser-Luftverhältnisses kann im Sinkkanal eine große Verweilzeit der Luftblasen und damit eine hohe Sauerstoffausnutzung erreicht werden.

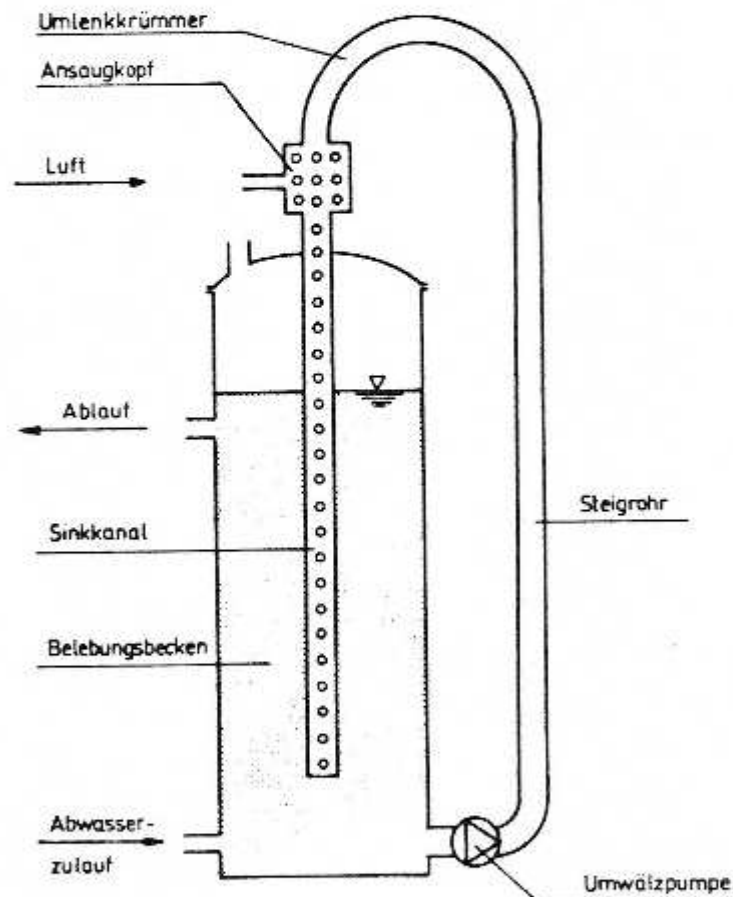


Abb.12: Aufbau Submersreaktor

Das System ist selbstansaugend ausgelegt, und reagiert daher sehr sensibel auf Gegendruckschwankungen. Daraus ergibt sich

auch eine wirksame Eingriffs- und Optimierungsmöglichkeit. In Österreich wurden zwei Großanlagen mit diesem System ausgerüstet. Die hier gemessenen Sauerstofftragswerte unter Betriebsbedingungen lagen in der Größenordnung von $1,1 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$. An einer Weiterentwicklung mit innenliegender Umwälzschleife wird gearbeitet.

5. OBERFLÄCHENBELÜFTER

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. Außerdem zählt zur Gruppe der Oberflächenbelüfter auch das Strahlbelüftungssystem.

5.1 Walzenbelüfter

Zu den Walzenbelüftern zählen die Bürstenbelüfter, Stabwalzen und **Mammutrotoren**, bei denen auf einer horizontalen Achse befestigte Bürsten 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. 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 Fließgeschwindigkeit ist praktisch nur von der spezifischen elektrischen Leistung (Watt/m^3 Becken) abhängig und nahezu von der gewählten Rotorkombination und den Eintauchtiefen unabhängig. Die Sauerstoffzufuhreigenschaften bei der Stabwalzenbelüftung sind nur in sehr geringem Maß von der Abwasserzusammensetzung abhängig. Unter Betriebsbedingungen kann mit einem α -Wert von 0,9 bis 1,0 gerechnet werden.

Um die Sauerstoffzufuhr zu gewährleisten und gleichzeitig eine gute Durchmischung zu erreichen, müssen Leit- und Bremswände vorgesehen werden. Diese lenken das vom Mammutrotor abströmende, mit Blasen angereicherte Belebtschlammwassergemisch in die Tiefe um. Bei Umlaufbecken ist besonders bei Anlagen mit einer Wassertiefe über 3 Meter der negative Einfluß oberflächenaktiver Abwasserinhaltsstoffe (Tenside) auf die Strömungsgeschwindigkeit im Bereich der Beckensohle zu beachten. In günstigen Fällen wurden ausreichende Sohlströmungen schon bei Energiedichten von 4 bis 6 Watt/m^3 Becken erreicht. Auch bei Teilauslastung des Umlaufbeckens kann somit eine wirtschaftliche Betriebsführung erreicht werden.

Durch intermittierenden Betrieb der Belüfter, Verwendung polumschaltbarer Motoren für die Antriebe und Veränderung der Eintauchtiefe der Walzenbelüfter ist eine gute Regelbarkeit in weitem Bereich möglich.

Die auftretenden Geräusch- und Aerosol-Emissionen lassen sich durch einfache Maßnahmen wie Verbreiterung der Betonbrücken, Schalldämmung der Antriebe und durch Aerosolsperren weitgehend vermeiden.

Da bei der Rotorbelüftung aerobe und anoxische Zonen im Belebungsbecken erzeugt werden können, ist diese Belüftungstyp für die simultane Nitrifikation und Denitrifikation geeignet. Durch große Beckenvolumina ist eine wirtschaftliche Bauweise möglich.

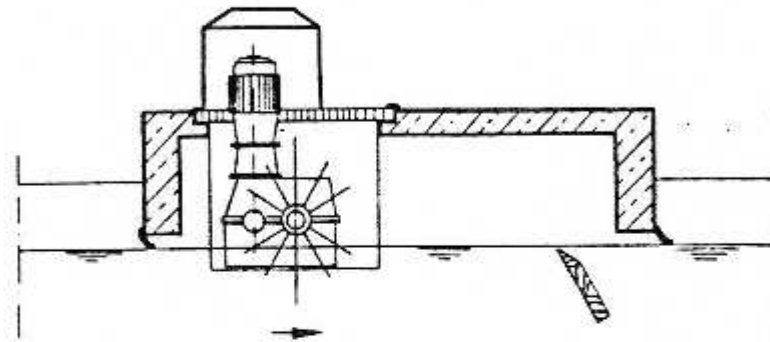


Abb.13: Mammutrotor

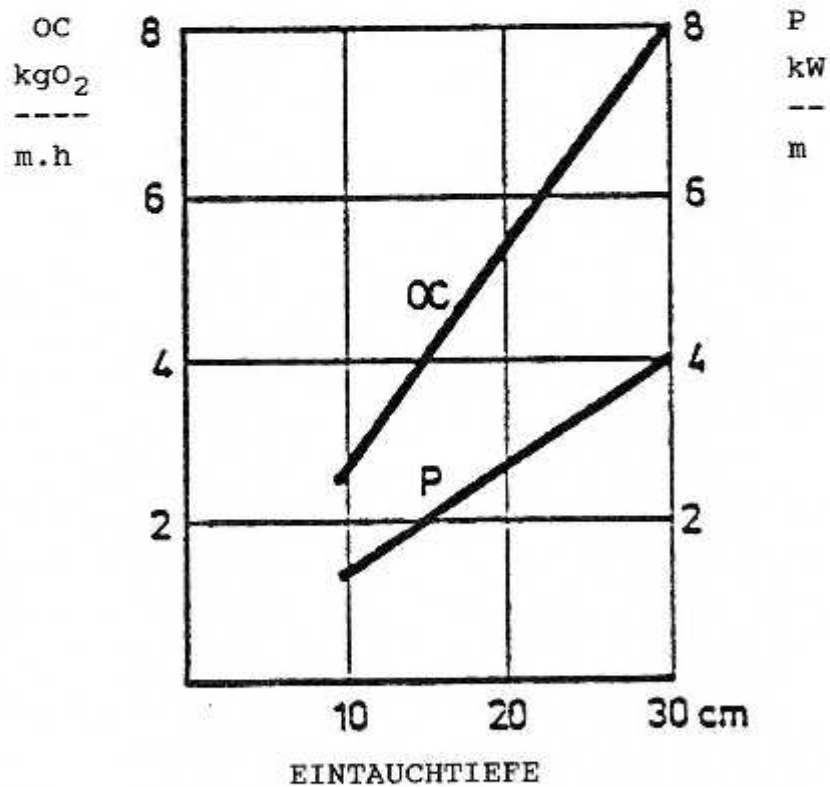


Abb.14: Sauerstoffzufuhrcharakteristik Mammutrotor

Die Zufuhrcharakteristik zeigt, daß bei steigender Eintauchtiefe und damit steigender spezifischer Leistung die Wirtschaftlichkeit, das heißt der Sauerstofffertrag, abnimmt.

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, die zu Beginn zweckmäßig im Probelauf unter Belastung zu prüfen ist.

Bei großen Anlagen stellt die hohe Zahl der Antriebsaggregate und Getriebe einen gewissen Nachteil dar. Es werden daher in diesen Fällen auch Doppelrotoren, das heißt zwei Rotoren werden über einen Motor und ein Getriebe angetrieben, angeordnet.

Bedenken, daß eine Zerkleinerung des belebten Schlammes durch die mechanische Einwirkung der Stabwalze in der Nachklärung Schwierigkeiten bereitet, haben sich nicht bestätigt.

Walzenbelüfter werden heute in erster Linie bei Umlaufbecken verwendet. Die Beckenbreite richtet sich nach den üblichen Rotorlängen, die zwischen 3 und 9 Metern liegen. Die optimale Beckentiefe beträgt zwischen 2 und 3 Metern, im Einzelfall bis 4 Meter. Um die Strömung am Beckenende um 180° umzulenken, sind exzentrisch angeordnete senkrechte Leitwände vorzusehen. Die Umfassungswände in diesem Bereich sind ebenfalls 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 Sauerstofffertrag nehmen ab (STALZER, FLECKSEDER 1975).

5.2 Kreiselbelüfter

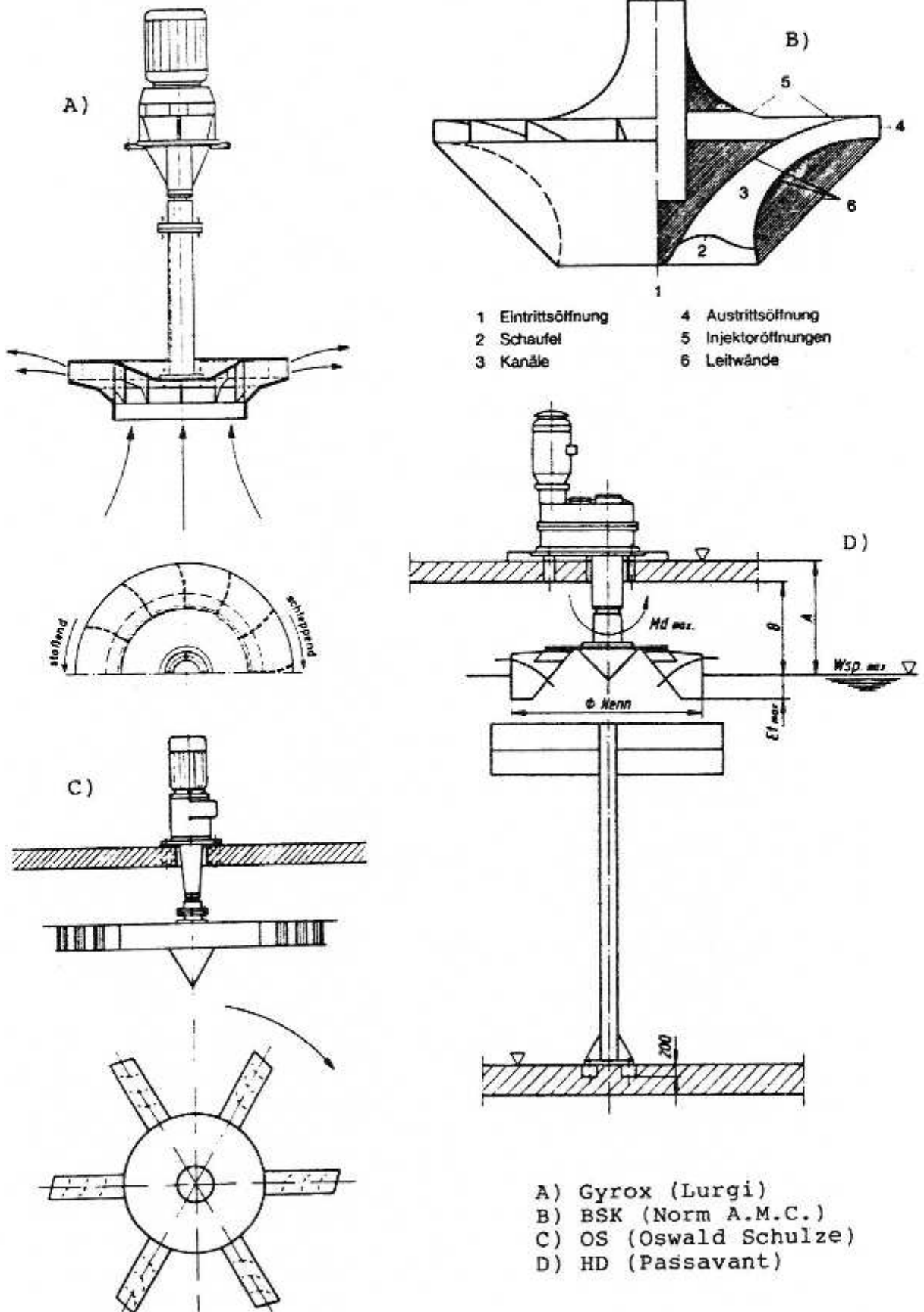


Abb.15: Kreiselbelüfter

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.

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.

Die Sauerstoffzufuhr OC_R kann für bestimmte Kreiselbelüftertypen durch folgende Gleichung dargestellt werden:

$$OC_R = a (1 + b \cdot E) \cdot D^2 \cdot v_u^3$$

Hierin sind:

OC_R (kg/m³/d) .. spezifische Sauerstoffzufuhr in Reinwasser

D (m) Durchmesser des Belüfterrotors

v_u (m/s) Umlaufgeschwindigkeit des Belüfterrotors

E (cm) Eintauchtiefe des Belüfterrotors

a (kg.s³/h/m³) Geometriefaktor

b (1/cm) vom Kreiselbelüftertyp abhängige Konstante

Damit wird die Sauerstoffzufuhr und besonders der Sauerstoffertrag eines bestimmten Kreiselbelüfters auch von der Form und Größe des Belebungsbeckens bzw. durch darin vorhan-

dene Einbauten bestimmt. Bei einer Vergrößerung des Kreiseldurchmessers steigt die Sauerstoffzufuhr quadratisch und eine Zunahme der Umfangsgeschwindigkeit geht mit der dritten Potenz ein. Die Abhängigkeit der Sauerstoffzufuhr von der Umfangsgeschwindigkeit und dem Kreiseldurchmesser zeigt die folgende Abbildung.

SAUERSTOFFERTRAG

kgO₂/kWh

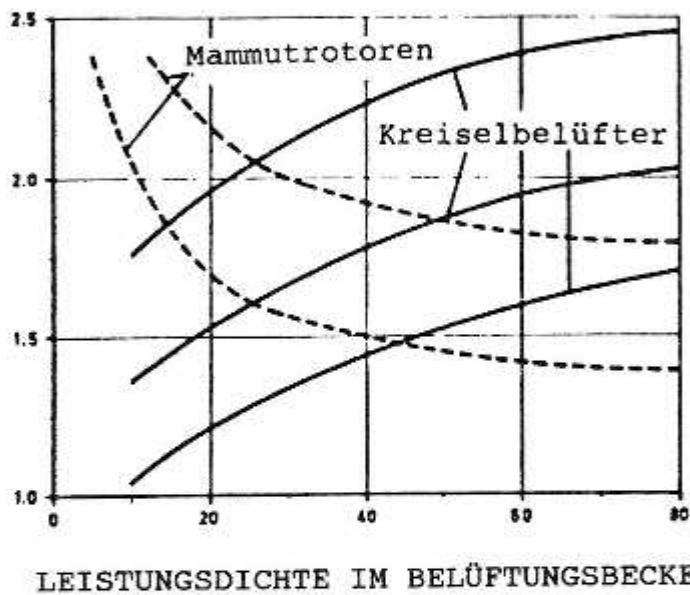


Abb.16: Zufuhrcharakteristik Kreisellüfter

Die durch die Umwälzung erzeugte Geschwindigkeit an der Beckensohle muß so groß sein, daß keine Schlammablagerungen eintreten. Strömungsgeschwindigkeiten steigen bei gleicher Leistungsdichte (Watt/m³ Becken) mit zunehmender Beckengröße an. Durch Abwasserinhaltsstoffe, die die Oberflächenspannung des Wassers herabsetzen, können die Strömungsverhältnisse im Belebungsbecken mit Kreisellüftern negativ beeinflusst werden.

In vielen Anlagen finden man nach einigen Betriebsjahren direkt unter den Kreislern Löcher im Beton. Diese entstehen

aufgrund von Kavitationserscheinungen. Es empfiehlt sich daher stets unter dem Kreisel eine Stahlplatte anzuordnen.

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. Um die Belästigung durch Aerosole möglichst gering zu halten sollte die Belüfterbrücke im Bereich des Kreisels möglichst groß gestaltet werden und weit bis zur Wasseroberfläche herabreichen. In quadratischen Becken mit nur einem Kreisel kann es bei bestimmten Drehzahlen und Eintauchtiefen zu starken Wellenbewegungen im Becken kommen. Hierdurch entstehen für Motor und Getriebe große Belastungen. Abhilfe kann durch den Einbau von Bremskreuzen unter dem Kreisel und durch horizontale und senkrechte Bremstafeln geschaffen werden. Auch eine schwimmende Anordnung der Kreisel für die Belüftung von Abwasserteichen und Oberflächengewässern ist möglich.

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

5.3 Strahlbelüftung

Bei der Strahlbelüftung wird die Möglichkeit, Luft mittels Wasserstrahlen ins Wasser einzuschlagen, die auf die Flüssigkeitsoberfläche auftreffen genutzt. Durch einen entsprechenden Neigungswinkel des Wasserstrahles wird gleichzeitig eine Strömung im Belebungsbecken erreicht, wodurch das Absetzen von Belebtschlamm verhindert wird.

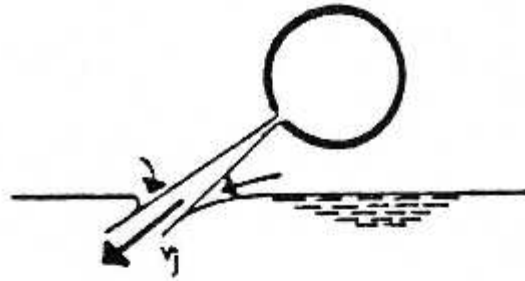


Abb.17: Strahlbelüftung

Als wichtigste Faktoren haben sich die spezifische Energie (kW pro m Rohr), die Auftreffgeschwindigkeit des Strahles auf die Oberfläche, die Fließgeschwindigkeit des Wassers im Becken und der elektrische bzw. hydraulische Wirkungsgrad erwiesen. Bei konstanter Fließgeschwindigkeit im Becken und konstantem elektrischem bzw. hydraulischem Wirkungsgrad ergibt sich für zunehmende spezifische Energie eine Abnahme im Sauerstofftrag. Eine Zunahme der Auftreffgeschwindigkeit ergibt ebenfalls geringere Sauerstoffträge. Die Auswertung umfangreichen Zahlenmaterials durch ZLOKARNIK 1980 mit Hilfe dimensionsloser Kennzahlen ergibt das gleiche Ergebnis wonach die Effizienz des Sauerstoffeintrages mit steigender Strahlleistung abnimmt. Die Wasserstrahlbelüftung kann vom energetischen Standpunkt aus nur dann interessant sein, wenn ein großer Flüssigkeitsdurchsatz bei geringem Δp zur Verfügung steht bzw. von der Pumpe aufgebracht wird. Diese Forderung macht allerdings wegen vieler notwendiger Bohrungen ein langes Rohrnetz notwendig, was im bezug auf die Investitionskosten und den Rohrleitungsdruckverlust ungünstig ist. Nach Angaben der Herstellerfirma sind unter günstigen Voraussetzungen im Reinwasser Sauerstoffträge bis $2,0 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$ zu erreichen (bei geringer Sauerstoffzufuhr pro m Belüfter). Außerdem ist eine Beeinträchtigung durch Abwasserinhaltsstoffe ebenso wie bei den anderen Oberflächenbelüftern gering wodurch der α -Wert mit ca. 0,9 angesetzt werden kann. Die Strahlbelüftung kann nur in Umlaufbecken eingesetzt werden. Es kommen Rund- oder Längsbecken zum

Einsatz. Die günstigste Wassertiefe liegt im Bereich zwischen 3 und 4 Metern.

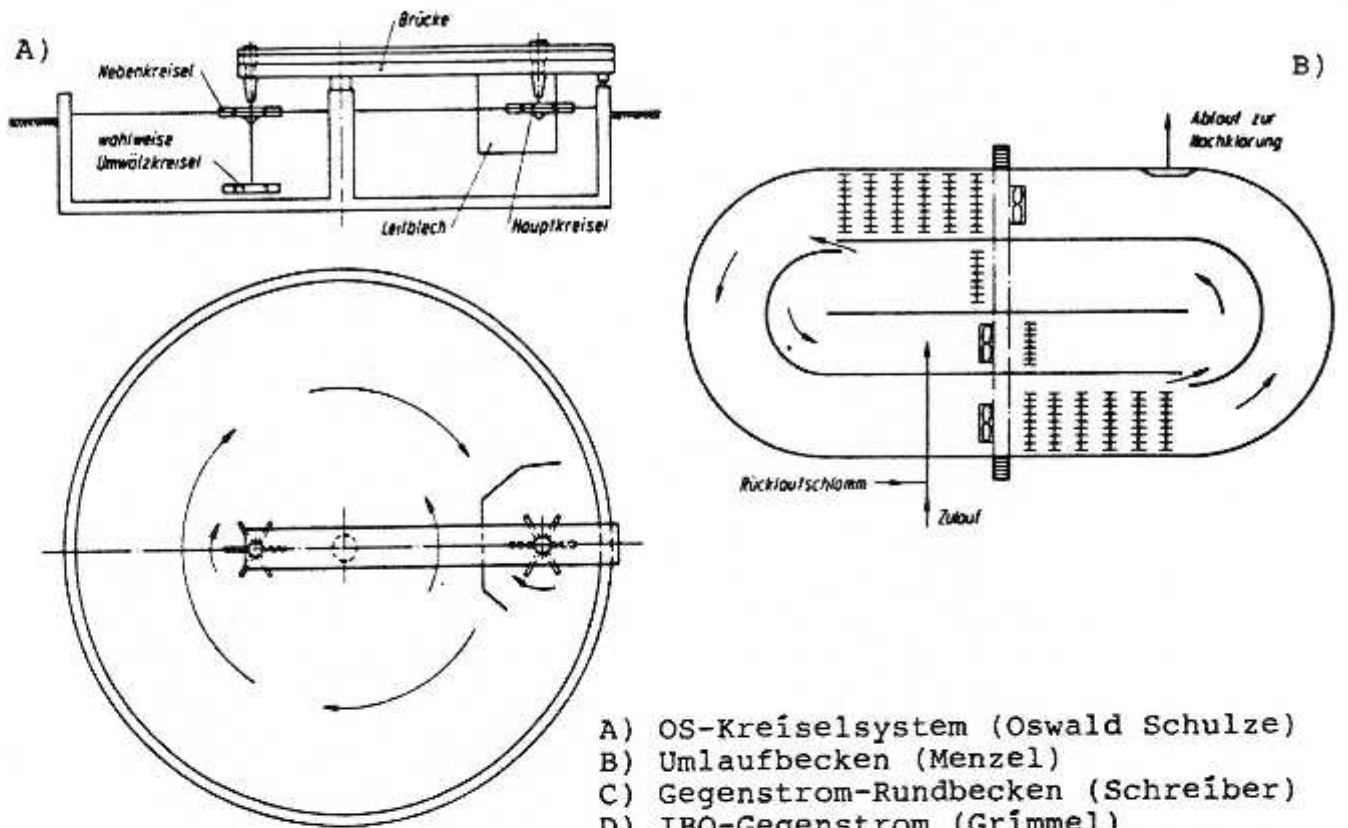
6. SONDERBAUFORMEN VON BELÜFTUNGSSYSTEMEN

Um den Sauerstoffeintrag von Belüftungssystemen zu steigern und um weitere betriebliche (Entfernung von Stickstoff- und Phosphorverbindungen) und kostenmäßige Vorteile zu erzielen, wurde eine Reihe von Sonderbauformen entwickelt. Zu diesen zählen Systeme die zum Teil mit vorher beschriebenen Belüftungseinrichtungen ausgerüstet sind, aber in Kombination oder in speziell geformten Becken zum Einsatz kommen. Daneben kommen getrennte Aggregate zur Umwälzung des Beckeninhaltes in Form von Propellern mit oder ohne Leitrohren zum Einsatz.

Ein weiterer Gedanke dieser Sonderbauformen ist der Einsatz von Sauerstoff anstatt Luft zur Begasung, dies bedingt spezielle Beckenformen um den Sauerstoff gut auszunutzen.

6.1 Systeme mit getrennter Umwälzung

Durch mechanische Umwälzeinrichtungen in Form von Rührern, Rohrpropellern oder Umwälzkreiseln wird im Rund- oder Umlaufbecken eine horizontale, in Rund- oder Rechteckbecken aber auch eine vertikale Umwälzströmung erzeugt. Für den Sauerstoffeintrag werden bei diesen Systemen zumeist feinblasige Belüfter eingesetzt, aber auch mechanische Belüfter an umlaufenden Brücken montiert und für die Abwasserumwälzung als auch für den Sauerstoffeintrag verwendet.



- A) OS-Kreiselsystem (Oswald Schulze)
- B) Umlaufbecken (Menzel)
- C) Gegenstrom-Rundbecken (Schreiber)
- D) IBO-Gegenstrom (Grimmel)
- E) OS-Kombi-System (Oswald Schulze)

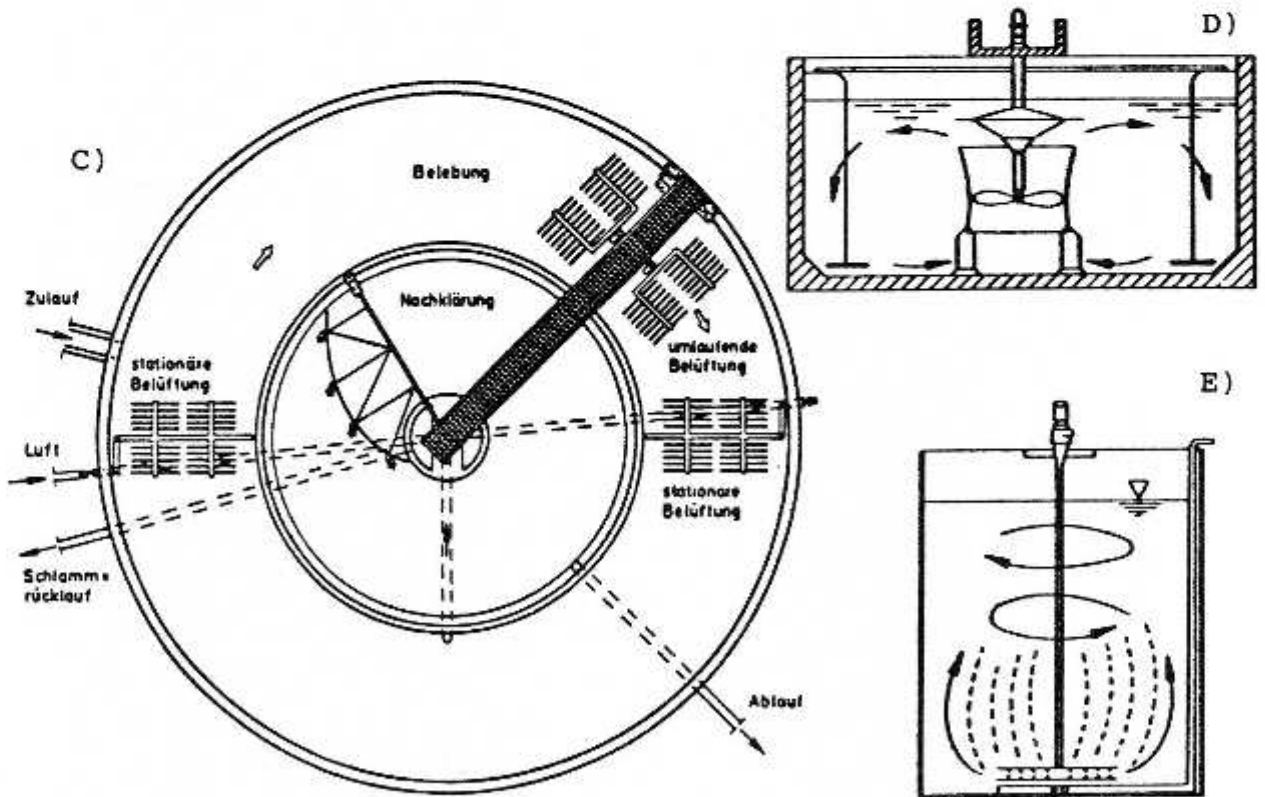


Abb.18: Systeme mit getrennter Umwälzung

In runden Belebungsbecken können auf der Umlaufbrücke für den Sauerstoffeintrag auch Kreiselbelüfter und für die Abwasserumwälzung zusätzlich Umwälzkreisel montiert werden, auch das Anbringen von feinblasigen Belüftern (Rohrbelüfter, Dome,...) ist möglich.

Der betriebstechnische Vorteil der vorgenannten Systeme besteht in der Trennung von Umwälzung und Belüftung, da Sauerstoffzufuhr und Umwälzung den jeweiligen betrieblichen Anforderungen entsprechend getrennt gesteuert werden können. Diese Systeme werden auch häufig als Gegenstrombelüfter bezeichnet, da die in das Wasser eingeblasene Luft nicht senkrecht aufsteigt, sondern durch eine horizontale oder vertikale umlaufende Wasserströmung abgelenkt wird.

6.2 Carrousel-System

Das Carrousel-System besteht aus einem Umlaufbecken in dem am Kopfende ein Kreiselbelüfter installiert ist.

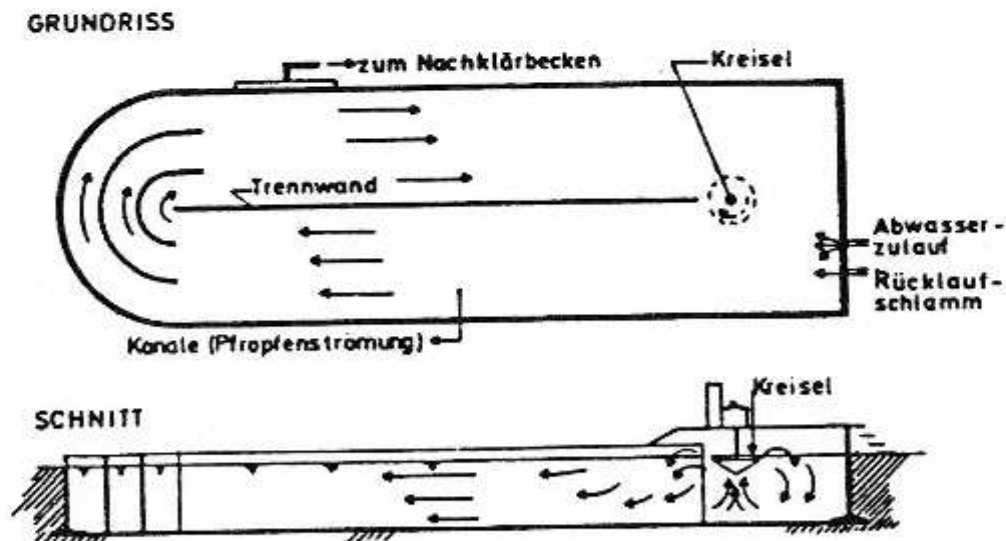


Abb.19: Carrousel-System

In der Kopfzone der Umlaufbecken bewirken die Kreiselbelüfter in Folge der dort hohen spezifischen Energiedichte einen günstigen Sauerstoffeintrag. Gleichzeitig wird durch den

Kreiselbelüfter eine Umwälzströmung erzeugt. In schlaufenförmigen Umlaufbecken können zur Energieeinsparung bei sinkender Belastung einzelne Belüfterkreisel abgestellt werden. Durch die kopfseitige Anordnung der Kreiselbelüfter genügt es, diesen Beckenbereich abzudecken, um Aerosol- und Eisbildung zu vermeiden.

6.3 Tiefstrombelüftungsverfahren

Der Belebungsraum besteht aus zwei senkrechten, konzentrischen Zylindern. Im inneren Zylinder wird das Abwasser heruntergeführt und steigt im äußeren Zylinderring wieder auf. Der zur biologischen Reinigung erforderliche Luftsauerstoff wird im inneren Fallrohr eingetragen. So lange die Zirkulationsgeschwindigkeit größer als die Steiggeschwindigkeit ist, wird die Luft zum Schachtboden mitgerissen. Für die Inbetriebnahme des Systems wird zuerst im Steigrohr Luft eingeblasen, bis die erforderliche Zirkulationsgeschwindigkeit erreicht wird. Dadurch, daß die Luftblasen nach unten gezogen werden, erhält man eine bedeutend größere Verweilzeit als der Einblastiefe entspricht.

Die Aufenthaltszeit der Luftblasen im Tiefschacht liegt bei etwa 3 Minuten gegenüber ca. 30 s bei einer konventionellen Druckbelüftung. Um eine vollständige Mischung von Abwasser und Luft zu erreichen sowie um den Sauerstoffübergang zu erhöhen, ist eine gute Turbulenz wichtig. In folge der Schachtbauweise bis zu 200 m Tiefe wird für das Belebungsbecken eine geringe Fläche benötigt. Kostengünstige Bauweisen setzen allerdings geeignete Bodenverhältnisse voraus.

Die Anzahl der im Betrieb befindlichen Tiefschachtanlagen ist sehr gering, es liegen daher auch nur wenige Ergebnisse über Sauerstoffzufuhreigenschaften vor. Die bekannten Werte liegen in Größenordnungen von 3 bis 4 kg Sauerstoff/kWh.

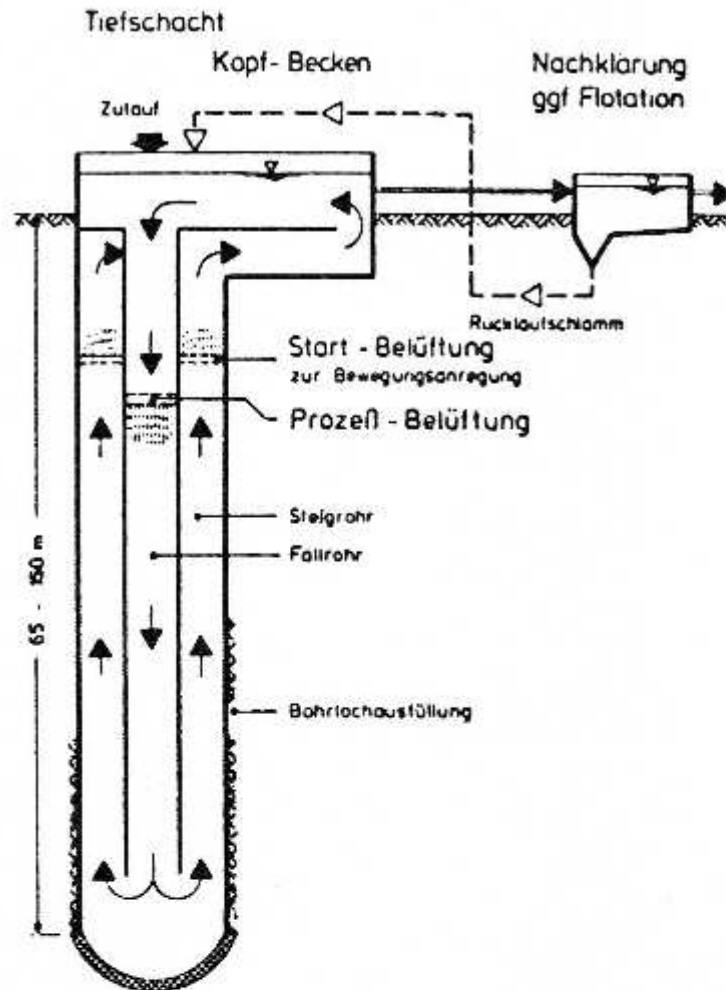


Abb.20: ICI-Tiefstrombelüftungsverfahren

6.4 Sauerstoffbegasung

Bei Anlagen die mit reinem Sauerstoff statt Luft begasen, können die gleichen Einrichtungen wie beim herkömmlichen Verfahren eingesetzt werden. Zur Steigerung der Sauerstoffausnutzung sind jedoch die Becken abzudecken und die Anlage in Kaskadenform auszubilden wodurch eine Verwendung des Abgases der 1. Kaskade in der 2. Kaskade zur Steigerung der Sauerstoffausnutzung möglich ist.

Nach dem Gesetz von Henry besteht eine direkte Abhängigkeit zwischen der Sättigungskonzentration des Sauerstoffs in der wässrigen Phase vom Partialdruck des Sauerstoffs in der Gas-

phase. Letzterer ist durch den Anteil des Sauerstoffs in der Gasphase, der in Luft bei rund 21 Vol% und in technischem Sauerstoff bei 90 bis 98 Vol% liegt, abhängig. Durch den höheren Partialdruck ist also eine höhere Sättigungskonzentration gegeben, die ihrerseits eine höhere Sauerstoffzufuhr ermöglicht. Diese wird genutzt um in Belebungsanlagen hohe Raumbelastungen zu ermöglichen und dabei eine ausreichende Sauerstoffversorgung sicherzustellen. Der Sauerstoffeintrag kann dem Sauerstoffbedarf gut angepaßt werden.

Da der Partialdruck bei reinem Sauerstoff gegenüber Luft theoretisch um den Faktor 4,8 höher liegt, lassen sich im Belebungsbecken mit ökonomisch vertretbarem Aufwand höhere Konzentrationen an gelöstem Sauerstoff einstellen.

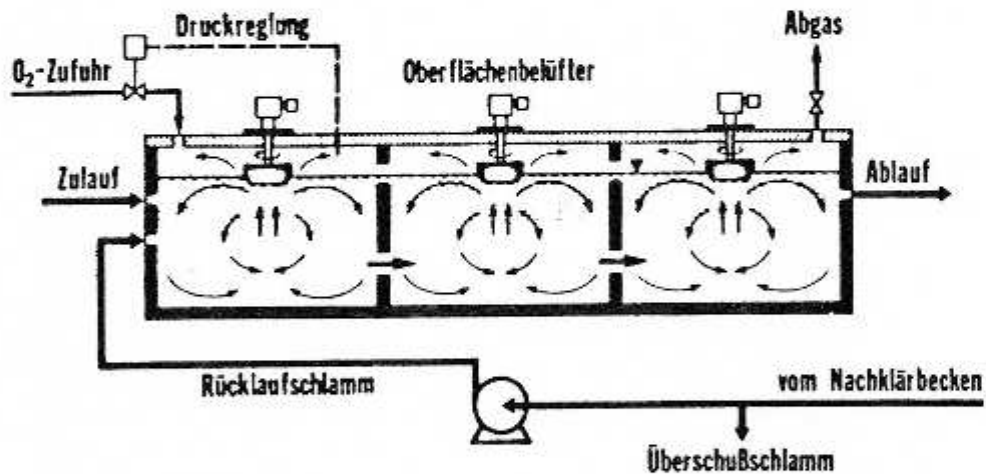


Abb. 21: Sauerstoffbegasungsanlage

Das jederzeit verfügbare hohe Sauerstoffangebot ermöglicht theoretisch eine Erhöhung der Schlammkonzentration im Belebungsbecken (Kapazität der Nachklärbecken?), ohne daß die Sauerstoffzufuhr zum begrenzenden Faktor wird. Daraus resultiert eine höhere Belastbarkeit und Abbauleistung je Raumeinheit. Außerdem bietet die Verwendung von Sauerstoff die

Möglichkeit die Sauerstoffzufuhr in einem weiten Bereich den Belastungsschwankungen anzupassen.

Durch den Einsatz von Sauerstoffbegasung ist in der Praxis eine Reduktion des Abgasstromes auf etwa 1 % der Abluftmenge bei Luftbegasung möglich. Durch die starke Reduktion der Abgasmenge gegenüber konventionellen Verfahren können Geruchsemissionen weitgehend vermieden werden, bzw. wird dadurch eine Abgasbehandlung wirtschaftlich vertretbar.

Der notwendige Sauerstoff kann entweder auf der Kläranlage selbst erzeugt oder flüssig- bzw. gasförmig angeliefert werden.

Die Wirtschaftlichkeit dieser Systeme ist von zwei Faktoren abhängig nämlich dem Energieaufwand für die Produktion des Sauerstoffs und dem Energieaufwand für das Eintragen des Sauerstoffs in das Belebtschlammabwassergemisch. Nach Untersuchungen auf Großanlagen (Denver, USA; Kishi-Sho-In, Japan) wird eine Effizienz von ca. 1,1 kgO₂/kWh erreicht. Dieser Wert deckt sich gut mit Angaben aus der Literatur (ATV 1985).

Die Begasung mit reinem Sauerstoff ist besonders für hochkonzentrierte organische Abwässer geeignet. Da die Abwasserreinigung in der Regel in einem geschlossenen System erfolgt, kann eine Beeinträchtigung der Umwelt durch Geruchsemissionen weitgehend verhindert werden. Falls erforderlich können die geringen Abgasmengen einer weiteren Behandlung zugeführt werden. Die Anwendung der Sauerstoffbegasung bietet sich daher besonders für Kläranlagen in dicht besiedelten Gebieten sowie bei Abwässern mit hohen Anteilen leicht flüchtiger, zu Geruchsemissionen führenden Inhaltsstoffen an.

Da die Anlagen zu Reinsauerstoffgewinnung relativ aufwendig sind, muß mit Ausfällen während des Betriebes gerechnet werden. Auch an das Bedienungspersonal werden höhere Ansprüche gestellt. Um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten, müssen

zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen vorgesehen werden.

Durch Belüftungszeiten von ein bis zwei Stunden wird nur eine BSB₅-Reduktion von ca. 90 % erreicht und es werden nur die leicht abbaubaren Stoffe entfernt. Um auch die schwerer abbaubaren Stoffe zu einem Großteil zu entfernen und einen kleinen Rest-COD sicherzustellen, ist auch bei der Reinsauerstoffbegasung eine Belüftungszeit von 3 bis 4 Stunden erforderlich.

Da die Belebungsbecken abgedeckt sind, sinkt der pH-Wert durch das sich bei der biologischen Reinigung bildende Kohlendioxyd ab (ca. pH=6,5) und behindert das Wachstum der nitrifizierenden Bakterien. Wenn Nitrifikation erreicht werden soll, muß entweder durch Zugabe von Chemikalien neutralisiert oder eine zweite Stufe mit konventioneller Belüftung nachgeschaltet werden.

7. AUSWAHLKRITERIEN UND EINSATZBEREICHE FÜR BELÜFTUNGSSYSTEME

Einer der begrenzenden Faktoren des Belebungsverfahrens ist die Sauerstoffzufuhr. Der Wahl des Belüftungssystems kommt daher für den Erfolg der Abwasserreinigung eine besondere Bedeutung zu. Bereits bei der **Ausarbeitung des Verfahrenskonzeptes** der Abwasserreinigungsanlage (entsprechend den Anforderungen der Immissionsrichtlinien) sind Möglichkeiten und Grenzen der Belüftungssysteme entsprechend den örtlichen Bedingungen zu berücksichtigen.

Aus dem Verfahrenskonzept ergeben sich **technische und wirtschaftliche Anforderungen** an das Belüftungssystem, welche mit den technischen und wirtschaftlichen **Eigenschaften** des Belüftungssystems in Einklang zu bringen sind. Andernfalls beeinflussen die Eigenschaften des Belüftungssystems das Verfahrenskonzept, sodaß hier Änderungen vorgenommen werden

müssen, bis eine Übereinstimmung hergestellt ist. Ausgangsbasis zur Wahl des Belüftungssystems sind Überlegungen, wie das vorgesehene Verfahrenskonzept am besten realisiert werden kann (v.d.EMDE 1980).

Optimale Lösungen für Belüftungssysteme und Belebungsanlagen sind in konstruktiver und betrieblicher Hinsicht nur durch zweckmäßige Zuordnung von Verfahrenskonzepten, Beckenform und Belüftungssystem zu erreichen. Der Grad der geforderten Abwasserreinigung und die Abwasserbeschaffenheit bestimmen die Verfahrenstechnik. Die daraus resultierenden betrieblichen Anforderungen führen zu ein- oder zweistufigen Anlagen oder zu Misch-, Durchlauf-, Kaskaden- oder Umlaufbecken. Diese verschiedenen Systeme bedingen wiederum unterschiedliche Sauerstoffeintragswerte und eine bestimmte Verteilung des Sauerstoffs im Belebungsbecken als auch Umwälz- und Mischverhältnisse.

Die Leistungsfähigkeit eines Belüftungssystems kann nur durch Berücksichtigung aller technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte beurteilt werden, die für den gesicherten Betrieb einer Belebungsanlage Voraussetzung sind.

Manche Abwässer aus Industriebetrieben neigen zu Blähschlammbildung. Durch ein vorgeschaltetes hoch belastetes Mischbecken (Selektor), aber auch durch die Zugabe von Chemikalien in das Belebungsbecken können die Schlammeneigenschaften verbessert werden. In der Literatur wird berichtet, daß bei einzelnen Industrieabwässern Oberflächenbelüfter mit einer starken Scherwirkung zu einem besser flockenden Schlamm führten als bei einer parallel dazu betriebene feinblasige Belüftung.

Die Menge und Schmutzfracht des zu behandelnden Abwasserstromes hat entscheidenden Einfluß auf die Größe der Anlage. Dabei ist es wesentlich, ob es sich um **kommunales** oder

industrielles Abwasser, bzw. um eine Mischung mit unterschiedlichsten Anteilen handelt. Die Anforderungen an kleine Anlagen für häusliches Abwasser, die nur stundenweise am Tag gewartet werden bzw. an Belüftungssysteme die auf Großanlagen oder Betriebsabwasserreinigungsanlagen im Einsatz sind, sind entsprechend unterschiedlich.

Je nach dem zur Verfügung stehenden Platz wird man Becken mit großer Oberfläche und geringer Tiefe bzw. Becken mit großer Tiefe und kleiner Oberfläche zu errichten suchen. Die Wahl der Beckentiefe hat eine wesentliche Rückwirkung auf das einzusetzende Belüftungssystem. Der wirtschaftlich optimale Bereich von Oberflächenbelüftern, z.B. Stabwalzen, liegt bei 2 - 4 m, wogegen bei statischen Belüftern und Injektorbelüftern erst bei Beckentiefen über 6 m wirtschaftlich gearbeitet werden kann. Untergrundverhältnisse wie die Bodenart, Höhe des Grundwasserspiegels und des Hochwasserspiegels beeinflussen maßgeblich die zu wählende Beckentiefe.

Aus energetischer Sicht ist der Sauerstofftrag in kgO_2/kWh bzw. kWh/BSB_5 ein Vergleichswert für die Wahl des Belüftungssystems. Daneben ist jedoch die Sauerstoffzufuhr in kgO_2/h ein sehr wesentlicher Wert. Das vorgesehene Belüftungssystem muß in jedem Falle unter Berücksichtigung der Abwasserseigenschaften, der Einsatzart und der Betriebsweise den gestellten Anforderungen an die Sauerstoffzufuhr und Abwasserumwälzung genügen.

Für die Wahl des Belüftungssystems sind die zu erwartenden Betriebsverhältnisse und der erforderliche Regelbereich zu ermitteln. Es ist dann zu prüfen, welches Belüftungssystem unter diesen Verhältnissen günstige Sauerstofftragswerte erbringt. Die hydraulischen Verhältnisse, die im Belebungsbecken durch das Belüftungssystem oder Systeme zur getrennten Umwälzung erreicht werden, sind ein weiteres wichtiges Auswahlkriterium. Umwälzung oder Durchströmung müssen

so hoch sein, daß belebter Schlamm, Biomasse, Substrate und Sauerstoff gleichmäßig vermischt und Schlammablagerungen an der Beckensohle verindert werden.

Im Hinblick auf die steigenden Ansprüche an den Umweltschutz ist bei der Wahl der Belüfter zu berücksichtigen, daß durch geeignete Maßnahmen **Aerosol-** als auch **Lärm-** und **Geruchs-**emissionen vermieden werden.

Wenn die verfahrenstechnischen Anforderungen erfüllt sind, bleibt die Frage der **Bewährung** des Belüftungssystems unter den gegebenen bzw. den zu erwartenden Betriebsverhältnissen. Die **Betriebssicherheit** und **Verfügbarkeit** des Belüftungssystems dürfen weder durch Abwasserinhaltsstoffe, betriebliche und klimatische Schwankungen und insbesondere nicht durch technisch unzureichende Ausrüstung und Materialwahl gefährdet werden. Von Bedeutung ist hierbei die Verstopfungsanfälligkeit bei Druckbelüftern und das Festsetzen von Faserstoffen an bewegte Teile von Oberflächenbelüftern. Ferner muß die Beständigkeit gegen mechanische und chemische Angriffe und nicht zuletzt die Betriebssicherheit und ein geringer Wartungsaufwand für die Belüfter, Gebläse, Getriebe und Motoren gegeben sein. Neben den zu erwartenden **Anschaffungskosten** und **Betriebskosten** des Belüftungssystems wird bei den heutigen Lohnkosten der Aufwand für zusätzliche **Wartungsarbeiten** bedeutend. So ist bei kleineren Anlagen der Aufwand für zusätzliche tägliche Wartungsarbeiten bedeutend höher als der durch den eventuell erhöhten Leistungsbedarf eines betriebssicheren Belüftungssystems mit geringerem Sauerstofftrag. Betriebssicherheit muß besonders auf kleineren Kläranlagen daher Vorrang haben.

Wichtig ist, daß der Sauerstofftrag bei einer Reihe von Belüftungssystemen keine konstante Größe ist, sondern von der Energiedichte abhängt. Die Energiedichte wird von der Auslastung der Anlage beeinflusst, aber auch von den täg-

lichen und saisonbedingten Schwankungen der Sauerstoffzufuhr.

Ein echter **Kostenvergleich** verschiedener Belüftungssysteme ist nur über die **Jahreskosten** (Kapitalkosten und Betriebskosten) der gesamten Abwasserreinigungsanlage möglich. An den gesamten Jahreskosten einer Belebungsanlage macht der Kapitaldienst für die maschinelle Einrichtung des Belebungsbeckens nur etwa 5 % aus. Wesentlich größer ist der Einfluß der Energiekosten, die in der Größenordnung von etwa 15 % der Gesamtjahreskosten liegen. Die Energiekosten werden durch den Sauerstofftrag des Belüftungssystems unter Betriebsbedingungen und der Möglichkeit, die Sauerstoffzufuhr an den Sauerstoffverbrauch anzupassen, bestimmt. Es ist daher zweckmäßig, den Sauerstofftrag und die Steuerungsmöglichkeit stärker bei der Wahl des Belüftungssystems zu berücksichtigen. Eine alleinige Betrachtung der Anschaffungskosten als Entscheidungskriterium für die Auswahl eines Belüftungssystems ist daher nicht zielführend.

8. LITERATUR

- ATV: Anwendung der Sauerstoffbegasung beim Belebungsverfahren, Arbeitsbericht des ATV-FA 2.6.2, Heft 12 (1985)
- DANCKWERTS P.V.: Gas-Liquid Reactions, 1970, McGraw-Hill Book Company, New York/London/Düsseldorf
- v.d.EMDE W.: Entscheidungskriterien bei der Wahl von Belüftungssystemen, Fortbildungskurs "Biologische Abwasserreinigung", (1980), TU-Wien
- HABERL R.: Persönliche Mitteilung
- HIGBIE R.: The rate of absorption of pure gas into a still liquid during short periods of exposure, Trans.Amer.Instn.Chem. Engrs. 31 (1935), 365-89
- LEWIS W.K., WHITEMAN W.G.: Principles of gas absorption,

Ind.Engng.Cem. 16 (1924) 12, 1215-20

SCHWAGER A., GUJER W.: pH Berechnung beim Belebtschlammverfahren und Auswirkungen des pH Wertes auf die Nitrifikation, EAWAG Verbandsbericht 348, VSA-Tagung 8.5.87

STALZER W.F., FLECKSEDER H.: Strömungsverhältnisse, Energieaufnahme und Sauerstoffzufuhr in langgestreckten Umlaufbecken am Beispiel der Kläranlage Wien-Blumental, Österr. Abwasser Rundschau, 1975, 82-89

ZLOKARNIK M.: Verfahrenstechnik, 13, (1979), 7/8, 601-604

ZLOKARNIK M.: Eignung und Leistungsfähigkeit von Oberflächenbelüftern für biologischen Abwasserreinigungsanlagen, Korresp.Abwasser 27 (1980), 14-21

ZLOKARNIK M.: Koaleszenzphänomene im System gasförmig/flüssig und deren Einfluß auf den O₂-Eintrag bei der biologischen Abwasserreinigung, Korresp.Abwasser 27 (1980), 728-734

FREY Wilhelm Dipl.Ing.

Institut für Wassergüte und Landschaftswasserbau

Technische Universität Wien

Karlsplatz 13

A-1040 Wien