

Voordracht uit de 11de vakantiecursus in de behandeling van afvalwater 'Beluchting', die op 22 en 23 april 1976 werd gehouden aan de TH Delft.

In den letzten zehn Jahren sind mechanische Belüfter für die Belüftung von Flüssen, Seen und Abwasserteichen und für den Sauerstoffeintrag in Belebungsanlagen in verstärktem Umfang eingesetzt worden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass dieser Belüftertyp im Vergleich zu anderen Systemen kostengünstig hinsichtlich der Gesamtbaukosten ist und dass durch neue, verbesserte Belüftertypen die betrieblichen Anforderungen an den Sauerstoffeintrag, die Wasserumwälzung und die Vermischung des Sauerstoffes, der Biomasse, der Sub-

mechanischen Belüftern auftreten können und Hinweise und Vorschläge zur Vermeidung solcher Schwierigkeiten geben.

Nach der Konstruktionsart und der Wirkungsweise können wir im wesentlichen zwei Systeme von mechanischen Belüftern unterscheiden, die wir Walzenbelüfter und Kreiselbelüfter nennen. Zu den Walzenbelüftern zählen die Bürstenbelüfter, Stabwalzen und Mammutrotoren, bei denen auf einer horizontalen Achse befestigte Bürsten oder Stahlstäbe durch Rotation immer wieder an der Oberfläche in das Wasser einschlagen, wodurch vor allem durch Saugwirbel hinter den Belüfterelementen ein stark turbulent bewegtes Luftblasen-Wassergemisch entsteht. Gleichzeitig wird durch die mechanische Einwirkung auf das Wasser eine Strömung erzeugt und das Wasser umgewälzt.

Im Gegensatz zu den Walzenbelüftern rotieren die Kreiselbelüfter um eine vertikale Achse. Zu den Kreiselbelüftern zählen auch die Sprühstrahlbelüfter als schnelllaufende Propellerpumpen und die Tauchbelüfter. Die verschiedenen Konstruktionen der Kreiselbelüfter haben als gemeinsames Prinzip die zentralsymmetrische Umwälzung, wobei das Wasser zumeist in Beckenmitte von unten angesogen und radial über die Oberfläche ausgeworfen wird. Bei allen Kreiselbelüftertypen erfolgt der Sauerstoffeintrag dabei primär in der durch den Kreisel erzeugten Turbulenzzone an der Oberfläche. Hier sind durch den direkten Kontakt zwischen Wasser und Luft bei ständiger Erneuerung der Grenzflächen zwischen Luftblasen und Wasser infolge der Turbulenz günstige Voraussetzungen für einen intensiven Sauerstoffeintrag gegeben.

Die Kreiselbelüfter erzeugen gleichzeitig Umwälzströmungen, durch die eingeschlagene Luftblasen sich im Wasser verteilen und vornehmlich durch die an der Beckenwand auftretenden, vertikal zur Sohle gerichteten Strömungen in tiefere Schichten eingetragen werden. Hierdurch wird bei Kreiselbelüftern ein zusätzlicher Sauerstoffeintrag bewirkt, der von der Menge, Grösse und Verweilzeit der in das Wasser eingeschlagenen Luftblasen abhängig ist.

Die verschiedenen Typen der auf dem Markt befindlichen mechanischen Belüfter (Bild 1), ihre Konstruktion und ihre Wirkungsweise sind heute hinreichend bekannt, so dass sie im einzelnen nicht beschrieben zu werden brauchen. Wichtiger erscheint es mir, auf einige technische Schwierigkeiten hinzuweisen, die zumeist durch unzureichende Beachtung und Kenntnis der beim Betrieb vorliegenden Belastungen auftreten. Schon bei normalem Betrieb werden durch die mechanische Einwirkung des Kreiselbelüfters auf die Wassermasse ständig starke Schwingungen und Stöße auf die Lager und das Getriebe des Antriebsaggregates übertragen. Für deren Auslegung sollte daher der Sicherheitsfaktor von etwa 2,0 gewählt werden. Dies wird bei der Ausschreibung von mechanischen Belüftern zu wenig beachtet und hat auf vielen Anlagen schon nach wenigen Monaten Betriebszeit zu erheblichen mechanischen Störungen an den Getrieben geführt.

Nicht hinreichend bekannt ist ferner, dass bei den meisten Kreiselbelüftern beim Betrieb eine beachtliche vertikale Auftriebskraft wirksam wird, die pro kW-Leistung des Kreisels einen vertikalen Axialschub von 10 bis 20 Kilopond nach oben erzeugt, der von den Getriebelagern



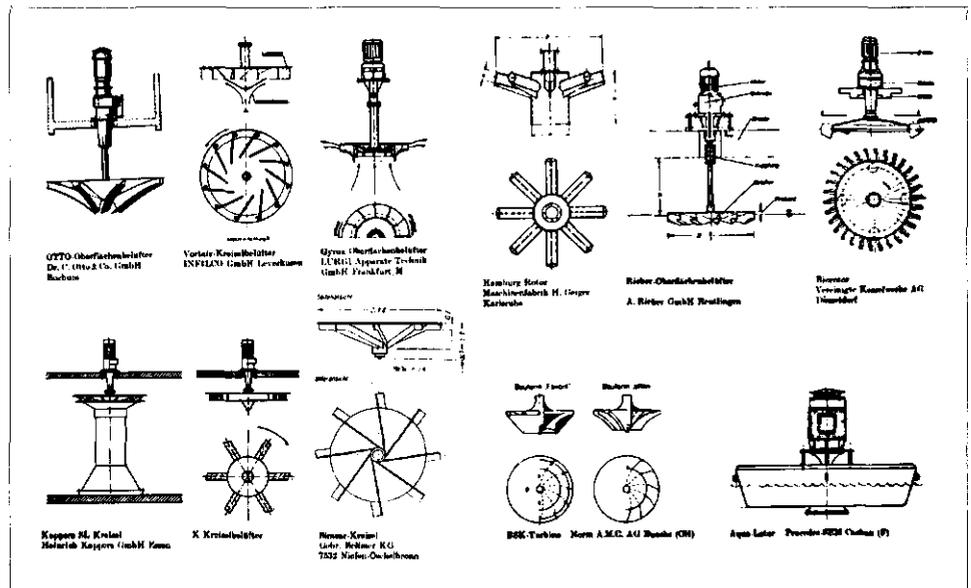
DR.-ING. K. H. KALBSKOPF
Emschergenossenschaft,
Essen

strate und des Abwassers auch bei schwierigen Betriebsverhältnissen erfüllt werden können. Für die verschiedenen Einsatzarten stehen dem Ingenieur heute zahlreiche Typen von mechanischen Belüftern mit unterschiedlichen Konstruktionsmerkmalen zur Verfügung. Durch fachgerechte Wahl hat er dafür zu sorgen, dass mit dem eingesetzten System ein sicherer und wirtschaftlicher Betrieb durchgeführt werden kann. Hierbei kann er zum Teil auf ausführliche Prospekte und technische Anweisungen der Herstellerfirmen als auch auf viele Veröffentlichungen in der Fachliteratur [1, 2, 3] zurückgreifen.

Wenn beim Betrieb von mechanischen Belüftern immer noch Schwierigkeiten auftreten, ist das im wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die Herstellerfirmen ihre negativen Erfahrungen selten veröffentlichten, aus Gründen des Wettbewerbes oft billige Getriebe und Belüftertypen angeboten werden, die Eigenschaften der zu behandelnden Abwässer nicht ausreichend untersucht werden, die Art der Vorbehandlung des Abwassers nicht bekannt ist, die Betriebsbedingungen ungenau beschrieben und die Auswirkungen des Einsatzes von Kreiselbelüftern auf die Umwelt nicht beachtet werden.

Im Folgenden möchte ich daher nur kurz auf die grundsätzlichen konstruktiven Unterschiede bei den verschiedenen mechanischen Belüftungssystemen hinweisen, vor allem aber die praktischen Aspekte herausstellen, die der Ingenieur bei der Entwurfsaufstellung und beim Betrieb von Belebungsanlagen mit mechanischen Belüftern zu beachten hat. Ferner möchte ich einige Betriebsprobleme erläutern, die bei nicht fachgerechtem Einsatz von

Bild 1 - Verschiedene Typen von Kreiselbelüftern.



aufgenommen werden muss. Wenn somit bei einem Kreislaufbelüfter mit einer Leistung von 50 kW eine Axialkraft nach oben von mehr als einer Tonne auftritt, ist es sicherlich wichtig, diese bei der Auslegung des Getriebes zu berücksichtigen. Erkennbar ist diese Auftriebskraft bei schwimmenden Kreislaufbelüftern, bei denen Schwimmer sich im Betrieb um einige Zentimeter im Wasser anheben. Die Belüfterkreisel selbst werden vorwiegend aus Stahl gefertigt. Bei einer Materialstärke von über 5 mm ist bei einem guten Korrosionsschutzanstrich eine Lebensdauer von mehr als 10 Jahren meistens gesichert. Bei besonders aggressiven Abwässern bieten Belüfterkreisel aus Kunststoff eine höhere Sicherheit. Bei der Fertigung der Kreislaufbelüfter ist eine ausreichende Massgenauigkeit zu fordern. Eine statische Auswuchtung mit Hilfe einer leicht drehbaren horizontalen Achse genügt zur Ueberprüfung auf Unwucht. Unter Betriebsbedingungen muss nachträglich immer mit einer gewissen Unwucht gerechnet werden, die durch Wellenschlag im Belüftungsbecken, durch Eisbildung und häufiger durch Verstopfungen und Behang des Kreislaufbelüfters entstehen. Durch Rechenanlagen sind Lumpen und Faserstoffe daher möglichst dem Belüftungsbecken fernzuhalten. Eine zusätzliche Hilfsmassnahme können Anschwemmrechen darstellen, die im Belüftungsbecken solche Stoffe auffangen und von denen sie entfernt werden können. Sicherer ist in jedem Falle eine gute Vorbehandlung des Abwassers, um Faserstoffe sicher zu entfernen. Sind solche Betriebsverhältnisse zu erwarten, sind bei der Wahl des Kreislaufbetyps solche zu bevorzugen, die aufgrund ihrer Konstruktionsmerkmale nicht zu Verstopfungen neigen. Da bei allen mechanischen Belüftern starke dynamische Stossbelastungen auftreten, sollte heute die sichere Auslegung von Lagern und Zahnrädern bei Getrieben eine Selbstverständlichkeit sein. Viele Anlagen mit Walzenbelüftern und Kreislaufbelüftern zeigen, dass technisch sichere Konstruktionen letztlich auch in wirtschaftlicher Hinsicht die günstigsten sind. Ausser den normalen Kontrollen hinsichtlich des Ölstandes der Getriebe und der Schmierung der Lager ist dann meist kein grösserer Wartungsaufwand erforderlich.

Im Hinblick auf einen sicheren und wirtschaftlichen Betrieb ist die wichtigste Forderung an mechanische Belüfter ein ausreichender Sauerstoffeintrag und die Möglichkeit, den Sauerstoffeintrag entsprechend dem Sauerstoffbedarf steuern zu können. Da der Sauerstoffeintrag sich aus der Leistungsaufnahme des Kreislaufbelüfters in kW und seiner spezifischen Eintrags-

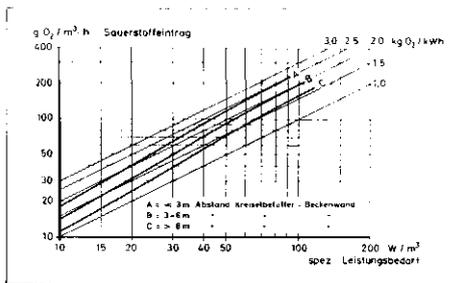
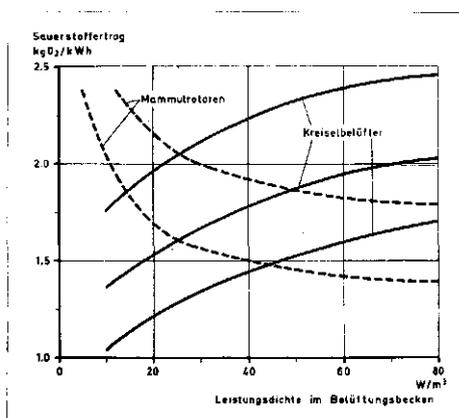


Bild 2 - Sauerstoffeintragsleistung von Kreislaufbelüftern.

leistung in $\text{kg O}_2/\text{kWh}$ ergibt, ist die Kenntnis dieser Grössen von den Betriebsbedingungen von besonderer Bedeutung. Bei Walzen- und Kreislaufbelüftern liegt der Sauerstoffeintrag unter Betriebsbedingungen vorzugsweise in der Grössenordnung von 1,4 bis 1,8 $\text{kg O}_2/\text{kWh}$. Bei bestimmten Voraussetzungen können günstigere Ergebnisse bis über 2 $\text{kg O}_2/\text{kWh}$ erzielt werden. Häufig ergeben sich jedoch auch sehr niedrige Ertragswerte von 0,8 bis 1,2 $\text{kg O}_2/\text{kWh}$. Dies ist dadurch bedingt, dass der Sauerstoffeintragswert nicht allein vom Belüftungssystem, sondern zusätzlich von Form und Grösse der Belebungsbecken, von den Abwassereigenschaften und von den Betriebsverhältnissen abhängig ist. Eine Prüfung des Belüftungssystems kann daher nur im technischen Massstab und unter betriebsähnlichen Bedingungen erfolgen. Bei der Bemessung von Anlagen sollte in jedem Falle hinsichtlich der zu erwartenden Grössenordnung des Sauerstoffeintragswertes eine Orientierung aufgrund der Betriebsergebnisse bestehender Anlagen erfolgen, die heute in ausreichender Anzahl zur Verfügung stehen. Bei Einsatz von Kreislaufbelüftern in Belebungsbecken geben die auf Bild 2 dargestellten Abhängigkeiten der Sauerstoffeintragsleistung von der Leistungsdichte und der Breite des Belüftungsbeckens einen Anhalt. Bei gleicher Leistung eines Kreislaufbelüfters nimmt mit zunehmenden Abstand zwischen Kreis-

Bild 3 - Tendenz des Sauerstoffeintrags in Abhängigkeit von der Leistungsdichte.



belüfter und Beckenwand der Sauerstoffeintragswert ab. Das ist dadurch bedingt, dass die im Turbulenzbereich des Belüfterkreisels in das Wasser eingeschlagenen Luftblasen mit zunehmender Fließstrecke zur Beckenwand aus dem Wasser entweichen und damit nur geringe Luftmengen bei der Umlenkung der Strömung an der Beckenwand in tiefere Schichten des Wasserkörpers gelangen. Eine ähnliche Abnahme des Sauerstoffeintragswertes musste auch bei Tauchbelüftern festgestellt werden. Mit zunehmenden Beckenvolumen und damit abnehmender Energiedichte verminderten sich die von der Lieferfirma angegebenen Sauerstoffeinträge von etwa 2 $\text{kg O}_2/\text{kWh}$ je nach Breite und Tiefe des Belüftungsbeckens auf 0,8 bis 1,2 $\text{kg O}_2/\text{kWh}$. Diese Ergebnisse zeigen, dass zur Erzielung optimaler Sauerstoffeintragswerte den mechanischen Belüftern bestimmte Beckenformen und Beckenvolumen zugeordnet werden müssen. Während bei Kreislaufbelüftern im allgemeinen der Sauerstoffeintrag in $\text{kg O}_2/\text{kWh}$ mit zunehmender Leistungsdichte in W/m^3 im Belüftungsbecken ansteigt, ist bei Mammutrotoren eine Abnahme des Sauerstoffeintrags festzustellen. Tendenzmässig werden diese Abhängigkeiten auf dem Bild 3 dargestellt.

Der Kurvenverlauf der Sauerstoffeintragswerte in Abhängigkeit von der Leistungsdichte lässt erkennen, dass der optimale Einsatz für Kreislaufbelüfter damit im Bereich hoher Belastung und entsprechend hohen Sauerstoffbedarfs liegt, während Mammutrotoren im Umlaufbecken mit üblicherweise geringerer Belastung und damit geringerer Leistungsdichte ihr betriebliches Optimum haben.

Dass andererseits auch im Umlaufbecken bei niedriger Leistungsdichte, bezogen auf das Gesamtvolumen, mit Kreislaufbelüftern günstige Sauerstoffeintragswerte erzielt werden können, zeigt das technische Konzept der Carrouselanlagen [4], bei denen dem Belüfterkreisel ein dreiseitig begrenzter Beckenraum mit kurzen Fließwegen vom Kreislauf zur Beckenwand zugeordnet werden, wodurch wiederum die Voraussetzungen für eine hohe Sauerstoffeintragsleistung erfüllt sind.

Ausser durch Form und Grösse des Belüftungsbeckens wird der Sauerstoffeintrag auch von den Inhaltstoffen und dem Schlammgehalt des Abwassers beeinflusst. Ferner ist zu berücksichtigen, dass die Leistungsaufnahme des Kreislaufbelüfters nicht nur von seiner Konstruktion, dem Durchmesser, der Eintauchtiefe und der Drehzahl, sondern gleichfalls von den hydraulischen Verhältnissen im Becken abhängig ist. Mit dem gleichen Kreis-

belüftertyp können bei gleichen Betriebsbedingungen im Becken unterschiedlicher Form und Grösse und mit verschiedenen Einbauten im Becken dadurch sehr unterschiedliche Stromaufnahmen erreicht werden, wie die Bilder 4 und 5 zeigen. Auch eine gegenseitige Beeinflussung der Kreislaufbelüfter bei Einsatz mehrerer Einheiten in einem Becken ist festzustellen, wie Bild 6 zeigt. Durch Variation der Drehrichtung des mittleren Belüfterkreises konnte bei gleicher Drehrichtung und Drehzahl aller drei Belüfterkreise nicht nur die Leistung vergleichmässigt, sondern auch die zuvor beträchtlichen Leistungsschwankungen in eine zulässige Grössenordnung reduziert werden. Dieses Beispiel zeigt einmal mehr, dass genaue Angaben über die Leistungsaufnahme und damit über den Sauerstoffeintrag eines mechanischen Belüfters in einem Becken bestimmter Form und Grösse nur möglich sind, wenn die Auswirkungen der verschiedenen Einflussparameter bekannt sind und der Sauerstoffeintrag auch in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe und der Drehzahl und Drehrichtung des Belüfters angegeben werden kann.

Für die Auslegung der Einrichtungen zur Steuerung des Sauerstoffeintrages nach dem Sauerstoffbedarf im Belebungsbecken ist diese Kenntnis eine wichtige Voraussetzung. Oft können Belebungsanlagen nicht wirtschaftlich oder sicher betrieben werden, weil der Regelbereich der Kreislaufbelüfter bei der Planung der Anlage falsch eingeschätzt worden ist. Beim Betrieb von Belebungsanlagen zeigt es sich immer wieder, dass mehr Kosten durch eine gute Regelung des Sauerstoffeintrages entsprechend dem Sauerstoffbedarf eingespart werden können als durch Einsatz eines Belüftungssystems mit einem etwas höheren Sauerstoffertragswert. Die auf dem Markt befindlichen Sauerstoffmessgeräte haben sich auch bei kontinuierlichem Einsatz in Belebungsbecken bei ausreichender Wartung als so betriebssicher erwiesen, dass sie für die Steuerung des Sauerstoffeintrages von Belüftungssystemen generell eingesetzt werden sollten. Die einfachste Regelmöglichkeit des Sauerstoffeintrages besteht bei mechanischen Belüftungssystemen durch Variation der Drehzahl oder der Eintauchtiefe mit Hilfe einer Wehrklappe oder durch Höhenverstellung der Drehachse bei Kreislaufbelüftern. Eine kontinuierliche Regelung der Drehzahl bei Kreislaufbelüftern durch Einsatz von Thyristor-gesteuerten Gleichstrommotoren oder gar durch Einsatz von Hydraulik-Motoren ist möglich. Solche Systeme sind jedoch teuer und auch betrieblich anfälliger. Die Reduktion des Sauerstoffeintrages durch Abschalten einzelner Belüfteraggregate ist bei Einsatz von

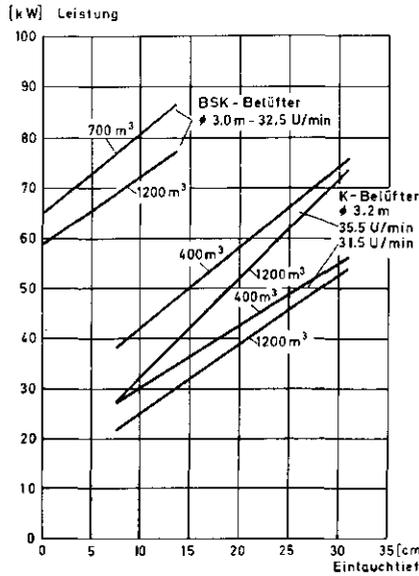


Bild 4 - Leistung von Kreislaufbelüftern in Becken verschiedener Grössen.

Bild 5 - Einfluss von Einbauten auf die Leistung der BSK Turbine.

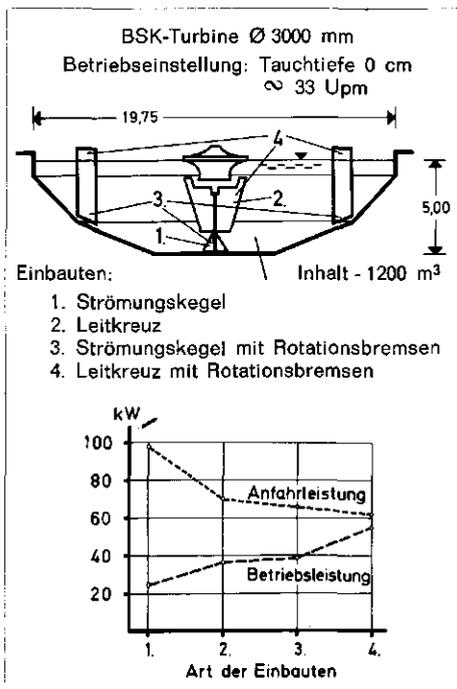
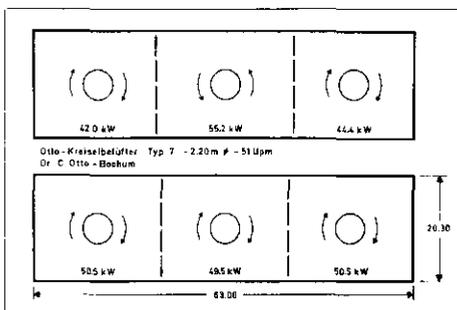


Bild 6 - Einfluss der Drehrichtung auf die Leistungsaufnahme von Kreislaufbelüftern.



Mammutrotorenbelüftern im Umlaufbecken üblich und wird auch beim Carrouselssystem praktiziert. In solchem Umlaufbecken können somit durch die Kontrolle des Sauerstoffeintrages der Belüfteraggregate sauerstoffhaltige und sauerstofffreie Zonen hintereinander eingestellt werden, wodurch die verfahrenstechnischen Voraussetzungen einer gleichzeitigen Nitrifikation als auch Denitrifikation gegeben sind. Untersuchungen in beiden Systemen haben diese bestätigt. Bild 7 zeigt die Sauerstoffverteilung und die Isotachen bei Betrieb der Mammutrotoren 1, 3 und 5 bei 20 cm Eintauchtiefe auf der Kläranlage Wien-Blumental [5]. Gleichzeitig ist jedoch auch zu erkennen, dass die Strömungsgeschwindigkeiten an der Beckensohle kritische Werte erreichen können, bei denen Schlammablagerungen möglich sind. Ein Abfall der Strömungsgeschwindigkeit bei reduzierter Sauerstoffeintragsleistung ist ebenso beim Carrouselssystem festzustellen [4]. Im allgemeinen treten durch solche Ablagerungen keine Auswirkungen auf die Reinigungsleistung auf, sofern nicht das Beckenvolumen durch die Schlammablagerungen erheblich reduziert wird. Besonders bei Umlaufbecken sollte daher auf ausreichend bemessene Sandfänge oder eine Grobschlammung nicht verzichtet werden. Ein kurzer Hinweis auf die Theorie der Schwebstoffverteilung in horizontal durchströmten Kanälen genügt, um klarzustellen, dass mit zunehmender Sinkgeschwindigkeit der transportierten Feststoffe und abnehmender Strömungsgeschwindigkeit und damit abnehmender Schubspannungsgeschwindigkeit der Strömung Ablagerungen nicht zu vermeiden sind. Die in Bild 8 dargestellte Schwebstoffverteilung von diesen Grössen [6] zeigt, dass bei leichten belebten Schlämmen eher eine gleichmässige Verteilung über die Wassertiefe erreicht werden kann als bei schweren Feststoffen, die im hohen Masse in den Sohlbereichen absinken und sich dort leicht absetzen können. Auch den hydraulischen Verhältnissen in Belüftungsbecken mit mechanischen Belüftern ist daher besondere Aufmerksamkeit zu schenken, da bei unzureichender Strömungsgeschwindigkeit betriebliche Schwierigkeiten nicht auszuschliessen sind. Im allgemeinen treten bei schweren Schlämmen bei Strömungsgeschwindigkeiten an der Beckensohle unter 30 cm/s Ablagerungen auf, während solche bei leichten Schlämmen erst bei Strömungsgeschwindigkeiten unter 15 cm/s zu erwarten sind. Einen guten Anhalt über die erforderlichen Leistungen für Kreislaufbelüfter zur Erzielung ausreichender Strömungsgeschwindigkeiten an der Beckensohle in Abhängigkeit von der Grösse und Form des Beckens gibt Bild 9. Es zeigt sich, dass besonders kleine

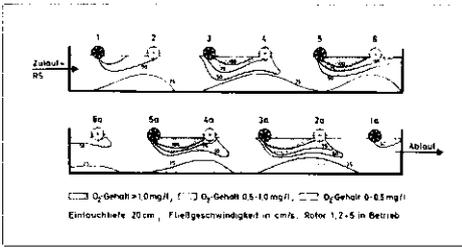


Bild 7 - Sauerstoffgehalt und Isotachen im Umlaufgraben, nach Stalzer u. Fleckeder [5].

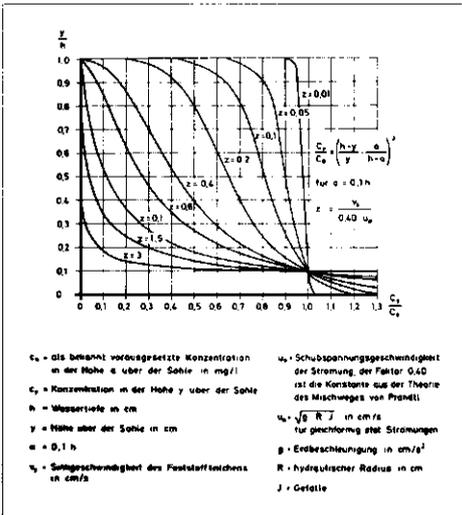
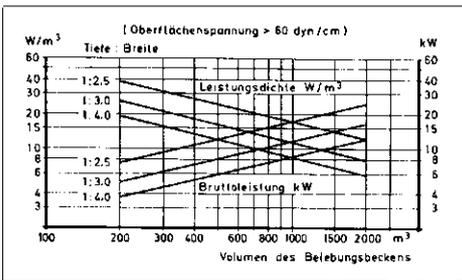


Bild 8 - Schwebstoffverteilung über die Wassertiefe h in Abhängigkeit vom Exponenten z nach Dillo [6].

Bild 9 - Erforderliche Leistungen für ausreichende Umwälzung in Belebungsbecken.



und tiefe Becken gefährdet sind. Dies gilt besonders dann, wenn Abwasser mit Sand und schwerem Schlamm in das Belüftungsbecken eingeleitet wird. Schwierigkeiten ergeben sich auch mit niedrigen Oberflächenspannungen des Wassers unter 50 dyn/cm, bedingt durch höhere Detergentiengehalte [7]. In solchen Fällen fallen die Strömungsgeschwindigkeiten schnell unter 15 cm/s ab, wie Bild 10 zeigt. Der Einsatz von Kreislaufbelüftern üblicher Bauart ist dann nicht mehr möglich und auch bei Walzenbelüftern treten betriebliche Schwierigkeiten auf, wenn nicht bestimmte technische Voraussetzungen erfüllt sind. Üblicherweise werden beim Betrieb mechanischer Belüfter in Belebungsbecken jedoch gleichmäßige Umwälzströmungen

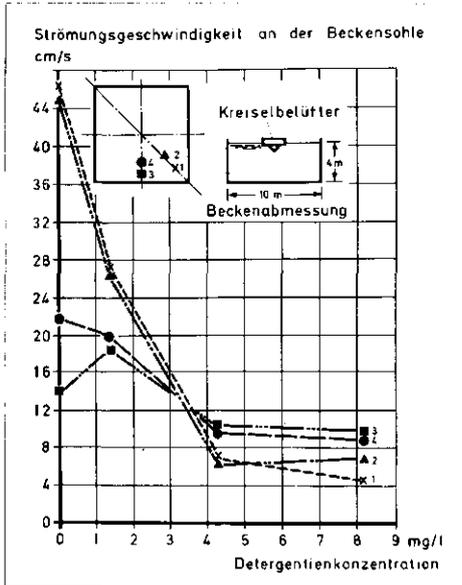
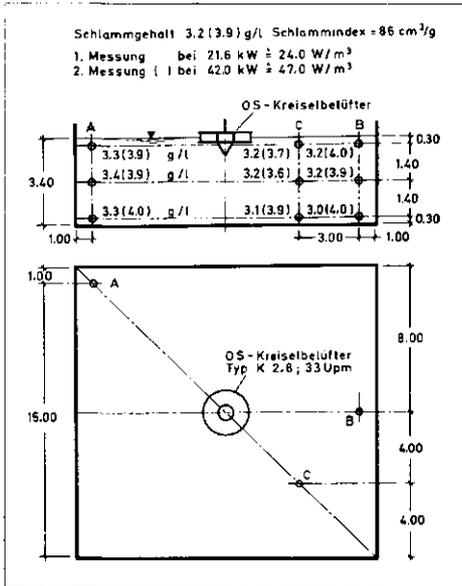


Bild 10 - Einfluss von Detergentien auf die Sohlgeschwindigkeit im Belüftungsbecken.

Bild 11 - Feststoffverteilung im Belebungsbecken.



erzeugt, die eine hinreichende Verteilung des eingetragenen Sauerstoffes, der Substrate und der Biomasse bewirken. Während eine gleichmäßige Sauerstoffverteilung nach Eckenfelder [8] schon bei einer Leistungsdichte von 1,2 bis 2 W/m³ erreicht werden kann, liegt die erforderliche Leistungsdichte für die Verteilung des belebten Schlammes nach allgemeinen Erfahrungen zumindest um eine Zehnerpotenz höher. Bei den üblichen, für eine ausreichende Sauerstoffversorgung erforderlichen Leistungsdichten von 20 bis 50 W/m³, ist in richtig bemessenen Belebungsbecken mit Kreislaufbelüftern eine recht gleichmäßige Verteilung der Biomasse sichergestellt, wie Bild 11 zeigt. Wenn ein Kreislaufbelüfter nur als Umwälzsystem eingesetzt

wird, ist eine ausreichende Durchmischung des Beckeninhaltes bei niedriger Drehzahl, je nach Form und Grösse des Beckens, schon bei Leistungsdichten von 3 bis 6 W/m³ zu erreichen. Durch Kombination von Beckeneinheiten mit Kreislaufbelüftern, die sowohl für den Sauerstoffeintrag als auch bei niedriger Drehzahl nur für die Wasserrückführung ausgelegt sind, können somit durch Einbau von Tauchwänden Beckenanlagen mit auf- und absteigenden Umlaufströmungen gebaut werden, wie auf Bild 12 systemmässig dargestellt, die die Vorteile der bekannten Umlaufbecken mit grösserer Sicherheit gegen Schlammablagerungen verbinden.

In Belüftungsbecken mit mechanischen Belüftern können auch hydraulische Verhältnisse eintreten, die negative Auswirkung auf die Belüfter selbst haben. Bei bestimmten Beckenformen, Drehzahlen und Eintauchtiefen der Belüfter können die Wassermassen in Belüftungsbecken in starke Rotationsbewegungen mit umlaufenden Wellen versetzt werden, oder es werden stehende Wellenbewegungen mit Senk- und Schwallerscheinungen im Bereich der Kreislaufbelüfter erzeugt. Es ergeben sich dabei nicht nur betriebliche Störungen durch ungleichmässigen Sauerstoffeintrag und durch überlaufendes oder verspritztes Wasser, sondern es treten vor allem starke zusätzliche Belastungen beim mechanischen Belüfter und beim Getriebe auf, die zu mechanischen Schäden führen können. In vielen Fällen ist es daher zweckmässig, schon beim Entwurf der Belüftungsbecken den Einbau von vertikalen und horizontalen Bremsen zur Verhinderung solcher Rotationen oder Schwingungen vorzusehen. Auf Bild 13 sind für runde und rechteckige Belüftungsbecken erprobte Anordnungsmöglichkeiten für solche Rotations- und Schwingungsbremsen dargestellt.

Zusätzliche Belastungen für die Getriebe von Kreislaufbelüftern können auch durch in das Belüftungsbecken einströmendes Abwasser oder Rücklaufschlamm bewirkt werden. Durch solche Einlaufströmungen kann der Wirbel unter dem Belüfterkreis schräg verlagert werden, wodurch eine stärkere Querbelastung der Abtriebsachse eintritt. Starke Einlaufströmungen sind daher durch die Anordnung von Bremsplatten umzulenken. Erhöhte Querkräfte auf das Getriebe dürften auch bei den Kreislaufbelüftern von Carrouselanlagen durch den Wasserdruck auf die Mittelwand auftreten, die unmittelbar bis an den Kreislauf herangezogen ist.

Auch für die Konstruktion der Belüftungsbecken sind einige Kenntnisse über die Wirkung der mechanischen Belüfter erforderlich. So ist dafür zu sorgen, dass Eis-

bildungen und häufige Spritzwirkungen an Brücken und Pfeilern durch ausreichenden Abstand von der Wasseroberfläche und Belüfter vermieden werden. Bei der Gestaltung und Materialwahl für Belüftungsbecken ist darauf zu achten, dass keine Schäden oder Zerstörungen infolge Erosion durch Wellenschlag oder durch die starke Wirbelbildung unter dem Kreislaufbelüfter entstehen. Becken in Erdbauweise oder Becken, die unter Verwendung von Plastikfolien, Bitumen oder einfachem Betonbelag erstellt werden, sind besonders gefährdet. Zu einfache Bauweisen haben sich oft als nicht standfest und damit letztlich als nicht wirtschaftlich erwiesen und selbst in Betonsohlen sind Auswaschungen im Wirbelbereich von Kreislaufbelüftern festgestellt worden.

Bei der Aufzählung der Betriebsprobleme, die bei Einsatz von Kreislaufbelüftern entstehen können, muss auch auf sekundäre Probleme hingewiesen werden. Hierzu zählen Beeinträchtigungen der Umwelt, die beim Betrieb von mechanischen Belüftern durch Gerüche, Sprühwirkungen und Nebelbildung mit ihren hygienischen Problemen oder durch Lärm entstehen können. Die Verbreitung unangenehmer Gerüche sollte schon durch Verbot der Einleitung stark geruchsaktiver industrieller Abwässer oder durch Frischhaltung des zufließenden Abwassers verhindert werden. Eine gewisse hygienische Gefährdung der Umwelt ist bei Abwasserreinigungsanlagen zwar generell gegeben, sie sollte aber nicht überschätzt werden. So haben Messungen in der Schweiz auf Kläranlagen mit verschiedenen Belüftungssystemen gezeigt, dass die Konzentration von 34.000 Keime/m³ in 2 m Abstand von einem Becken mit mittelblasiger Belüftung bei 50 m Abstand bereits auf 300 - 1.500 Keime/m³ abfielen. Bei Kreislaufbelüftern wurden generell niedrigere Werte gemessen. Ähnlich hohe Keimkonzentrationen wurden bei der Emscher-Genossenschaft aber auch an Strassen mit starkem Verkehr gemessen [9], während die Keimkonzentration in der Nähe der Emscher geringer war. Die Konzentration an Coli-Bakterien ist noch erheblich niedriger. Eine umfangreiche Literaturlauswertung über die gesundheitliche Gefährdung durch Aerosolbildung bei Abwasserreinigungsprozessen haben erst kürzlich Hickey und Reist [10] veröffentlicht. Wenn auch bisher keine Publikation über Inhalationsinfektion durch pathogene Keime, hervorgerufen durch Aerosolbildung bei Belüftungssystemen, auf Kläranlagen bekannt geworden ist, so sollten doch starke Sprüheffekte durch zweckmässige Schutzvorrichtungen abgeschirmt werden. Die Aerosolsperrn hinter Mammutrotoren sind dafür ein gutes Beispiel, wie Bild 14 zeigt.

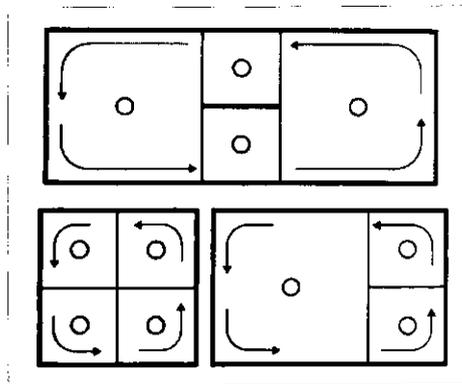


Bild 12 - Belüftungsbeckenanlagen mit auf- und absteigender Umlaufströmung.

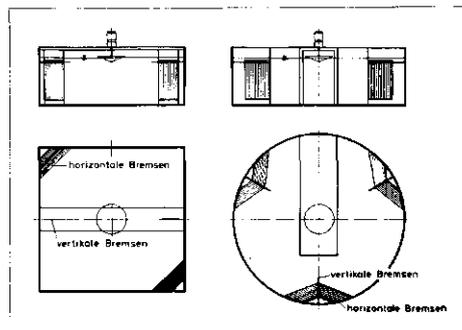


Bild 13 - Vertikale und horizontale Bremsen im Belüftungsbecken.

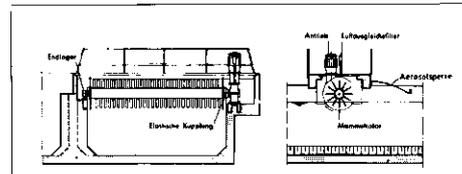
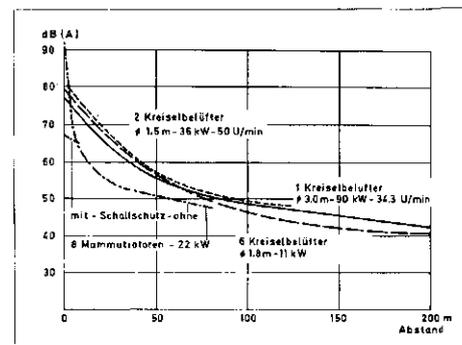


Bild 14 - Mammutrotor mit Einzelantrieb und Aerosolsperrvorrichtung.

Baugebiet	Planungsrichtpegel Leq	
	Tag 6.00 - 22.00h dB(A)	Nacht 22.00 - 6.00h dB(A)
Reines Wohngebiet und Wohnendruckgebiet	50	35
Allgemeines Wohngebiet und Kleinstadtgebiet	55	40
Dorf- und Mischgebiet	60	45
Kern- und Gewerbegebiet	65	50
Industriegebiet	70	70

Bild 15 - Planungsrichtpegel für Baugebiete in der BR-Deutschland (DIN 18005).

Bild 16 - Schallpegel von Kreislaufbelüftern in Abhängigkeit von der Entfernung.



Bei Kläranlagen, die in der Nähe von Wohnsiedlungen liegen, können Lärmemissionen durch mechanische Belüfter erheblich unangenehmer sein. Bei geringem Abstand können die auf Bild 15 angegebenen Richtwerte für zulässige Lärmpegel leicht überschritten werden, wie Messungen auf verschiedenen Kläranlagen zeigen (Bild 16). Da das dominierende Geräusch durch das Verspritzen des Wassers hervorgerufen wird, kann der Lärmpegel durch Verkleiden des Antriebsaggregates nicht immer wesentlich gesenkt werden.

Um die vorgenannten Beeinträchtigungen der Umwelt durch Kläranlagen zu vermeiden, sollte möglichst ein Abstand von 100 m zu Wohnsiedlungen eingehalten werden. Eine Verbesserung der Verhältnisse kann bei geringerem Abstand durch Abdeckung der Belüfterbecken, durch hochgezogene Beckenwände oder spezielle Schallschutzwände erreicht werden. Ferner ist zu empfehlen, die Kläranlagen durch Erdwälle und Bepflanzungen optisch von benachbarten Wohnsiedlungen abzuschirmen. Besonders durch diese Massnahme können neben einer echten Dämpfung der Geräusche, Gerüche und Sprüheffekte auch psychologisch bedingte Abneigungen der in der Nachbarschaft lebenden Menschen verhindert werden, da sie sich durch eine Kläranlage, die man nicht sieht, auch bekanntlich weniger belästigt fühlen.

Literatur

- Imhoff, K. und K. R.: *Taschbuch der Stadtentwässerung*, R. Oldenbourg München (1972), 23. Auflage.
- ATV: *Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik*, Wilhelm Ernst u. Sohn Berlin (1975). Bd. 11., 2. Auflage.
- Technische Hogeschool, Delft: *De technologie van het beluchtingsproces*, Derde vakantiecursus in behandeling van afvalwater. (1968).
- Van Schagen, F. P. u. Zeper, J.: *Die biologische Reinigung des Abwassers in Carrouselanlagen*. Wasserwirtschaft (1975). 65. Jahrg. H. 10.
- Stalzer, W. F. und Fleckseder, H.: *Strömungsverhältnisse, Energieaufnahme und Sauerstoffzufuhr in langgestreckten Umlaufbecken am Beispiel der Kläranlage Wien-Blumental*. Oesterreichische Abwasser Rundschau Jubiläumausgabe (1975).
- Dillo, H. G.: *Sandwanderung in Tiedeflässen*. Mitteilungen der Franzius-Institutes für Grund- und Wasserbau der Technischen Hochschule Hannover (1960) H. 17.
- Kalbskopf, K. H.: *Flow velocities in aeration tanks with mechanical aerators*. Water Research, Pergamon Press (1972) Vol. 6.
- Eckenfelder, W. W.: *Water quality engineering for practicing engineers*. Barnes u. Noble - New York (1970).
- Malz, F. und Müller-Neuglück, M.: *Untersuchungen über den Keimgehalt der Luft in Nähe offener Abwasserkanäle*. Städtehygiene (1966) H. 12.
- Hickey, L. S. und Reist, P. C.: *Health significance of airborne microorganisms from wastewater treatment processes*. Journal WPCF (1975) Vol. 47, No. 12.

