

- [78] *Zlokarnik, M.*: Einfluß einiger stofflicher und verfahrenstechnischer Parameter auf den Sauerstoff-Eintrag bei der Abwasserbelüftung. Chem.-Ing.-Techn. Bd. 47 (1975) S. 281/82.
- [79] *Pöpel, F.*: Einfluß der im Wasser gelösten Salze auf die Sauerstoffzufuhr. Korrespondenz Abwasser Bd. 23 (1976) H. 5, S. 123/28.
- [80] *Daucher, H.-H.*: Sauerstoffeintrag in biologische Suspensionen. Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 2, S. 47/53.
- [81] *Tsao, G.T.*: Simultaneous gas-liquid interfacial oxygen absorption and biochemical oxidation. Biotechnology and Bioengineering Bd. 10 (1968) S. 765/85.
- [82] *Yagi, H. u. F. Yoshida*: Enhancement factor for oxygen absorption into fermentation broth. Biotechnology and Bioengineering Bd. 17 (1975) S. 1083/98.
- [83] *Thaer, R.*: Die Wirksamkeit der Belüftungssysteme des KTBL-Modellvorhabens "Flüssigmist". Vortrag KTBL-Symposium "Praktische Erfahrungen mit Flüssigmist-Behandlungssystemen im In- und Ausland", Braunschweig-Völkenrode 17. Okt. 1977. KTBL-Manuskriptdruck.

¹)ASAE Publication No. Sp-0366
Management of farm animal wastes. Proceedings, Nat. symposium on animal waste management, May 5./7.1966, Michigan State University, East Lansing, Michigan. Publ. by ASAE, St. Joseph, Michigan.

²)ASAE Publication Proc.-275
Managing livestock wastes. Proc. 3rd international symp. on livestock wastes, April 21./24.1975, University of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois. Publ. by ASAE, St. Joseph, Michigan.

Sauerstoffeintrag in biologische Suspensionen

Von Hans-Helmut Daucher, Ludwigshafen/Rhein*)

DK 631.862:628.35:628.35.002.5

Aerobe Behandlung von Flüssigmist reduziert wirksam umweltbelastende Geruchsemissionen. Die Belüftung des Mistes aktiviert Mikroorganismen, die unter Sauerstoffverbrauch den Mist hinsichtlich der Entstehung von Geruchsstoffen stabilisieren. Die Kosten der Belüftung hängen vom Sauerstofftrag (kg/kWh) des Belüftungsaggregates ab, der von Geräteherstellern als Reinwasserwert angegeben wird. Versuche mit Abwasser zeigen, daß die Abweichung vom Reinwasserwert nicht nur von den chemischen Bestandteilen des belüfteten Mediums, sondern auch von der Charakteristik des Belüftungsaggregates selbst abhängt. Das bedeutet, daß Geräte mit gleichem Reinwasserwert unter Betriebsbedingungen durchaus unterschiedliches leisten können.

1. Einleitung

Durch die Stoffwechsellätigkeit aerober Mikroorganismen [1] werden in Flüssigmist gelöste organische Substanzen (Substrate) umgewandelt.

Der organische Kohlenstoff dient den Mikroben teilweise als Baustein für neue Zellen, teilweise entweicht er während des biochemischen Substratabbaus als CO₂. Den bei der Oxidation des Kohlenstoffs vom Substrat abgespaltenen Wasserstoff benutzt der Mikroorganismus als Energiequelle, indem er ihn in einer schritt-

weise ablaufenden "biochemischen Knallgasreaktion" zu Wasser oxidiert. Ein kleiner Teil der freiwerdenden Energie geht dem biologischen Prozeß in Form von Wärme verloren. Dieser scheinbare Verlust kann aber in einen Gewinn umgemünzt werden: Die Wärme beschleunigt die biochemischen Reaktionen [2, 3, 4], wenn eine ausreichende Isolierung des Reaktionsraumes zu einer Temperaturerhöhung führt.

Stickstoff, der in den Substraten organisch gebunden vorliegt und während des Abbaues in anorganischer Bindung frei wird oder von vornherein als Ammonium gelöst ist, kann von speziellen Mikroorganismen, den Nitrifikanten, zu Nitrit und Nitrat oxidiert werden [5]. Fakultativ anaerobe Mikroorganismen führen auch die Reduktion (Denitrifikation) von Nitrit und Nitrat zu elementarem, gasförmigem Stickstoff durch, wenn sie durch Unterbrechung der Zufuhr des gelösten Sauerstoffs dazu gezwungen werden [6].

Zur technischen Durchführung der aeroben Behandlung von Flüssigmist sind verschiedene Verfahren bekannt [2]. Sie sind im wesentlichen mit den Verfahren der biologischen Abwasserreinigung zu vergleichen [7]. Wesentliches Element einer Belüftungsanlage ist das Belüftungsaggregat, das den notwendigen Sauerstoff in die Suspension einzutragen hat. Folgende Forderungen sind von einem verfahrenstechnisch optimalen Aggregat zu erfüllen:

1. Eintragen ausreichender Sauerstoffmengen unter Betriebsbedingungen.
 - Hierauf wird später besonders eingegangen.
2. Kleine Abgasmengen.
 - Um ggf. Geruchsentwicklung zu minimieren oder um eine Abgasbehandlung unter wirtschaftlichen Bedingungen durchführen zu können.
3. Anpassung des Sauerstoffprofils an den zeitlichen und örtlichen Sauerstoffbedarf im Becken.
 - Da die Zehrungsaktivität der Mikroorganismen von der Konzentration abbaubarer Substrate abhängt, sollte der Sauerstoffeintrag an die zeitlichen Schwankungen des Zulaufs angepaßt werden können. Mit einer örtlichen Regelbarkeit des Sauerstoffprofils soll erreicht werden,

*) Dr.-Ing. Hans-H. Daucher ist Mitarbeiter in der Abteilung Technische Entwicklung Verfahrenstechnik der Firma BASF Aktiengesellschaft Ludwigshafen/Rhein.

daß der Flüssigmist mit minimaler Sauerstoffkonzentration den Belüftungsorganen zuströmt. Denn nur dann kann bei maximalem Sauerstoffkonzentrationsgefälle für den Stoffübergang optimale Wirtschaftlichkeit erzielt werden. Bei Nitrat- oder Nitrit-haltigem Medium sollen sogar sauerstofffreie Zonen zur Denitrifikation geschaffen werden können.

4. Vermischen des Beckeninhalts mit dem Zulauf.
 - Durch rasches Verteilen des Zulaufs sind örtliche Konzentrationsüberhöhungen, die den biologischen Abbau hemmen können, zu vermeiden.
5. Ausreichendes Suspendieren des Flüssigmistes bei Vermeiden von Ablagerungen.
 - Die suspendierten Organismen bleiben nur dann in Schwebelage – und sind damit auf kurzen Wegen mit Nährstoffen und Sauerstoff zu versorgen – wenn in allen Volumenelementen des Beckens für ausreichende Turbulenz gesorgt wird. Die Erfahrung lehrt, daß zur Erfüllung dieser Forderung die Mechanismen zur Übertragung von Modellversuchen auf den technischen Maßstab noch nicht hinreichend klar sind.

Diese Forderungen lassen sich bei der Planung der Anlage umso kostenoptimaler erfüllen, je genauer der Sauerstoffeintrag unter Betriebsbedingungen und der hydraulische Antrieb des Beckeninhalts vorausberechnet werden können.

Bei Düsensystemen liefert der Impulssatz einen brauchbaren Ansatz zur Vorausberechnung der Hydraulik im Becken. Damit können Probleme, die sich durch Ablagerungen biologisch aktiver Massen aus Suspensionen ergäben, schon im Entwurfsstadium sicher vermieden werden.

Der Wirkungsbereich eines Oberflächenbelüfters läßt sich heute noch nicht analytisch darstellen. Bei den Herstellern der Belüfter liegen jedoch Erfahrungen vor, bis zu welchen Beckentiefen und bis zu welchen Abständen von der Maschine die eingetragene Turbulenz ausreicht, um eine Durchmischung der belüfteten Suspension zu erzielen.

2. Vergleichene Sauerstoffeintrags-Systeme

Als Vertreter der Oberflächenbelüfter wurde der Kreisel gewählt: An einer vertikalen Welle hängt ein Rührerlaufwerk mit einfacher Beschaukelung auf der Unterseite. Während des Betriebes taucht das Laufwerk je nach Sauerstoffbedarf mehr oder weniger in die Flüssigkeitsoberfläche ein.

Der Sauerstoffeintrag erfolgt durch Vergrößern der Phasengrenzfläche, indem Flüssigkeit aus der Oberfläche herausgerissen und durch die Umgebungsluft geschleudert wird. Die auf die Oberfläche zurückfallende Flüssigkeit reißt noch etwas Luft mit, wodurch auch noch mit Stoffübergang unter dem Flüssigkeitsspiegel gerechnet werden kann. In der Flüssigkeit entsteht im Bereich des Rotors heftige Turbulenz, die mit wachsendem Abstand vom Belüfter in Abhängigkeit von der Beckengeometrie abklingt.

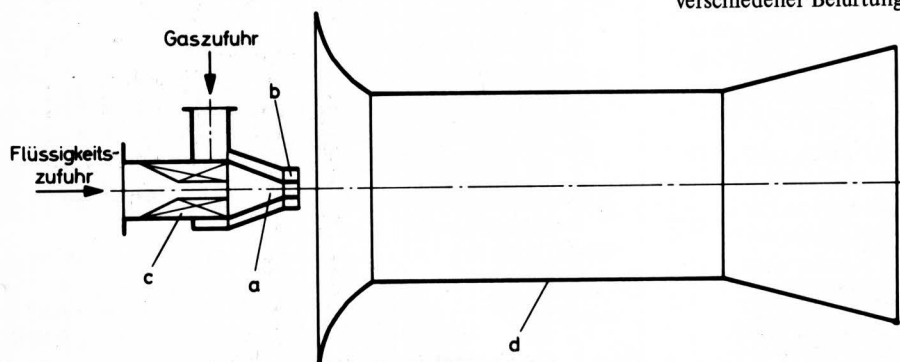


Bild 1. Aufbau einer Strahldüse.

- a Flüssigkeitsdüse (Treibstrahldüse)
- b Gasdüse
- c Drallkörper
- d Impulsaustauschrohr (I-Rohr)

Die Gruppe der Tauchbelüfter, Bild 1, wird durch die Strahldüse [8] vertreten.

Von links wird Suspension durch eine Kanalradpumpe vom Beckenboden angesaugt und durch eine Düse als Freistrahlnach rechts konzentrisch in das an beiden Enden offene Impulsaustauschrohr (I-Rohr) getrieben. Konzentrisch zur Flüssigkeitsdüse wird durch eine Ringspaltdüse vorverdichtete Luft von oben zugeführt. Da sie in das Scherfeld zwischen schnellem Flüssigkeitsstrahl und langsamer Umgebung zuströmt, findet in dem Impulsaustauschrohr unter hoher Energiedichte eine feine Zerteilung der Luft statt. Der Freistrahlnach saugt aus der Umgebung noch zusätzlich Flüssigkeit in das I-Rohr hinein. Auf diese Weise wird durch Vergrößerung des mittleren Abstandes zwischen den Luftbläschen die Koaleszenzwahrscheinlichkeit vermindert. Hinter der Düse steigt die Luft als Blasensäule zur Oberfläche auf. Der Impuls des austretenden Freistrahls treibt den Inhalt des Belüftungsbeckens in definierter Strömungsrichtung an.

In größeren Becken können mehrere Düsen mit einer Pumpe auf einen Rahmen montiert und frei auf dem Beckenboden abgesetzt werden. Die Luft strömt den Düsen von oben zweckmäßig durch eine Schlauchleitung zu. Das Düsenpaket kann dann auf dem Beckenboden beliebig ausgerichtet werden. Dies ist auch nach Inbetriebnahme der Anlage möglich, da die Düsen am Boden nicht befestigt sind.

3. Sauerstoffeintrag unter Betriebsbedingungen

Der unter Betriebsbedingungen, das heißt bei bestimmter Temperatur und bei vorgeschriebener Sauerstoff-Mindestkonzentration, zu leistende Sauerstoffeintrag $\dot{m}_{O,Abw}$ ist aus dem in Reinwasser unter Normbedingungen gemessenen Sauerstoffeintrag $\dot{m}_{O,n}$ zu berechnen.

Es gilt der Zusammenhang:

$$\dot{m}_{O,Abw} = a \cdot k_g \cdot k_C \cdot \dot{m}_{O,n}$$

mit den Korrekturfaktoren

- a Sauerstoffübertragungsfaktor
- k_g Temperaturkorrekturfaktor
- k_C Konzentrationskorrekturfaktor (relevant bei Druckbelüftungen, bei denen der Stoffübergang nicht bei Atmosphärendruck, sondern unter Überdruck durch das überstehende Wasser erfolgt)

$\dot{m}_{O,n}$ ist dabei der unter Normbedingungen gemessene Sauerstoffeintrag des Belüftungssystems, der auch kurz Reinwassereintrag genannt wird. Für andere Belüftungssysteme gilt grundsätzlich der gleiche Zusammenhang.

Zum Vergleich der Wirtschaftlichkeit verschiedener Belüftungssysteme dient der auf die Leistungsaufnahme bezogene Sauerstoffeintrag. Diese Sauerstofftrag genannte Größe enthält jedoch nicht den Sauerstoffeintrag in die biologische Suspension, sondern den Reinwassereintrag. Dieser Wert ist zwar als garantierter Wirkungsgrad wertvoll, weil er mit dem an allen Orten verfügbaren Trinkwasser nachgemessen werden kann. Als Größe zum Vergleich verschiedener Belüftungssysteme für denselben Anwendungsfall

4.2 Auswertung der Messungen

Der Auswertung wurde die für vollständig vermischte Systeme gültige Beziehung zugrunde gelegt:

$$\dot{m}_O = V c_s(\vartheta) \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{c_s(\vartheta) - c_0}{c_s(\vartheta) - c_t}$$

darin bedeuten

- V belüftetes Volumen
- Δt Versuchsdauer
- c_0 Sauerstoffkonzentration bei Beginn der Messung
- $c_s(\vartheta)$ Sauerstoffkonzentration bei Sättigung, abhängig von der Temperatur ϑ
- c_t Sauerstoffkonzentration zur Versuchszeit t .

Da die Sättigungskonzentrationen bei relevanten Salz- und Tensidkonzentrationen um höchstens 2 % voneinander abweichen, **Tafel 1**, konnte bei gleicher Versuchsdauer Δt der Faktor a einfach als Verhältnis der logarithmischen Konzentrationsgefälle berechnet werden:

$$a = \frac{\left(\ln \frac{c_s(\vartheta) - c_0}{c_s(\vartheta) - c_t} \right) \text{ Versuchsflüssigkeit}}{\left(\ln \frac{c_s(\vartheta) - c_0}{c_s(\vartheta) - c_t} \right) \text{ Reinwasser}}$$

| Zugesetzter Stoff | | Sauerstoff-Sättigungskonz. | | |
|------------------------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------|-------------|
| Art | Konzentration mg/l | Temperatur °C | Versuchsflüssig. mg/l | Wasser mg/l |
| Afrasil O-Extra | 10 | 14,3 | 9,94 | 9,90 |
| Lutensol AT 11 | 10 | 16,4 | 9,51 | 9,48 |
| Lutensol AT 11 mit Cl ⁻ | 10000 | 18,7 | 8,90 | 9,06 |

Tafel 1. Sauerstoff-Sättigungskonzentrationen der im Versuch verwendeten Flüssigkeiten.

4.3 Meßergebnisse

Betrachten wir zunächst in **Bild 5** die Wirkung eines Stoffes, der in häuslichem Abwasser enthalten ist:

Lutensol AT 11, ein nichtionisches Tensid, welches als Äthoxylierungsprodukt gesättigter C₁₆- und C₁₈-Alkohole bevorzugt von der Reinigungs- und Waschmittelindustrie als Wasch- und Dispergiermittel verwendet wird.

Der Faktor a ist über der Wirkstoffkonzentration aufgetragen. Die in einem Strahldüsenystem gemessenen und als Kreuze eingetragenen Werte sind durch einen Kurvenzug verbunden. Die Kurve hat den erwarteten Verlauf:

Mit zunehmender Tensidkonzentration steigt die Koaleszenzfähigkeit der Gasblasen. Auf dem Weg zur Oberfläche werden aus vielen kleinen wenige große Blasen. Die Sauerstoffeintragungsleistung sinkt mit der Abnahme der Phasengrenzfläche und der Wert von a fällt monoton ab, bis er bei einer Tensidkonzentration von etwa 5 mg/l einen konstant niedrigen Wert von etwa 0,5 erreicht.

Die bei einer Wirkstoffkonzentration von 10 mg/l eingetragenen Punkte wurden in der flachen Wanne und mit verschiedenen Belüftern gemessen. Dabei wurden die Leistungsdichten variiert. Es ist zu erkennen:

1. Der Faktor a ist bei gleicher Flüssigkeit vom Belüftungssystem abhängig.
2. Im gleichen System (offener Kreis und offenes Quadrat) hängt a von der Leistungsdichte ab.
3. Im gleichen System bewirkt eine höhere Leistungsdichte einen größeren Wert für a .

Auch das als Stoffentlüfter bei der Papierindustrie und als Schaumverhüter auch auf biologischen Kläranlagen verwendete Gemisch aliphatischer Alkoholderivate Afrasil O-Extra bewirkt in kleinsten Konzentrationen schon eine starke Behinderung des Stoffübergangs, **Bild 6**.

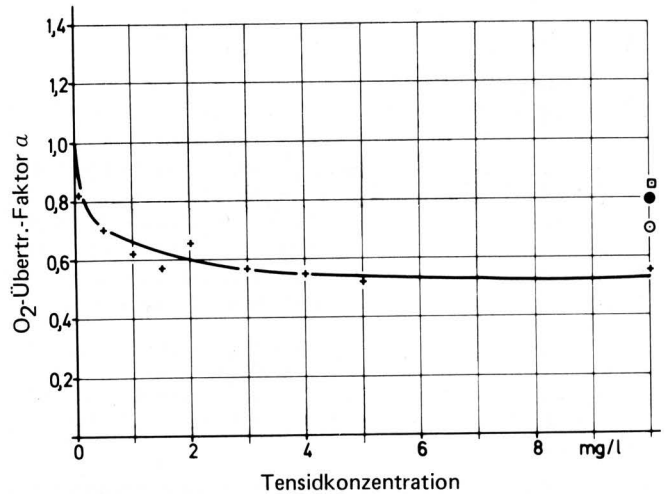


Bild 5. Abhängigkeit des Sauerstoffübertragungsfaktors a von der Tensidkonzentration; Tensidcharakter: nicht ionisch (Lutensol AT 11).

- + 1 Düse 2 mm ϕ , $h_0 = 2,5$ m, Leistungsdichte 41 W/m³
- 2 Düsen, $h_0 = 0,33$ m, Leistungsdichte 25 W/m³
- 2 Düsen, $h_0 = 0,42$ m, Leistungsdichte 19 W/m³
- Modellkreisel, Leistungsdichte 4 W/m³

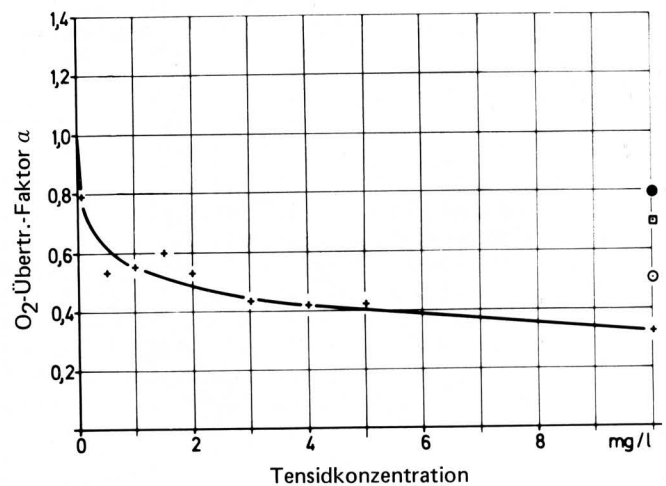


Bild 6. Abhängigkeit des Sauerstoffübertragungsfaktors a von der Tensidkonzentration; Tensidcharakter: Entschäumer Afrasil O-Extra.

- + 1 Düse 2 mm ϕ , $h_0 = 2,5$ m, Leistungsdichte 41 W/m³
- 2 Düsen, $h_0 = 0,33$ m, Leistungsdichte 25 W/m³
- 2 Düsen, $h_0 = 0,42$ m, Leistungsdichte 19 W/m³
- Modellkreisel, Leistungsdichte 4 W/m³

Beim Zusammenwirken von gelösten Salzen und Tensiden wird die schon oft beobachtete, den Sauerstoffeintrag beschleunigende Wirkung des Salzes stark reduziert. Besonders Afranil zeigt außerordentliche Wirksamkeit, Bild 7.

Über der logarithmisch aufgetragenen Chloridkonzentration sind die für dasselbe System einmal ohne und einmal mit Tensidzusatz bestimmten Werte von α dargestellt. Die obere Kurve für die reine Salzlösung hat den aus der Literatur bekannten Verlauf. Ein Zusatz von Afranil in Höhe von 10 mg/l, untere Kurve, dämpft alle Hoffnungen auf einen vorteilhaften Sauerstoffeintrag: Selbst die ungewöhnlich hohe Chloridkonzentration von 20 g/l vermag nicht den Faktor α über 1 zu heben.

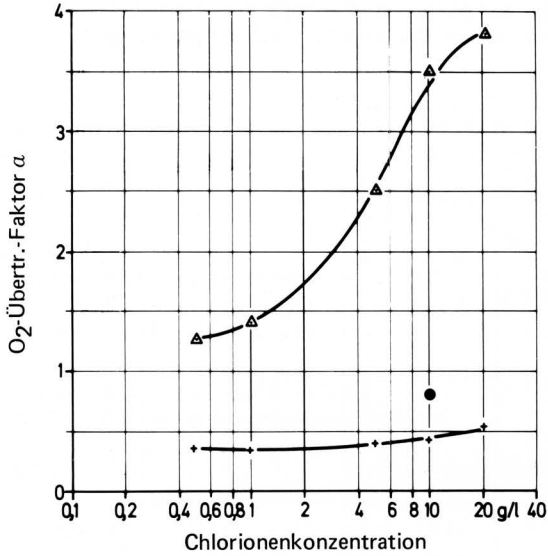


Bild 7. Abhängigkeit des Sauerstoffübertragungsfaktors α von der Salzkonzentration (NaCl) ohne und mit Tensidzusatz (Afranil O-Extra).

Druck an der Düse konstant 2 bar, $h_0 = 2,5$ m

△ NaCl-Lösung ohne Tensid

+ NaCl-Lösung mit Tensidzusatz von 10 mg/l

● Modellkreisel

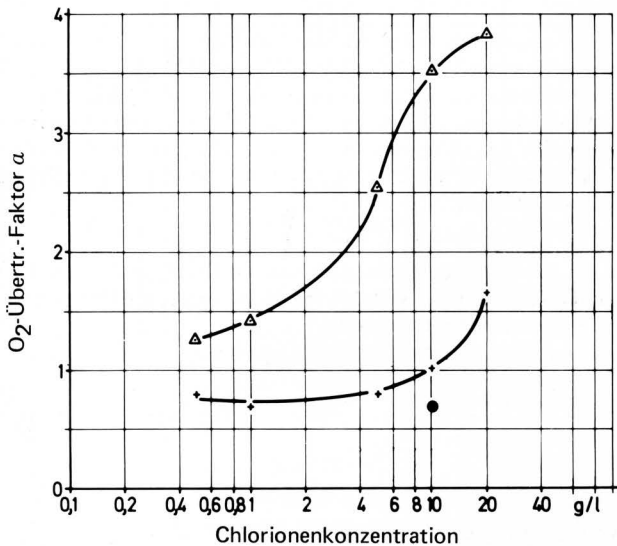


Bild 8. Sauerstoffübertragungsfaktor α in Abhängigkeit von der Chloridkonzentration ohne und mit Tensidzusatz (Lutensol AT 11).

Druck an der Düse konstant 2 bar, $h_0 = 2,5$ m

△ NaCl-Lösung ohne Tensid

+ NaCl-Lösung mit Tensidzusatz von 10 mg/l

● Modellkreisel

Nicht ganz so stark ist die Wirkung des Waschmittelzusatzes Lutensol, Bild 8. Doch ist immerhin eine Elektrolytkonzentration von 10 g/l erforderlich, um in diesem System die koaleszierende Wirkung eines Tensidzusatzes von 10 mg/l zu kompensieren.

Bemerkenswert ist das Verhalten des Modellkreisels, dessen Wert von α auch hier als Punkt eingezeichnet ist. Unabhängig von der Art des Tensids ergab sich etwa der gleiche Wert.

Die bisher dargestellten Versuchsergebnisse zeigen deutlich, daß die für verschiedene Systeme ermittelten Werte von α untereinander nicht vergleichbar sind, weil eine gemeinsame Vergleichsbasis fehlt. Die im folgenden dargestellten Versuchsergebnisse wurden deshalb bei gleichem Reinwassereintrag gewonnen. Damit wurde von dem Wert ausgegangen, der bei der Auswahl eines Belüftungssystems als Leistungskriterium vorliegt. Unter Vernachlässigung der Sauerstoffabnahme in den Gasblasen der Düsenbelüftung bedeutet dies, daß von beiden Belüftungssystemen in Reinwasser gleich große Phasengrenzflächen gebildet wurden. Unterschiede des Sauerstoffübertragungsfaktors können sich dann als unterschiedliche Wirkung der Wasserinhaltsstoffe auf den Mechanismus bei der Bildung von Tropfen einerseits und von Blasen andererseits deuten lassen.

In Bild 9 ist die Wirkung des Entschäumers Afranil dargestellt. Der Oberflächenbelüfter, obere Kurve, reagiert wie die Strahldüse, empfindlich auf geringe Tensidkonzentrationen, bleibt aber bei höheren Konzentrationen effektiver als die Strahldüse. Für beide Systeme empfiehlt sich eine mechanische oder hydraulische Entschäumung. Die chemische Behandlung des Schaumes sollte wenigen Störfällen vorbehalten werden.

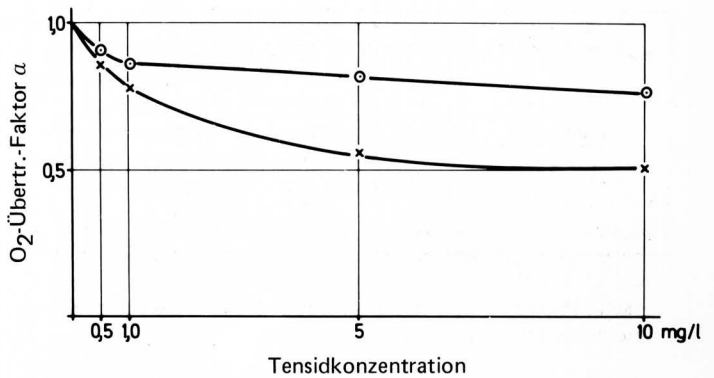


Bild 9. Sauerstoffübertragungsfaktor α für Kreisel und Strahldüse für eine Lösung von Afranil O-Extra.

Reinwassereintrag $\dot{m}_{O,n} = 25 \pm 1$ g/h
bei $t = 18,5 \pm 0,5$ °C

○ Modellkreisel, 306 mm ϕ
x 2 Strahldüsen 2 mm ϕ

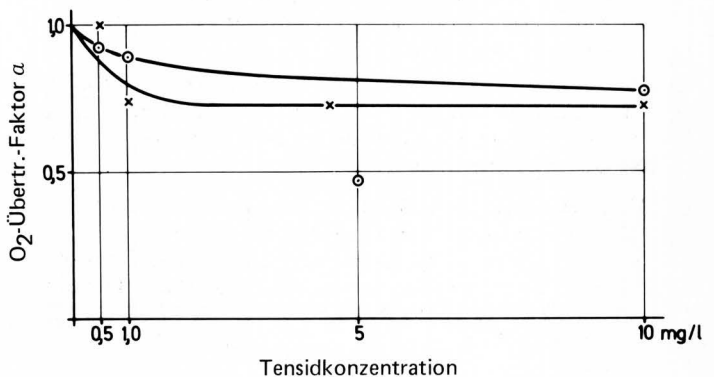


Bild 10. Sauerstoffübertragungsfaktor α für Kreisel und Strahldüse in einer Lösung von Lutensol AT 11.

Reinwassereintrag $\dot{m}_{O,n} = 25 \pm 1$ g/h
bei $t = 18,5 \pm 0,5$ °C

○ Modellkreisel, 306 mm ϕ
x 2 Strahldüsen 2 mm ϕ

Die Waschmittelsubstanz Lutensol, **Bild 10**, wirkt sich auf den Sauerstoffeintrag beider Systeme nahezu gleich aus. Doch erreicht die Strahldüse in der Lutensol-Lösung den Sauerstoffeintrag des Kreisels nicht ganz.

In **Bild 11** wird die unterschiedliche Wirkung von Kreisel bzw. Strahldüse in einer Salzlösung gezeigt. Der Sauerstoffeintrag des Kreisels bleibt von der Salzkonzentration weitgehend unbeeinflusst. Das bedeutet, daß die Größe der vom Kreisel aus dem Wasser herausgerissenen Flüssigkeitsballen und Tropfen vom Salzgehalt unabhängig ist und daß die vom zurückfallenden Wasser mitgerissene Luft keinen nennenswerten Beitrag zum Sauerstoffeintrag des Modellkreisels geleistet hat. Da ein erhöhter Salzgehalt nur bei der Strahldüsenbelüftung den Sauerstoffeintrag steigerte, ist durch Salzzusatz auch nur bei Düsenbelüftung eine Verbesserung des durch Tenside verschlechterten Sauerstoffübertragungsfaktors a zu bewirken.

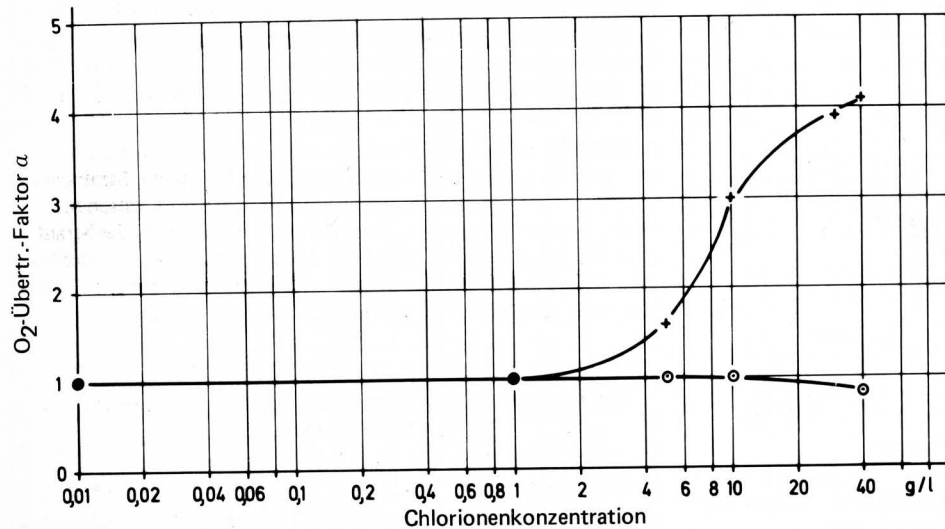


Bild 11. Sauerstoffübertragungsfaktor a für Kreisel und Strahldüse in wäßriger NaCl-Lösung.

$V = 1050$ l, $h_0 = 0,333$ m
 + 2 Düsen 2 mm ϕ , $p \approx 2$ bar, $P_D \approx 25$ W
 o Kreisel 280 mm ϕ , $P_K \approx 5$ Watt

So steigt bei der Strahldüse der Faktor a in Gegenwart von 10 mg/l Afranil mit zunehmendem Salzgehalt beträchtlich an, **Bild 12**. Der Sauerstoffeintrag des Kreisels bleibt erwartungsgemäß unverändert. Hier schneidet jedoch die Oberflächenbelüftung deutlich besser ab als die Düsenbelüftung.

Bei der Waschmittelsubstanz, **Bild 13**, führt schon eine Elektrolytenkonzentration von 0,5 g/l dazu, daß die Strahldüse 10 bis 20 % mehr Sauerstoff einträgt als der Kreisel.

Nach der Behandlung von verschiedenen Modellabwässern, die als reine Salz- oder Tensidlösungen und als Lösungen einfacher Kombinationen untersucht worden sind, stellt sich die Frage, welche Werte von a sich für ein realistisches Abwasser ergeben.

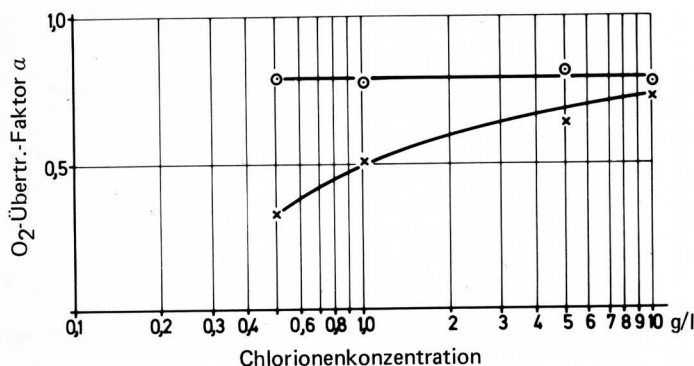


Bild 12. Sauerstoffübertragungsfaktor a für Kreisel und Strahldüse bei einer Tensidlösung (Afranil O-Extra, 10 mg/l) in Abhängigkeit von der Chloridkonzentration.

Reinwassereintrag $m_0 = 25 \pm 1$ g bei $t = 18,5 \pm 0,5$ °C
 o Modellkreisel 306 mm ϕ
 x 2 Strahldüsen 2 mm ϕ

In **Bild 14** sind Werte von a über der Tauchtiefe der Strahldüse aufgetragen. Bei diesen Versuchen wurde die Antriebsleistung der Düse konstant gehalten, das bedeutet, daß die Energiedichte mit zunehmender Wassertiefe abnimmt. Die Leistungsaufnahme des Modellkreisels wurde ebenfalls konstant gehalten. Der absolute Sauerstoffeintrag der Strahldüse nimmt mit der Tauchtiefe zu. Der Sauerstoffeintrag des Kreisels wurde als von der Wassertiefe unabhängig aufgetragen. Bei 0,33 m ist der Sauerstoffeintrag in Reinwasser für beide Systeme gleich.

Als realistisches Abwasser wurde Belebtschlammfiltrat aus einem Belebungsbecken der BASF-Kläranlage gewählt. Die beiden gemessenen Punkte wurden durch eine Gerade verbunden. Die für a ermittelten Werte bei den zuvor besprochenen Salz- bzw. Tensidlösungen sind gestrichelt eingezeichnet und helfen bei der Interpretation der mit Abwasser der BASF ermittelten Werte für a .

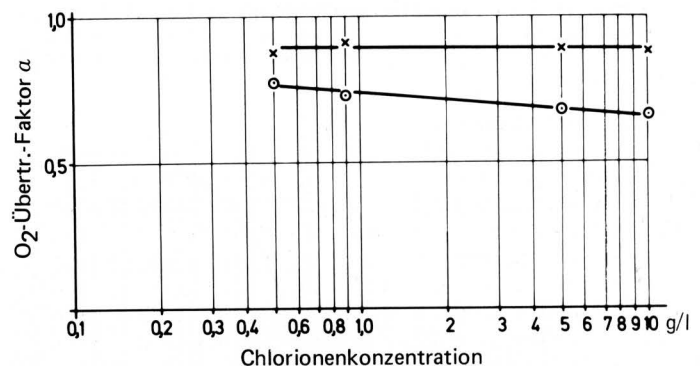


Bild 13. Sauerstoffübertragungsfaktor a für Kreisel und Strahldüse bei einer Tensidlösung (Lutensol AT 11, 10 mg/l) in Abhängigkeit von der Chloridkonzentration.

Reinwassereintrag $m_0 = 25 \pm 1$ g bei $t = 18,5 \pm 0,5$ °C
 o Modellkreisel 306 mm ϕ
 x 2 Strahldüsen 2 mm ϕ

Die Lage der Kurve "Strahldüse in Abwasser BASF" im "Mittelfeld" des Diagramms wird durch die Anwesenheit gelöster Salze verursacht, ihre Neigung deutet hin auf die Wirkung von tensidischen Stoffen, die in Form von Afranil sogar in der Kläranlage selbst zugesetzt werden. Als wichtiges Ergebnis ist die Abhängigkeit des Faktors a vom Belüftungssystem zu entnehmen. Der Modellkreisel mit gleichem Reinwassereintrag liegt bei $a = 0,5$, unabhängig von der Wassertiefe.

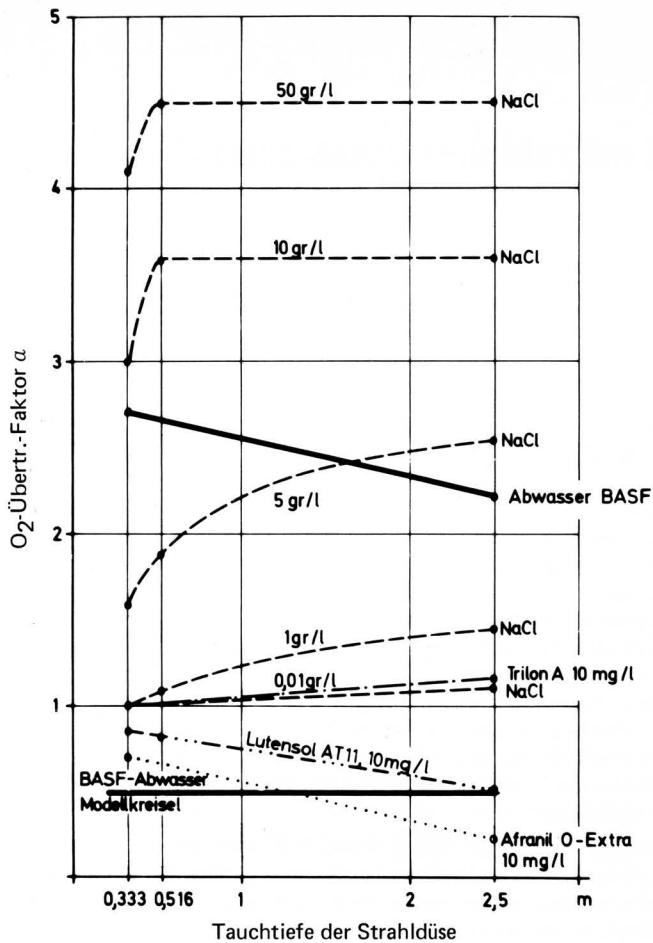


Bild 14. Sauerstoffübertragungsfaktor a für die Strahldüse in unterschiedlichen Flüssigkeiten und zum Vergleich Sauerstoffübertragungsfaktor a für Kreisel in Abwasser.

5. Zusammenfassung

Es wurde eingangs gefordert, beim Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Sauerstoffeintragungssystemen nicht vom Sauerstoffeintrag in Reinwasser, sondern vom Sauerstoffeintrag unter Betriebsbedingungen auszugehen. Messungen im Technikumsmaßstab haben nun bestätigt, daß der Sauerstoffübertragungsfaktor a nicht nur von der Art und Menge der Verunreinigung der Flüssigkeit abhängt. Der Faktor a ist kein Stoffparameter, sondern stark abhängig von der Arbeitsweise des Belüftungssystems. Aus den Messun-

gen mit einem realistischen Abwasser ergaben sich für Düsenbelüftung höhere Werte von a als für Oberflächenbelüfter. Dabei wurde von gleichem Reinwasser-Sauerstoffeintrag ausgegangen. Um schon im Entwurfsstadium den echten Wert des Sauerstoffübertragungsfaktors verwenden zu können, wäre die Möglichkeit einer Übertragung von im Technikum gemessenen Werten auf den technischen Maßstab erforderlich. Neuere Veröffentlichungen von Moser und Mitarbeitern [4] und Stark [5] zeigen, daß fleißig daran gearbeitet wird. Eine einfache, praktikable Methode steht jedoch noch aus.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ● Schlegel, H.G.: Allgemeine Mikrobiologie. Stuttgart: Georg Thieme 1972.
- [2] Thaer, R., R. Ahlers u. K. Grabbe: Behandlung von Rinderflüssigmist. Sonderheft der Berichte über Landwirtschaft 192 (1975) S. 836/81.
- [3] Thaer, R. u. K. Grabbe: Flüssigmistfermentation mit Selbsterwärmung. Grundle. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 6, S. 215/21.
- [4] Loll, U.: Stabilisierung hochkonzentrierter Abwässer und Abwasserschlämme durch aerob-thermophile Abbauprozesse. Diss. TH Darmstadt 1974.
- [5] Sharma, B. u. R.C. Ahlert: Nitrification and Nitrogen Removal. Water Research Vol. 11 (1977) S. 897/925.
- [6] Bishop, D.F., J.A. Heidmann u. J.B. Stamberg: Single-stage nitrification-denitrification. Journal WPCF, Vol. 48 (1976) Nr. 3, S. 520/32.
- [7] ● Triebel, W.: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik Bd. 2, 2. Auflage, Berlin, München, Düsseldorf: Wilhelm Ernst u. Sohn, 1975.
- [8] Daucher, H.-H., P. Kroetzsch, K.H. Popp u. R. Stickel: Die Strahldüsenbegasung — eine Möglichkeit zur Belüftung biologischer Kläranlagen. Chem.-Ing.-Tech. Bd. 46 (1974) Nr. 8, S. 337 (MS 052/74).
- [9] Zlokarnik, M.: Einfluß einiger stofflicher und verfahrenstechnischer Parameter auf den Sauerstoff-Eintrag bei der Abwasserbelüftung. Chem.-Ing.-Tech. Bd. 47 (1975) Nr. 7, S. 281/82.
- [10] Zlokarnik, M.: Sorptionscharakteristiken für Rührbehälter. Advances of Biochemical Engineering Bd. 8 (1978) S. 133/51.
- [11] Sztatecsny, K., I. Vafopoulos u. F. Moser: Der Einfluß von Tensiden auf den Stoffübergang in begasteten Reaktoren. Chem.-Ing.-Tech. Bd. 49 (1977) Nr. 7, S. 585 (MS 506/77).
- [12] Stark, G.: Der Einfluß des Sauerstoffumsatzes in der Gasphase auf die Auslegung von Abwasserbelüftungsanlagen und den Sauerstoffübergang in Fermentern. vt verfahrenstechnik Bd. 11 (1977) Nr. 3, S. 161/63.