

SONDERBAUFORMEN VON BELÜFTUNGSSYSTEMEN

W. Frey, Wien

1. Einleitung

Im Rahmen dieses Vortrages werden Belüftungssysteme behandelt die sich durch die Art der Blasenentstehung grundsätzlich von den üblichen Druckbelüftungssystemen unterscheiden. Bei den vorgestellten Systemen erfolgt der Sauerstoffübergang zwar auch durch im Wasser aufsteigende Luftblasen, die Blasenbildung wird aber durch Dissipation energiereicher Treibstrahlen sowie durch mechanische Zerkleinerung durch stillstehende Einbauten oder bewegte Teile erreicht.

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. 2,0m 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. Das System ist in Österreich bei einigen betrieblichen Abwasserreinigungsanlagen der Papier- und Zellstoffindustrie installiert.

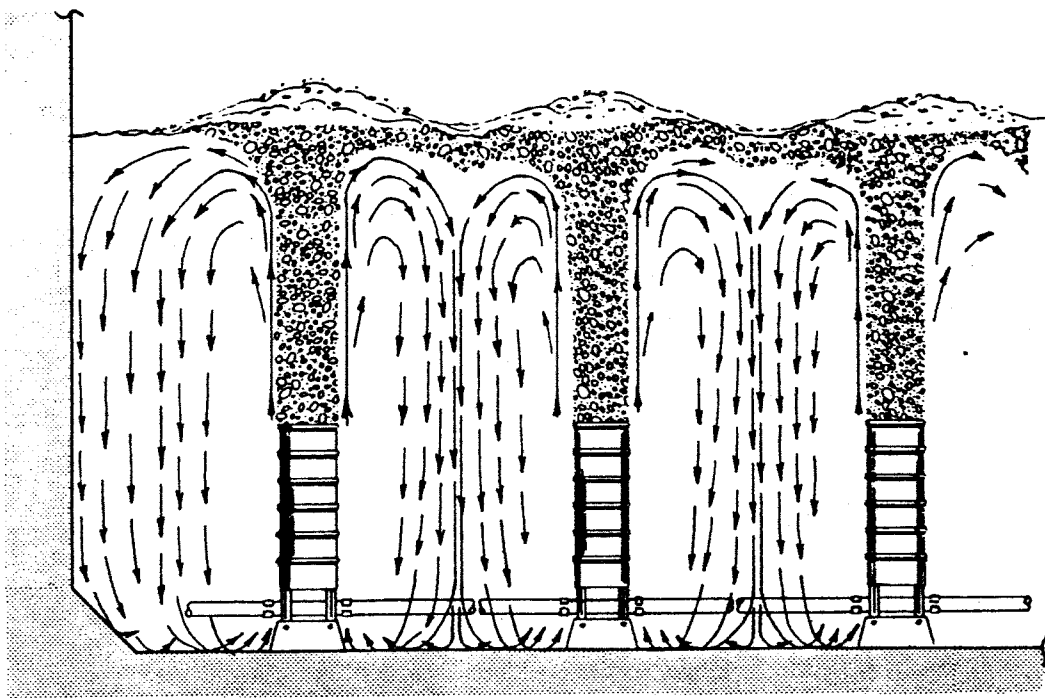


Abbildung 1: Statischer Mischer

In der folgenden Tabelle 1 sind Meßergebnisse von Statik-Mischern zusammengefaßt. Bei den Anlagen handelt es sich ausschließlich um betriebliche Abwasserreinigungsanlagen aus der Zellstoff- und Papierindustrie. In tiefen Becken (Einblastiefe 13 m) wurden Ausnutzungen bis $13 \text{ g/Nm}^3/\text{m}$ erzielt. Eigene Messungen, auf einer anderen Anlage, unter Betriebsbedingungen haben bei einer Einblastiefe von 9,0 m und einer Luftbeaufschlagung von $45 \text{ m}^3/\text{h}/\text{Belüfter}$ einen

Sauerstoffertrag von 1,4 kgO₂/kWh ergeben. Der α-Wert wurde zu 0,65 ermittelt.

Tabelle 1: Anlagenparameter und Meßwerte

Anlage	Volumen m ³	Belüfter- Anzahl	Einblas- tiefe m	Luft Nm ³ h	OC _{L,ET} g Nm ³ ·m	Op kg kWh	OC ₁₀ g m ³ ·h
1 A	8000	208	13,0	5400	13,0	3,3	120
1 B				3100	13,0	3,5	81
2	1120	55	7,0	1700	9,0	1,9	95
3 A	3600	100	9,7	3480	9,0	2,4	91
3 B	3600	100	9,7	2370	9,0	2,3	62
4	1000	58	7,0	750	8,5	1,9	72
5 *	1300	48	9,0	2200	6,0	1,4	88

* Versuch unter Betriebsbedingungen

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

3.1 Radialstromdüse

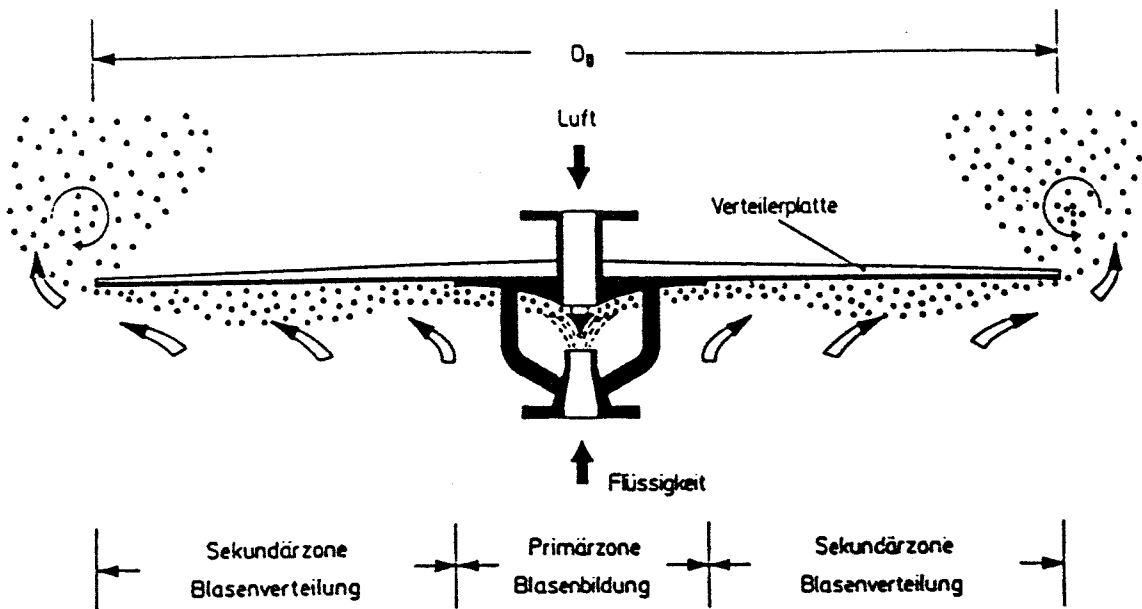


Abbildung 2: Radialstromdüse

Der nach oben gerichtete Treibstrahl trifft auf einen gegenüberliegenden Leitkegel und wird 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.

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 kgO₂/kWh, SELL (1985).

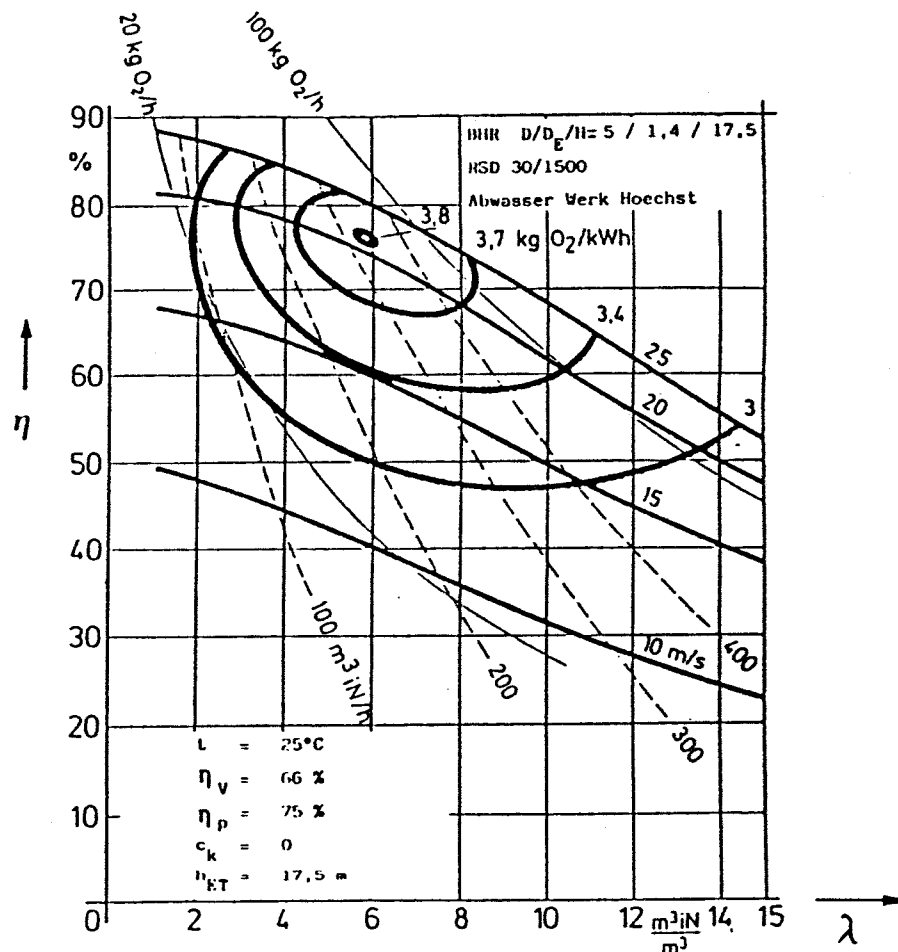


Abbildung 3: Kennfeld Radialstromdüse

3.2 Mischstrahldüse

Der Injektor besteht aus einem Gaseintrittsstutzen durch den Luft eintritt, der Treibdüse durch die das Treibmittel gedrückt wird, der Mischkammer in der die Gas/Flüssigdispersion entsteht und der Mischdüse durch die das Zweiphasengemisch in den Diffusor bzw. das Mischrohr gelangt. Die Luft kann, wenn das Becken nicht zu tief ist, selbständig angesaugt werden. 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. 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.

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. Im Einzelfall kann es auch notwendig sein vor den Treibwasserpumpen ein Sieb zu installieren. Auch die abrasive Wirkung von Abwasserinhaltsstoffen ist bei der Konstruktion und Werkstoffauswahl zu berücksichtigen.

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 Ab-

wasser 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. Wobei aber anzumerken ist, daß ein modernes Rührwerk wesentlich kostengünstiger arbeitet.

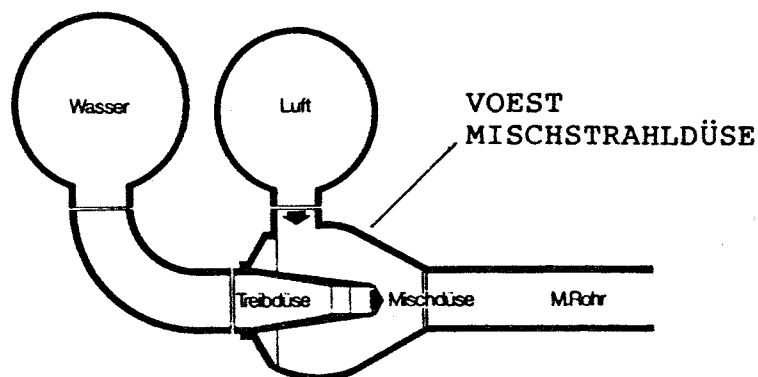


Abbildung 4: Aufbau von Zweistoffdüsen

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 Schlammablagerungen vermieden werden.

3.2.1. Meßergebnisse

In der folgenden Tabelle 2 sind einige Informationen der untersuchten Anlagen zusammengestellt.

Tabelle 2: Anlagenparameter

Anlage	Beckenform	Volumen m ³	D ü s e n		Einblas- tiefe m	I n d u s t r i e	
			Anzahl	Ø mm		anteil %	art
1	Umlaufbecken	2500	24	30	7,5	95	Stärke
2	Umlaufbecken	11000	120	30	7,2	50	Chemie
3	zylindr. Kugelboden	2500	50	30	10,7	100	Pharmaind.
4	zylindrisch	7000	167	25	8,9	100	Zellstoff Papier
5	zylindrisch	7000	101	25	9,3	100	Zellstoff Papier
6	rechteck. Mischbecken	2000	58	25	9,4	100	Zellstoff Papier
7	siehe Skizze	9600	64	30	14,4	60	Erdöl Brauerei
8	siehe Skizze	2500	24	30	9,0	80	Brauerei
9	Kreisring	1900	42	30	3,5	0	-

Beckenquerschnitt Anlage 7 und 8:

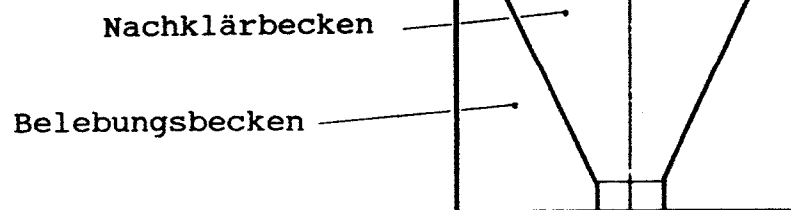


Tabelle 3: Meßwerte

Anlage	Leistung		P_{BB} $\frac{W}{m^3}$	$P_{DÜ}$ $\frac{kW}{Düse}$	$OC_{L,ET}$ $\frac{g}{Nm^3 \cdot m}$	Op $\frac{kg}{kWh}$	OC_{10} $\frac{g}{m^3 \cdot h}$	α -WERT -
	Verd. kW	Pump. kW						
1 A	28	16	17	1,81	15,1	1,86	33	-
1 B	32	16	19	1,98	14,8	1,96	37	-
1 C	24	16	16	1,65	16,5	1,78	28	-
1 D*	70	14	34	3,48	8,2	1,43	49	-
1 E*	31	14	18	1,87	8,2	1,19	22	0,65
1 F*	35	14	20	2,03	9,3	1,53	30	-
2 A	258	99	32	2,98	12,0	2,25	73	-
2 B	220	99	29	2,66	10,4	1,80	52	-
2 C	239	99	31	2,82	13,0	2,30	72	-
2 D*	541	104	59	5,38	7,4	1,61	94	-
2 E*	392	104	45	4,13	7,6	1,49	67	0,70
2 F*	258	99	32	2,98	7,9	1,26	36	-
3 A	168	30	82	3,96	14,3	3,24	265	-
3 B	219	30	102	4,98	13,9	3,45	352	-
3 C	394	30	173	8,48	13,0	3,62	627	-
3 D	160	30	77	3,80	14,5	3,27	253	-
4 A	491	135	89	3,75	15,1	3,06	273	-
4 B	427	135	81	3,36	15,9	3,09	250	-
4 C	218	135	51	2,11	20,1	3,19	162	-
4 D*	450	132	83	3,47	9,9	2,13	174	-
4 E*	552	131	98	4,10	10,4	2,36	231	0,68
4 F*	315	131	64	3,50	9,9	1,88	120	-
5 A	303	150	62	4,49	13,6	2,34	144	-
5 B	378	150	72	5,23	14,4	2,65	193	-

Fortsetzung Tabelle 3:

Anlage	Leistung		P_{BB} $\frac{W}{m^3}$	$P_{DÜ}$ $\frac{kW}{Düse}$	$OC_{L,ET}$ $\frac{g}{Nm^3 \cdot m}$	Op $\frac{kg}{kWh}$	OC_{10} $\frac{g}{m^3 \cdot h}$	α -WERT -
	Verd. kW	Pump. kW						
6 A	194	43	122	4,09	-	2,93	358	-
6 B	216	43	133	4,46	13,6	3,25	430	-
7 A	122	48	18	2,67	11,4	2,99	53	-
7 B	99	46	15	2,27	11,8	3,02	45	-
7 C	198	46	25	3,81	10,1	3,08	78	-
7 D	297	46	36	5,36	9,7	3,16	112	-
7 E*	217	46	27	4,11	6,7	1,75	48	0,55
7 F*	107	46	16	2,39	7,2	1,54	24	-
8 A	62	10	28	2,98	9,2	2,32	65	-
8 B	94	10	40	4,31	6,7	1,70	69	-
8 C	50	10	23	2,48	10,1	2,35	54	-
9 A	63	26	48	2,12	12,3	2,03	97	-
9 B	57	26	44	1,98	14,3	1,97	88	-
9 C	38	26	34	1,52	16,2	2,17	74	-

* Versuche unter Betriebsbedingungen

Die beiden folgenden Abbildungen 5 und 6 geben einen Eindruck des Leistungsbereiches der Mischstrahldüsen in Reinwasser und unter Betriebsbedingungen

DÜSENBELÜFTER

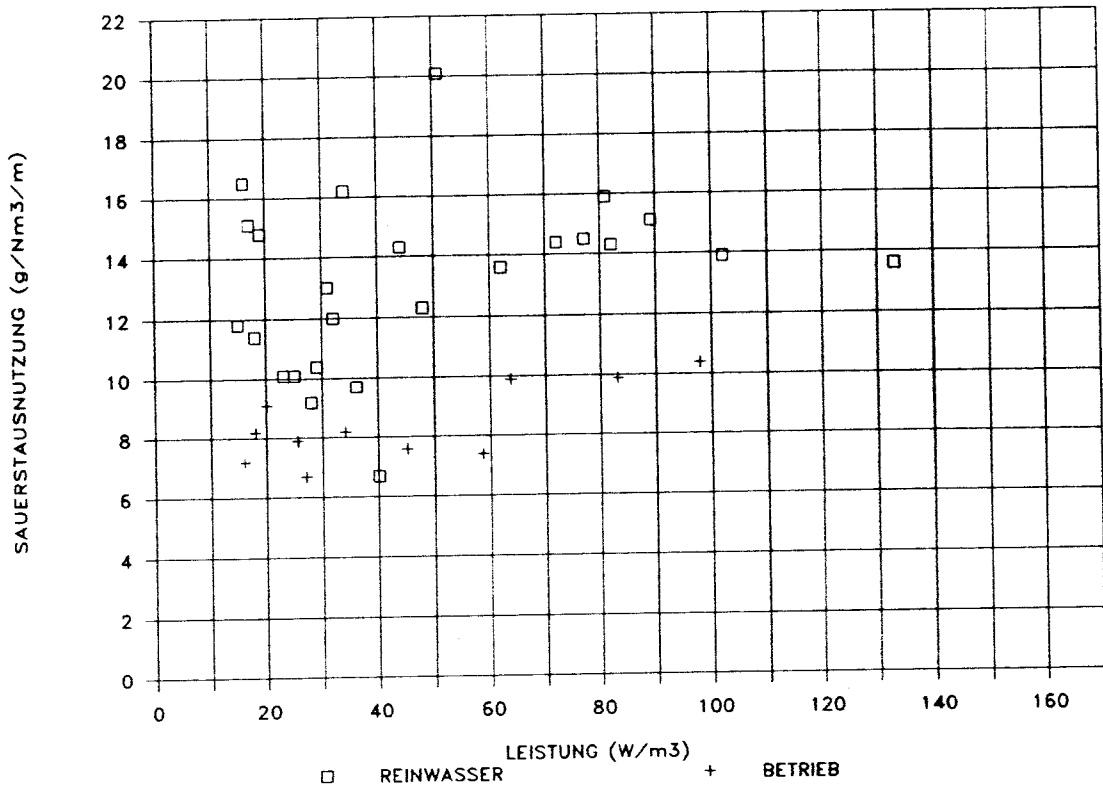


Abbildung 5: Sauerstoffausnutzung - spez. Energie

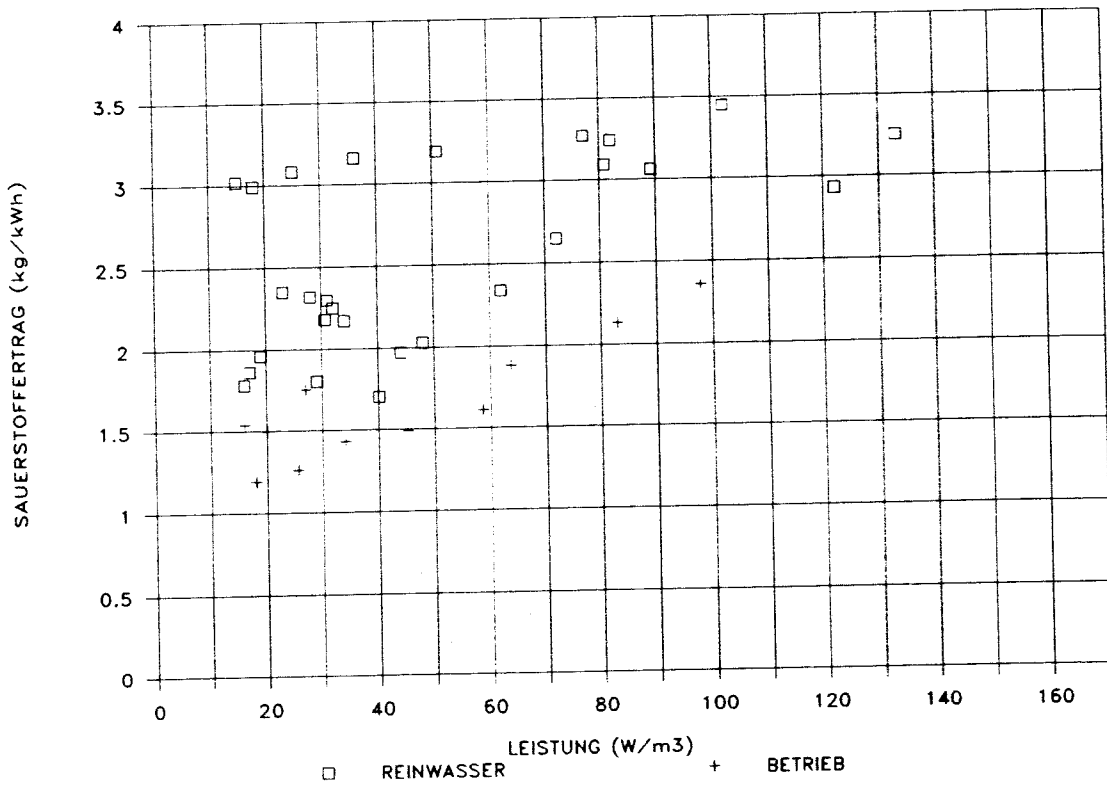


Abbildung 6: Sauerstoffertrag - spez. Energie

4. Tauchbelüfter

Diese können als Sonderkonstruktion einer Injektorbelüftung ausgeführt sein. Hierbei werden die Treibwasserpumpe, eventuell ein Gebläse sowie radial vorgesezte Zweistoffdüsen 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 kgO₂/kWh.

Eine zweite Gruppe von Tauchbelüftern besteht im wesentlichen aus einem Antriebsmotor, einem direkt gekuppelten Pumpenlaufrad sowie einem ringsherum angeordneten Leitkranz. Die Turbine rotiert im Zentrum des Leitkranzes und saugt dabei selbsttätig Luft durch die Ansaugleitung. Gleichzeitig strömt Wasser in das Laufrad ein, wird innig mit Luft vermischt, und das Gemisch wird radial durch den Leitkranz nach außen geschleudert. Auch hier liegen die Sauerstoffertragswerte nach Firmenangaben bei 1,0 - 1,5 kgO₂/kWh.

Diese Einheiten können jederzeit in ein Becken eingesetzt und auch wieder demontiert werden.

5. OKI-Turbinentauchbelüfter

Das System kommt aus Finnland und ist relativ neu auf dem österreichischen Markt. Dieser Belüfter ermöglicht bei entsprechender Motorkonstruktion (Mischstufe, polumschaltbare Maschine) 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. Es stehen Aggregate in verschiedenen Größen zur Verfügung wobei je nach Aggregatgröße, Einblastiefe und Luftmenge, Sauerstoffeinträge zwischen 10 und 200 kgO₂/h angegeben werden.

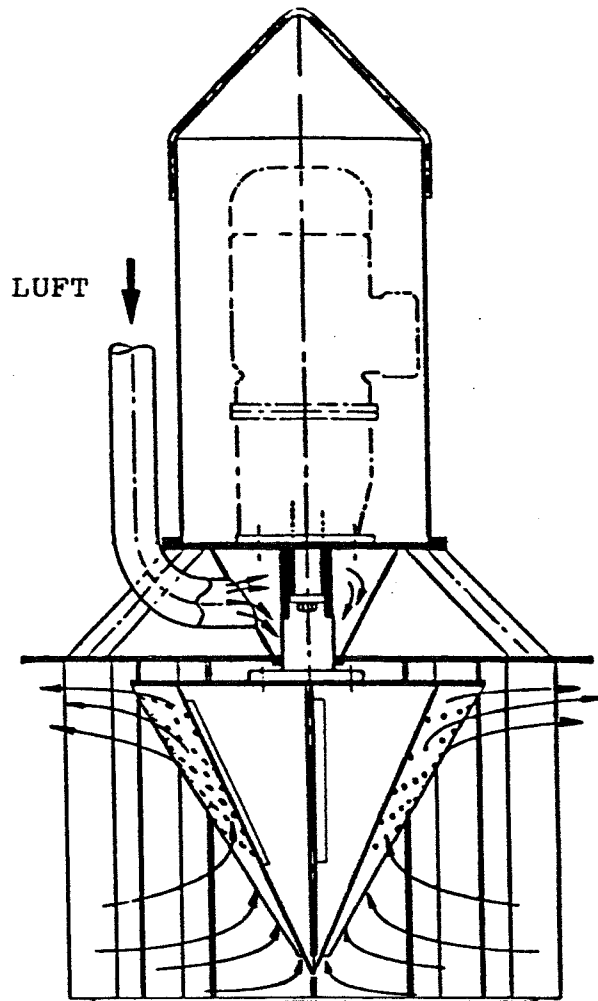


Abbildung 7: OKI-Turbinentauchbelüfter

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.

Eigene Messungen auf einer betrieblichen Vorreinigungsan-

lage der chemischen Industrie haben folgende Werte ergeben.

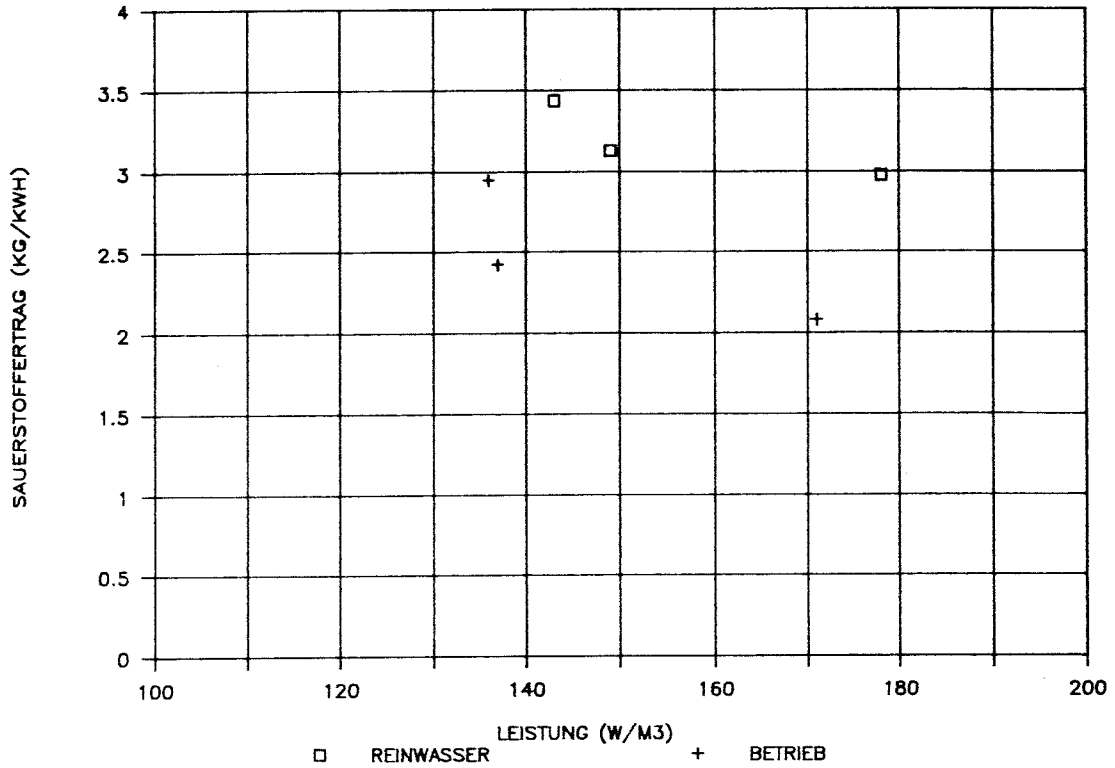


Abbildung 8: Sauerstoffertrag - spez. Energie

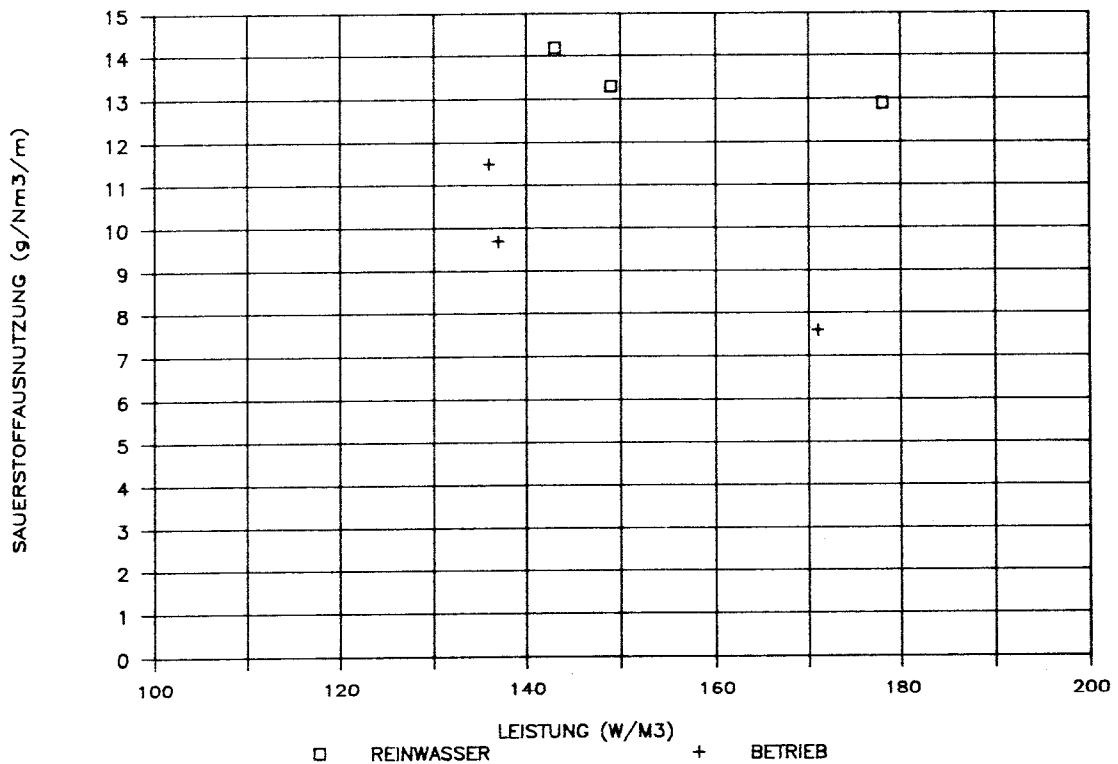


Abbildung 9: Sauerstoffertrag - spez. Energie

Das sehr gute Ergebnis muß jedoch stets gemeinsam mit der vorhandenen Abwassersituation gesehen werden. Leider liegen zur Zeit noch keine Messungen in kommunalen Kläranlagen vor. Es stehen aber eine Reihe von Anlagen vor der Fertigstellung, so daß auch hier bald weitere Aussagen möglich sind.

6. 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 rechtlichen Bestimmungen) 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 Abwasserbeschaffen-

heit 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 **Schlammeigenschaften** 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 Abwassereigenschaften, 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 vermindert 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 **Geruchsemissionen** 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 Sauerstoffertrag. Betriebssicherheit muß besonders auf kleineren Kläranlagen daher Vorrang haben.

Wichtig ist, daß der Sauerstoffertrag 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 täglichen und saisonbedingten Schwankungen der Sauerstoffzufuhr.

Ein echter **Kostenvergleich** verschiedener Belüftungssysteme ist nur über die **Jahreskosten** (Kapitalkosten und Betriebskosten) der gesamten Abwasserreinigungsanlage möglich.

6. LITERATUR

- 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
- FREY W.: Belüftungssysteme, Fortbildungskurs biologische Abwasserreinigung, Wiener Mitteilungen Bd.81, 2.Auflage, 1990
- 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
- MÜLLER G.: Begasung von Biosuspensionen in Blasensäulen- und Schlaufenreaktoren, Dissertation Universität Stuttgart 1986
- SELL G.: Radialstromdüsen in der Abwassertechnik, 7. Wassertechnisches Seminar, WAR Band 23, Darmstadt 1985
- 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.: 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