

OBERFLÄCHEN – UND DRUCKBELÜFTUNGSSYSTEME IM VERGLEICH

W. Frey, Leobendorf

Zusammenfassung

Die Frage der Auswahl des Belüftungssystems wird bei Kläranlagenplanungen immer sehr intensiv behandelt. Die Einsatzbedingungen und die Gebrauchseigenschaften sind Basis der Entscheidung für die Festlegung des Belüftungssystems.

Im Rahmen des Vortrages werden Stärken und Schwächen von Oberflächenbelüftungssystemen aufgelistet und besprochen. Anhand der Beckengeometrie, dem Regelverhalten und der Abwassereigenschaften (Alkalität - pH Wert) werden die Unterschiede zwischen verschiedenen Systemen diskutiert. Ergänzt werden die Aussagen durch Fallbeispiele aus der Praxis.

Es werden Sauerstofftragwerte aus der Literatur und eigene Messdaten der letzten 10 Jahre zusammengefasst. Die Frage der Energiekosten für die Belebung wird anhand eines Vergleichs Druckbelüftungssystem – Oberflächenbelüftungssystem diskutiert. Hierbei wird speziell auf die Betriebsweise der intermittierenden Nitrifikation und Denitrifikation in Umlaufbecken eingegangen.

An Hand einer Datenauswertung von 88 Kläranlagen wird versucht Leistungs- und Effizienzunterschiede zwischen einzelnen Kläranlagen transparent zu machen.

Zum Abschluss wird aus der Sicht der Baukosten der Einfluss der Grundstückskosten an den Gesamterichtungskosten beleuchtet.

Keywords: Druckbelüftung, Oberflächenbelüfter, Energiekosten, Betriebskosten, Einsatzbereiche

1. Einleitung

Oft wird die Frage gestellt, ob Druck- oder Oberflächenbelüftungssysteme die bessere Wahl sind. Die Praxis zeigt, dass beide Systeme seit langem nebeneinander existieren. Wäre ein System das bessere, so wäre das andere System bereits vom Markt verschwunden. Nach meiner Ansicht gibt es keine schlechten Belüftungssysteme, sondern hauptsächlich falsche Anwendungen bzw. Einsatzbereiche die zu Problemen führen.

Grundsätzlich ist die Festlegung des Belüftungssystems eine wichtige und schwierige Aufgabe der planenden Ingenieure. Fehlentscheidungen haben schwerwiegende Konsequenzen auf den Anlagenbetrieb, die Einhaltung der Grenzwerte und auf die anfallenden Kosten.

Der vorliegende Beitrag soll eine Hilfestellung bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit geben. Dazu werden die Gebrauchseigenschaften sowie Stärken und Schwächen von Oberflächenbelüftungssystemen aufgezeigt und unter Berücksichtigung der Erfahrungen der letzten Jahre diskutiert

2. Bauformen von Oberflächenbelüftungssystemen

Man unterscheidet Kreiselbelüfter und Stabwalzenbelüfter (Rotoren). Außerdem zählt zur Gruppe der Oberflächenbelüftungssysteme auch die Strahlbelüftung. Der Vollständigkeit halber wird eine kurze Beschreibung von Kreiseln und Rotoren gegeben. Hinweise auf Bauformen, Strömungsverhältnisse und das Regelverhalten von Oberflächenbelüftern findet man z. B. bei FREY (1990), KROISS (1991).

2.1 Kreiselbelüfter

Kreisel haben eine vertikale Welle und werden in Mischbecken oder in Umlaufbecken eingesetzt. Sie können in offener oder geschlossener Bauweise ausgeführt werden. Die Wirkungsweise entspricht der eines Pumpenlaufrades. Der in den Wasserkörper hineinragende Kreisel fördert Wasser von unten nach oben und wirft es über der Wasseroberfläche aus. Es werden Kreisel mit Durchmessern von 0,5 bis 4,5 m angeboten. Übliche Umfangsgeschwindigkeiten betragen 4-6 m/s. Die Antriebsleistungen können 150 kW erreichen.

2.2 Rotor (Stabwalzenbelüfter)

Rotoren haben eine horizontale Welle und werden heute ausschließlich in Umlaufbecken eingesetzt. Sie bestehen aus einer Hohlwelle, an der Sterne aus Flachstäben befestigt sind. Üblicherweise werden Walzenbelüfter heute mit einem Durchmesser von 1 m und Längen von 4,5 bis 9 m angeboten. Die Umfangsgeschwindigkeiten liegen bei 3-4 m/s. Die Antriebsleistung eines 9 m Rotors bei maximaler Eintauchtiefe liegt bei ca. 45 kW.

3. Einsatzbereiche von Oberflächenbelüftungssystemen

Der Schwerpunkt des Einsatzes von Oberflächenbelüftungssystemen während der letzten 10 Jahre lag in Österreich in der Industrie- und Gewerbeabwasserreinigung.

Auf 10 Anwendungen im industriellen bzw. gewerblichen Bereich kommt eine Anwendung im kommunalen Sektor. Ausschlaggebend für diese Entwicklung sind die Vor- und Nachteile der Systeme.

3.1 Stärken und Schwächen von Oberflächenbelüftungssystemen

Folgende Stärken bzw. Vorteile von Oberflächenbelüftungssystemen beeinflussen die Wahl des Belüftungssystems.

- einfache, robuste Systeme mit hoher Ausfallsicherheit
- verstopfungsfrei auch unter schweren Bedingungen (Feststoffe, Kalkausfällungen, etc.)
- gute schaumzerstörende Wirkung
- keine Einbauten an der Beckensohle, so dass die Leerung und Reinigung der Becken bei Außerbetriebnahmen einfach ist
- Reparaturen an den Geräten können ohne Beckenleerung durchgeführt werden. Es sind keine langen Außerbetriebnahmen zu Reparaturzwecken erforderlich.
- große Betriebssicherheit und Redundanz (gewährleistet durch die größere Anzahl von Aggregaten)
- einfache Steuerung über einen großen Bereich der Sauerstoffzufuhr
- geringer Einfluss auf den pH-Wert durch die Sauerstoffausnutzung

Obige Stärken sind auch im kommunalen Bereich wichtig. Für diesen haben aber auch die Nachteile wesentlichen Einfluss auf die Wahl des Belüftungssystems. Als Schwächen sind anzuführen:

- die Einschränkungen der Wahl der Beckengeometrie
- der erhöhte Flächenbedarf der Belebungsbecken durch die geringere Wassertiefe
- die erhöhten Emissionen von Oberflächenbelüftungssystemen
- im Winterbetrieb Probleme mit Eisbildung
- die im Reinwasser schlechteren Sauerstofftragswerte

Die Aussage, dass es durch Oberflächenbelüftungssysteme zu einer erhöhten Abkühlung des Belebungsbeckens kommt kann nicht bestätigt werden. Vielmehr wurde nachgewiesen, dass die Abkühlung nur eine Funktion der Beckenoberfläche, nicht aber des Belüftungssystems ist (KROISS 1991).

In den folgenden Kapiteln werden einzelne Gebrauchseigenschaften hinterfragt und diskutiert.

4. Regelverhalten

Die Anpassung der Sauerstoffzufuhr an den Sauerstoffverbrauch ist bei Oberflächenbelüftungssystemen in der Regel einfacher als bei Druckbelüftungssystemen.

Bei Druckbelüftungssystemen spielt die Anlagengröße eine Rolle. Je größer die Anlage wird umso aufwendiger gestaltet sich die Bereitstellung des erforderlichen Luftvolumenstromes und die Aufteilung der Luft auf mehrere Becken bzw. Beckenbereiche.

Ein wichtiger Vorteil der Oberflächenbelüftungssysteme liegt darin, dass der Sauerstoffeintrag von fast 0 kg/h bis zur maximalen Belüftungsleistung verändert werden kann, und trotzdem praktisch keine Ablagerungen im Becken auftreten.

4.1 Stabwalzenbelüfter

Die Sauerstoffzufuhr von Stabwalzenbelüftern wird durch die Anzahl der im Betrieb befindlichen Aggregate und die Eintauchtiefe bestimmt. Eine Veränderung der Drehzahl zur Beeinflussung der Sauerstoffzufuhr wird heute kaum noch angewandt.

Wichtig für das Erreichen optimaler Sauerstoffertragswerte ist die Anordnung von Leitwänden nach dem Rotor, so dass das sauerstoffreiche Wasser in die Tiefe abgelenkt wird. Ab Energiedichten von ca. 40 - 50 W/m³ wird es erforderlich, nicht nur Leitwände nach den Rotoren, sondern auch Bremswände vor den Rotoren anzuordnen. Wird dies unterlassen, wird die Geschwindigkeit im Gerinne so hoch, dass es nicht gelingt die maximale Leistungsaufnahme der Belüfter zu erreichen, weil die Relativgeschwindigkeit zwischen Rotor und Wasser zu gering wird. Auch die Anordnung von Umlenkwänden an den Beckenenden bewirkt eine Verbesserung des Sauerstoffertrages. Detaillierte Angaben findet man bei KNOP u. KALBSKOPF (1969).

In der **Abbildung 1** ist der Zusammenhang zwischen Eintauchtiefe, der Sauerstoffzufuhr und der Leistungsaufnahme dargestellt.

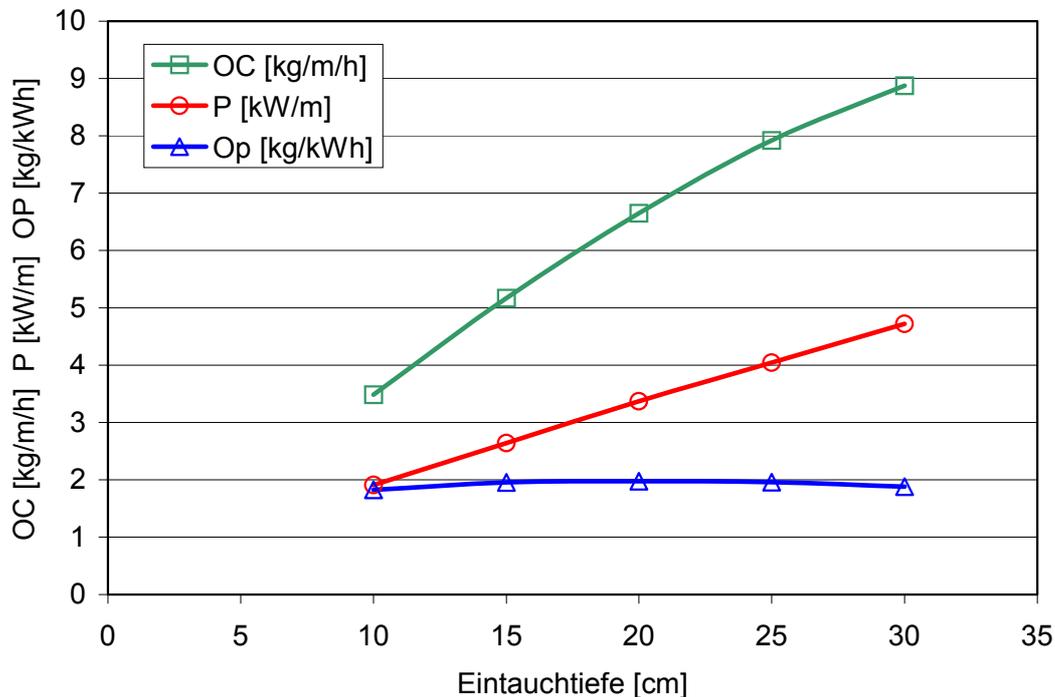


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen OC, P, Op und ET von Mammutrotoren (nach einer Firmenschrift der Fa. Passavant)

4.2 Kreiselbelüfter

Bei den Kreiselbelüftern existiert eine große Anzahl verschiedener Konstruktionen. Es gibt daher ebenso viele theoretische bzw. empirische Zusammenhänge der Sauerstoffzufuhr mit der Eintauchtiefe, der Geometrie und der Drehzahl. Detaillierte Angaben findet man bei KNOP u. KALBSKOPF (1969) und ZLOKARNIK (1980). Von großer Bedeutung ist die starke Abhängigkeit der Sauerstoffzufuhr von der Drehzahl. Sie geht in der Regel mit der dritten Potenz in die Berechnung ein. Eine Halbierung der Drehzahl führt dazu, dass die Sauerstoffzufuhr auf ein Achtel des Wertes bei maximaler Drehzahl zurückgeht. (v. d. EMDE 1969)

5. Sauerstoffausnutzung – pH Wert

Es ist bekannt, dass bei der Nitrifikation Säure gebildet wird, die zu einem Absinken des pH-Wertes im Belebungsbecken führt. Sinkt der pH-Wert unter etwa 6,7 ab, so muss mit

einer Hemmung der Nitrifikation gerechnet werden. Dem Absinken des pH-Wertes muss entgegengewirkt werden.

Durch weitgehende Denitrifikation kann ein Teil der Alkalität, die bei der Nitrifikation verloren wird, wiedergewonnen werden.

Auch führt der jeweilige Kohlendioxid - Partialdruck in der Abluft des Belebungsbeckens vor allem bei schlecht gepufferten Wässern zu einem Absinken des pH-Wertes. Dieser Effekt ist umso ausgeprägter, je höher die Sauerstoffausnutzung und je größer die Einblas-tiefe von Druckluftbelüftungssystemen ist (SCHWAGER u. GUJER 1987). Bei Oberflä-chenbelüftungssystemen ist in der Regel die Sauerstoffausnutzung gering, außerdem ist die Beckentiefe gering, so dass hier der Einfluss auf den pH-Wert am geringsten ist.

Bei vorliegen ungünstiger Verhältnisse kann die Dosierung von Neutralisationsmittel, zur Stabilisierung des pH-Wertes, erforderlich werden (NOWAK, SVARDAL, 1990). Die da-durch entstehenden Kosten sind den Betriebskosten des Belüftungssystems zuzurechnen.

Von der TU Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, wurde eine Wirtschaft-lichkeitsbetrachtung (NOWAK 1999) anlässlich der Erweiterung der Kläranlage Linz-Asten (Bemessungswerte Belebung „neu“: CSB-Fracht = 78 t/d; ges.geb.N-Fracht = 9,5 t/d) durchgeführt. Aufgrund der Einleitersituation und der Abwasserzusammensetzung konnte nicht ausgeschlossen werden, dass zeitweise keine weitgehende Denitrifikation und damit auch kein Rückgewinn an Alkalität erfolgt. Die abwassertechnischen Berechnungen wurden mittels dynamischer Simulation durchgeführt.

Untersucht wurde unter anderem, welche Kosten durch die Neutralisationsmittelzugabe bei feinblasigen Druckbelüftungssystemen im Vergleich zu weniger effizienten mittelblasigen Druckbelüftungssystemen entstehen. Dieser Vergleich hat auch für Oberflächenbelü-ftungssysteme Gültigkeit.

Unter der Annahme, dass 30 Tage pro Jahr Neutralisationsmittel dosiert werden muss, lie-gen die Kosten für das Neutralisationsmittel (Kalk) bei ca. 15% der Energiekosten des Be-lüftungssystems. Bei einem Dosierzeitraum von 180 Tagen pro Jahr steigen die Energie-kosten des feinblasigen Systems + Kalkdosierung auf den gleichen Wert wie die Energie-kosten des mittelblasigen Systems (entsprechende Aussagen können auch für Oberflächen-belüftungssysteme gelten).

6. Wassertiefe, Beckengeometrie und Strömungsverhältnisse

Übliche Beckentiefen liegen bei 2,5 – 4 m. Bei Kreiselbelüftern sind tiefere Becken als bei Rotorbelüftern üblich.

In den letzten Jahren wurden Anlagen (z.B. Wiesbaden, Münster) mit größeren Beckentiefen ausgeführt. Bei solchen Ausführungen ist der Einsatz von zusätzlichen Rührwerken zur Sicherstellung der Durchmischung sinnvoll.

6.1 Fallbeispiel – tiefes Belebungsbecken

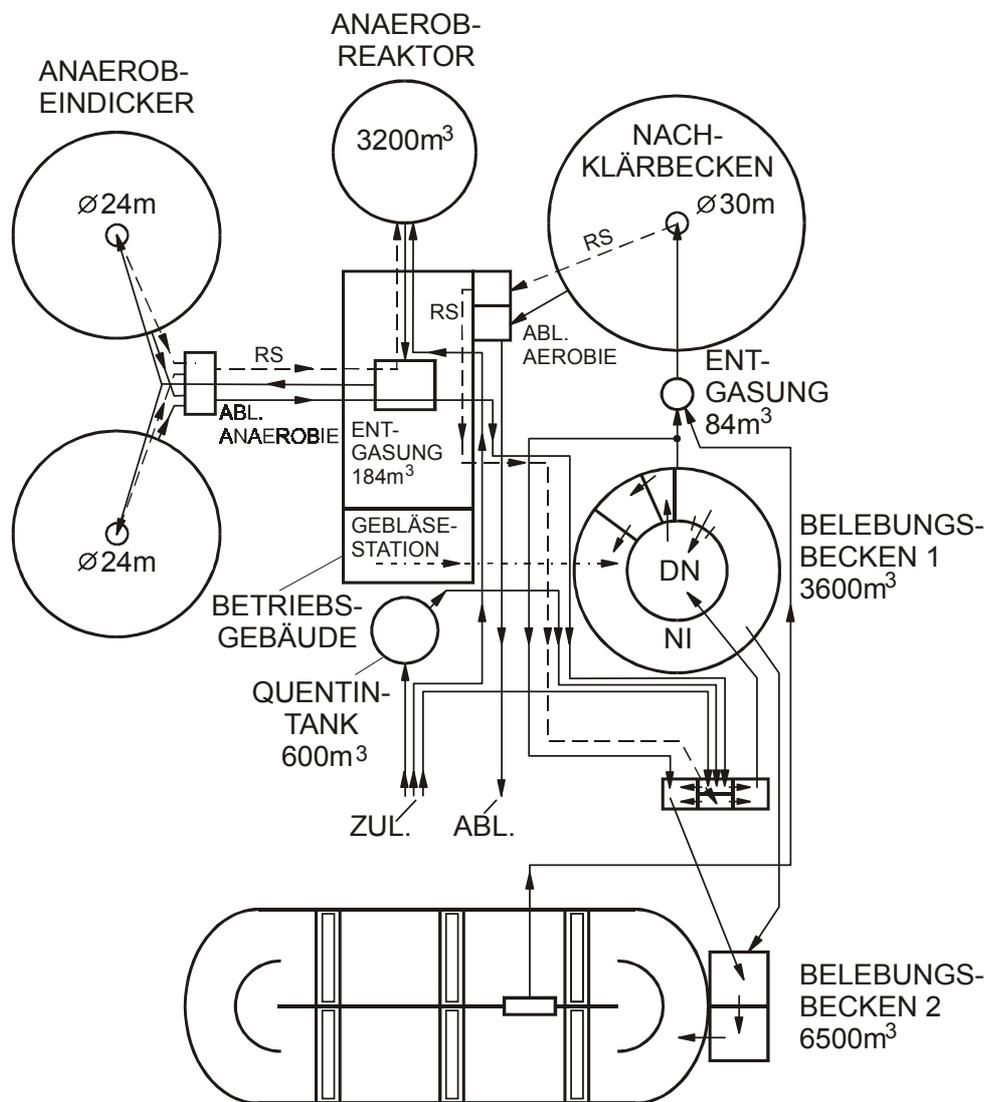
In Österreich wurde im Jahr 1999 eine Industrieabwasserreinigungsanlage einer Zuckerraffinerie mit einem tiefen Belebungsbecken (Wassertiefe 5,6 m) ausgeführt. Die Betriebsabwasserreinigungsanlage ist als zweistufige anaerob - aerobe Anlage konzipiert. Die in der aeroben Stufe zu behandelnde CSB-Fracht beträgt 9.000 kg/d und die Stickstofffracht ca. 1000 kg/d (KROISS, PRENDL 2001).

Zur Anpassung an den Stand der Technik wurde vor der Kampagne 1999 ein Umbau durchgeführt. Die bestehende aerobe Stufe mit einem Volumen von 3600 m³ (Druckbelüftung) wurde um ein neues Belebungsbecken mit einem Volumen von 6100 m³ und zwei aeroben Selektorkaskaden mit je 200 m³ ergänzt. Das neue Belebungsbecken ist mit 6 Stabwalzenbelüftern mit je 9 m Länge und 45 kW Antriebsleistung ausgerüstet. In jeder der beiden Selektorkaskaden ist ein Kreisel mit 30 kW Antriebsleistung angeordnet.

Aufgrund der schlechten Baugrundverhältnisse musste der Boden abgetragen werden. Man hat sich dann entschlossen keine Bodenauswechslung durchzuführen, sondern die Becken einfach tiefer zu belassen. Auch hatte man bewusst zunächst auf den Einbau von Rührwerken verzichtet. Wie die Beckenleerung nach Kampagneende gezeigt hat, gab es Ablagerungen, die aber wesentlich geringer als erwartet ausgefallen waren. Die Dicke betrug maximal 1m. Die Ablagerungen enthielten vergleichsweise wenig organisches Material, es handelte sich zum Großteil um Rübenerde.

Das für die Abwasserreinigung zur Verfügung stehende Beckenvolumen wird durch die ablagerungsfreie Wassertiefe bestimmt. Im vorliegenden Fall betrug die Wassertiefe $5,6\text{m} - 1\text{m (Ablagerung)} = 4,6\text{ m}$. Dieser Wert liegt deutlich über den üblichen Wassertiefen bei Rotorbelüftung.

Die Entscheidung Oberflächenbelüfter einzusetzen war maßgeblich durch die Betriebserfahrungen mit dem Druckbelüftungssystem der bestehenden Aerobie bestimmt. Der Einsatz der feinblasigen Druckbelüftung hatte sich im stark kalkhaltigen Abwasser nicht bewährt. Im Bereich der Poren der Belüftermembrane kam es zu Kalkausfällungen, die die Leistung des Belüftungssystems innerhalb weniger Tage stark beeinträchtigen. Bereits in der ersten Kampagne 1998 gab es einen Totalschaden an den Membranen. Um das Belüftungssystem auf Dauer funktionsfähig zu halten mussten die Kalkablagerungen an den Belüftermembranen im Abstand von zwei bis drei Tagen durch Zugabe von Ameisensäure in die Druckluft entfernt werden.



**Abbildung 2: Fließschema BARA – Zuckerfabrik
(KROISS, PRENDL 2001)**

7. Emissionen von Oberflächenbelüftern

Bei großen Anlagen sind in der Regel eine große Zahl von Aggregaten, im Freien aufgestellt. Damit ergibt sich, dass das **Lärmproblem** (Motor, Getriebe, Wassergeräusch) schwieriger zu beherrschen ist als bei Druckluftbelüftungssystemen.

Durch die im Vergleich geringere Beckentiefe (als Becken mit Druckbelüftung) und damit bei gleichem Volumen größere Oberfläche, ist die **Abluffassung** aufwendiger als bei Druckbelüftungssystemen.

Auch die Ausbildung von **Sprühnebel** ist größer als bei Druckluftbelüftungssystemen. Durch konstruktive Maßnahmen ist dieses Problem technisch beherrschbar. Üblicherweise werden bei Oberflächenbelüftern die Brücken und Tische breit ausgeführt und mit knapp über den Wasserspiegel reichenden Schürzen versehen. Zur Frage des Gesundheitsrisikos durch Aerosole gibt es keine allgemein gültigen Aussagen (HICKEY and REIST 1975; WANNER 1978). Im Rahmen dieser Veranstaltung wird noch von berufener Seite ein Vortrag zu diesem Thema gehalten.

8. Sauerstofftrag von Oberflächenbelüftungssystemen

Eine Zusammenstellung von Messwerten findet man bei PÖPEL u. WAGNER (1989). Daraus ist ersichtlich, dass unter günstigen Bedingungen mit Druckbelüftungssystemen in belebtem Schlamm ein Sauerstofftrag von 1,3 – 2,3 kg/kWh erreichbar ist. Für Oberflächenbelüftungssysteme werden Sauerstofftragswerte von 1,5 – 1,9 kg/kWh genannt. Vom Autor wurden in der Zeit von 1990 bis 2001 ca. 45 Messungen auf 11 Anlagen mit Kreisell- und Rotorbelüftern durchgeführt (Abbildung 3). Die Resultate der Messungen reihen sich gut in die Zusammenstellung von PÖPEL u. WAGNER (1989) ein. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Systeme einen hohen Entwicklungsstand erreicht haben.

Der scheinbare Widerspruch in **Abbildung 3** erklärt sich dadurch, dass in die Auswertungen von PÖPEL u. WAGNER (1989) hauptsächlich Messwerte mit Energiedichten bis 100 W/m³ Eingang gefunden haben, während bei den aktuellen Messungen des Autors größere Energiedichten vorhanden waren. Ähnliche Zusammenhänge wurden schon von KNOP u. KALBSKOPF (1969) vorgelegt. Für eine ausführliche Darstellung der Leistungsfähigkeit von Oberflächenbelüftern wird auf ZLOKARNIK (1980) hingewiesen.

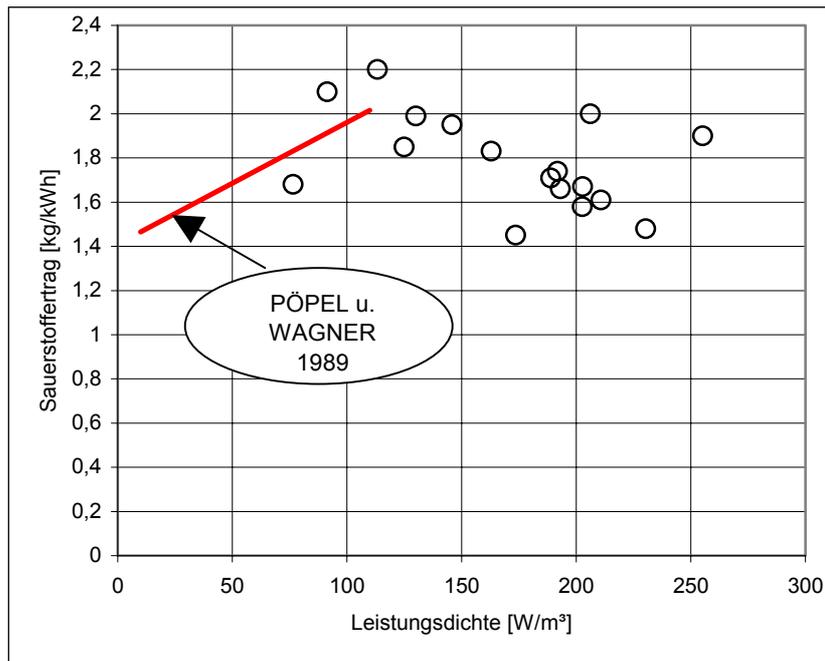


Abbildung 3: Messwerte von Kreisbelüftern in Reinwasser (Mischbecken)

Die **Abbildung 4** zeigt eigene Messwerte in Zusammenschau mit Literaturdaten von Rotorbelüftern..

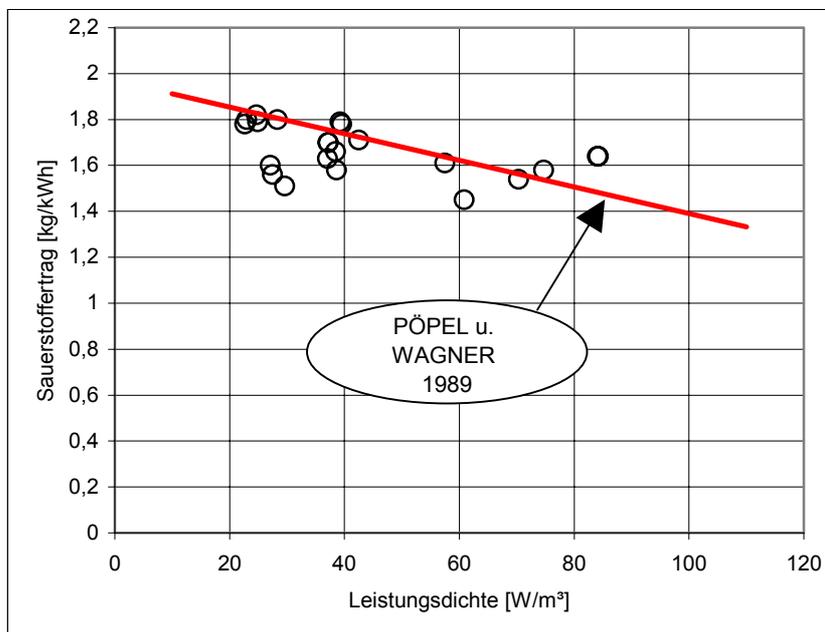


Abbildung 4: Messwerte von Rotorbelüftern in Reinwasser

Die Wirtschaftlichkeit von Oberflächenbelüftern ist von der Energiedichte im Belebungsbecken abhängig. Bei Kreiseln (in Mischbecken) steigt der Sauerstofftrag mit zunehmender Leistungsdichte. Die vorliegenden Messungen zeigen aber auch, dass bei sehr hohen Leistungsdichten, wie sie z. B. in Selektoren auftreten, der Sauerstofftrag wieder abnimmt. Bei Rotorbelüftern steigt der Sauerstofftrag mit sinkender Leistungsdichte. Dieser Umstand ist bei der Abschätzung der Wirtschaftlichkeit des Systems im Teillastbetrieb zu berücksichtigen.

Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit eines Oberflächenbelüftungssystems, in belebtem Schlamm, ist der Grenzflächenfaktor (α -Wert) zu berücksichtigen. Er liegt bei Kreisel- und Rotorbelüftung bei 0,9 – 1,0.

9. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Die Entscheidung darüber welches Belüftungssystem eingesetzt werden soll wird häufig von der Frage nach den Anschaffungskosten und dem Sauerstofftrag dominiert. Im Folgenden wird anhand von theoretischen Überlegung und Datenauswertungen versucht einen Beitrag zur Entscheidungsfindung zu liefern.

9.1 Theoretische Überlegungen zum Energieverbrauch

In die Energiekosten ist jedenfalls der gesamte Energieaufwand für die Biologie einzurechnen. Die in Umlaufbecken mit Druckbelüftung vorhandenen Rührwerke laufen in der Regel durch. Um auch während der Belüftungsphasen eine Umlaufströmung aufrecht zu erhalten, muss die installierte Leistung relativ hoch sein. Wenn die Anforderungen an die Stickstoffentfernung hoch sind, müssen in der Regel auch in Umlaufbecken mit Stabwalzen Rührwerke eingebaut werden. Da diese aber nur ohne zusätzliche Luftbeaufschlagung die Strömung aufrecht zu erhalten haben, kann deren spezifische Leistung geringer angesetzt werden.

Es wird im Folgenden eine Betrachtung des Energieaufwandes für das Belebungsbecken durchgeführt. Als veränderliche Parameter sind der Sauerstoffverbrauch und die Op-Werte der Druck- und Oberflächenbelüftungssysteme enthalten. An Annahmen wurden getroffen:

- spezifische Rührwerksleistung für Druckbelüftung $2,5 \text{ W/m}^3$ und $1,5 \text{ W/m}^3$ für Oberflächenbelüftung.
- Sauerstoffgehalt in der Biologie $1,5 \text{ mg/l}$
- Intermittierende Betriebsweise. Bei kleinen Atmungen wurden 40% Nitrifikation und 60 % Denitrifikation als Belüftungszeit angesetzt. Bei hohen Atmungen wurde das Verhältnis umgekehrt. Bei Druckbelüftung laufen die Rührwerke durch und bei Oberflächenbelüftern werden sie während der Belüftungsphase abgestellt.
- konstanter Sauerstofftrag über den Regelbereich

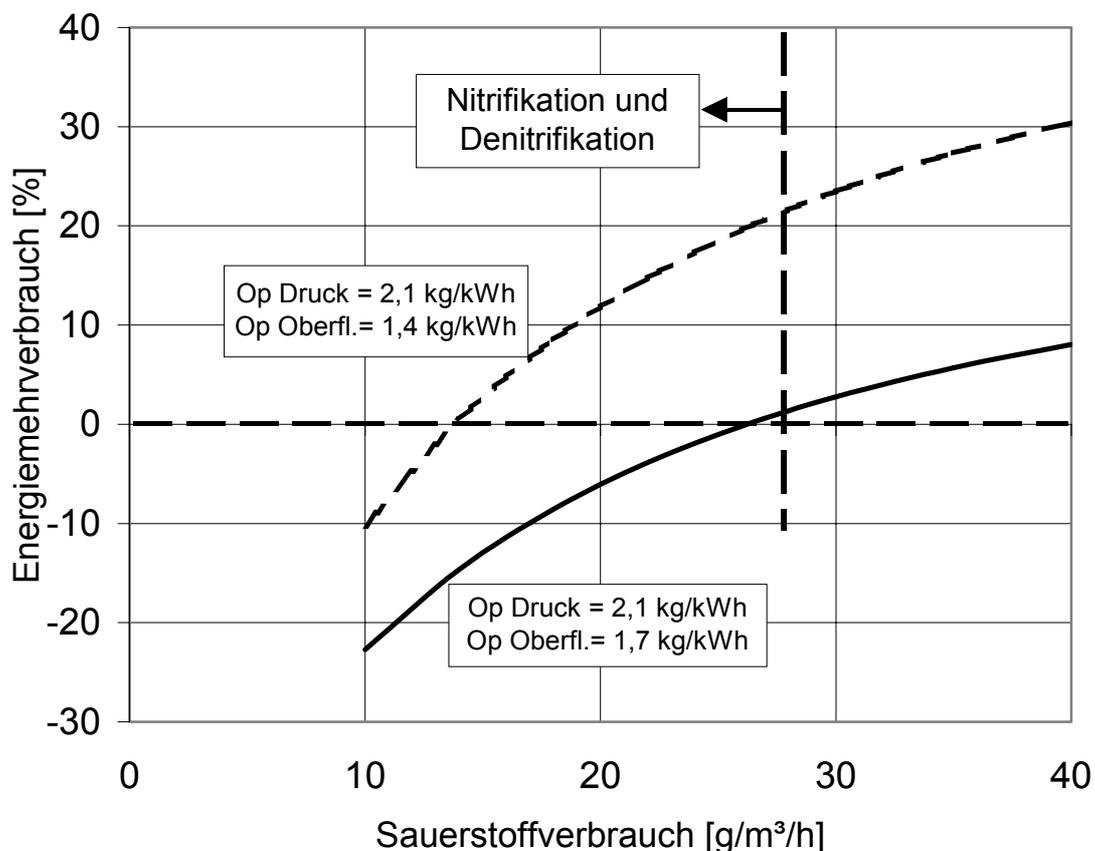


Abbildung 5: Energienmehrverbrauch – Sauerstoffverbrauch

In der **Abbildung 5** ist der Energienmehrverbrauch eines Oberflächenbelüftungssystems gegenüber einem Druckbelüftungssystem in Abhängigkeit vom Sauerstoffverbrauch aufgetragen. Die Sauerstofferträge beziehen sich auf belebten Schlamm. Durch den dauernden Betrieb der Rührwerke ist die erforderliche Leistung für die Mischung bei kleinen Atmungen im Verhältnis zur Belüfterleistung deutlich erhöht. Der geringere Sauerstofftrag der Oberflächenbelüftungssysteme wird dadurch kompensiert. Je größer die Differenz der Sauerstofferträge zwischen den Systemen ist desto größer wird der Energienmehrverbrauch.

Bei Anlagen mit Nitrifikation - Denitrifikation liegt der Sauerstoffverbrauch unter 25 – 30 g/m³/h. Die Kurven in **Abbildung 5** zeigen, dass mit Druckbelüftungssystemen nicht in jedem Fall ein geringerer Energiebedarf für den Betrieb der Biologie erreicht wird. So liegt der rechnerische Vorteil, unter mittleren Verhältnissen, bei ca. 10%. Bei sehr niedrig belasteten Anlagen (z.B. gleichzeitige aerobe Schlammstabilisierung) ergeben sich, unter den getroffenen Annahmen, sogar Vorteile für die Oberflächenbelüftungssysteme.

9.2 Vergleich von Anlagendaten

In Österreich wurde 2000-2001 ein Forschungsprojekt "Erfassung und Vergleich von technischen und wirtschaftlichen Kennzahlen in der Siedlungswasserwirtschaft – Benchmarking SWW" durchgeführt (Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft 2001; KROISS 2002). Es war der Versuch, Leistungs- und Effizienzunterschiede zwischen einzelnen Kläranlagen transparent zu machen. Es haben daran 88 Abwasserreinigungsanlagen verteilt über ganz Österreich teilgenommen. Davon waren 46 mit Druckbelüftungssystemen und 17 mit Oberflächenbelüftungssystemen ausgerüstet. Auf den restlichen Anlagen sind Misch- bzw. Sonderbauformen von Belüftungssystemen installiert. Die Anlagen wurden in fünf Größenklassen eingeteilt und die Gesamtkosten vier Prozessen zugewiesen. Der festgelegte Prozess 2 wird im Wesentlichen von der biologischen Reinigungsstufe und damit von den Kosten des Belüftungssystems dominiert. Der gesamte Bericht steht im Internet als Download unter www.Lebensministerium.at/Publikationen zur Verfügung.

Von den Autoren der Studie wurde auch eine Auswertung des Energieverbrauches und der Betriebskosten des „Prozesses 2 – biologische Reinigung“ durchgeführt. Unterschieden wurden die Anlagen nach ihrer Größenklasse und dem eingesetzten Belüftungssystem.

Für die Beurteilung der Kosten der Sauerstoffzufuhr sind die Betriebskosten des Prozesses 2 maßgebend. In **Abbildung 6** wurden die spezifischen Betriebskosten des Prozesses 2 nach dem Belüftungssystem gruppiert. Der Median der spezifischen Betriebskosten des Prozesses 2 der 46 Anlagen mit Druckbelüftungssystemen beträgt 5,5 €/EW-CSB110/Jahr. Die mittleren Betriebskosten der 17 Anlagen mit Oberflächenbelüftern betragen 5,9 €/EW-CSB110/Jahr, dh. Anlagen mit Druckbelüftungssystemen weisen im Prozess 2 ca. 7 % geringere Betriebskosten aus als Oberflächenbelüftungssysteme. Im Hinblick auf die Be-

triebskosten kann demzufolge kein signifikanter Unterschied zwischen Druck- und Oberflächenbelüftern festgestellt werden. Die untersuchten Turbinenbelüfter haben im Mittel wesentlich höhere Kosten als Oberflächen- und Druckbelüfter, aufgrund der geringen Stichprobe kann jedoch keine seriöse allgemeine Aussage bezüglich ihrer Effizienz gemacht werden.

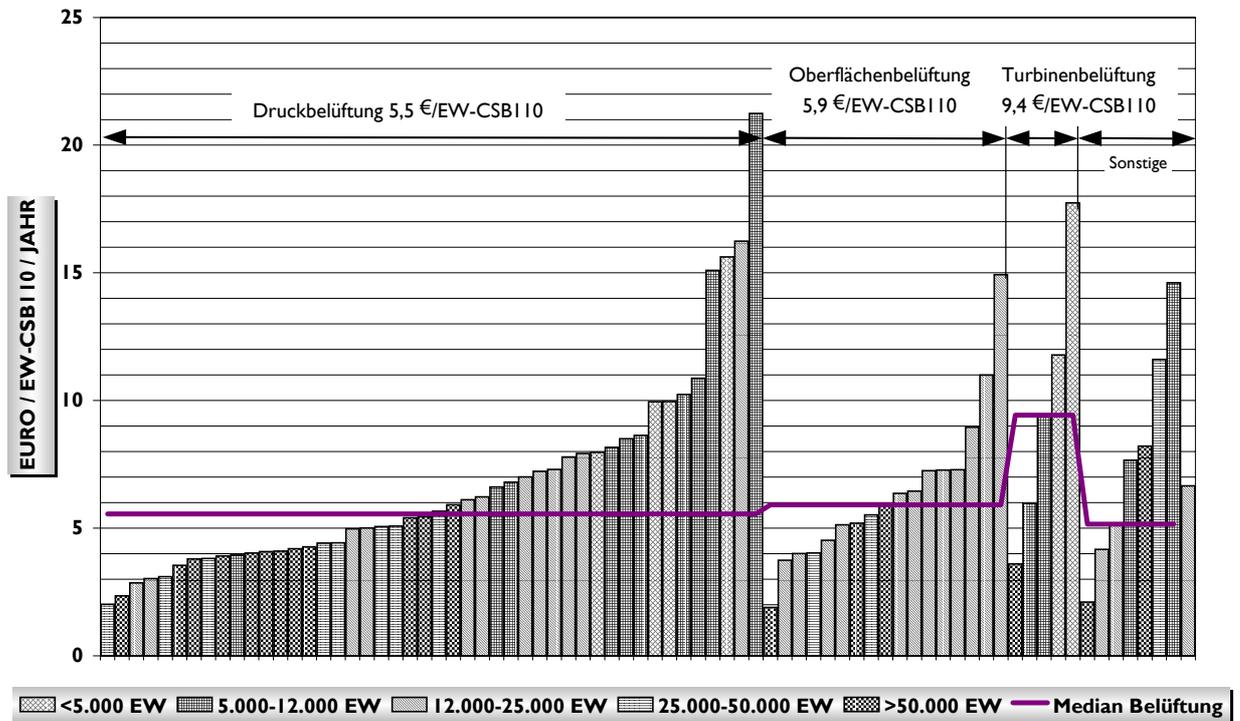


Abbildung 6: spezifische Betriebskosten „Prozess 2 - Biologische Reinigung“ gruppiert nach dem Belüftungssystem

Der Energieverbrauch des Prozesses 2 ist zum überwiegenden Teil durch das Belüftungssystem inklusive der Rührwerke bestimmt. Es wurde daher auch ein Vergleich der Systeme nach dem spezifischen Energieverbrauch durchgeführt. In Abbildung 7 wurden die Anlagen nach Belüftungssystemen gruppiert und nach dem spezifischen Energieverbrauch (bezogen auf die CSB Zulauffracht in kg/d) gereiht. Es zeigt sich ein ähnliches Ergebnis wie beim Vergleich der Kosten. Der Median der Anlagen mit Druckbelüftungssystemen liegt bei 0,54 kWh/kg-CSBzu und jener von Oberflächenbelüftungssystemen bei 0,61 kWh/kg-CSBzu.

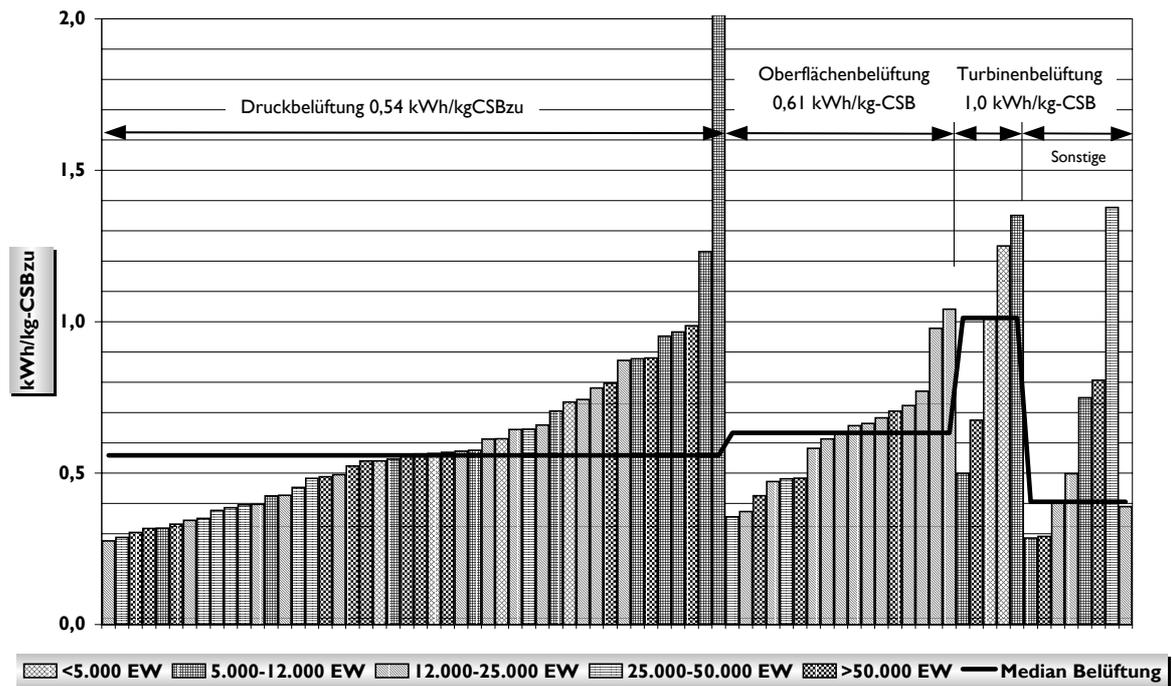


Abbildung 7: spezifischer Energieverbrauch „Prozess 2 - Biologische Reinigung“ gruppiert nach dem Belüftungssystem

Der spezifische Energieverbrauch des Prozesses 2 von Anlagen mit Druckbelüftungssystemen ist um ca. 11 % geringer als jener von Anlagen mit Oberflächenbelüftungssystemen. Auch hier konnte kein signifikanter Unterschied zwischen Druck- und Oberflächenbelüftern festgestellt werden. Blickt man zurück auf die Ergebnisse der theoretischen Betrachtungen zum Energieverbrauch in Punkt 9.1 so ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit den dort ermittelten 5-10 % Energiemehrverbrauch der Oberflächenbelüftungssysteme.

Obige Resultate bestätigen die Tatsache, dass der Sauerstofftrag ein wesentliches Kriterium bei der Auswahl des Belüftungssystems ist, aber sein Einfluss auf die Gesamtkosten zu hoch bewertet wird. Die Aussage von v. d. EMDE (1980) hat nach wie vor Gültigkeit.

*„Ein echter **Kostenvergleich** verschiedener Belüftungssysteme ist nur über die **Jahreskosten** (Kapitalkosten und Betriebskosten) der gesamten Abwasserreinigungsanlage möglich. Nur die Unterschiedlichen Anschaffungskosten und die Energiekosten der Belüftungssysteme gegenüberzustellen genügt nicht. Vielmehr sind alle Folgekosten bzw. Einsparungen die sich aus der Regelungsmöglichkeit, Wartung, Reparatur, etc. ergeben einzurechnen.“*

Den Auswertungen des Benchmarking-Projektes liegen die Daten des Jahres 1999 zugrunde. Bei den Wartungs- und Reparaturkosten ist, zufolge der in letzter Zeit vermehrt aufgetretenen Verstopfungen von Druckbelüftungssystemen, eine große Unsicherheit entstanden. Die daraus resultierenden Folgekosten werden die Medianwerte der Anlagen mit Druck- und Oberflächenbelüftungssysteme noch weiter zusammenrücken lassen.

9.3 Einfluss der Grundkosten auf die Gesamtkosten

Ein Argument gegen den Einsatz von Oberflächenbelüftungssystemen ist die Tatsache, dass durch die geringere Beckentiefe bei gleichem Beckenvolumen mehr Grundfläche benötigt wird. Dieser Umstand wird in manchen Fällen ein „KO“-Kriterium sein, er darf aber nicht verallgemeinert werden.

Untersuchungen an der TU Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft (KROISS 2001), für den Bau einer Kläranlage im Stadtgebiet von Hongkong, haben gezeigt, dass die Grundkosten ab einem Preis von € 1.000,-- pro Quadratmeter zu einem wesentlichen Kostenfaktor für die Baukosten der Kläranlage werden.

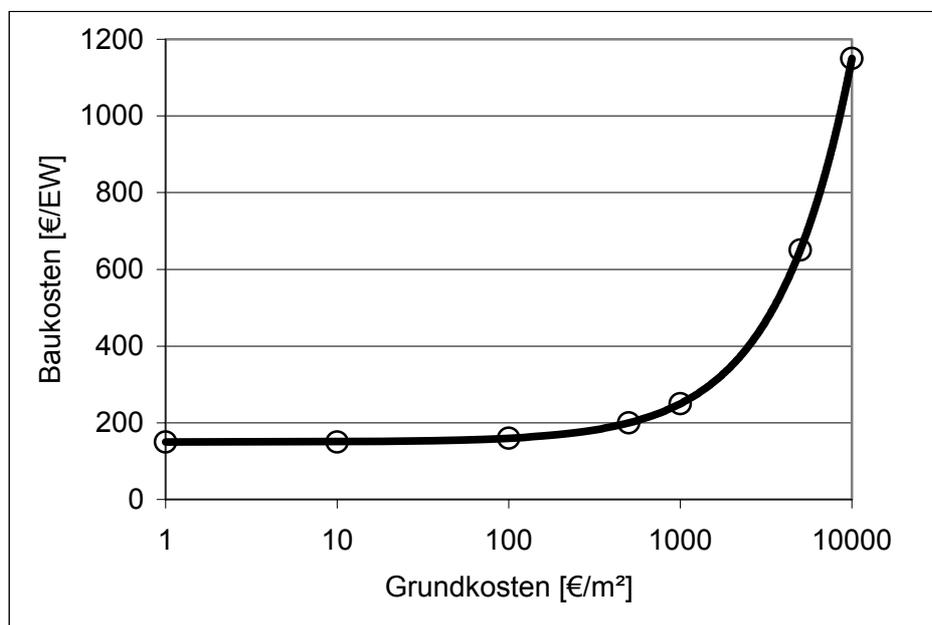


Abbildung 8: Grundkosten - Gesamtkosten (KROISS 2001)

Diese Aussage kann auch auf die Mehrkosten zufolge des größeren Flächenbedarfes für das Belebungsbecken angewendet werden. Liegen die Grundkosten unter ca. 800,-- €/m² so hat der erhöhte Flächenbedarf für das Belebungsbecken nur einen geringen Einfluss auf die Gesamtbaukosten.

10. Literatur

- Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft : Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft, Herausgeber Österreichisches Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft 2001, (www.Lebensministerium.at/publikationen)
- v. d. EMDE W.: Belüftungssysteme, Wiener Mitteilungen Band 4, Herausgeber: Technische Hochschule Wien, Institut für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, 1969
- v. d. EMDE W.: Entscheidungskriterien bei der Wahl von Belüftungssystemen, Fortbildungskurs „Biologische Abwasserreinigung“, TU Wien, 1980
- FREY W.: Belüftungssysteme; Wiener Mitteilungen Band 81; 1990
- HICKEY L.S., REIST P.C.: Health Significance of airborne microorganisms from wastewater treatment process, Journal WPCF Vol.47 (1975), No.12
- KNOP E., KALBSKOPF K.-H.: Energetische und hydraulische Untersuchungen an mechanischen Belüftungssystemen, gwf Heft 8, 1969
- KROISS H.: Perspektiven der Anwendung von Oberflächenbelüftern, WAR Band 54, Darmstadt 1991
- KROISS H.: Neue Entwicklungen in der Abwasserreinigung, Informationsreihe Betriebspersonal Abwasserreinigungsanlagen ÖWAV (KAN), Folge 9, 2001, Kommissionsvertrieb: Österreichisches Normungsinstitut
- KROISS H., PRENDL L.: Grosstechnische Erfahrungen mit der Reinigung von Zuckerfabriksabwasser; vorgetragen auf der „4th biennial conference of ACE CR - wastewater 2001“; Mlada Boleslav, 15 - 17 May 2001
- KROISS H. (Herausgeber): Benchmarking in der Abwasserentsorgung Wiener Mitteilungen Band 176, 2002 (Internet: Lebensministerium.at/publikationen)
- NOWAK O., SVARDAL K.: Nitrifikation und Denitrifikation, Wiener Mitteilungen Band 81-2. Auflage; 1990
- NOWAK O.: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zum Belüftungssystem der Kläranlage Linz-Asten, unveröffentlichte Studie des Institutes für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU Wien 1999
- PÖPEL H. J. u. WAGNER M.: Sauerstoffeintrag und Sauerstofftrag moderner Belüftungssysteme, Korrespondenz Abwasser 5/1989
- SCHWAGER A., GUJER W.: pH-Berechnung beim Belebtschlammverfahren und Auswirkungen des pH-Wertes auf die Nitrifikation, VSA-Verbandsbericht Nr.: 348 (1987)
- WANNER H. U.: Luftverunreinigung durch Kläranlagen, IAWPR-Sonderkonferenz Belüftung Amsterdam 1978
- ZLOKARNIK M. (1979): Scale-Up of Surface Aerators for Wastewater Treatment, Advances in Biochem. Engng. Vol. 11, page 157-180
- ZLOKARNIK M. (1980): Eignung und Leistungsfähigkeit von Oberflächenbelüftern für biologische Abwasserreinigungsanlagen, Korresp.Abwasser 27, Seite 14 - 21

Anschrift des Verfassers:

Abwassertechnische Ausbildung
und Beratung
Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey
Leobendorf / Hofgartenstraße 4/2
A-2100 Korneuburg

Telefon: ++43 (0) 2262 68173

Fax: ++43 (0) 2262 66385

e-mail: aab.frey@aon.at