

Frey Wilhelm, Wien

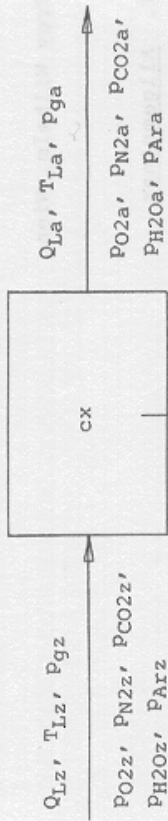
1. Allgemeines

Versuche unter Betriebsbedingungen können im Durchlaufbetrieb und im Standversuch ohne Rücklaufschlamm und Abwasserzufuhr durchgeführt werden (KAYSER 1977). Außerdem ist es möglich mit ansteigendem Sauerstoffgehalt (Absorptionsversuche) und mit abnehmendem Sauerstoffgehalt (Desorptionsversuche) zu arbeiten. Auf Grund der bestehenden theoretischen Zusammenhänge (KAYSER 1982) kann die Auswertung der Desorptionsversuche analog den Absorptionsversuchen durchgeführt werden. Neben diesen bekannten und hinreichend erprobten Methoden gibt es die Möglichkeit, über den Restsauerstoffgehalt der Abluft eine Abschätzung der Sauerstoffzufuhr vorzunehmen.

Die Anwendbarkeit der Sauerstoffaufnahmemethode (ΔO_2 -Methode) ist in der Regel auf druckbelüftete abgedeckte Anlagen beschränkt. Der Vorteil liegt in der integralen Erfassung der Sauerstoffzufuhr auch bei Durchlaufbetrieb.

1.1. Bestimmung der Sauerstoffzufuhr mit der Sauerstoffaufnahmemethode (ΔO_2 -Methode)

Die Basis der Methode bildet eine Gasbilanz über das Belebungsbecken. Luftmengen auf Normbedingungen (0 °C; $1,013 \cdot 10^5$ Pa) bezogen. Es wird vorausgesetzt, daß das System im Gleichgewicht ist.



Biologische Aktivitäten

- Sauerstoffzehrung
 - Biomasseproduktion
- Physikalische Vorgänge
- Lösung CO₂
 - Lösung O₂
 - Wasserdampfsättigung

- Q_L (Nm³/h)
- T_L (K)
- P_g (Pa)
- P_{O2} (Pa, Vol%)
- P_{N2} (Pa, Vol%)
- P_{CO2} (Pa, Vol%)
- P_{H2O} (Pa, Vol%)
- P_{Ar} (Pa, Vol%)

Indizes: z zugeführt
 a abgeführt

Echte Meßwerte des Versuches sind

- die Luftmenge, zu- oder ab
- die Temperatur, zu- und ab
- der Gesamtdruck, zu und ab
- die Luftfeuchte zu
- der Sauerstoffgehalt ab
- der Kohlendioxidgehalt ab
- der Sauerstoffgehalt im Belebungsbecken.

Annahmen bzw. Voraussetzungen:

- Luftfeuchte ab messen oder Luft vor der Messung trocknen
- Partialdrücke bzw. Volumenanteile der Komponenten in der Ansaugluft
- keine simultane Denitrifikation

Aus den Bilanzen für die einzelnen Komponenten und dem Dalton'schen Gesetz läßt sich die Sauerstoffzufuhr errechnen.

1.1.1. Inertgasbilanz (Stickstoff und Argon)

Wenn keine oder nur geringfügige Denitrifikation auftritt gilt folgende Bilanz für den Stickstoff und das Argon:

$$Q_{Lz} \cdot (PN_{2z} + PArz) = Q_{La} \cdot (PN_{2a} + PArz) \quad \text{daraus errechnet man}$$

$$Q_{Lz} = Q_{Lz} \cdot (PN_{2z} + PArz) / (PN_{2a} + PArz) \quad (1)$$

den Partialdruck der Inertgase am Austritt erhält man aus dem Dalton'schen Gesetz

$$P_{O2a} + P_{CO2a} + P_{H2Oa} + P_{N2a} + P_{Ara} = P_{ga} \quad \text{und daraus}$$

$$P_{N2a} + P_{Ara} = P_{ga} - P_{O2a} - P_{CO2a} - P_{H2Oa} \quad (2)$$

und damit die Abluftmenge.

1.1.2. Sauerstoffbilanz

Die Sauerstoffbilanz ergibt sich mit OC als Sauerstoffzufuhr unter Versuchsbedingungen zu

$$Q_{Lz} \cdot P_{O2a} = Q_{La} \cdot P_{O2a} + OC \quad \text{und daraus}$$

$$OC = Q_{Lz} \cdot P_{O2z} - Q_{La} \cdot P_{O2a} \quad (3)$$

1.1.3. Vor- und Nachteile

Die Erfassung der Sauerstoffzufuhr über die Gasbilanz hat den Vorteil, daß sie eine "integrale" Messung ist, d.h. mit ihr können Beckenkonfigurationen bei denen keine Klarheit über den Mischungszustand besteht gemessen werden.

Versuche im Durchlaufbetrieb sind möglich (vorausgesetzt die Anlage ist im Gleichgewicht). Die sogenannten Anfahrprobleme sind, da die Belüftung durchlaufen kann, nicht vorhanden.

Der Einfluß der simultanen Denitrifikation auf die Stickstoffbilanz liegt weit unter den Meßfehlern der anderen Parameter.

Als nachteilig sind folgende Punkte anzuführen:

- Eine Vielzahl an verschiedenen Maßparametern ist zu erfassen. Insbesondere die Sauerstoff- und Kohlendioxidanalyse im Abluftstrom (die Vermeidung von Fremdluft ist wesentlich), ist aufwendig.
- Die Anwendbarkeit ist auf abgedeckte Becken eingeschränkt bzw. sind Maßnahmen zur Luftprobenahme mittels Hauben von der freien Oberfläche erforderlich.
- Die Genauigkeit der Luftmengenmessung ist von entscheidender Bedeutung.
- Eine Sauerstoffgehaltmessung im Belebungsbecken ist auch hier für die Umrechnung der Sauerstoffzufuhr auf $O/mgO_2/l$ notwendig. In diesem Parameter steckt die größte Unsicherheit des Verfahrens (Idee: möglichst $cx \ll cs$, z.B. im Durchlaufbetrieb, damit wird Korrekturfaktor näherungsweise 1!)

1.1.4. Beispiel

Nach D'ANS/LAX (1967) kann die Zusammensetzung trockener Luft mit

78,09	Vol %	Stickstoff	791,25 mbar
20,95	"	Sauerstoff	212,28 mbar
0,93	"	Argon	9,42 mbar
0,03	"	Kohlendioxid	0,30 mbar
angenommen werden.			1013,25 mbar

Bei einer Tierkörperverwertung in Oberösterreich wurden hintereinander Messungen mit der Absorptionsmethode nach KAYSER (2 Versuche) und der Sauerstoffausnutzungsmethode durchgeführt. Hierbei ergab sich für die Auflichtungsmethode die Sauerstoffzufuhr im Mittel zu $OC^* = 51 \text{ kg/h}$.

Meßwerte

$Q_{Lz} = 553 \text{ Nm}^3/\text{h}$ Feuchte Luft $cx_{BB} = 0$
 $\varphi = 0,6$ (relative Feuchte) $T_{BB} = 26,6 \text{ }^\circ\text{C}$
 $P_{gz} = 0,950 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
 $T_z = 275 \text{ K}$
 $P_{ga} = 0,950 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Gasanalysen (bezogen auf trockene Luft)

$PO_2a = 15,06 \text{ Vol } \%$
 $PCO_2a = 1,81 \text{ Vol } \%$

Umrechnung des Luftstromes auf trockene Luft

$p_{sH_2O}(2^\circ\text{C}) = 0,00715 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ mit $\varphi = 0,6$
 $p_{H_2O} = 0,00429 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

$Q_{Lz}(\text{trocken}) = Q_{Lz}(\varphi=0,6) \cdot (P_{gz} - p_{H_2O}) / P_{gz}$
 $= 553 \cdot (0,950 - 0,0043) / 0,95 = 550,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$

Mit G1g (2) erhält man

$(PN_2a + p_{Ara}) = 100 - 15,06 - 1,81 = 83,18 \text{ Vol } \%$

Aus Glg (1) errechnet man den Abluftstrom zu

$$Q_{La} = 550,5 \cdot 79,02 / 83,13 = 523,3 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

und damit aus Glg. (3) die Sauerstoffzufuhr unter Versuchsbedingungen

$$\begin{aligned} OC = Q_{Lz} \cdot PO_{2z} - Q_{La} \cdot PO_{2a} &= 550,5 \cdot 0,2095 - 523,3 \cdot 0,1506 = \\ &= 36,5 \text{ Nm}^3 O_2/\text{h} \end{aligned}$$

Für die Umrechnung auf kgO_2/h ist mit dem Faktor 1,4286 kgO_2/Nm^3 zu multiplizieren. Außerdem ist um einen der ÖNORM M5888 angepaßten Wert zu erhalten der Temperaturkorrekturfaktor $f_{T,10}$ zu berücksichtigen. Damit erhält man

$$\begin{aligned} OC^* &= OC \cdot f_T \cdot 10 \cdot 1,4286 \cdot cs / (cs - cx) = 36,5 \cdot 1,035 \cdot 1,4286 \cdot 1 = \\ &= 54,0 \text{ kgO}_2/\text{h} \end{aligned}$$

Diese Versuchseinstellung wurde im Durchlaufbetrieb gefahren, die Sauerstoffzufuhr war geringer als die Zehrung und damit der Sauerstoffgehalt im Becken ca. 0/mg/l. Im Vergleich mit den Auflüftungsversuchen erhält man einen um 7 % größeren Wert. Diese Abweichung liegt durchaus in der zu erwartenden Messtoleranz. Da aber, wie schon erwähnt, die Gasanalysen-Versuche mit Zulauf ($-cx = 0$) durchgeführt wurden ist auch die Möglichkeit der Erhöhung durch andere Nutzungswege des Sauerstoffes durch die Mikroorganismen zu berücksichtigen. Mehr darüber im Abschnitt über α -Werte > 1.

Eine Fehlerrechnung soll Aufschluß über die zu erwartenden Abweichungen bei

- Vernachlässigung der Luftfeuchtigkeit der Ansaugluft bzw. fehlerbehafteter Luftmengenmessung
- Vernachlässigung des Kohlendioxidanteiles geben.

Die zu untersuchende Funktion hat die Form:

$$OC = Q_{Lz} \cdot (PO_{2z} - \frac{PN_{2z} + P_{Arz}}{P_{ga} - PO_{2a} - PCO_{2a}} \cdot PO_{2a})$$

mit

$$a = PO_{2a} \cdot (PN_{2z} + P_{Arz}) \quad x = Q_{Lz}$$

$$b = P_{ga} - PO_{2z}$$

$$y = PCO_{2a}$$

$$c = PO_{2z}$$

$$f(x,y) = x \cdot (c - \frac{a}{b-y})$$

Der relative Fehler ergibt sich zu

$$\frac{\partial f}{\partial x} = (c - \frac{a}{b-y}) \quad \frac{\partial f}{\partial y} = \frac{x \cdot a}{(b-y)^2}$$

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta x \cdot |c - \frac{a}{b-y}| + \Delta y \cdot \frac{x \cdot a}{(b-y)^2}}{|f(x,y)|}$$

Die Rechnung zeigt:

- die Berücksichtigung der Luftfeuchtigkeit der angesaugten Luft ist hier zu vernachlässigen, da die zu erwartenden Abweichungen der Sauerstoffzufuhr ca. 0,5 % sind. (Voraussetzung sind nicht zu hohe Ansaugtemperatur und Feuchte der Luft)
 - wenn die Luftfeuchtigkeit und die Kohlendioxidkonzentration in der Abluft vernachlässigt wird, ist ein relativer Fehler für die Sauerstoffzufuhr von 5,2 % zu erwarten
 - der maximal zu erwartende Fehler beträgt, unter der Annahme einer mit 5% Fehler behafteten Luftmengenmessung und vernachlässigter Kohlendioxidkonzentration, 10%.
- Aus obigen Betrachtungen folgt aber, daß in vielen Fällen mit einem verringertem Meßaufwand eine Auswertung durchgeführt werden kann.

Für das Beispiel heißt das:

$$(P_{N_2} + P_{Ar}) = P_{g-P_{O_2}} = 100 - 15,06 = 84,94 \text{ Vol\%}$$

$$Q_{La} = 553 * 79,02 / 84,94 = 514,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$OC^* = (553 * 0,2095 - 514,5 * 0,1506) * 1,035 * 1,4286 * 1 = 56,7 \text{ kgO}_2/\text{h}$$

man errechnet einen um 5 % größeren Wert, d.h. bei Vernachlässigung des PCO_2 und der Feuchte der angesaugten Luft erhält man zu große Werte!

Die dargestellten Überlegungen zeigen, daß das Verfahren eine Ergänzung darstellt, aber keineswegs alle Unwägigkeiten die bei der Sauerstoffzufuhrmessung auftreten, beseitigt.

Literatur:

- D'ANS/LAX (1967): Taschenbuch für Chemiker und Physiker, Band 1, Springer-Verlag
- KAYSER, R. (1977): Zur Frage der Überprüfung des Sauerstoffeintrages, 12. ÖWWV Seminar, Wiener Mitteilungen, Band 22
- KAYSER, R. (1982): Wirtschaftlichkeit verschiedener Belüftungssysteme unter Betriebsbedingungen, 17. ÖWWV Seminar, Wiener Mitteilungen, Band 47
- Anschrift des Verfassers:
Dipl.-Ing. Wilhelm Frey
Institut für Wassergüte und Landschaftswasserbau
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13
1040 Wien