



**Begasung
des Seewassers durch Luftsauerstoff durch
Anwendung mikroporöser Schlauchsysteme in
Segelhäfen am Dümmer**

Möglichkeiten und Grenzen

Prof. Dr.-Ing. Norbert Nowack

Sauerstoffgehalt über 3 mg-O₂/l im Seewasser ist für einen „gesunden See“ und in Hafengebieten mindestens notwendig, weil.....

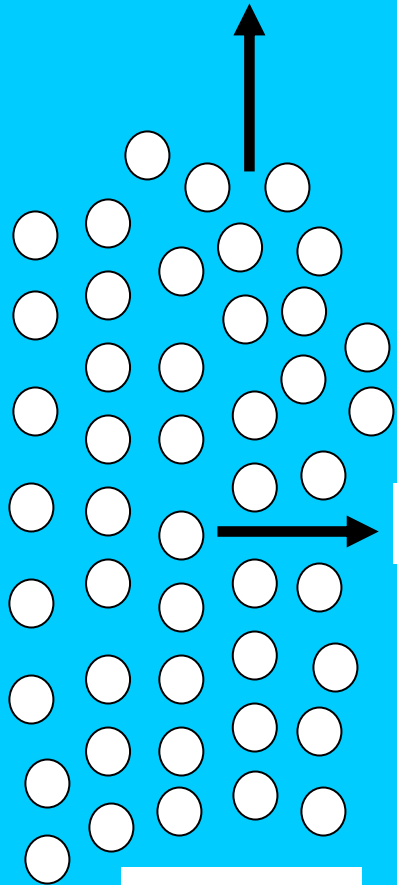
- a) Sonderstellung des Sauerstoff als das stärkste Oxidationsmittel im Wasser (aerober Zustand)
- b) Intensiver Abbau des Schlammes (aerob) im Sommer durch Mikroorganismen, Bildung von Kohlendioxid/gelöst und Wasser
- c) Überleben der Fische und andere im Wasser lebende Tiere notwendig
- d) Abbau der absterbenden Blaualgen
- e) Vermeidung extrem stinkender Schwefelverbindungen (durch „Sulfatatmung“)
- f) Verlandungstendenzen begrenzen
- g) Bildung schwerlöslicher Eisen(III)-phosphate

Probleme der Sauerstoffübertragung aus der Luft in das Seewasser sind.....

- a) Die O_2 -Aufnahme ist gehemmt
(Oberflächenreaktion Luft-Wasser)
- b) Das Verhältnis der angebotener Luftoberfläche zum Wasser-Volumen ist bei den meisten Verfahren zu gering
- c) Die Kontaktzeit für den O_2 -Übertritt ist zu gering

Steiggeschwindigkeit (Blasenschwarm)

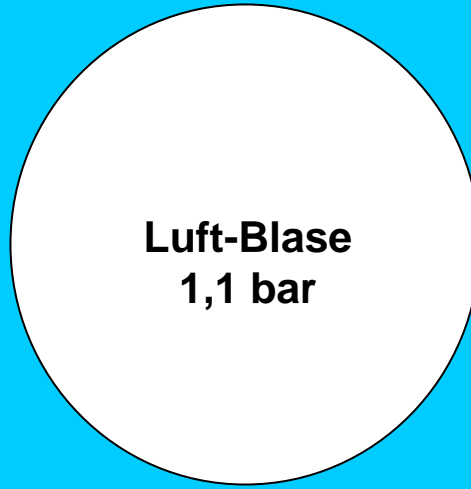
$$v_n < v/100$$



$$r_n = 0,1 \text{ cm}$$
$$n = 1000$$

$$J_n \sim 1/r_n^2$$

Steiggeschwindigkeit $v_1 \sim r_1^2$



Luft-Blase
1,1 bar

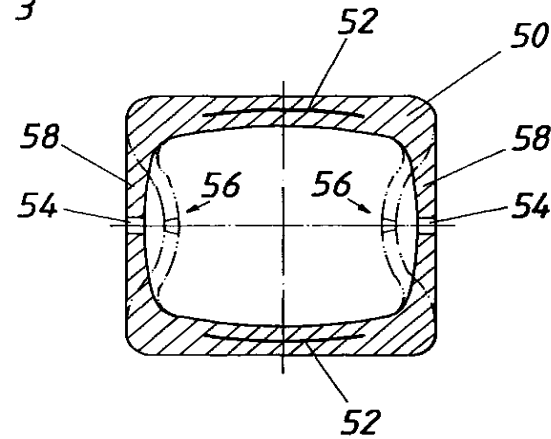
$$r_1 = 1 \text{ cm}$$

Sauerstoff-Transport
Mechanismus

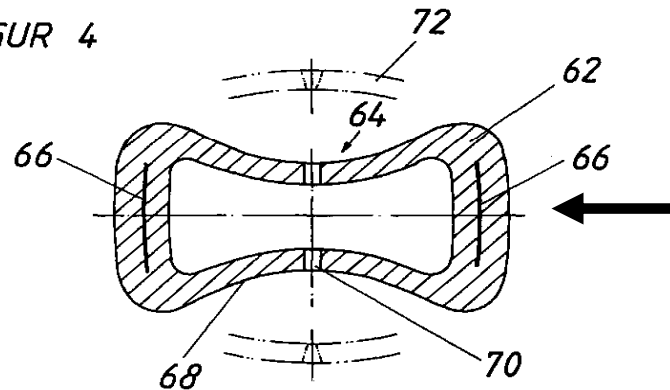
$$J_1 \sim r_1$$

Das Prinzip und
Vergleich der Transportbedingungen zwischen einer großen aufsteigende Blase
und einem Blasenschwarm mit zehnmal kleinerem Radius aber mit gleichem
Volumen

FIGUR 3



FIGUR 4

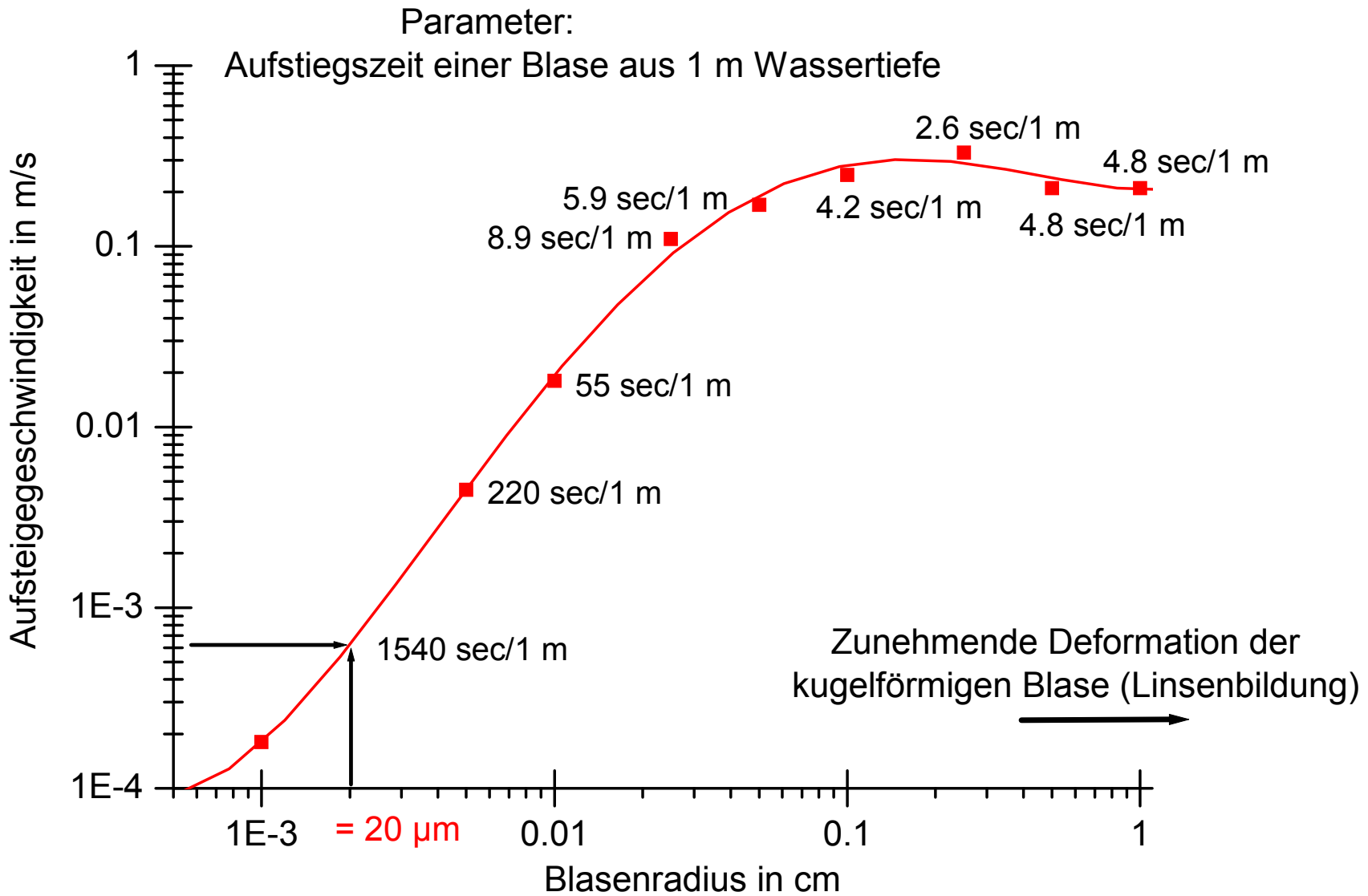


Position für ein
angeklebtes Stahlseil
(ummantelt/Korrosion)

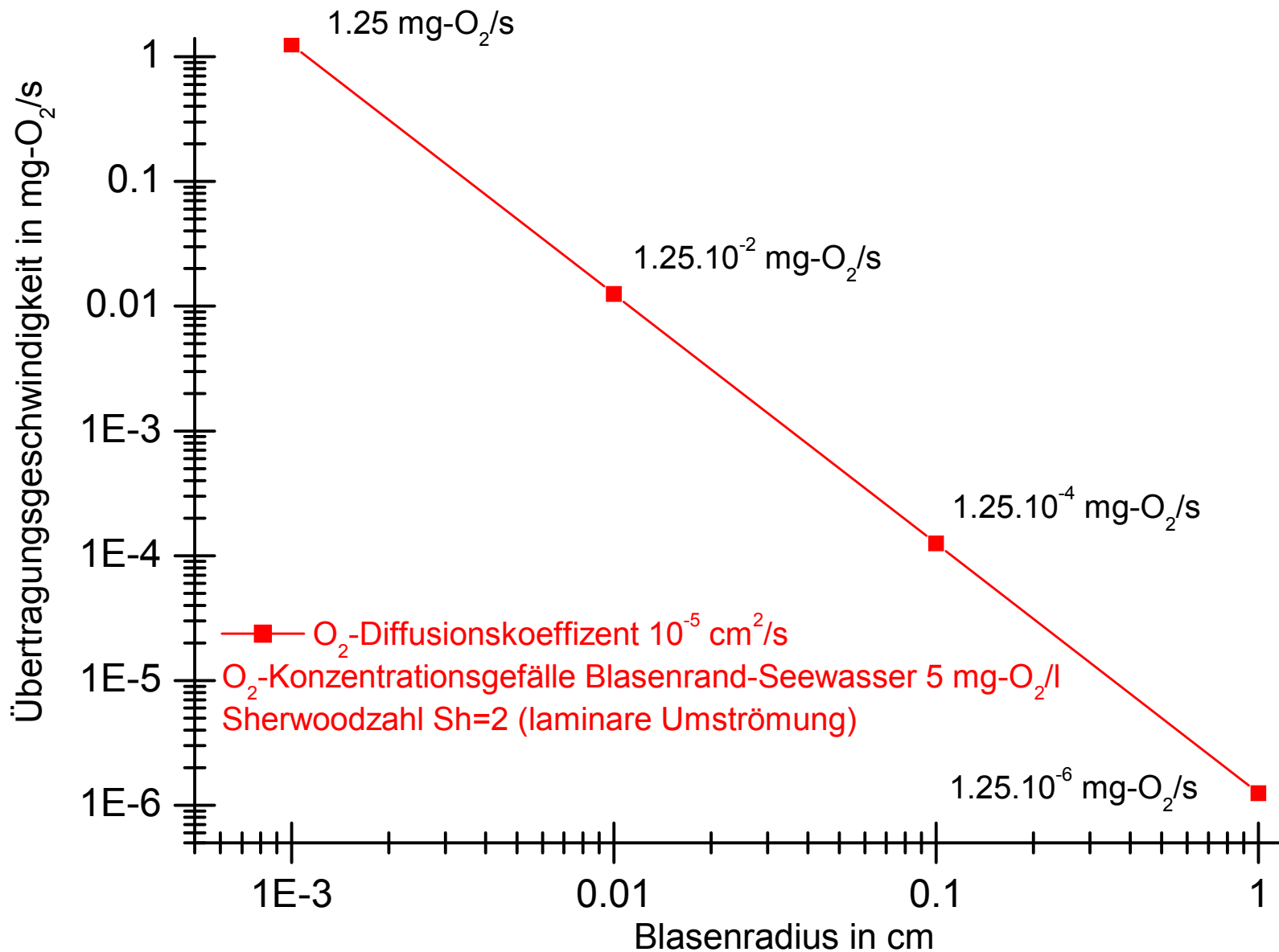
Ausführungsbeispiel für eine Luftbegasung mit thermoplastischen PU-Schlauch, querschnittsverformbar, Lochöffnung 40 µm, Patentschrift EP 0 824 306 B1



Verlegung einer Schlauchleitung in einem Gewässer, im hohen Druckbereich schwimmt die Leitung auf, bei Druckabfall sinkt sie auf den Boden ab



Aufsteigegeschwindigkeit einer Blase in Abhängigkeit vom Blasenradius, Verwendung verschiedener Literaturdaten unter Berücksichtigung der Deformation der Blasen



Chem.-techn. Berechnung der Übertragungsgeschwindigkeit von gasf. Sauerstoff aus der Blase bzw. Blasenschwarms (gleiche Volumina) in das Seewasser in Abhängigkeit vom Blasenradius

Auslegungsbeispiel und zu erwartende Effekte

Schlauchgeometrie:

Länge=1000 m (Schlaufenleitung), Lochradius=20 μm ,
Anzahl der Löcher 16000 (beidseitig)

Betriebsdaten (Hersteller und Gutachter TU Karlsruhe):

Druck=2 bar, durchgesetztes Luft-Volumen = 32 $\text{cm}^3/\text{min}\cdot\text{Loch}$:
an Wasser übertragbare Sauerstoffmasse = 171 $\text{g-O}_2/\text{min}$ = maximale
Verfügungsmasse an O_2 in einer Minute des gesamte Schlauchsystems

Vergrößerung der Reaktionsoberfläche von 0,00487 m^2 (= 32 cm^3 -Blase)
auf 4,8 m^2 (Blasenschwarm mit 20 μm -Radius) =
985-fach vergrößerte Austauschoberfläche

Fortsetzung zu „Auslegungsbeispiel und zu erwartende Effekte“

Übertragungsgeschwindigkeit der Blasen in das Wasser (Kinetik)

Berechnung der Übertragungsgeschwindigkeit = $0,35 \text{ mg-O}_2/\text{s}$ pro Loch,
für das gesamte Schlauchsystem $336 \text{ g-O}_2/\text{min}$.

Da die Verweilzeit einer Blase und damit des gesamten Blasenschwarms 26 min beträgt, ist mit einer vollständigen Übertragung des gesamten Sauerstoffangebotes zu rechnen (rd. Ausbeute 100 %).

Der Blasenschwarm wird nicht auf den direkten Weg zur Oberfläche aufsteigen, sondern er wird mit der Strömung sich seitwärts bewegen und im Volumen verteilen.

Fortsetzung zu „Auslegungsbeispiel und zu erwartende Effekte“

Abschätzungen für ein Hafengebiet mit 10.000 m² und 1 m Tiefe

Sauerstoffkonzentrationszunahme in einer Stunde = 1,03 mg-O₂/l·h
(stehendes Hafengewässer, ohne biologischen Sauerstoffzehrung)

Sauerstoffkonzentrationszunahme bei einer Durchströmung mit 1 m³/s =
langsame Sauerstoffzunahme 2,8 mg-O₂/l (nach rd. 10 h, ohne
Sauerstoffzehrung), durchströmtes Gebiet bei idealer Durchmischung
(siehe nächstes Bild)

Bei Verwendung von reinem Sauerstoff (techn. Qualität) lägen alle die
Sauerstoff-Übertragungsdaten/Konzentrationen um Faktor 5 höher

$$\begin{aligned}
 & \left[\begin{array}{c} \text{O}_2\text{-Konzentrations-} \\ \text{zunahme} \\ \text{im Hafen} \end{array} \right] = \\
 & + \left[\begin{array}{c} \text{O}_2\text{-Übertragungsrate} \\ \text{aus dem} \\ \text{Schlauchsystem} \\ \text{im Hafen} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{O}_2\text{-Zufluß} \\ \text{aus dem} \\ \text{See} \\ \text{in den Hafen} \end{array} \right] \\
 & - \left[\begin{array}{c} \text{O}_2\text{-Abgabe} \\ \text{durch Ausfluß} \\ \text{aus dem Hafen} \\ \text{heraus} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{O}_2\text{-Abbau} \\ \text{durch biologischen} \\ \text{Bedarf durch} \\ \text{Schlamm} \\ \text{und} \\ \text{organische Stoffe} \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

Sauerstoff-Bilanz für ein Hafengebiet mit Wasseraustausch

Weitere Informationen (gestützt durch wiss. Untersuchungen)

Möglichkeiten

Schlammabbau (Mai bis Juli=12 Wochen) rd. 70 %, aerober Abbau (20 cm) in abgegrenzten Bereichen wie Buchten, Häfen

Vermeidung der Bildung niederwertiger Schwefelverbindungen (Schwefelwasserstoff, Thioalkohole,-ether), dadurch Reduzierung der Geruchsbelästigung in begrenzten Bereichen

Ersatz der Nitrat-Dosierung, ohne Einsatz weiterer Chemikalien, biokompatible Verfahrensweise

Einstellung eines hohen Redox-Potentials (+400 bis +700 mV_H), Stabilisierung schwerlöslicher Eisen(III)-phosphate, dadurch begrenzte Phosphat Eliminierung in Häfen und Buchten

Sauerstoffanreicherung in abgegrenzten Bereichen und damit Begrenzung des Fischsterbens (mögliche Zufluchtgebiete für Fische)

Grenzen

Geschätzte Gesamtkosten rd. 50.000 € für eine 1 ha-Seefläche

Nur lokal anwendbar, deshalb keine umfassende Schlamm-Reduzierung, nur anwendbar in den warmen Jahreszeit des Sommers

Große Seeflächen hoher Aufwand (Schlauchsystem, Kompressoren und elektrische Anschlüsse, Überwachung, Reparaturaufwand, Zugang, Befahrungsverbot für Segelschiffe mit großem Tiefgang)

Keine umfassende (aber notwendige) Eliminierung der Überdüngung durch Phosphate

Begrenzung des Fischsterbens nur in ausgewählten Buchten (Fluchtbereiche)

Niederwertige Stickstoffverbindungen (Amine, Ammonium) werden schnell zu Nitrat/Nitrit umgewandelt (Nitrifikation, biochemische Oxidation)

Nur als vorübergehende Maßnahme in ausgewählten und abgegrenzten Buchten wie Häfen usw., die gut zugänglich sind, geeignet.

$$c(\text{O}_2) = \frac{\frac{\dot{m}}{V} \left(1 - \exp - \left(\frac{\dot{V}}{V} + k \right) t \right) + c_e \cdot \left(\frac{\dot{V}}{V} \right) - c_e k \cdot \exp - \left(\frac{\dot{V}}{V} + k \right) t}{\frac{\dot{V}}{V} + k}$$

\dot{m} = Sauerstoffbegasungsrate, $c(\text{O}_2)$ = Sauerstoffkonzentration im Hafen

V = Hafenvolumen, z.B. $V = 10.000 \text{ m}^3$

\dot{V} = Volumenstrom in den Hafen hinein und heraus, z.B. $\dot{V} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$

c_e = Sauerstoffkonzentration im Zulauf des Hafens

k = Geschwindigkeitskonstante für den biologischen Sauerstoffabbau

Ansatz für Sauerstoffabbaurate (zeitlicher biologischer Sauerstoffbedarf)

$$\frac{\Delta c(\text{O}_2)}{\Delta t} = -k \cdot c(\text{O}_2) \quad (k \approx 10^{-6} \dots 10^{-5} \text{ s}^{-1})$$

$$\left(\frac{\dot{V}}{V} = \frac{1 \text{ m}^3}{\text{s} \cdot 10^4 \text{ m}^3} = 10^{-4} \text{ s}^{-1} \right)$$

