

Sparen bei der Belüftung ist teuer und erhöht die Emission von Treibhausgasen

1 Einführung

Kläranlagen mit gemeinsamer aerober Schlammstabilisierung haben vor allem für die Belüftung einen hohen Strombedarf. Betreiber sind daher bestrebt, diesen zu minimieren. Eine Drosselung der Belüftung führt aber zu erheblichen ökonomischen und ökologischen Problemen.

2 Grundlagen

2.1 Aerobe Schlammstabilisierung

Arbeitsblätter der DWA [1, 2] schreiben für die Bemessungstemperatur von zum Beispiel 12 °C ein Schlammalter von mindestens 25 Tagen vor, wovon 20 Tage bzw. 80 % aerob, das heißt ausreichend belüftet sein müssen. Bei höheren Temperaturen kann der aerobe Anteil vermindert werden (Abbildung 1). Für eine ausreichende Belüftung sind in aeroben Zonen des Belebungsbeckens mindestens 1,0 mg/l O₂ einzuhalten [3]. Höhere Sauerstoffkonzentrationen führen nicht zu einem geringen belüfteten Anteil des Belebungsbeckens.

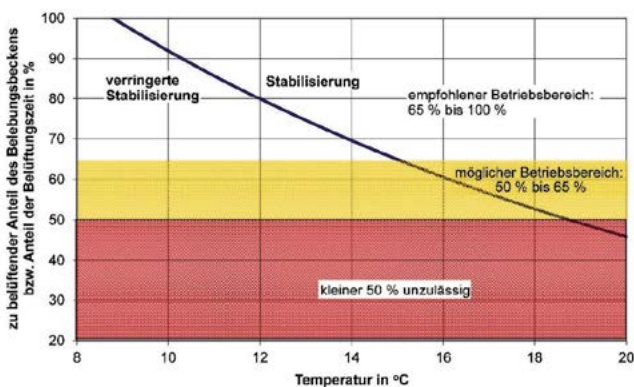


Abb. 1: Aerober Anteil von Belebungsbecken (Quelle: DWA-A 226 [2])

2.2 Betriebskosten und Treibhausgas-Emissionen

Wird der Sauerstoffeintrag so weit reduziert, dass die Ablaufgrenzwerte gerade noch eingehalten werden, ist der Stromverbrauch für die Belüftung geringer. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 2 dargestellt. Jedoch ist der Schlammfall höher, weil die gebildete Biomasse wegen geringerer endogener Atmung weniger weit abgebaut wird.

Die Treibhausgas-Emission aus Kläranlagen besteht aus direkten Emissionen von Lachgas (N₂O) und Methan (CH₄) sowie indirekten Emissionen von CO₂ bei der Stromerzeugung. In Tabelle 1 sind außerdem spezifische Kosten für die Jahre 2021 und 2023 angegeben.

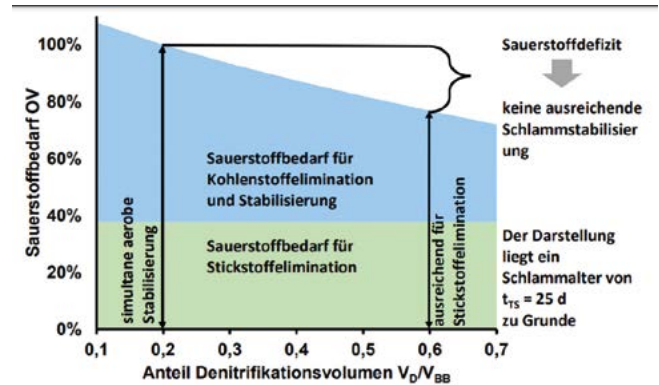


Abb. 2: Beispielhafte Gegenüberstellung des Sauerstoffbedarfs für eine simultane aerobe Stabilisierung und für eine Anlage zur Stickstoffelimination (qualitative Darstellung auf Basis des DWA-A 131 [1])

Parameter	2021	2023	Einheit
Stromkosten	0,25	0,50	€/kWh
Polymerkosten	4,50	7,00	€/kg WS
Entsorgungskosten	135	100	€/Mg OS
CO ₂ -Emission aus Strommix Deutschland (2021) ^{*)}	0,485		kg CO ₂ /kWh
Treibhausgas-Faktor von Methan	25		kg CO _{2,äq} /kg CH ₄
Treibhausgas-Faktor von Lachgas	265		kg CO _{2,äq} /kg N ₂ O

^{*)} Quelle: Umweltbundesamt; WS: Wirksubstanz, OS: Originalsubstanz

Tabelle 1: Kennwerte für Betriebskosten und Treibhausgasemissionen

2.3 Entwässerung

In Tabelle 2 sind Erfahrungswerte für teilstabilisierte und ausreichend aerob stabilisierte Schlämme angegeben. Der Auszugs-TR von teilstabilisierten Schlämmen ist im Vergleich zu ausreichend stabilisierten Schlämmen um bis zu 3 %-TR-Punkte niedriger.

Entwässerung	TR(A)-Wert [% TR]	Schneckenpresse [% TR]	Polymerverbrauch [g WS/kg TM]
Teilstabilisierung	18	16	15
ausreichende aerobe Stabilisierung	21	19	10

TR(A), siehe DWA M-383 [5], entspricht dem maximal möglichen mechanischen Entwässerungsergebnis des Schlammes, zum Beispiel erreichbar in Zentrifuge mit Trommeldurchmesser ≥ 400 mm bei 3000 g

Tabelle 2: Erfahrungswerte zur Entwässerung (Quelle: KBKopp)

3 Beispielrechnung

Als Beispiel dient eine fiktive Kläranlage mit 15 000 angeschlossenen EW mit gemeinsamer aerober Stabilisierung, Schlamm-speicher, Entwässerung und Schlamm-lager (Abbildung 3).

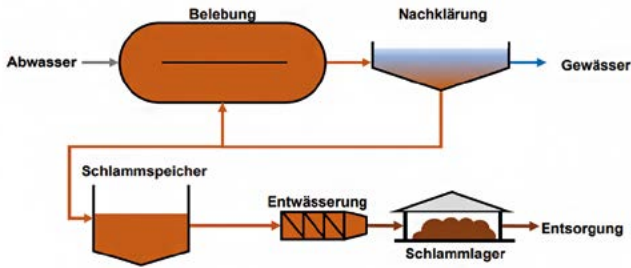


Abb. 3: Schematischer Aufbau der Beispiel-Kläranlage

Für die Beispielanlage wurden der Überschussschlammanfall, seine Zusammensetzung sowie der Strombedarf für die Belüftung berechnet. Danach wurden die Kosten der Entwässerung und Entsorgung des Klärschlammes ermittelt. Bei den Entwässerungskosten wurde der erhöhte Polymerbedarf bei der Entwässerung von teilstabilisierten Schlämmen berücksichtigt (Tabelle 3).

4 Betriebskosten

Die in Tabelle 4 angegebenen Kosten resultieren aus einem Vergleich der relevanten Kosten. Es handelt sich *nicht* um eine Betrachtung

der Gesamtbetriebskosten. Die für die Beispielanlage ermittelte Kostenverteilung ist in Abbildung 4 graphisch dargestellt.

Parameter	Einheit	Teilstabilisierung	ausreichende aerobe Stabilisierung
Schlammalter	D	25	25
aerobes Schlammalter	D	8	20
Überschussschlamm	kg TS/a	240 306	228 709
Sauerstoffverbrauch	kg O ₂ /a	249 395	313 889
Polymerverbrauch	kg WS/a	3340	2152
Klärschlammmenge	Mg OS/a	1392	1133

WS: Wirksubstanz, OS: Originalsubstanz

Tabelle 3: Ergebnis der Bemessung nach DWA-A 131 [1]

Betriebskosten [€/a]	Teilstabilisierung		ausreichende aerobe Stabilisierung	
	2021	2023	2021	2023
Stromkosten	31 174	62 349	39 236	78 472
Belüftung				
Polymerkosten	7515	11 691	4842	7532
Entsorgungskosten	93 943	69 587	76 455	56 633
Summe	132 632	143 627	120 533	142 638

Tabelle 4: Vergleich der Betriebskosten (fiktive Kläranlage nach Abschnitt 3)



invent[®]
umwelt und verfahrenstechnik

HYPERCLASSIC[®] RÜHRWERK EVOLUTION 7

Der Industriestandard der Wasser- und Abwasserreinigung

Mit dem **INVENT HYPERCLASSIC[®] Rührwerk Evo 7** stellen wir Ihnen die völlig überarbeitete Version des klassischen Hyperboloid-Rührwerks zur Verfügung. Durch das revolutionäre Design und die besondere Bauart kann der Energieverbrauch um bis zu 30 % gesenkt werden. Dies bietet ein enormes Einsparpotential für Ihre Wasser- und Abwasserreinigungsanlage.

Einfach Code scannen und mehr über die Entwicklung und Funktionsweise des **HYPERCLASSIC[®] Evo7** erfahren.

www.invent-uv.de



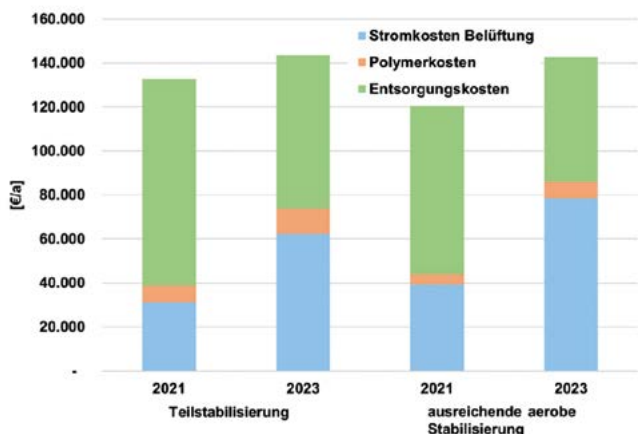


Abb. 4: Vergleich der relevanten Betriebskosten (fiktive Kläranlage nach Abschnitt 3)

5 Treibhausgasemission

Die aus der Belüftung resultierende indirekte CO₂-Emissionen wurde aus dem Stromverbrauch und der mittleren CO₂-Emission aus der Stromproduktion in Deutschland (Tabelle 1) berechnet.

Methan wird aus dem Nacheindicker/Stapelbehälter und dem Schlammklärer emittiert, weil in diesen der Schlamm anaerob wird. Die gebildeten Methanmengen wurden auf Ba-

sis des DWA-M 368 [3] berechnet. Die äquivalente CO₂-Emission (Tabelle 5) ist das Produkt des emittierten Methans und dessen Treibhausgas-Faktor von 25 (Tabelle 1).

Auf Basis des Merkblatts DWA-M 230-1 [4] nehmen wir an, dass bei einer gut belüfteten Anlage ca. 0,5 % des zugeführten Stickstoffs als Lachgas (N₂O) entweicht und bei ungenügend belüfteten Anlagen ca. 1,0 %. Diese Annahme ist überschlägig, weil es noch keine belastbaren Erkenntnisse gibt.

Abbildung 5 zeigt die Treibhausgas-Emissionen der untersuchten Varianten.

Vergleich der CO ₂ -Emissionen	Einheit	Teilstabilisierung	ausreichende aerobe Stabilisierung
Strom für Belüftung	kg CO ₂ ,eq/a	60 500	76 100
Stapelbehälter vor Entwässerung ^{*)}	kg CO ₂ ,eq/a	132 400	101 400
Schlammklärer nach Entwässerung ^{**)}	kg CO ₂ ,eq/a	264 300	202 400
Lachgas aus Belebungsanlage	kg CO ₂ ,eq/a	52 000	26 000
Summe	kg CO ₂ ,eq/a	509 200	405 900

*) 7 d Verweilzeit im Stapelbehälter

***) 0,5 a Verweilzeit im Schlammklärer bei landwirtschaftlicher Verwertung

Tabelle 5: Vergleich der äquivalenten CO₂-Emissionen – Beispielrechnung für die fiktive Kläranlage

FÜLLSTANDSÜBERWACHUNG VON ABWASSER

MIT ZUVERLÄSSIGEN FÜLLSTANDSSONDEN UND PASSENDEN MESSWERTANZEIGEN ERHALTEN SIE

EIN STARKES TEAM, WENN DIE ANLAGE IN DIE JAHRE GEKOMMEN IST UND MESSTECHNIK MODERNISIERT WERDEN MUSS.

pressure measurement

[>>> www.bdsensors.de](http://www.bdsensors.de)

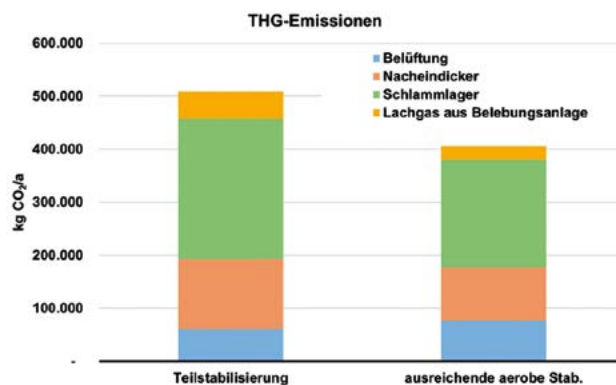


Abb. 5: Treibhausgasemissionen der untersuchten Varianten

6 Schlussfolgerungen

- Nach DWA-A 131 [1] ist bei der Bemessungstemperatur von 12 °C ein aerobes Schlammalter von mindestens 20 d erforderlich. Nach DWA-M 368 soll die Sauerstoffkonzentration in aeroben Zonen mindestens 1,0 mg/l betragen.
- Wenn der Klärschlamm bodenbezogen verwertet werden soll, muss er im Mittel über ein halbes Jahr gestapelt oder gelagert werden. Aus Stapelbehältern und Lagerplätzen wird Methan emittiert.
- Die Einsparung von Stromkosten wird durch die Mehrkosten der Schlamm Entsorgung mindestens ausgeglichen (Tabelle 4 und Abbildung 4).
- Anlagen mit Teilstabilisierung emittieren ca. 25 % mehr Treibhausgase (als CO₂-Äquivalent) als Anlagen mit ausreichender Belüftung.

7 Maßnahmen zum richtigen Sparen

- Wenn die Kläranlage über eine ausreichende Belüftungs-kapazität verfügt, sollte die Belüftung erhöht werden. Vorhandene Regelungen sind so anzupassen, dass eine ausreichende aerobe Stabilisierung erreicht wird.
- Wenn die Belüftungs-kapazität nicht ausreicht, sind Belüfter nachzurüsten. In Umlaufbecken kann es zudem erforderlich sein, die Strömungserzeugung zu verstärken.
- Stapelbehälter können belüftet werden, um anaerobe Prozesse und somit Methanemissionen zu verhindern. Der Schlamm wird dann weiter aerob stabilisiert.
- Auch kleine bis mittelgroße Kläranlagen können mit einer Schlammfäulung wirtschaftlich sein. Eine Umrüstung ist insbesondere dann in Betracht zu ziehen, wenn eine Kläranlage ohnehin zu erweitern oder zu sanieren ist [6].

8 Fazit

Die Drosselung der Belüftung bei Anlagen zur gemeinsamen aeroben Schlammstabilisierung ist kontraproduktiv. Sie führt zu keiner Einsparung von Betriebskosten und zu einer Erhöhung der Emission von Treibhausgasen (siehe Tabelle 6).

Das nennen wir teures Sparen!

Parameter	2021	2023
Betriebskosten	+ 9%	+ 1%
Treibhausgas-Emissionen	+ 25%	+ 25%

Tabelle 6: Änderung der Betriebskosten (nur Teilkostenbe-trachtung) und Treibhausgasemissionen bei Teilstabilisierung durch gedrosselte Belüftung – Beispielrechnung für fiktive Kläranlage nach Abschnitt 3

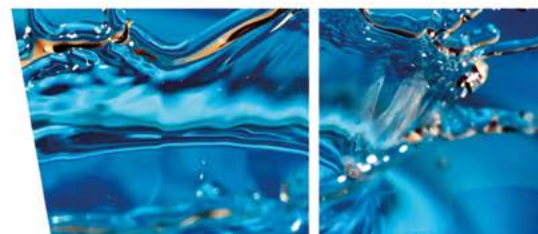
Literatur

- [1] Arbeitsblatt DWA-A 131: Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, Hennef, 2016
- [2] Arbeitsblatt DWA-A 226: Grundsätze für die Abwasserbehandlung in Belebungsanlagen mit gemeinsamer aerober Schlammstabilisierung ab 1.000 Einwohnerwerten, Hennef, 2022
- [3] Merkblatt DWA-M 368: Biologische Stabilisierung von Klärschlamm, Hennef, 2014
- [4] Merkblatt DWA-M 230-1: Treibhausgasemissionen bei der Abwasserbehandlung – Teil 1: Direkte Treibhausgasemissionen – Messen und Bewerten, Hennef, 2022
- [5] Merkblatt DWA-M 383: Kennwerte der Klärschlamm-twässerung, Hennef, 2019
- [6] DWA-Themen T1/2015: Schlammfäulung oder gemeinsame aerobe Stabilisierung bei Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe, Hennef, 2015

Grenzenloser Service ist für uns selbstverständlich Pflicht

Unsere Serviceleistung umfasst:

- ▀ Fachmännische Beratung und Schulung.
- ▀ Unterstützung bei Montage und Inbetriebnahme.
- ▀ Unterstützung beim Betreiben Ihrer Anlagen.
- ▀ Betriebs- und Prozessoptimierung Ihrer Anlagen.
- ▀ Optimierung oder Sanierung Ihrer Anlage.
- ▀ Prompte Lieferung von Ersatzteilen.
- ▀ Wartung und Reparatur (auch von Fremdfabrikaten).
- ▀ Kosten- und Leistungsoptimierung Ihrer Anlagen.



Autoren

Dr.-Ing. Ingo Urban
 Emscher Wassertechnik
 Brunnenstraße 37, 45128 Essen, Deutschland
 E-Mail: urban@ewlw.de

Dr.-Ing. Julia Kopp
 KBKopp
 Hintere Straße 10, 38268 Lengede, Deutschland
 E-Mail: info@kbkopp.de

Dr.-Ing. Markus Roediger
 Richard-Wagner-Straße 18, 70184 Stuttgart, Deutschland
 E-Mail: dr.m.roediger@t-online.de

Das Autorenteam arbeitet unter anderem im DWA-Fachaus-
 schuss KEK-2 „Mechanische und biologische Klärschlammbe-
 handlung“ und der DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.5 „Übergreifende
 Fragestellungen der Klärschlammbehandlung und -verwertung
 auf Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe“ mit.

Anhang: Berechnung des aeroben Schlammalters

A.1 Berechnung des Gesamtschlammalters

Beispiel:

$$V_{BB} = 7260 \text{ m}^3; C_{TS, BB} = 3 \text{ g/l}; C_{TS, \text{ÜS}} = 6 \text{ g/l} = 6 \text{ kg/m}^3;$$

$$Q_{\text{ÜS}} = 121 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$t_{TS} = (V_{BB} \cdot C_{TS, BB}) / (Q_{\text{ÜS}} \cdot C_{TS, \text{ÜS}}) = 25 \text{ d} (= \text{Schlammalter})$$

A.2 Berechnung des aeroben Schlammalters

a) Beispiel für vorgeschaltete Denitrifikation

$$V_N = 5800 \text{ m}^3$$

$$\text{aerobe Anteil} = V_N / V_{BB} = 0,8$$

$$t_{TS, \text{aerob}} = 25 \text{ d} \cdot 0,8 = 20 \text{ d} \rightarrow \text{ausreichend}$$

b) Beispiel für intermittierende Denitrifikation

Unter Verwendung der Sauerstoffganglinie sind die Zeiten im Belebungsbecken mit $c_{O_2} \geq 1 \text{ mg O}_2/\text{l}$ aufzusummieren und der aerobe Zeitanteil zu ermitteln. Bei dem in Abbildung A.1 dargestellten Beispiel ist der aerobe Anteil 33,7 %.

$$t_{TS, \text{aerob}} = 25 \text{ d} \cdot 33,7 \% = 8,43 \text{ d} \rightarrow \text{nicht ausreichend}$$

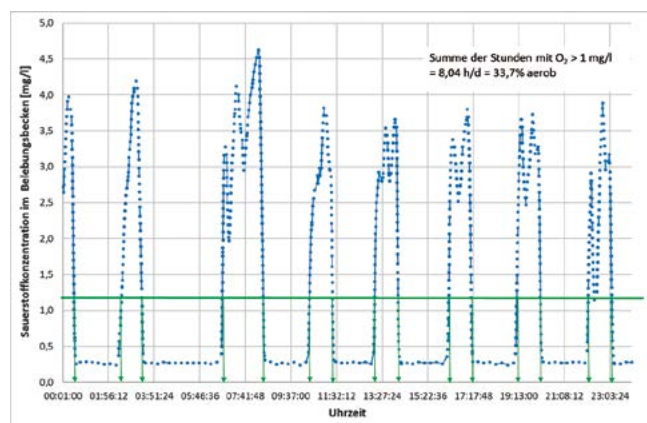


Abb. A1: Beispiel einer Ganglinie der Sauerstoffkonzentration bei intermittierender Belüftung von 0 bis 24 Uhr

c) Beispiel für simultane Denitrifikation

Messungen mit einer tragbaren Sauerstoffsonde haben ergeben, dass 60 % des Volumens des Belebungsbeckens bei eingeschalteter Belüftung eine Sauerstoffkonzentration über $1,0 \text{ mg O}_2/\text{l}$ erreicht. Die Belüftung ist 16 h/d in Betrieb.

$$V_{\text{aerob}} = 60 \% \cdot 7260 \text{ m}^3 \cdot 16 \text{ h} / 24 \text{ h} = 2904 \text{ m}^3$$

$$t_{TS, \text{aerob}} = t_{TS} \cdot 2904 \text{ m}^3 / 7260 \text{ m}^3 = 25 \text{ d} \cdot 0,4 = 10 \text{ d} \rightarrow \text{nicht ausreichend}$$

d) Beispiel für SBR-Anlagen

$$t_{TS, \text{aerob}} = t_{TS, \text{ges}} \cdot (t_{\text{belüftet}} / t_{\text{zyklus}}) [\text{d}]$$

$t_{\text{belüftet}}$ = Dauer der Belüftung [h] während eines Zyklus, bei der $c_{O_2} \geq 1 \text{ mg/l}$ ist

t_{zyklus} = Dauer einer Zykluszeit [h]

dwa.de/veranstaltungskalender

Bildungsveranstaltungen

Vor Ort oder online

Stets aktuell im Veranstaltungskalender

© Manuel Wambach