

Verbesserung der Treibhausgasbilanz durch Einsatz der Ultrawaves Ultraschalltechnologie zur Desintegration von Klärschlamm

Zusammenfassung

Auf Basis der Energiebilanz der Desintegration der DWA-Arbeitsgruppe AK-1.6 von 2009 wird eine Treibhausgas(THG)-Bilanz für die Desintegration mittels eines Ultraschallreaktors der Ultrawaves GmbH aufgestellt. Hierbei zeigt sich, dass Ultraschall-desintegration bereits bei geringen erreichten Steigerungen des Abbaugrades oder der Entwässerbarkeit eine Verbesserung der Klimabilanz bewirkt.

1 Einleitung

Diese THG-Bilanz basiert auf der Energiebilanzrechnung der Desintegration der DWA-Arbeitsgruppe AK-1.6 [1], der als Grundlage eine Modellkläranlage mit 100 000 EW Zulauf- fracht im Jahresmittel dient (siehe Tabelle 1). Kläranlagen der Größenklassen 4 (10 000 bis 100 000 EW) und 5 (mehr als 100 000 EW) behandeln 90 % der in Deutschland anfallenden Einwohnerwerte und sind für ca. 87 % des Stromverbrauches aller Kläranlagen verantwort- lich [2], wodurch diese Größenordnung besonders relevant für eine THG-Bilanz ist. Erweitert wurde das Modell um den Einfluss auf die THG-Emissionen des Transports und der Faulschlamm Entsorgung nach Haberkern, Maier und Schneider [2, S. 82, 120].

In Abbildung 1 sind die Bilanzgrenze und die berücksichtigten Energie- und Stoffströme zu sehen. Diese werden überwiegend durch ihre Emissionsfaktoren nach GEMIS, Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme [3], in der Bilanz bewertet. Diese Faktoren berücksichtigen die THG-Emissionen, die sich aus der Energieversorgung bzw. aus Bereitstellung, Benutzung sowie Entsorgung der Stoffe ergeben. THG-Emissionen werden üblicherweise in kg CO₂-Äquivalente (kg CO_{2eq}) angegeben, die sich aus einer Bewertung der Klimaschäd- lichkeit der verschiedenen THG ergeben [4, S. 212].

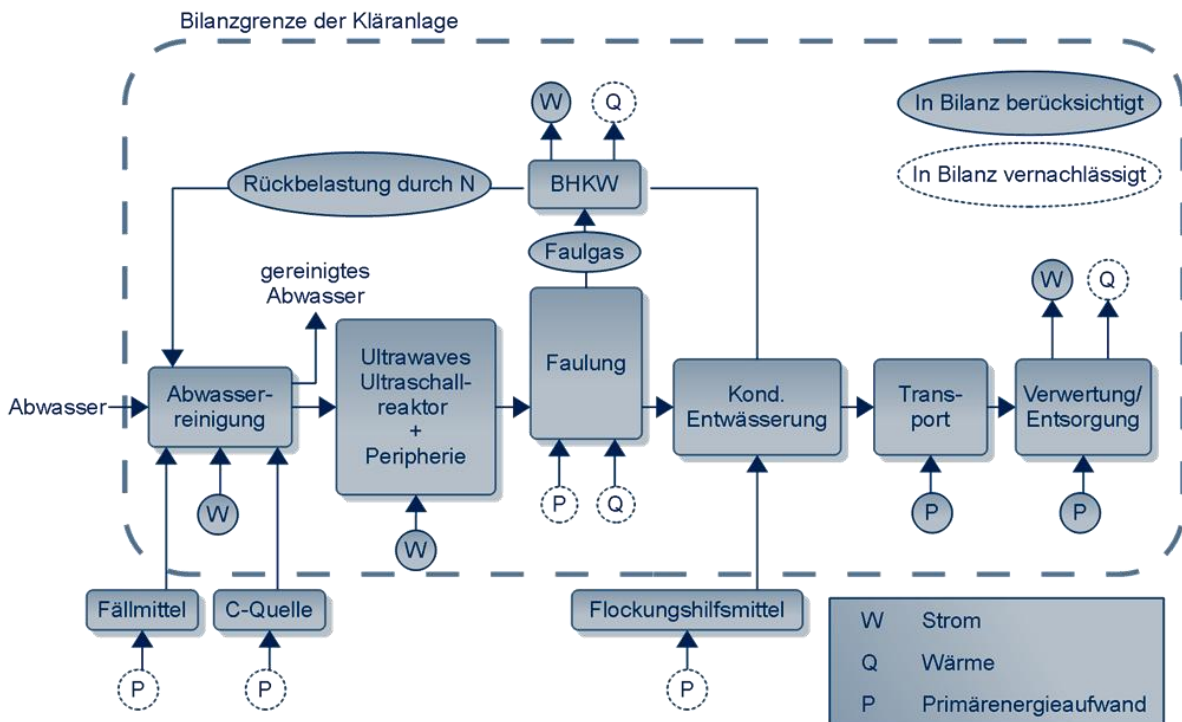


Abbildung 1: Bilanzgrenzen sowie berücksichtigte Energie- und Stoffströme

2 Annahmen

2.1 Einfluss des Energieverbrauchs der Desintegration

Der Ultraschallreaktor von Ultrawaves verfügt über 5 Sonotroden, die jeweils mit einer Leistung von 1 kW arbeiten. Bei Behandlung von 33 % des eingedickten Überschussschlammes (26,4 m³/d) ergibt sich ein Energieeintrag von 4,55 kWh/m³. Hinzu kommt der Strombedarf der zusätzlich benötigten Pumpe mit einer mittleren Betriebsleistung von 0,8 kW. Dies ergibt einen konstanten THG-Ausstoß, bezogen auf die Einwohnerwerte, von 0,34 kg CO₂/(EW·a) (siehe auch Abbildung 2).

2.2 Einfluss des Energiebedarfs für die Behandlung der Rückbelastung

Nach Kopplow u. a. [1] kann von 100 g rückgelöstem Stickstoff pro kg abgebauter organischer Trockensubstanz ausgegangen werden. Der zusätzlich benötigte Sauerstoffbedarf der Nitrifikationsstufe ist mit 1,95 kWh/kg N_{rückgel.} angesetzt.

Tabelle 1: Kenndaten der Schlammbehandlung der Modellkläranlage [1]

Kenndaten	Einheit	Wert	
Einwohnerwerte	EW	100 000	
Erreichte Entwässerung ¹	%	26	
organischer Abbaugrad (ohne Desintegration)	%	45	
spezifische Faulgasproduktion (bezogen auf oTR _{abgeb.})	m ³ _N /kg	0,84	
Schlammdaten		ÜSS ²	PS ³
Trockenrückstand (TR)	%FM ⁴	5,0	5,0
Glühverlust (GV)	%TR	70	65
Volumenstrom	m ³ /d	80	70

¹ TR des stabilisierten, getrockneten Klärschlamm. Diese Annahme ist kein Bestandteil von Kopplow u. a. [1]

² Überschussschlamm

³ Primärschlamm

⁴ Frischmasse nach VDI-Richtlinie 4630

Tabelle 2: Emissionsfaktoren für THG nach GEMIS 4.6 [3]

Emissionsfaktor	Wert	Einheit
Strom aus dt. Kraftwerksmix	0,664	kg CO _{2eq} /kWh
Transport mit dt. LKW-Mix	0,340	kg CO _{2eq} /(t·km)

Tabelle 3: Faktoren für die Herleitung der CO₂-Äquivalente der Faulschlammverbrennung [2, S. 120]

Faktor	Wert	Einheit
Heizwert Faulschlamm mit 50..55 % GV, bez. auf TR	3,06	kWh/kg TR
Energiebedarf Verdampfung Wasser	2 638	kJ/kg H ₂ O
Emissionsfaktor, Kohlesubstitution ¹	0,381	kg CO _{2eq} /kWh

¹ Zufeuerung von Faulschlamm in einem theoretischen Dampfkraftwerk, dass zu 50 % Steinkohle und Braunkohle als Brennstoff einsetzt

2.3 Verbesserung durch erhöhte Energieproduktion infolge einer erhöhten Faulgasbildung

Für die spezifische Faulgasproduktion ist ein Wert von 0,84 m³_N/kg oTR_{abgebaut} (siehe Tabelle 1) bei einem Methangehalt von 64 % ($\Delta H_u(\text{CH}_4) = 10 \text{ kWh/m}^3$) angenommen worden. Die Verstromung des Gases erfolgt in einem BHKW mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 33 % [1]. Aufgrund des organischen Ursprungs des Faulgases gilt der gewonnene Strom als CO₂-neutral. Strom aus dem deutschen Kraftwerksmix mit einem Emissionsfaktor von 0,664 kg CO_{2eq}/kWh (siehe Tabelle 2) kann durch 1,8 kWh klimaneutralen Strom je kg oTR_{abgebaut} substituiert werden. Somit ergeben sich aus der Faulgasverstromung 1,14 kg eingesparte CO₂-Äquivalente je kg abgebauter organischer Trockensubstanz.

2.4 Verbesserung durch Einsparungen beim Transport des Faulschlammes zur Entsorgung

GEMIS 4.6 geht bezüglich des Gütertransports von einem Emissionsfaktor von 0,34 kg CO_{2eq}/(t·km) für den deutschen LKW-Mix aus. Häufig wird durch den Einsatz von Desintegration ein verbessertes Entwässerungsergebnis verzeichnet, was in der folgenden Betrachtung mit einer Verbesserung des Trockenrückstandes im stabilisierten Faulschlamm um einen Prozentpunkt auf 27 % berücksichtigt wird. Aufgrund des erhöhten Abbaugrades und der angenommenen Verbesserung der Entwässerung verringert sich die Masse des zu entsorgenden stabilisierten Klärschlammes. Als typische Wegstrecke für den Transport werden 250 km angenommen [2, S. 82].

2.5 Einfluss der Klärschlammverbrennung als Folge eines reduzierten Wassergehalts sowie einer Reduzierung der Faulschlammmenge

Stabilisierter Klärschlamm wird bei der Entsorgung durch Zufeuerung in Kohlekraftwerken oder Zementwerken als Biomasse kategorisiert, wodurch die CO₂-Emissionen des verbrennenden Schlammes als klimaneutral anzusehen sind.

Bei der Verbrennung kann also ein Teil der Kohle durch klimafreundliche Biomasse substituiert und so die THG-Bilanz verbessert werden. Haberkern u. a. [2] rechnen dabei mit einem heizwertspezifischen Emissionsfaktor gemäß Tabelle 3, sodass von 0,381 kg eingesparte CO₂-Äquivalente je kWh Heizleistung des Faulschlammes ausgegangen werden kann.

Reduziert sich die Faulschlammmenge als Resultat eines verbesserten Abbaugrades, können weniger THG-Emissionen durch Zufeuerung eingespart werden. Trotz des positiven Effekts auf die Wirtschaftlichkeit des Kläranlagenbetriebs wirkt sich eine Reduktion der Faulschlammmenge negativ auf die THG-Bilanz aus im Vergleich zum Ausgangsszenario.

Der Heizwert des Klärschlammes lässt sich bestimmen aus dem Trockenrückstand TR , dem Heizwert des vollständig getrockneten Klärschlammes ΔH_{TR} (bezogen auf TR -Gehalt) und der zum Verdampfen des im Schlamm enthaltenen Wassers benötigten Energie $\Delta H_{V,W}$ (siehe Tabelle 3):

$$\Delta H_U(TR) = \Delta H_{TR} \cdot TR - (1-TR) \cdot \Delta H_{V,W}.$$

Hierbei ist der Energiebedarf zum Erwärmen des Schlammes auf die Trocknungs- bzw. Verbrennungstemperatur vernachlässigbar gering.

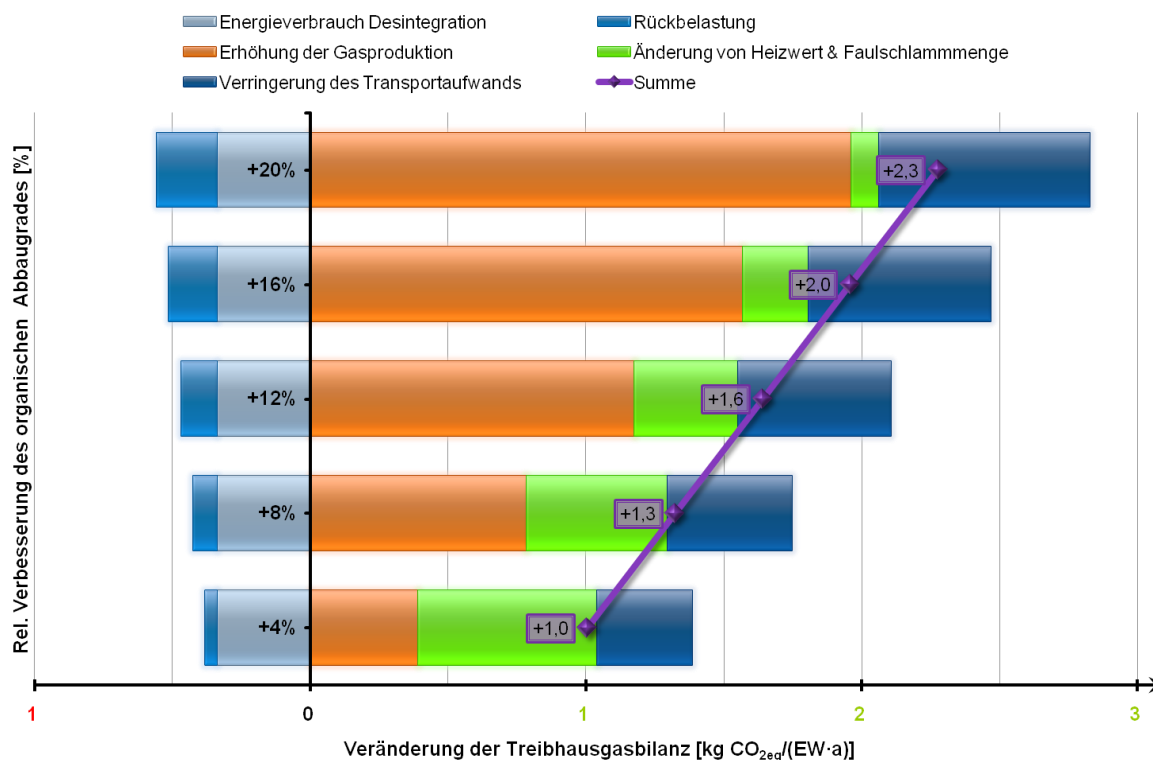


Abbildung 2: Die durch Ultraschall erreichte relative Verbesserung des Abbaugrades gegenüber dem Ausgangswert von 45 % Abbaugrad und der Einfluss auf die Treibhausgasbilanz

3 Ergebnisse der Treibhausgasbilanz

Die Ergebnisse der THG-Bilanz sind in Abbildung 2 graphisch dargestellt. Auf der linken Seite der Bilanz sind die zusätzlichen Emissionen abgebildet, die infolge der Desintegration mit Ultraschall auftreten. Auf der rechten Seite sind die positiven Effekte zu sehen, die die Bilanz verringern. Diese sind in Abhängigkeit von der erreichten relativen Verbesserung des Abbaugrades dargestellt, also von +4 % Verbesserung (also 46,8 % oTR-Abbaugrad) und +20 % Verbesserung (was einem Abbaugrad von 57,6 % entspricht). Die Summe der Effekte ist als Gerade dargestellt, wobei die Zahlenwerte jeweils neben den Datenpunkten aufgeführt sind.

Hierbei ist gut ersichtlich, dass sich bereits eine geringe Verbesserung des Entwässerungsergebnisses deutlich positiv auf die Emissionen der Klärschlammbehandlung auswirken, selbst wenn keine nennenswerte Verbesserung des Abbaugrades erreicht wird. So ergibt sich allein infolge der verbesserten Entwässerung eine Reduktion der Emissionen um 0,7 kg CO₂-Äquivalente je EW und Jahr. Bei einer Steigerung des Abbaugrades kann mit einer weiteren Reduktion der THG-Emissionen um 0,32 kg CO_{2eq}/(EW·a) pro 4 % Steigerung gerechnet werden. Eine Steigerung des Abbaugrades um 20 % (auf 54 % Abbaugrad) ermöglicht das Einsparen von 2,27 kg CO_{2eq}/(EW·a). Bei der betrachteten Modellkläranlage mit 100 000 EW würden so jährlich 227 Tonnen an THG eingespart werden.

4 Fazit

Es konnte gezeigt werden, dass Ultraschall-desintegration bereits bei geringen Verbesserungen des anaeroben Abbauprozesses ökologisch sinnvoll einzusetzen ist und einen wichtigen Bestandteil bei der Reduktion der klimaschädlichen Gasemissionen auf dem kommunalen Sektor leisten kann.

Nach Haberkern u. a. [2] wird gemäß einer DWA-Klärschlamm-Erhebung von 2003 bei etwa 82 % aller in Deutschland angeschlossenen Einwohnerwerte mit anaerober Schlammstabilisierung eine Faulgasverstromung durchgeführt. Dies entspricht der Behandlung von ca. 78,6 Millionen EW. Ließe sich auf diesen Kläranlagen durch den Einsatz von Ultraschall-desintegratoren im Schnitt eine Einsparung von 1,5 kg CO_{2eq}/(EW·a) erzielen, ist ein jährliches Einsparpotential von fast 118 000 Tonnen CO₂-Äquivalenten möglich.

Die rund 10 200 Kläranlagen Deutschlands verbrauchen jährlich etwa 4 400 GWh Strom, welche ungefähr 3 Mio. t CO₂-Äquivalenten entsprechen [2, S. 46]. Somit könnten fast 4 % der in Deutschland aus dem Stromverbrauch der Abwasserbehandlung resultierenden THG-Emissionen durch den Ultraschalleinsatz eingespart werden. Zum Vergleich: Der Energiebedarf der Schlammbehandlung ist im Durchschnitt für nur ca. 11 % des Gesamtenergiebedarfs (Strom und Wärme) einer Kläranlage verantwortlich. Das heißt durch die Ultraschalltechnik kann ein signifikanter Teil von 36 % der THG-Emissionen in der Schlammbehandlung eingespart werden.

Literatur

- [1] Kopplow, O., Müller, J., Oles, J., Schmelz, K.-G. und Seiler, K. 2009. Energiebilanz der Desintegration. *Korrespondenz Abwasser*. 56, 8 (Aug. 2009), 797-801.
- [2] Haberkern, B., Maier, W. und Schneider, U. 2006. *Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen*. Technical Report #UBAFBNR001075. iat-Ingenieurberatung für Abwassertechnik [u.a.].
- [3] Öko-Institut 2010. *Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.6*.
- [4] IPCC 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.