

Die Desintegration von Klärschlamm leistet einen Beitrag zum Klimaschutz

Die rund 10.000 kommunalen Kläranlagen in Städten und Gemeinden benötigen viel Energie. Sie gehören mit einem Anteil von 20 % zu den größten Stromverbrauchern im kommunalen Bereich. Der Gesamtstromverbrauch der Kläranlagen liegt bei etwa 4.400 Gigawattstunden pro Jahr, dies entspricht einer jährlichen CO₂ Emission von 3 Millionen Tonnen [1].

Durch die Desintegration von Klärschlamm mit Ultraschall lässt sich die anaerobe Stabilisierung, wie sie auf 3 Vierteln aller kommunalen Kläranlagen praktiziert wird verbessern. Ein beschleunigter und weitergehender Abbau der organischen Substanz im Klärschlamm führt zu einer Mehrproduktion von Gas, das in Blockheizkraftwerken energetisch genutzt werden kann. Auf der negativen Seite der Energiebilanz schlagen der Energieverbrauch des Desintegrationsmoduls und die zusätzliche Belüftungsenergie infolge einer erhöhten Rückbelastung zu Buche.

Die nachfolgenden Berechnungen zeigen, dass der Einsatz des Desintegrationsmoduls Smart DMS zu einer merklichen Verbesserung der Energiebilanz von Kläranlagen führt und damit einen wertvollen Beitrag zur Minimierung der CO₂ Emissionen leisten kann.

Anwendungsgebiete und Zielsetzung der Desintegration

In der Mehrzahl der größeren kommunalen Abwasserreinigungsanlagen werden die Klärschlämme einer anaeroben Behandlung unterzogen, mit der unter geeigneten Randbedingungen eine Stabilisierung einhergeht. Der anaerobe Abbau organischer Substanz vollzieht sich nach heutigem Kenntnisstand in vier Phasen zu den Endprodukten Wasser, Methan und Kohlendioxid. In der einleitenden Hydrolysephase werden polymere Substrate durch Exoenzyme in niedermolekulare gelöste Bestandteile gespalten. Durch diesen Abbauschritt wird die Geschwindigkeit des gesamten anaeroben Abbauprozesses limitiert. Geeignete Verfahren wie die Desintegration durch Ultraschall ermöglichen den limitierenden Abbauschritt der Hydrolyse zu unterstützen.

Laut Definition wird unter Desintegration die Zerkleinerung von Klärschlämmen durch die Einwirkung äußerer Kräfte verstanden. Je nach Intensität der eingetragenen Energie führt diese zu einer Auflösung der Flockenstruktur des Schlammes und einer Freisetzung von Exoenzymen bis hin zu einem Aufschluss der im Schlamm enthaltenen Mikroorganismen.

Die freigesetzten organischen Substanzen sind sowohl dem anaeroben als auch dem aeroben Abbau leichter zugänglich. So reicht auch das Anwendungsgebiet von der Intensivierung der anaeroben Stabilisierung durch Desintegration des Überschussschlammes, über die Minimierung der Überschussschlammproduktion oder Verbesserung der Denitrifikationskapazität durch Desintegration des Rücklaufschlammes bis hin zur gezielten Behandlung von belebtem Schlamm zur Reduzierung fädiger Bakterien.

Gerade im Hinblick auf den Energiegewinn, der durch eine Intensivierung der anaeroben Stabilisierung mit einer erhöhten Gasproduktion einhergeht, ist dieser Anwendungsfall von besonderem Interesse und soll im Folgenden näher betrachtet werden.

Grundlagen der Energiebilanzierung

Grundlage der Bilanzierung ist eine genaue Beschreibung der Energieströme und der betrachteten Systemgrenze. In Abbildung 2 sind die Einzelprozesse der Klärschlammbehandlung und -verwertung einschließlich der Desintegration dargestellt.

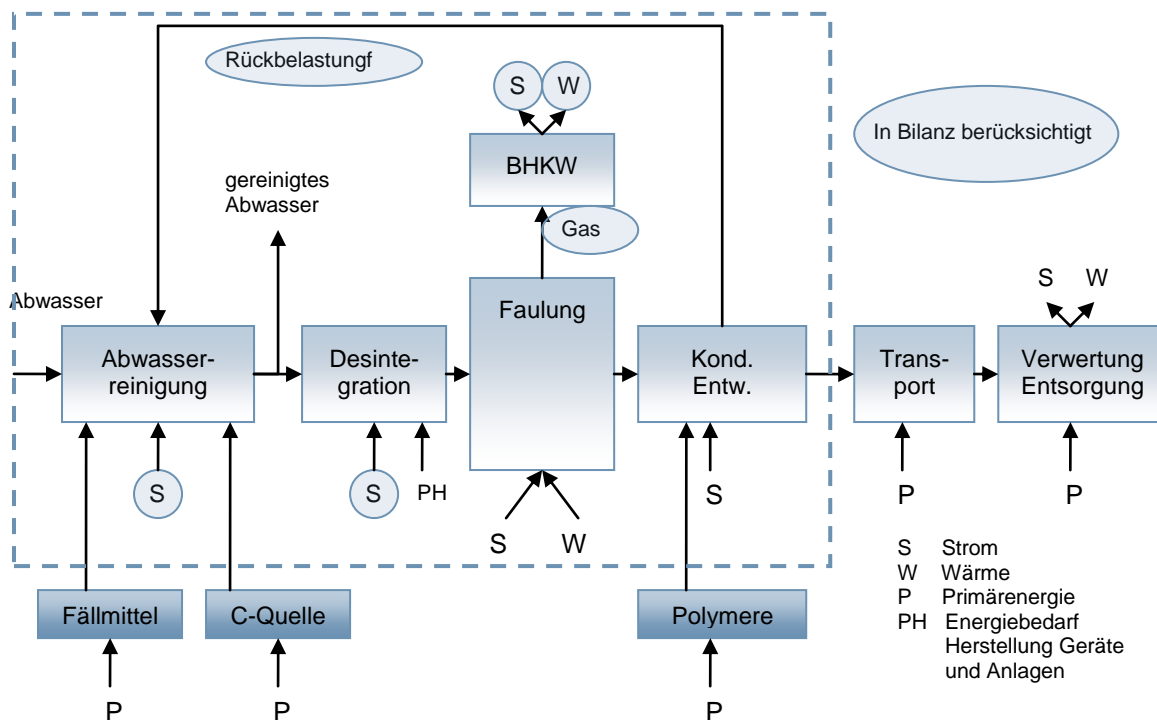


Abbildung 2: Energieströme bei der Klärschlammbehandlung nach [2]

Die anschließenden Berechnungen wurden in Anlehnung an den Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe AK-1.6 „Klärschlammintegration“ – Energiebilanz der Desintegration [2] durchgeführt.

Hierfür wurden nachstehende Energieströme berücksichtigt:

- Energieverbrauch des Desintegrationsmoduls Smart DMS:**
 In Abhängigkeit des behandelten Volumenstromes besteht die Ultraschalleinheit aus 1 bis 4 Sonotroden zu je 1-1,4 kW. Darüber hinaus erfolgt eine mechanische Vorzerkleinerung mit 4 bis 7 kW installierter Leistung. Zur weiteren Peripherie gehört je eine Kreislauf- und Zufuhrpumpe mit einer gesamten Leistung von 1,2 kW. Für die folgenden Berechnungen wurde die Gesamtleistung des Smart DMS zwischen 8, 10 und 12 kW variiert. Das entspricht einem volumenbezogenen Energieeintrag von 2,3 2,9 und 3,7 kWh/m³. Behandelt wird nur ein Drittel des anfallenden Überschussschlammes.
- Energieverbrauch für die Behandlung der Rückbelastung:**
 Die organischen Bestandteile des Rohschlammes bestehen etwa zu einem Drittel aus Proteinen, die im anaeroben Abbauprozess zu Ammonium umgewandelt werden. Durch einen gesteigerten Abbau der organischen Substanz kommt es zu einer analogen Erhöhung der Belastung des Schlammwassers

mit Stickstoff. Pro kg abgebauter Trockensubstanz werden 100 g Stickstoff rückgelöst. Dies zieht einen erhöhten Sauerstoffbedarf bzw. Energiebedarf des Belüftungssystems in der Belebungsstufe nach sich. Letzterer beträgt 2,3 kWh/ kg N_{elim}.

- **Energieproduktion bei der Faulgasnutzung:**

Basierend auf einer spezifischen Faulgasproduktion von 0,84 Nm³/kg oTR_{abgebaut} und einer relativen Steigerung des organischen Abbaugrades zwischen 2 und 38 % wurde die Erhöhung des Gasanfalls ermittelt. Der Energieproduktion aus dem Faulgas liegen ein Methangehalt von 64 % mit einem Heizwert von 10,52 kWh/Nm³ und eine Verstromung in einem BHKW mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 32 % zu Grunde.

Keine Berücksichtigung in der Energiebilanz finden:

- Verringerung des Stromverbrauches der Schlammwässerungsaggregate
- Verringerung der Umwälz- und Pumpleistung durch die geringere Schlammviskosität
- Veränderung der Mengen an Verbrauchsmitteln (zum Beispiel Flockungsmittel, C-Quelle) und damit deren Energiebedarf für deren Produktion
- Veränderungen bei Transportaufwendungen für Klärschlamm und Verbrauchsmittel
- Veränderung des Heizwerts aufgrund eines veränderten Glühverlustes und Trockensubstanzgehalts nach Entwässerung

Energiebilanz für eine Modellkläranlage

Kläranlagen der Größenklasse 4 (10.000 bis 100.000 EW) und 5 (> 100.000 EW) umfassen zwar nur 22 % der bundesweit 10.200 Kläranlagen, verursachen aber 87 % des gesamten Energieverbrauches von 4.400 GWh/a [1] und sind daher besonders wichtig für die folgenden Betrachtungen. Aus diesem Grund wurde die Bilanzierung auf Basis einer Modellkläranlage mit 100.000 EW durchgeführt. Die Kenndaten der Schlammbehandlung sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Überschussschlamm		
Trockenrückstand TR	[%]	5
Glühverlust GV	[%]	70
Volumenstrom	[m ³ /d]	80
oTR-Fracht	[kg oTR/d]	2.800
Primärschlamm		
Trockenrückstand TR	[%]	5
Glühverlust GV	[%]	65
Volumenstrom	[m ³ /d]	70
oTR-Fracht	[kg oTR/d]	2.275
Rohschlamm		
TR-Fracht (Input Faulung)	[kg TR/d]	7.500
oTR-Fracht (Input Faulung)	[kg oTR/d]	5.075

organischer Abbaugrad (ohne Desintegration)	[%]	44
Entwässerung auf TR	[%]	24

Tabelle 1: Kenndaten der Schlammbehandlung einer Modellkläranlage mit 100.000 EW

Im Hinblick auf die Klimaschädlichkeit wird der Stromverbrauch üblicherweise in CO₂ Äquivalente umgerechnet. Basis hierfür liefert der mittlere Strommix in Deutschland. Für die Stromerzeugung werden 0,682 kg CO₂/kWh angenommen [3]. Im folgenden Diagramm sind die Ergebnisse der Bilanzierung zusammengefasst.

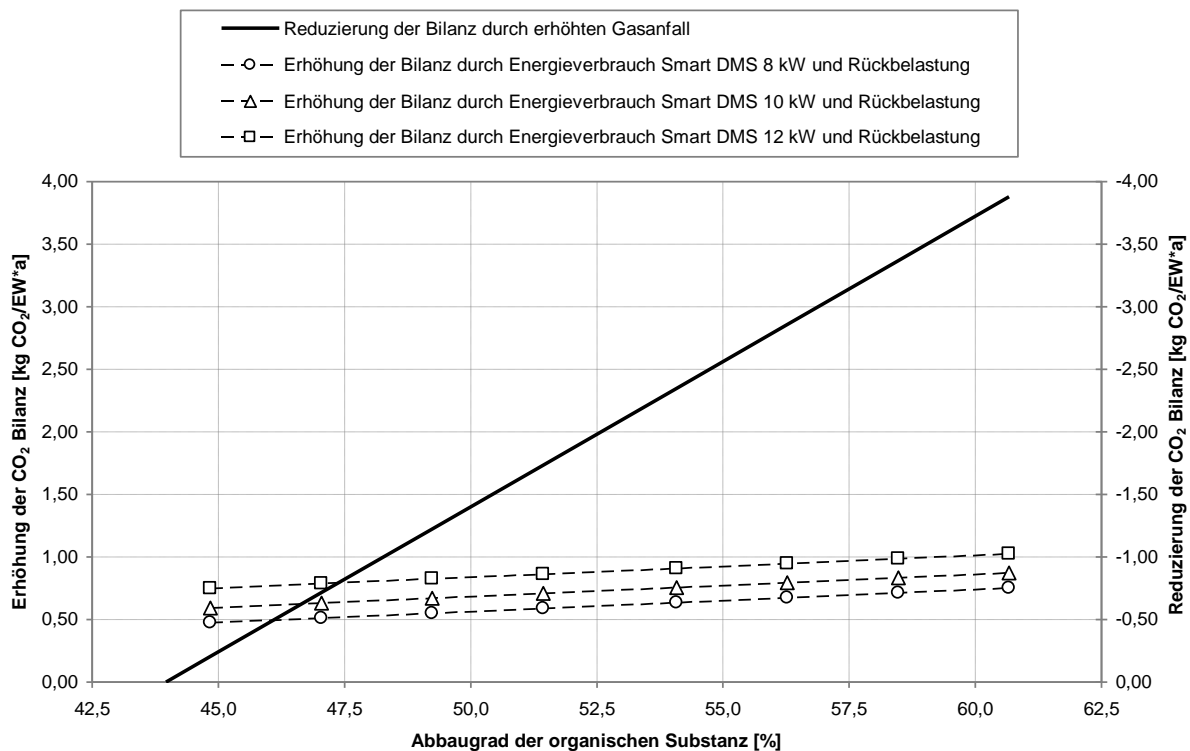


Diagramm 1: Erhöhung bzw. Reduzierung der CO₂ Bilanz durch den Einsatz des Desintegrationsmoduls SMART DMS

In Abhängigkeit einer Steigerung des organischen Abbaugrades auf bis zu 61 % ist auf der ersten y-Achse die Erhöhung der CO₂ Bilanz durch den Energieverbrauch des Smart DMS und die erhöhte Rückbelastung aufgetragen. Dem gegenüber steht, bezogen auf die zweite y-Achse, die Reduzierung der CO₂ Bilanz infolge des erhöhten Gasanfalls. Über den Schnittpunkt der Geraden kann der Abbaugrad ermittelt werden, an dem ein CO₂ neutraler Einsatz der Ultraschalldesintegration erfolgt. Dies ist in Anhängigkeit des spezifischen Energieeintrages des Desintegrationsmoduls schon ab sehr geringen Steigerungen auf 46 bzw. 47,5 % möglich. Wird der Abbaugrad darüber hinaus gesteigert, lassen sich die CO₂ Emissionen reduzieren.

Bei einer Steigerung des organischen Abbaugrades auf 54 % (dies entspricht einer relativen Steigerung von 23 %) werden die CO₂ Emissionen um 1,71 kg CO₂/EW*a verringert. Kläranlagen dieser Größenordnung weisen einen spezifischen Stromverbrauch zwischen 32 und 35 kWh/EW*a auf [1]. Durch Reduzierung des Stromverbrauches um die Stromproduktion aus Faulgas (15 kWh/EW*a) ergibt sich ein tat-

sächlicher Strombezug von 17 bis 20 kWh/EW*a. In CO₂-Äquivalenten ausgedrückt entspricht dies einer Emission von 11,6 bis 13,6 kg CO₂/EW*a. Durch den Einsatz des Desintegrationsmoduls Smart DMS kann dieser Anteil um 14% reduziert werden.

Fazit

Nach einer Erhebung des statistischen Bundesamtes [4] wird bundesweit das Abwasser von 124.510.000 Einwohnerwerten gereinigt. Bei 76 % aller angeschlossenen EW erfolgt die Klärschlammstabilisierung über Faultürme. Laut DWA-Klärschlamm-Erhebung 2003 betreiben hiervon 82 % eine Faulgasverstromung. Unter der Voraussetzung, dass sich das Desintegrationsmodul Smart DMS auf allen Kläranlagen, die eine Schlammfäulung betreiben, erfolgreich einsetzen lässt, ergibt sich ein bundesweites Einsparpotenzial von 132.700 Tonnen CO₂ pro Jahr.

- [1] Haberkern, B., Werner, M., Schneider, U. (2006):
Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen
Im Auftrag des Umweltbundesamtes
- [2] Koppow, O., Müller, J., Oles, J. et al. (2009):
Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe AK-1.6 „Klärschlammdeintegration“ –
Energiebilanz der Desintegration, Korrespondenz Abwasser 8/09
- [3] EPEA - Internationale Umweltforschung GmbH (2004):
Boden-, Ressourcen- und Klimaschutz durch Kompostierung in Deutschland
- [4] Statistisches Bundesamt (2009):
Fachserie 19 - Reihe 2.1, Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbesei-
tigung 2007
- [5] DWA
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2005):
Stand der Klärschlammbehandlung und -entsorgung in Deutschland, Ergeb-
nisse der DWA-Klärschlammhebung 2003