

## METHANEMISSIONEN AUF KLÄRANLAGEN

**Methanverluste im Schlammstapel von Kläranlagen sind nicht nur schädlich für das Klima, sie beeinflussen auch die Energiebilanz der Faulanlage. Gemäss Modellergebnissen belaufen sich die Methanverluste im Schlammstapel auf 2 bis 7% der gesamten Klärgasproduktion. Gleichzeitig ist es neu möglich, Fördergelder für methanreduzierende Massnahmen zu erhalten. Somit verbessern Kläranlagen nicht nur ihre Klimabilanz, sondern erhalten auch einen finanziellen Anreiz.**

*Michael Cunningham, ETH Zürich; Andrin Fink\*, South Pole Carbon  
Urs Baier, ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften*

Der biologische Prozess der Methanbildung in Kläranlagen ist in Forschung und Praxis hinlänglich bekannt [1]. Methangas entsteht in einem vierstufigen Prozess bei der Zersetzung organischer Stoffe durch verschiedene Mikroorganismen in einer sauerstofffreien Umgebung – im sog. anaeroben Abbauprozess:

### 1. Hydrolyse

Komplexe organische Kohlenwasserstoffverbindungen, Proteine und Fette werden in einfach lösliche Produkte zerlegt. Die Umwandlung von Kohlenwasserstoff geschieht innert Stunden, während die Hydrolyse von Proteinen und Fetten Tage benötigt. Dieser extrazelluläre Prozess wird durch die Enzymausscheidung von Bakterien ausgelöst [2, 3].

### 2. Acidogenese

Als Produkte der Hydrolyse und Acidogenese entstehen überwiegend kurzkettige Fettsäuren, wie Propionsäure, Buttersäure und Milchsäure [2].

### 3. Acetogenese

In dieser Phase erfolgt ein weiterer Abbau von kurzkettigen Fettsäuren zu Essigsäure [2, 3].

### 4. Methanogenese

Im letzten Schritt wird nun die Essigsäure oder Kohlendioxid/Wasserstoff in Methan und Kohlendioxid umgewandelt. Ungefähr 70% der Methanproduktion resultiert aus Essigsäure [2, 3].

Durch die Aufrechterhaltung von stabilen Betriebsfaktoren wird die Zersetzung von organischen Stoffen zu Methan in den anaeroben Abbauphasen optimiert. Zu solchen Faktoren gehören die Reaktortemperatur, die Aufenthaltsdauer und der pH-Wert [2]. Anaerobe Faulung behandelt vorwiegend organischen Klärschlamm, der als Nebenprodukt der Abwasserreinigung entsteht. Einige Kläranlagen erhöhen ihre Methanproduktion durch die zusätzliche Vergärung von Substrat aus der Industrie und Landwirtschaft. Das aus den anaeroben Faulräumen gewonnene Methan kann anschliessend zur Produktion von Wärme oder Strom verwendet werden. Alternativ können in einer Aufbereitungsstufe Verunreinigungen aus dem Biogas entfernt werden, um es dann in das nationale Gasnetz einspeisen zu können. In Kläranlagen mit anaerober Faulung wird der Grossteil der Methanproduktion aufgefangen und energetisch genutzt [4]. Trotz dieser Massnahmen fallen noch immer Methanemissionen auf Kläranlagen an. Deren Entweichungsquellen und genaue Volumen müssen von Forschern und Anlagebetreibern noch erhoben werden. Das entweichende Methan stellt ein erhebliches Risiko für das globale Klima dar. Über 100 Jahre hinweg gemessen, ist der Ausstoss von Methan nämlich 25-mal schädlicher für das Klima als CO<sub>2</sub> [5].

### QUELLEN DER METHANEMISSIONEN

Bei einem Forschungsprojekt auf der Kläranlage Kralingseever bei Rotterdam wurden die Quellen und Senken von Methan über die einzelnen Prozessstufen untersucht. Die Kläranlage Kralingseever verarbeitet Haushaltsabwasser von umgerechnet 360 000 Einwohnergleichwerten. Sie verfügt über eine einstufige anaero-

## RÉSUMÉ

### ÉMISSIONS DE MÉTHANE DANS LES STATIONS D'ÉPURATION

De nombreuses stations d'épuration disposent d'une étape de digestion anaérobie et exploitent le gaz d'épuration ainsi produit. Une partie de ce dernier est cependant perdue, sous forme d'émissions de méthane. Ce gaz à effet de serre puissant est ainsi inutilisé et s'échappe dans l'atmosphère. Les auteurs de cet article ont développé un modèle qui permet d'estimer les pertes de méthane du conteneur de boues. Les paramètres se basent aussi bien sur les données de mesure opérationnelles actuelles des stations d'épuration que sur les propriétés des boues d'épuration. Selon les résultats de la modélisation, les émissions de méthane du conteneur de boues représentent entre 2 et 7 % de l'ensemble de la production de gaz d'épuration de la digestion des boues. Plus de 15 stations d'épuration ont fait estimer leurs émissions à l'aide de la modélisation et font maintenant l'objet d'une évaluation, d'une planification ou de mesures visant une réduction de ces émissions. Grâce à un nouveau programme de soutien, elles peuvent obtenir des subventions pour la réduction des émissions de méthane. Ainsi, les stations d'épuration améliorent leur bilan climatique et bénéficient aussi d'un stimulant financier.

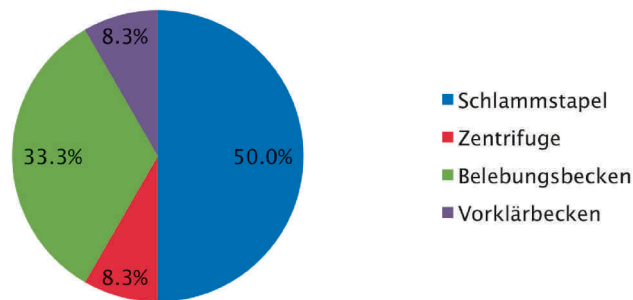
\* Kontakt: a.fink@southpolecarbon.com

be Faulung, die sowohl Primär- als auch Überschussschlamm vergärt. Die gesamte Anlage ist zur Vermeidung von Geruchsemissionen abgedeckt. Dies ermöglichte die Berechnung einer Methan-Massenbilanz. Während 18 Monaten wurden die Methanemissionen durch Online-Messgeräte erhoben. *Figur 1* zeigt die Verteilung der Methanemissionen über einzelne Prozessstufen auf [4]. Gemäss Massenbilanz belaufen sich die Methanemissionen aus der Kläranlage auf 105 Tonnen Methan pro Jahr. Gemessen am globalen Treibhausgaspotenzial von Methan entspricht dies 2650 Tonnen  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  pro Jahr. Für denselben  $\text{CO}_2$ -Ausstoss könnte ein Ehepaar täglich von Zürich nach New York und zurück fliegen [6].

Die Methanemissionen der primären und sekundären Reinigungsstufen stammen aus gelöstem Methan, welches durch die Kanalisation in die Kläranlage eintritt. Die Konzentration des gelösten Methans hängt von den Charakteristiken des Kanalisationssystems ab, wie Wassertemperatur, Aufenthaltszeit in der Kanalisation, Volumen/Oberflächenverhältnis der Leitungen sowie der Konzentration an organischen Inhaltsstoffen im Abwasser. Methanemissionen aus den Schlammstapeln und der Schlammwässerung sind eine Folge des anaeroben Gärungsprozesses [7].

#### FÖRDERPROGRAMM ZUR REDUKTION VON METHANEMISSIONEN

Die in Zürich ansässige Firma *South Pole Carbon* bietet Lösungen und Dienstleistungen im Nachhaltigkeitsbereich an. Dazu gehört die Entwicklung von Klimaschutzprojekten in Zusammenarbeit mit privaten Unternehmen und Regierungen auf der ganzen Welt. Auf die Problematik von Methanemissionen auf Kläranlagen aufmerksam geworden, hat die Firma in Zusammenarbeit mit Partnern aus der Forschung und Praxis ein Förderprogramm für Schweizer Kläranlagen entwickelt und betreibt dieses im Auftrag der Stiftung Klimaschutz und  $\text{CO}_2$ -Kompensation (KliK). Das Programm hat mit Fokus auf Schlammstapel und Entwässerungssysteme die Reduktion von Methangasverlusten zum Ziel. Erste Berechnungen zeigen auf, dass solche Methangasreduktionen am kosteneffizientesten auf mittleren bis grossen Anlagen (20 000 Einwohnergleichwerte und mehr) mit anaerober Faulung zu erzielen sind.



*Fig. 1 Relative Verteilung der Methanemissionen auf die Prozessstufen, anhand des Beispiels der Kläranlage Kralingssever (NL). Die Grafik identifiziert den Schlammstapel als die grösste Emissionsquelle von Methan [4]*

*Répartition relative des émissions de méthane sur les différentes phases du processus, selon le modèle mis en place à la station d'épuration de Kralingssever (NL). Selon le graphique, l'eau boueuse serait la matière émettant le plus haut taux de méthane [4]*



*Klimaschädliches Methan entweicht heute oft ungehindert in die Atmosphäre. Dies kann einen massgebenden Einfluss auf die Klimabilanz einer Kläranlage haben*

*Le méthane, nocif pour le climat, s'échappe souvent dans l'atmosphère sans difficulté. Cela peut avoir une influence déterminante sur le bilan climatique d'une station d'épuration*

In Zusammenarbeit mit der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) und einem Masterstudenten der ETH Zürich hat *South Pole Carbon* ein quantitatives Modell zur Berechnung von Methangasemissionen der Schlammstapel ausgearbeitet. Das Modell basiert auf dem anaeroben Faulungsmodell von *Siegrist et al.* [8].

Ziel des Modells ist es, die Methanemissionen vom Schlammstapel mit existierenden Betriebsmessdaten und Klärschlammigenschaften zu berechnen. Die Daten des Modells wurden mit der Computersoftware *Matlab* erfasst, analysiert und ausgewertet. Damit können die Methanemissionen rasch mit jeglicher Art vorhandener Daten abgeschätzt werden (tägliche, monatliche oder jährliche

Mittelwerte der Anlage). *Figur 2* zeigt eine Übersicht des Prozessmodells. Die Kläranlage liefert Informationen über die Eigenschaften des zur Faulung zugeführten Schlammes (*Fluss Nr. 1*), die Betriebsparameter des Faulbehälters (Behältervolumen, Temperatur, Aufenthaltszeit usw.) sowie der Gasproduktion (*Fluss Nr. 2*). Darauf folgend ermittelt *South Pole Carbon* mithilfe des Prozessmodells die Zusammensetzung des Faulschlammes (*Fluss Nr. 3*).

Die Anlage stellt zudem Informationen über die Betriebsbedingungen des Schlammstapels zur Verfügung, wie etwa Behältervolumen und Aufenthaltszeit. In der Folge berechnet *South Pole Carbon* mithilfe des Modells die Methanemissionen aus dem Schlammstapel (*Fluss Nr. 4*).

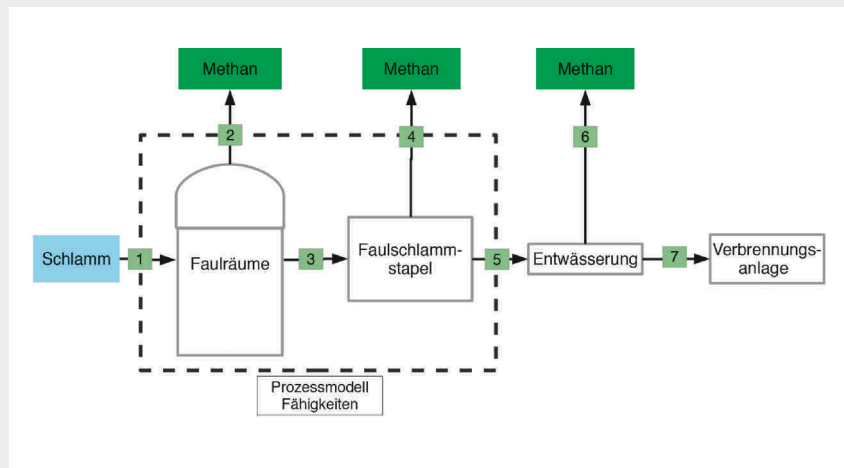


Fig. 2 Übersicht über die im Modell abgebildeten Prozesse  
 Aperçu des processus reproduits dans la modélisation

Gegenwärtig beinhaltet der Prozess noch keine Methanemissionen von Zentrifugen (Fluss Nr. 6). Allerdings ergeben die Messungen bei Kralingseever, dass während der Entwässerungsphase beträchtliche Mengen Methan entweichen (ca. 1% der Klärgasproduktion) [4].

## RESULTATE

Die ersten Resultate zeigen, dass die Methanproduktion in den Schlammstapeln am stärksten mit den Eigenschaften des zugeführten Schlamms, den Aufenthaltszeiten im Faulraum und auf den Schlammstapeln sowie mit den Temperaturen im Faulraum und auf den Schlammstapeln korreliert. Die Resultate basieren auf der Hypothese, dass die Methanemissionen im Schlammstapel das Resultat des biologisch abbaubaren Anteils im Faulschlamm sind. Auch nach Verlassen des Faulraums sind die methanogenen Organismen noch in hoher Konzentration im Faulschlamm (Fluss Nr. 3 in Fig. 2) vorhanden. Diese Mikroorganismen sorgen für die Bildung von weiterem Methan im Schlammstapel – obgleich die Umwandlungsrate niedriger als im Faulraum ist, aufgrund der niedrigeren Temperaturen durch fehlende Isolation oder Abdeckung. Die grösste Unsicherheit der aktuellen Modellvorhersagen liegt bei den Eigenschaften des zugeführten Schlamms (Fluss Nr. 1 in Fig. 2). Das Prozessmodell wurde so konzipiert, dass eine Integration mit kommerziellen Softwarelösungen für Kläranlagen wie beispielsweise *Biowin* von *Aquasim* möglich ist. Für die vorgenommenen Erstabschätzungen wurde die jährliche Zufuhr von Primär- und Überschussschlamm in die Faulung verwendet. Danach wurde die Zusammensetzung

der beiden Schlammarten mittels Literaturwerten approximiert.

Das ursprüngliche Modell von *Siegrist et al.* [8] ist für vollständig durchmischte Faulräume konzipiert, die sich im mesophilen (30–40 °C) oder thermophilen (50–60 °C) Temperaturbereich bewegen. Schlammstapel hingegen sind nicht vollständig durchmischte. Zudem sind die Temperaturen im Schlammstapel abhängig von der Temperatur im Faulraum, der Aussentemperatur sowie dem Füllstand des Stapels. Das Modell schätzt die Temperaturen im Schlammstapel auf 26–32 °C. Weiter steht die Validierung der Modellresultate durch die Messung der effektiv erzielten Emissionsreduktionen im Rahmen der geplanten Projekte zur Methanreduktion noch aus. Die Modellresultate zeigen, dass sich die Methanverluste aus dem Schlammstapel im Bereich von 2–7% der gesamten Klärgasproduktion der Schlammfäulung einer ARA bewegen. Die auf der Kläranlage Kralingseever durchgeführten Messungen zeigten einen Methanverlust von 4,6% der Klärgasproduktion. Da Methan 25-mal klimaschädlicher als CO<sub>2</sub> ist, haben Methanverluste in dieser Grössenordnung einen substantziellen Einfluss auf die Klimabilanz der Faulung von Kläranlagen [8].

## AUSBLICK

Methanemissionen aus Schlammstapeln und der Schlammmentwässerung bieten Kläranlagen eine günstige Gelegenheit, um Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Dies kann technisch gelöst werden, indem man die relevanten Prozesse abdeckt und die methanhaltigen Abluftströme fasst. Neben dem umweltrelevanten

Nutzen bietet dies, durch erhöhte Energierückgewinnung, auch einen finanziellen Nutzen für die Anlage. Ein durch die Stiftung KliK finanziertes Förderprogramm unterstützt methanreduzierende Massnahmen. Das Förderprogramm sieht drei Möglichkeiten für die Behandlung der gefassten Abluft vor:

- Schlammstapel abdecken und an die Faulanlage anschliessen,
- Gas als Verbrennungsluft der Schlammverbrennung zuführen,
- Gas als Verbrennungsluft dem Blockheizkraftwerk zuführen.

Mehr als 15 Anlagen haben bereits ihre Methanemissionen mithilfe des Modells analysiert. Sie sind zurzeit im Prozess der Evaluation, der Planung oder der Realisierung angemessener Optionen zur Verminderung des Methanausstosses. Man kann erwarten, dass sich in Zukunft das Bewusstsein bezüglich dieser Thematik seitens Anlagenbetreiber und Politiker steigern wird. Es gibt bereits erste politische Vorstösse, welche die Betreiber von Kläranlagen verpflichten sollen, Methanreduktionsmassnahmen umzusetzen, sofern diese technisch realisierbar sind. Um solchen zukünftigen Verpflichtungen aus dem Weg zu gehen, sollten die Anlagenbetreiber proaktiv Projekte zur Methanreduktion umsetzen und so von der Finanzierung durch das Förderprogramm der Stiftung KliK profitieren.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] GWRC (2011): *N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> Emission from Wastewater Collection and Treatment Systems State of the Science Report*
- [2] Khanal, S.K. (2008): *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Application*, Wiley
- [3] Deublein, D.; Steinhauser, A. (2011): *Biogas from Waste and Renewable Resources*. 2<sup>nd</sup> ed. Wiley
- [4] Daelman, M.R.J. et al. (2012): *Methane emission during municipal wastewater treatment*. *Water Research*, 46: p. 3657–3670
- [5] Myhre, G. et al. (2013): *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing*, Intergovernmental Panel on Climate Change
- [6] *South Pole Carbon* (2015): *CO<sub>2</sub>-Rechner im Webshop: shop.southpolecarbon.com*
- [7] Isgren, M.; Mårtensson, P. (2013): *Methane Formation in Sewer Systems*, in *Water and Environmental Engineering*, Lund University
- [8] Siegrist, H. et al. 2002: *Mathematical Model for Meso- and Thermophilic Anaerobic Sewage Sludge Digestion*. *Environmental Science and Technology*, p. 1113–1123