

EH-DA-GASE NUTZEN

NUTZGASE GEWINNEN STATT KLIMAGASE ENTWEICHEN LASSEN



Foto: Warnke

Bild 1: Unauffällig, doch wegen der großen Anzahl auch große Klimagas-Emittenten: die Komposter in unseren Gärten

Auch wenn derzeit überall auf der Welt große Anstrengungen unternommen werden: eine Dekarbonisierung des menschlichen Tuns bis zum Jahr 2050 – wenn das denn überhaupt reicht – ist unwahrscheinlich, und die Einhaltung des 1,5 °C-Temperaturziels des Pariser Abkommens ist nicht in Sicht.¹⁾ Die durch die Menschheit emittierten Treibhausgase (THG) wie Kohlenstoffdioxid (CO₂) oder auch das auf die nächsten, entscheidenden 20 Jahre über 70-mal so klimaschädliche Methan (CH₄)²⁾ steigen weiterhin an, wobei CO₂ rund 75 % der anthropogenen Erderwärmung verursacht hat, das 200 Mal seltenere Methan sogar 15 %. Problematisch ist, dass viele Länder heute ihren Methanausstoß nicht einmal messen, sondern ihn lediglich einschätzen.³⁾

Neben den menschengemachten Treibhausgasemissionen gibt es aber auch riesige Mengen an natürlichen Emissionen von CO₂ und CH₄, z.B. aus tropischen Feuchtgebieten⁴⁾ oder dem Schelf vor den sibirischen Küsten. Diese natürlichen Treibhausgase stellen an sich kein Problem dar, da sie sich in die, das Erdklima bisher stabilisierenden, Naturkreisläufe eingliedern.

Laut Umweltbundesamt sind ca. 84 % der deutschen Treibhausgasemissionen energiebedingt, d.h. sie resultieren aus

unserem überwiegend fossil betriebenen Energiesystem. Drei Jahrzehnte nach der UN-Konferenz in Rio und 30 Jahre bis zum letztmöglichen Halt vor dem Abgrund der Klimakatastrophe müssen wir überlegen, wie wir unsere vorhandene Technik so einsetzen, dass wir Klimaschädigungen minimieren. Ein Weg ist, das bisher genutzte fossile, gezielt erbohrte Erdgas partiell zu ersetzen, indem man natürlich auf- und austretende (Bio-)Gase – hier „Eh-da-Gase“ genannt – auffängt und nutzt. Für die Energiegewinnung steht dabei Methan im Focus. Es geht also um den Ersatz geogenen Methans (Erdgas) durch meist biogenes „Eh-da-Methan“. Mit diesem Biomethan ist nicht das heute übliche Agrargas aus Anbaubiomasse (Mais) gemeint, das wegen des Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatzes selbst wieder eine Treibhausgasbelastung darstellt. Es geht vielmehr um biogene Gase, die bei anderen notwendigen Prozessen nebenbei entweichen, und bisher nicht genutzt werden. Ziel ist es, biogenes CH₄ energetisch so zu nutzen, dass es a) durch heiße oder kalte (Brennstoffzellen) Verbrennung zu weniger klimaschädlichem CO₂ umgewandelt wird und b) auf diesem Wege zugleich fossiles Methan ersetzt.

Ebenso wenig gemeint sind hier – um das Thema deutlich abzugrenzen – Gase aus dem Bereich der Förderung und Aufbereitung fossiler Energien („Methanschlupf“). Dazu gehören Gasaustritte bei nicht oder nur ungenügend abgedichteten Bohrlöchern sowohl an Land – z. B. in den Elbmarschen⁵⁾ und der Lüneburger Heide – als auch in der Nordsee. Hier haben es sich die Fossil-Förderer in der Vergangenheit relativ leicht gemacht, wie die vielen Undichtigkeiten zeigen. Es ist aber die Obliegenheit der Förderunternehmen, die Löcher sicher zu schließen und so die Methanaustritte zu unterbinden; ggf. müssen hier Strafen und CO₂-Steuern greifen. Ebenfalls nicht hierher gehört das Abfackeln nicht genutzter Gase in Chemie- oder Raffineriebetrieben gemäß TA Luft 2021/ VDI-Richtlinie 2105. Auch hier ist es Aufgabe der entsprechenden Unternehmen und des Staates, das sehr klimafeindliche Abfackeln⁶⁾ künftig zu unterbinden.

Wo sind nun solche Eh-da-Gas-Potentiale zu finden, welche Quellen lassen sich nutzen?

Der BiogasRebell

In deutschen Haushalten fallen laut Statistischem Bundesamt jährlich pro Einwohner rund 130 kg Bioabfälle an. Ein Teil wandert in die Restmülltonne – nach einer Studie der Uni Innsbruck von 2016 immerhin 20 Prozent der dort anfallenden Abfälle⁷⁾ – , ein großer Teil wird über die Biotonne entsorgt, um anschließend in gemeindlichen Biogasanlagen energetisch genutzt zu werden. Der wohl größte Teil landet auf heimischen Komposthaufen. Und dort setzt er während seiner Lagerung jede Menge Biomethan frei.

Eine Lösung dafür hat die israelische Firma Home Biogas: sie vertreibt haushaltsgerechte Biogasanlagen, bei denen Küchenabfälle in einem Behälter versenkt werden, der von einer schwarzen, gasdichten Hülle umschlossen ist. Während man unten nach einiger Zeit hochwertigen Kompost entnehmen kann, lässt sich oben aus einem Stutzen Gas z.B. für das Grillen zapfen. Angeblich sollen 1 kg Abfall rund 200 l Methan erzeugen.

Die Idee ist prinzipiell nicht neu; schon seit Jahrzehnten gibt es in den ländlichen Gebieten Chinas und Indiens Komposttoiletten, die neben Küchenabfällen auch Fäkalien verwenden, um Gas zum Kochen zu erzeugen. Das Problem in unseren Breiten ist, dass die für die Vergärung notwendigen Bakterien zwar auch bei niedrigen Temperaturen nicht absterben, aber bei unter 15 °C die Arbeit einstellen, und am produktivsten bei rund 37 °C sind. Diese Temperatur wird in unseren Breiten durch eine schwarze Folie wie bei Home Biogas zwar leichter, aber selbst im Sommerhalbjahr nicht immer erreicht. Um die produktiven Zeiten der Anlage zu erhöhen, könnte es sinnvoll sein, diese in ein kleines Gewächshaus zu stellen, das Wind und Regen abhält sowie die Vergärungstemperaturen länger hoch hält.

Neben weiteren weiteren Herstellern solcher Biogasanlagen für das häusliche Umfeld wie Puxin Biogas aus China bietet das Internet und insbesondere auch Youtube eine Vielzahl von Anleitungen zum Eigenbau, die meist unter Suchbegriffen wie „DIY Biogas“ oder „Micro Biogas“ zu finden sind.

Ziel einer solchen Anlage muss dabei nicht unbedingt die Gaserzeugung zum Grillen sein; es sind auch andere Anwen-



Foto: Wärmike

Bild 2: Kontrollschacht für Deponiegase: die (Klima-)Gasquelle ist zwar bekannt, wird aber noch nicht hinreichend genutzt

dungen wie beispielsweise ein Aufheizen von Trinkwarmwasser oder Wasser zum Auftauen eines Eisspeichers denkbar.

Speicher für das Biogas gibt es bereits: schon vor einigen Jahren hat die Firma (B)Energy Biogasrucksäcke entwickelt, mit denen sich Frauen des globalen Südens das Biogas zum Kochen in einem gasdichten Rucksack von der dörflichen Biogasanlage holen konnten. Ähnliche „Rucksäcke“ könnten selbstverständlich auch als Speicher einer Haus-Biogasanlage dienen, wenn die Anlage zwischenzeitlich mehr produziert als verbraucht wird.

Das Potential solcher Kleinstanlagen ist erheblich. Das hat natürlich auch die Begehrlichkeiten bei den (städtischen) Entsorgern geweckt, die gern den Bioabfall einsammeln und das in ihren Anlagen anfallende Gas wieder an die Bürger verkaufen würden. Immerhin ließe sich mit den deutschen Küchenabfällen die Gasversorgung von 2,8 Millionen Menschen darstellen⁸⁾, wobei auch hier die Bioabfalltonnen erst einmal ca. 14 Tage bis zur nächsten Leerung Methan ausgasen würden. Im Sinne einer dezentralen Energiewende, einer häuslichen Autarkie und des Klimas ist zu wünschen, dass sich möglichst viele BiogasRebellen finden, die dieses Potential erschließen. Für die häusliche, nichtgewerbliche Biogasnutzung im globalen Süden gibt es längst wissenschaftliche Studien⁹⁾; entsprechende Untersuchungen für die mitteleuropäische Situation fehlen hingegen.

Noch mehr häusliche Potentiale würden sich auftun, wenn das vom Umwelttechnik-Professor Cho Jae-weon am

südkoreanischen Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST) entwickelte Biogas-Toilettensystem „BeeVi“ in Serie ginge, bei dem der Toiletteninhalt abgesaugt und zu Biogas verarbeitet wird.¹⁰⁾

Landgas ohne Energiepflanzen

Das heute zum „Biogas“ geadelte Agrargas entsteht zu einem Großteil – das Umweltbundesamt spricht von ca. 80 Prozent – aus Energiepflanzen wie Mais, die direkt oder indirekt unter Einsatz fossiler Energie gesät, gedüngt, geerntet und verarbeitet werden. Die Rührwerke der Anlagen können zudem noch zwischen 5 % und 17,4 % des produzierten Stromes selbst verbrauchen.¹¹⁾ Wer also keine Energiepflanzen zur Verfügung hat, hatte bisher hinsichtlich der Biogas-Eigenproduktion ein Problem. Das traf besonders auch auf Milchvieh haltende Landwirte zu. Diese konnten bisher meist ihre Gülle nur in große, runde, auslaufsicher betonierte Güllebehälter als Abklingbecken füllen, wo die Fäkalien dann ausgasen.

Doch mittlerweile gibt es die Möglichkeit, mittels einer Klein-Biogasanlage Rindergülle energetisch zu verwerten. Das Fachmagazin Topagrar berichtet von einem niedersächsischen Milchviehhalter, der mit etwa 120 Kühen und einer Kleinstanlage des belgischen Herstellers Bioelectric jährlich ca. 50.000 kWh selbstgenutzten und eingespeisten Strom plus Abwärme für sein Haus erzeugt.¹²⁾ Ebenfalls noch relativ neu sind Klein-Biogasanlagen, die ausschließlich mit dem Pferdemist arbeiten,¹³⁾ wie er auf großen Reiterhöfen anfällt. Und schließlich lässt sich auch Hühnerkot nutzen: Was in Deutschland meist als Zugabe für große Biogas-Anlagen wie der in Zerbst/Sachsen-Anhalt geschieht, das verwendet ein Hühnerzüchter in Kenia zur energetischen Rundumversorgung inklusive des Treibstoffs für sein Auto.¹⁴⁾

Deponiegas

Mülldeponien können erhebliche Mengen an Methan freisetzen; über einer Deponie südlich von Teheran hat man z.B. von einem Satelliten aus mit einer Spezialkamera eine 4,8 km lange Methanfahne fotografiert. Große Mülldeponien in Deutschland wie z.B. die Deponie Hamburg Georgswerder achten meist darauf, ihre Umwelt nicht durch die Emissionen von Klimagasen zu belasten. Die heute als Energieberg Georgswerder¹⁵⁾ firmierende, abgedichtete Anlage erzeugt Strom durch auf ihrem Gelände/Hügel installierte Windkraftanlagen, Freiflächen-PV – und nicht zuletzt aus dem nach Jahrzehnten immer noch aus ihrem Inneren quellenden Methan. Während die großen

Deponien die Ausgasungen weitgehend im Griff haben, gibt es trotz allem immer noch viele ungehobene Potentiale.¹⁶⁾

Vor allem die „wilden Deponien“ sind hier weitgehend Terra Incognita. Weit über 300 illegale Deponien gibt es in Deutschland.¹⁷⁾ In längst nicht allen findet sich biogener Abfall, dessen Methan man energetisch nutzen kann. Häufig sind auch nur Altreifen, Bauschutt oder Sperrmüllmöbel abgelagert. Aber das sollte jedenfalls im Einzelfall untersucht werden, um dann ggf. Methanemissionen zum weniger klimaschädlichen CO₂ zu verbrennen und die Energie zu nutzen.

Solange sich aber noch 20 Prozent biogene Stoffe im Restmüll (s.o.) der Müllabfuhr befinden, sollten diese Stoffe vor Verbrennung und Deponierung erst einmal herausgelöst und in Faultürmen zu Biogas verarbeitet werden – der Arbeitsbereich Umwelttechnik am Institut für Infrastruktur der Universität Innsbruck hat entsprechende Verfahren dafür entwickelt.¹⁸⁾

Klärschlammgas

Die meisten größeren Kläranlagen in Deutschland benutzen Faultürme; sie sind Teil der mehrstufigen Abwasserreinigung.¹⁹⁾ Und das in den Türmen mit Hilfe von anaeroben Bakterien entstehende Methan ist wichtig für den Betrieb der energieintensiven Anlagen, die z.B. große Mengen an Pumpenstrom verbrauchen. Meist wird das Gas in Blockheizkraftwerken verbrannt; überschüssiges Gas wird ggf. ins Erdgasnetz eingespeist. Etwa 1.500 GWh Strom aus Klärgas werden laut Statistischem Bundesamt jährlich in Deutschland erzeugt.²⁰⁾ Doch das Potential wird in vielen Kläranlagen gar nicht ausgeschöpft. Nach der Faulung kommt der Schlamm aus den Faultürmen in offene Schlammspeicher, wo er zwischengelagert wird. Lange Zeit wurde davon ausgegangen, dass die anaeroben, d.h. nur in Abwesenheit von Sauerstoff existierenden Bakterien dort ihre Arbeit einstellen würden.

Vor wenigen Jahren musste das städtische Unternehmen Hamburg Wasser, das die Kläranlagen der Hansestadt betreibt, feststellen, dass dem nicht so ist: eigene Untersuchungen zeigten, dass tief unten in den Schlammspeichern weiterhin die Bakterien erhebliche Mengen Methan (und CO₂) produzieren, die dann an der Oberfläche des Speichers ausgasen. Mit finanzieller Förderung durch den Bund wurde der Schlammspeicher von 40 m Durchmesser im November 2019 mit einer Gashaube („Klimahaube“) abgedeckt, die zugleich als Gasspeicher dient. Diese fängt pro Tag 1.800 m³ Methan auf, was etwa 7.200 t CO₂-Äquivalen-



Foto: Warmke

Bild 3: In den ausbetonierten Güllebehältern der Landwirtschaft steckt nicht nur Düngerpotential; abgedeckt können sie auch als Gasquelle genutzt werden.

ten entspricht. Wenngleich das Klärwerk Hamburg-Köhlbrandhöft eines der größten der Republik ist, so gibt es doch viele andere Klärwerke mit großen Faultürmen und -speichern. Dem Pionier Hamburg Wasser war Anfang 2023 nichts von Nachahmern bekannt.

Seen und Flüsse

Am 21. August 1986 kam es am Nyos-See/Kamerun zur Katastrophe: nachdem es bereits zwei Jahre zuvor am Manoun-See – ebenso wie der Nyos-See ein ehemaliger, jetzt mit Wasser gefüllter Vulkankegel (Maar) – zu einem Gasausbruch mit 37 Toten gekommen war, wiederholte sich das Drama jetzt in einem viel größeren Ausmaß. In beiden Seen gibt es eine thermische Schichtung, die die Durchmischung der gesamten Wassersäule verhindert (meromiktische Gewässer). In der unteren Schicht hatten sich geogene, aber auch biogene Gase (CO_2 , CH_4) gelöst. Als ein gewisser Sättigungsgrad überschritten war, kam es im Nyos-See durch einen Auslöser (Erdbeben oder Erdbeben) zum Aufbrechen der Schichtung und zu einem Gasausbruch. Dabei tötete das CO_2 über 1.700 Menschen, ihr Vieh und unzählige Wildtiere. Das ist, neben dem Energiebedarf, einer der Gründe, warum man im ostafrikanischen Kiwu-See begonnen hat, das unterseeische Methan hoch zu pumpen und energetisch zu nutzen.²¹⁾ In Europa stehen wegen solcher nicht auszuschließenden „limnischen Eruptionen“ z.B. der Albaner See/Italien und der Lac Pavin in der französischen Auvergne unter Beobachtung. In anderen Vulkanseen wie z.B. in der Eifel treten Gase einfach an die Oberfläche; da

die Zusammensetzung der Gase von Maar zu Maar verschieden ist, müsste jeweils im Einzelfall entschieden werden, ob eine energetische Nutzung sinnvoll ist.

Neben Maaren sind Stauseen große Methan-Emittenten. Die Ursache besteht darin, dass im für den Stausee vorgesehenen Gebiet die dort wachsende Biomasse nicht vollständig entfernt wird. Unter Wasser gesetzt – und damit weitgehend ohne Sauerstoff – bildet sich dann Methan, das durch die Wassersäule aufsteigt und dann als Klimagas wirkt. Im Zuge des Projekts „MELINU“ hat die TH Köln mit Partnern ein neues Verfahren zum Methanabbau in Stauseen entwickelt: von einer schwimmenden Plattform aus werden die Sedimente mit einem Hochdrucksauger aufgesogen; dann wird das Gas vom Wasser-Sediment-Gas-Gemisch abgetrennt und das Sediment flussabwärts der Staumauer zurückgepumpt.²²⁾

Doch auch natürliche Seen gasen erhebliche Mengen Methan aus, wie z.B. auf Youtube-Videos als „Lauerersee: Gas abfackeln“ zu sehen ist, wenn sich das Gas im Winter unter der Eisdecke gesammelt hat. Schon historische Berichte über das unheimliche „Seeschießen“ am Bodensee oder der Rote Hahn in Theodor Fontanes „Stechlin“ (1897) deuten in diese Richtung; bei letzterem dürften die Fischer mit Netzen nächtens Methan aus dem Seegrund freigesetzt und dann mit ihren Fackeln entzündet haben. Zuvor hatte bereits der Physiker Alessandro Volta 1777 das „Sumpfgas“ (Methan) am Comer See aufgefangen und Versuche damit gemacht.

Intensiv wird sich auch in der Schweiz mit dem Thema beschäftigt: Wissen-

schaftler vom Departement Umweltwissenschaften der Universität Basel haben ein Konzept entwickelt, bei dem ein Detektor unterseeische Methanquellen ortet, woraufhin es dann mit speziellen, aber konventionellen Membranen abgeschieden und gesammelt wird.²³⁾ Eine Alternative dazu könnte eine Art schwimmende „Klimahaube“ (s.o. Abwasser) oder eine Gas auffangende Folie über dem Sediment sein. Wenig bekannt ist heute, dass die Schweiz eine lange Tradition in der Nutzung von Eh-da-Gasen hat: Während des 2. Weltkriegs wurde das austretende Gas im Mündungsdelta des Flusses Ticino in den Lago Maggiore aufgefangen, und zum Kochen oder als Autotreibstoff verwendet.²⁴⁾ Darüber hinaus bietet der Lago Maggiore eine Vielzahl weiterer Ausgasungs-Quellen.

Das Meer

Zwischen 2013 und 2019 wurden im Rahmen des NOAH-Projekts (North Sea Observation and Assessment of Habitats) auch solche Regionen der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) in der Nordsee detailliert kartiert, die nicht in die Kategorien Schifffahrtswege, Stromleitungsbau und Windparkeinrichtung fallen. Dabei wurden bei einer zweiten Kartierung Ende 2015 im Gebiet des „Helgoland-Riffs“ etwa 45 km nordwestlich der Hochseeinsel plötzlich pockennarbige Vertiefungen („Pockmarks“) im Meeresboden entdeckt, die durch Methanausbrüche entstanden sind.²⁵⁾ Die gesamte Fläche erstreckte sich auf rund 915 km², wobei pro km² bis zu 1.200 Krater auftraten. Da die Pockmarks durch Wellengang und Strömungen schnell wieder eingeebnet werden, ist nicht klar, ob es sich bei dem Methanausbruch 2015 um ein einmaliges Ereignis und/oder eine einzigartige Region handelt. Allerdings gehen die entsprechenden Forschungen weiter.²⁶⁾ Sollten solche Methanausgasungen hier oder in anderen Regionen öfter bevorstehen, so wäre es wichtig, sie vorab zu identifizieren und mit geeigneten, wohl neu zu entwickelnden Absaugeinrichtungen abzuertzen, bevor es zur Eruption kommt. Größere, natürliche Methanaustritte wurden auch am Boden der Ostsee vor der schwedischen Küste bei Nynäshamn beobachtet.²⁷⁾

Problemgebiete

Längst nicht alle Eh-da-Methan-Emissionen lassen sich nutzen. Neben den o.a. Küstenschelfs und Tropensümpfen sind die traditionellen Nassreisfelder Ostasiens große Emittenten. Hier wurde das Konzept entwickelt, in den unter Wasser stehenden Feldern zugleich Fische zu züchten²⁸⁾: die Barsche fressen das Plankton,



Foto: hamburgwasser.de

Bild 4: Leider immer noch ein Ausnahmeprojekt: abgedeckter Klärschlamm-Speicher von Hamburg Wasser

das sich wiederum von Methan zersetzenden Bakterien ernährt. So lässt sich die Methanfreisetzung um ein Vielfaches minimieren.

Neuer ist die Entwicklung, dass die zurückgehenden Gletscher z.B. auf Spitzbergen bisher durch das Eis verschlossene Quellen öffnen, die methanhaltiges Grundwasser nach oben sprudeln lassen und so Methan in die Atmosphäre freisetzen.²⁹⁾ Da es sich meist um abgelegene und schwer zugängliche Gebiete handelt, ist eine technisch-ökonomische Lösung hier bis auf weiteres nicht in Sicht. Deutlich wird: nicht alle natürlichen Methan-Emissionen lassen sich abernten. Auch aus diesem Grunde kommen wir als Menschheit um einen weitestgehenden Abschied von unseren energetisch-technischen Verbrennungsprozessen nicht umhin.

Fazit

Es gibt rund um die Welt ein erhebliches, biogenes, von selbst austretendes Methanpotential. Dieses möglichst großflächig abzuernsten, kann einen doppelten Beitrag zum Klimaschutz leisten: a) dass dieses biogene Methan in CO₂ umgewandelt wird und damit weniger klimaschädlich wirkt. b) dass durch dieses biogene Eh-da-Methan fossiles Methan ersetzt wird, das im Boden bleiben kann. In welchem Umfang dieser Ersatz geleistet werden kann, muss sich noch zeigen; aber jeder Kubikmeter Erdgas, der im Boden verbleibt, ist ein Gewinn.

Wir haben heute die Technik, Eh-da-Gase in großem Umfang und aus vielen Quelle zu nutzen; was an Technik noch fehlt, kann und muss entwickelt werden.

Aber vor allem muss eine breite gesellschaftliche Bereitschaft entstehen, diesen Weg zügig zu gehen.

Fußnoten

- 1) <https://attachment.rrz.uni-hamburg.de/8c8af471/CLICCS-Hamburg-Climate-Futures-Outlook-2023.pdf>
- 2) www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgasemissionen/die-treibhausgase
- 3) www.n-tv.de/wissen/Klima-Labor-von-ntv-Der-Methan-Ausstoss-wird-in-vielen-Laendern-nur-geschaetzt-article23822012.html
- 4) www.spiegel.de/wissenschaft/natur/erheblicher-methan-ausstoss-kommt-aus-tropischen-feuchtgebieten-a-df6c150e-20e4-40a0-bab6-2f516617fddd
- 5) www.zeit.de/wissen/umwelt/2023-01/methan-leck-klimagas-hamburg-elbmarschen/komplettansicht
- 6) www.rnd.de/wissen/erdgasverbrennung-bei-oelfoerderung-wohl-klimaschaedlicher-als-gedacht-26LCP3FOMKWAT2GBPD7FOW-DMBA.html
- 7) www.spektrum.de/video/partner/universitaet-innsbruck/energie-aus-restmuell/1473425
- 8) www.solarserver.de/2022/06/22/bio-methan-aus-kuechenabfaellen-statt-erdgas-aus-russland/
- 9) <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.090>
- 10) www.reuters.com/world/asia-pacific/south-korean-toilet-turns-excrement-into-power-digital-currency-2021-07-09/

- 11) www.topagrar.com/energie/news/biogas-ruehrwerke-sind-echte-stromfresser-9476357.html
- 12) www.topagrar.com/rind/news/mini-biogasanlage-mit-rinderguelle-energiekosten-sparen-13366181.html
- 13) www.agrarheute.com/energie/gas/biogas-anlage-arbeitet-nur-pferdemist-598897
- 14) www.bbc.co.uk/news/world-africa-64811929
- 15) https://de.wikipedia.org/wiki/Deponie_Georgswerder
- 15) <https://idw-online.de/de/news684813>
- 16) www.muellparadiesdeutschland.de/
- 17) www.uibk.ac.at/podcast/zeit/2015/zfw024.html
- 18) www.bmu.de/themen/wasser-rsourcen-abfall/binnengewasser/abwasser/klaeranlage-kurzinfo
- 19) www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/08/PD20_310_433.html
- 20) https://de.wikipedia.org/wiki/Kiwusee#Nutzung_des_Methans
- 21) www.th-koeln.de/hochschule/methan-aus-stauseen-energetisch-nutzen_105935.php
- 22) www.tagblatt.ch/leben/energie-ungenutztes-potenzial-schweizerbergseen-stecken-voller-methan-ld.2130658
- 23) www.e-newspaperarchives.ch/?a=d&t=SMZ19890802-01.2.9.1
- 24) www.marum.de/Entdecken/Pockmarkfelder-vor-Helgoland.html
- 25) https://oceanrep.geomar.de/id/eprint/54111/1/MSM99-2_cr.pdf
- 26) www.n-tv.de/panorama/Forscher-entdecken-Methan-Leck-in-Ostsee-boden-article24416901.html
- 27) www.watson.de/nachhaltigkeit/gute%20nachricht/600949250-reduzierung-von-methan-fische-auf-reisfeldern-koennen-klima-schuetzen
- 28) www.nature.com/articles/s41561-023-01210-6

ZUM AUTOR:

► **Götz Warnke**
ist Vorsitzender der DGS-Sektion
Hamburg-Schleswig-Holstein
kontakt@warnke-verlag.de