



## Deponiegas sauber nutzen

Gasreinigung mit Aktivkohle  
optimiert durch Regeneration vor Ort



*Bei der Produktion von Deponiegas entstehen neben dem gewünschten Methan auch andere Gase, die Motoren und Turbinen schädigen. Zum Schutz dieser Anlagenteile werden die enthaltenen siliziumorganischen Spurenverbindungen, zum Beispiel durch Adsorption, vorher abgetrennt. Der hohe Verbrauch des Adsorptionsmittels gefährdet jedoch die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Ein Forschungsteam hat eine Vor-Ort-Regeneration für das Adsorbens entwickelt. Dieses Verfahren kann die energetische Nutzung von Deponiegas wirtschaftlicher machen.*

In Mülldeponien, Kläranlagen und landwirtschaftlichen Biogasanlagen entsteht Biogas. Es entsteht durch die biologische Zersetzung von organischem Abfall unter Abschluss von Sauerstoff. Seine Hauptbestandteile sind Kohlendioxid und bis zu 60 Prozent Methan. Wegen des hohen Gehaltes an Methan wird Biogas zur Energieerzeugung genutzt. Allerdings schädigen die darin enthaltenen siliziumorganischen Spurenverbindungen die Motoren und Turbinen. Beim Verbrennungsprozess im Motorraum wandeln sie sich, aufgrund der vorherrschenden hohen Temperaturen, in Siliziumdioxid um und lagern sich dort ab. Dies führt zu einem erhöhten Verschleiß der Bauteile und hat eine Reduzierung der Betriebsstunden zur Folge. Daher wird eine Gasreinigung vorgeschaltet. Es gibt verschiedene technische Lösungen wie Wäschen, Kältetrocknung und Adsorption mit Aktivkohle und Molekularsieben. Die Adsorption mit Aktivkohle ist das am häufigsten eingesetzte Verfahren. Ein Forschungsprojekt von Siloxa Engineering und Fraunhofer UMSICHT untersuchte, wie die Gasaufbereitung wirtschaftlich und technisch effizienter gestaltet werden kann. Hierfür wurden zwei Verfahrensvarianten getestet, zum einen eine Aktivkohle-Adsorption mit anschließender Regeneration und zum anderen eine katalytische Abscheidung an aktiviertem Aluminiumoxid. Aktivkohle nimmt nicht nur die

Dieses Forschungsprojekt  
wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft  
und Energie (BMWi)

enthaltenen siliziumorganischen Spurenstoffe auf, sondern auch andere der im Deponiegas zahlreich vorhandenen, für den Motorbetrieb unschädlichen, organischen Spurenverbindungen, wie beispielsweise Kohlenwasserstoffe, Terpene und Schwefelverbindungen. Die Folge ist eine schlechte Ausnutzung des Adsorbens. Dadurch muss die Aktivkohle häufig gewechselt werden. Dieser hohe Verbrauch verursacht Kosten, die teilweise eine wirtschaftliche Nutzung des Deponiegases gefährden. Als Lösung hat die Forschungsgruppe eine Vor-Ort-Regenerierung der Aktivkohle erfolgreich getestet. Die Idee ist, die Standzeit der Aktivkohle zu erhöhen und somit die Anzahl der Wechsel zu verringern, indem das Adsorbens vor Ort regeneriert wird. Dazu bietet sich die Kombination aus Thermo- und Vakuumdesorption an. Dabei werden die aufgenommenen Verbindungen durch Anlegen eines Unterdrucks und gleichzeitiger Temperaturerhöhung ausgetrieben.

Bei der Versuchsanlage wurde das Desorbat mithilfe eines mit Aktivkohle gefüllten Adsorbers, eines sogenannten Polizeifilters, aufgefangen. Für die großtechnische Umsetzung des Verfahrens ist die Entsorgung des Desorbates mittels einer Hochtemperaturfackel vorgesehen.

### Versuchsanlage an der Deponie

Die Forscher entwickelten eine Versuchsanlage, in der zwei Verfahrensansätze untersucht werden können: Die katalytische Abscheidung von siliziumorganischen Spurenverbindungen an aktiviertem Aluminiumoxid (Kat-Ox-Verfahren) und die adsorptive Reinigung durch Aktivkohle mit anschließender Regeneration (Aktivkohle-Verfahren).

Das Forschungsteam arbeitete mit einem kleinen 0,6-Nm<sup>3</sup>/h-Teststand und einer großen 100-Nm<sup>3</sup>/h-Versuchsanlage (Abb. 1). Diese beiden waren miteinander gekoppelt und wurden durch einen Teilstrom der Deponiegashauptleitung mit Rohgas versorgt. Die Versuchsanlage stand auf der Deponie Vereinigte Ville.

Den kleinen Teststand nutzten die Forscher, um mit geringen Mengen an Adsorbens mehrere Testzyklen hintereinander durchzuführen.

Im 100-Nm<sup>3</sup>/h-Kreislauf wurden jeweils Aktivkohle und aktiviertes Aluminiumoxid in einem isolierten Festbettreaktor untersucht. So wurden das Adsorptionsverhalten und die Umsetzung der siliziumorganischen Spurenstoffe unter praxisnahen Bedingungen betrachtet.

### Katalytische Abscheidung

Die Idee des Kat-Ox-Verfahrens ist die Abscheidung von siliziumorganischen Verbindungen bei Temperaturen von 250 bis 350 °C an aktiviertem Aluminiumoxid. An der Oberfläche dieses Materials reagieren die siliziumorganischen Verbindungen zu Siliziumdioxid. Dieses feste Reaktionsprodukt lagert sich allerdings in den Poren des Materials ab. Dadurch wird das Aluminiumoxid deaktiviert. Das Team am Fraunhofer UMSICHT testete im Vorfeld unter Laborbedingungen auch andere mögliche Materialien zur katalytischen Abscheidung. Allerdings erwies sich Aluminiumoxid als am besten geeignet. Calciumoxid (CaO) und Magnesiumoxid (MgO) scheiden aus, da das im Deponiegas enthaltene Kohlendioxid zu einer Carbonat-Schicht auf den Materialien reagierte, welche die Reaktivität reduzierte. Titandioxid und Vanadiumpentoxid zeigten zwar eine gute Reaktivität über längere Zeiträume, sind jedoch zehn- bis zwanzigmal so teuer wie Aluminiumoxid.

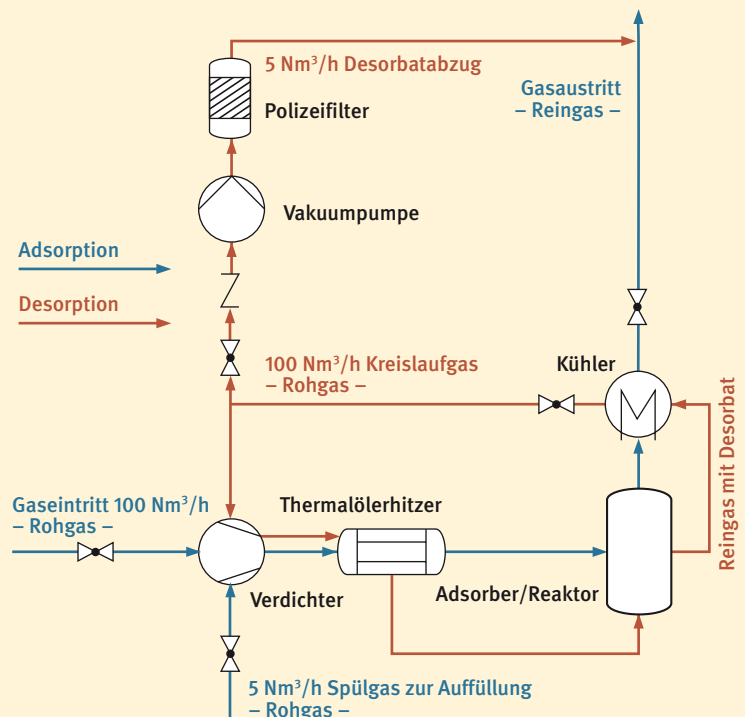


Abb. 1 Das Schema zeigt den Versuchsaufbau der 100-Nm<sup>3</sup>/h-Anlage an der Deponie Vereinigte Ville.



Abb. 2 Die Siliziumdioxid-Ablagerungen auf dem Zylinderkopf eines Gasmotors nach über 3.500 Betriebsstunden sind durch die Verbrennung der siliziumorganischen Spurenverbindungen im Motorraum entstanden.

In der großen Versuchsanlage wird das Deponiegas mittels eines Thermalölerhitzers zunächst auf maximal 350 °C aufgeheizt. Dann wird es in den mit aktiviertem Aluminiumoxid gefüllten Reaktor geleitet. Durch eine reaktive Adsorption werden die siliziumorganischen Verbindungen am Aluminiumoxid zu Siliziumdioxid umgesetzt. Das gereinigte Deponiegas wird im Wärmetauscher auf circa 50 °C abgekühlt und wieder in die Hauptgasleitung der Deponie abgegeben.

Die Tests zeigen, dass sich das Verfahren grundsätzlich zur Abtrennung von siliziumorganischen Verbindungen eignet. Auf Basis der bisherigen Ergebnisse kommen die Wissenschaftler zu dem Schluss, dass die Betriebskosten



Abb. 3 Das Forschungsteam erprobte sowohl die katalytische Abscheidung an aktiviertem Aluminiumoxid (Kat-Ox-Verfahren) als auch die adsorptive Reinigung durch Aktivkohle mit anschließender Regeneration (Aktivkohle-Verfahren).



Abb. 4 Die beiden Materialien Aluminiumoxid und Aktivkohle untersuchte das Forschungsteam jeweils in einem isolierten Festbettreaktor mit Deponiegas.

sich etwa auf dem gleichen Niveau bewegen wie beim adsorptiven Aktivkohleverfahren mit Vor-Ort-Regenerierung. Vor einem Einsatz in der Praxis sind jedoch noch weitere technische Fragen zu klären. Dazu gehört zum Beispiel, wie ein effektiver Wärmeeintrag in den Reaktor realisiert sowie Staubablagerung in den Anlagenteilen hinter dem Reaktor vermieden werden können.

#### Adsorptive Reinigung mit anschließender Regeneration

Bei der Betriebsweise des Aktivkohleverfahrens in der großen Versuchsanlage wird das Deponiegas zunächst verdichtet und auf maximal 70 °C

erhitzt. Anschließend wird es durch den mit Aktivkohle gefüllten Adsorber geleitet. An der Aktivkohle adsorbieren die im Gas enthaltenen siliziumorganischen Spurenstoffe. Das gereinigte Gas wird abgekühlt, bevor es wieder in die Hauptleitung der Deponie zurückgeführt wird. Die Desorption der Aktivkohle erfolgt durch eine Kombination aus thermischer Regeneration und Vakuumdesorption. Dabei wird ein Teilstrom des Gases auf maximal 160 °C erwärmt und in den Adsorber geleitet. Eine Vakuumpumpe am Austritt des Adsorbers sorgt für einen Unterdruck von 700 mbar. Das mit Desorbat beladene Gas wird in einem Wärmetauscher auf circa 80 °C abgekühlt und durch einen Polzeifilter, einen mit Aktivkohle gefüllten Adsorber, geleitet. Anschließend wird es wieder der Aktivkohle-Adsorption zugeführt.

Die Feldversuche haben ergeben, dass eine Vor-Ort-Regenerierung der Aktivkohle mit dem Verfahren teilweise erreicht und eine konstante Restbelastung erzielt wird. Allerdings wurden erwartungsgemäß polare organische Verbindungen, wie Trimethylsilanol, kaum von der Aktivkohle zurückgehalten, so dass für diese eine zusätzliche Reinigung für die technische Anwendung berücksichtigt werden muss. Der Anteil von Trimethylsilanol an der Gesamtbelastung durch siliziumorganische Verbindungen kann im Deponiegas bis zu 50 Prozent betragen. Als Lösung empfiehlt das Forschungsteam eine Vorreinigung mit einer Sickerwasserwäsche. Eine solche Anlage wurde vom Industriepartner Siloxa bereits in Ihlenberg in Mecklenburg-Vorpommern realisiert und scheidet nahezu das gesamte enthaltene Trimethylsilanol sowie andere polare siliziumorganische Verbindungen ab.

#### Empfehlungen für eine Gasreinigungsanlage

Die Forschungsgruppe entwickelte ein theoretisches Verfahrenskonzept für eine Gasreinigungsanlage mit einem Durchsatz von 1.000 Nm<sup>3</sup>/h: Als Vorreinigung ist eine Sickerwasserwäsche vorgesehen. Dabei wird das Deponiegas auf 4 °C gekühlt, um die Absorptionsleistung zu verbessern.

Hat das Deponiegas eine Temperatur von 41 °C, eine Feuchtigkeitssättigung von 100 %, einen Druck von 1.013 mbar und herrscht eine Lufttemperatur von 35 °C, beträgt der Energiebedarf bei 1.000 m<sup>3</sup>/h Durchsatz circa 18 kWh<sub>el</sub>. Nachgeschaltet werden für Adsorption und Desorption zwei wechselseitig betriebene Adsorber. Das Desorbat wird abschließend über eine Hochtemperaturfackel entsorgt.

Mit Vorschaltung einer solchen Gasreinigung können moderne Gasmotoren bei der Verstromung des Deponiegases einen Wirkungsgrad von circa 43 Prozent erreichen. Für dieses Verfahrenskonzept erstellte das Forschungsteam auch eine Betriebskostenanalyse für eine durchschnittliche Siliziumbelastung des Deponiegases. Auf dieser Basis schätzten sie die spezifischen Betriebskosten auf 1,06 Cent pro kWh<sub>el</sub>. Dies sei eine signifikante Einsparung gegenüber einer konventionellen Adsorptionsanlage mit einem Austausch der Aktivkohle, deren spezifische Betriebskosten nach Angaben des Forschungsteams bei 1,65 Cent pro kWh<sub>el</sub> liegen. Um die Kombination aus Aktivkohle-Verfahren und Sickerwasserwäsche zur Marktreife zu bringen, müssen weitere Tests unter anwendungsnahen Randbedingungen durchgeführt werden.



## Potenziale der Biomasse-Nutzung

Deponiegas trägt 0,3 Prozent zur Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland bei. Es gehört zur Biomasse, die nach Windenergie bisher den zweitgrößten Anteil unter der Erzeugung aus erneuerbaren Quellen ausmacht. Diese Daten wurden vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie für das Jahr 2013 berechnet. Zur Biomasse zählen neben Deponiegas, Bio-Abfall, Klärgas und Biogas auch biogene flüssige und feste Brennstoffe. Den größten Beitrag zur Energieerzeugung aus Biomasse leistet das Biogas. Nach Zahlen des Fachverbandes Biogas trug Biogas gut vier Prozent für das Jahr 2013 zum deutschen Bruttostromverbrauch bei. Insgesamt erzeugen 7.850 Biogasanlagen rund 24 Terawattstunden Strom.

Für das Jahr 2014 wird laut der Erhebung ein drastischer Einbruch im Neubau von Biogasanlagen erwartet. Es wird ein Zubau von lediglich 37 Megawatt prognostiziert. Dies ist die Reaktion auf die Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes von 2014, mit der die Förderung gesenkt wurde.

### Forschungsprojekte zur Gasreinigung

Forschungsprojekte zu Biomasse fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie insbesondere mit dem Förderprogramm „Energetische Biomassenutzung“. Mit der Gasreinigung befassen sich derzeit unter anderem diese zwei Vorhaben: Mit alternativen Methoden zur Abtrennung von Gaskomponenten beschäftigt sich das Projekt „Verbesserte Biogasaufbereitung zu Biomethan durch ultraschallstimulierte CO<sub>2</sub>-Desorption bei niedrigen Temperaturen“ (CaviCap). Unter Projektleitung des Engineering- und Consulting-Unternehmens GICON wird ein Prototyp zur Abtrennung von CO<sub>2</sub> aus Biogas mit einer ultraschallinduzierten Desorption erarbeitet. Die verbreiteten Aminwäschen sind wegen ihres Temperaturniveaus an kleinen Biogasanlagen nicht wirtschaftlich. Daher entwickeln die Beteiligten ein neues Verfahren, um Methan durch CO<sub>2</sub>-Abtrennung im gegebenen Temperaturniveau anzureichern. Im Verbundvorhaben „Bioabfallmethan“ unter Leitung von Fraunhofer UMSICHT analysiert das Projektteam das energetische Potenzial von Biomethan aus Bioabfällen. Die Ergebnisse richten sich an Anlagenbetreiber, Entsorgungsunternehmen und Lokalpolitiker. Der Kern ist die Untersuchung des Adaptionsbedarfs der vorhandenen Gasreinigungstechnik bei der Aufbereitung von Biogas aus Abfällen aus der Biotonne. Dazu stellt das Forschungsteam Kosten- und Erlösstrukturen als Basis für die Anlagenkonfiguration und optimale Einspeisung dar. Ergänzend sprechen sie Empfehlungen aus, um anlagenbezogenen, organisatorischen und wirtschaftlichen Hemmnissen zu begegnen.

## Projektbeteiligte

- » **Projektleitung, Planung, Ausbau und Inbetriebnahme mobile Versuchsanlage:**  
Siloxa Engineering AG, Essen, Wolfgang Doczyck, info@siloxa.com, www.siloxa.com
- » **Wissenschaftliche Betreuung der Gasanalytik und des Anlagenbetriebes:**  
Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen, Alisa Jovic, alisa.jovic@umsicht.fraunhofer.de, www.umsicht.fraunhofer.de/de/bereiche/energie/projekte.html

## Links und Literatur

- » [www.energetische-biomassenutzung.de](http://www.energetische-biomassenutzung.de) » [www.aus-muell-wird-strom.de](http://www.aus-muell-wird-strom.de)
- » Doczyk, W. u. a.: Entwicklung eines neuartigen mehrstufigen Reinigungsverfahrens zur Entfernung von Siliciumverbindungen aus Faulgasen. Abschlussbericht zu DBU-Projekt AZ 197 80. 2004
- » Urban, W.: Reaktionstechnische Untersuchungen zur katalytischen Umsetzung von Deponiegasspuren. Dissertation Technische Universität Dresden. 2011

## Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Ländliches Stromnetz smart geregelt. BINE-Projektinfo 12/2012
- » Biogas. BINE-Basisinfo Nr. 16
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter [www.bine.info/Projektinfo\\_11\\_2014](http://www.bine.info/Projektinfo_11_2014)

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter [www.bine.info/abo](http://www.bine.info/abo)

## Impressum

**Projektorganisation**  
Bundesministerium  
für Wirtschaft und Energie (BMWi)  
11019 Berlin

Projekträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Dr. Michael Gahr  
52425 Jülich

**Förderkennzeichen**  
0327458A

**ISSN**  
0937 - 8367

**Herausgeber**  
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut  
für Informationsinfrastruktur GmbH  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

**Autorin**  
Christina Geimer

**Urheberrecht**  
Titelseite: AVG Köln  
Abb. 1 – 4 Fraunhofer UMSICHT

Eine Verwendung von Text und Abbildungen aus dieser Publikation ist nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion gestattet. Sprechen Sie uns an.

## Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**0228 92379-44**  
**[kontakt@bine.info](mailto:kontakt@bine.info)**

**BINE Informationsdienst**  
Energieforschung für die Praxis  
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197  
53113 Bonn  
[www.bine.info](http://www.bine.info)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages