



## Schiffsabfälle verwerten statt verklappen

Biomüll von Kreuzfahrtschiffen im Hafen  
energetisch verwerten und hygienisieren



*Kreuzfahrten sind der neue Urlaubstrend, immer größere Schiffe sind auf See unterwegs. Ein modernes Kreuzfahrtschiff beherbergt und versorgt 2.000 bis 6.000 Passagiere. Dabei fallen Abfall- und Abwassermengen in der Größenordnung einer Kleinstadt an. Die gilt es zu bearbeiten und umweltverträglich zu entsorgen statt wie bisher üblich zu schreddern und ins Meer zu verklappen. Forscher untersuchen, wie der Biomüll effizient energetisch verwertet und hygienisiert werden kann. Mit dem neuen Verfahren können Reedereien Energie produzieren und Kosten einsparen.*

Die Kreuzfahrtbranche wuchs in den vergangenen Jahren stark, sie hatte im Jahr 2016 weltweit 24 Mio. Passagiere. Das Wachstum hält an, die Reedereien planen den Bau einer großen Zahl weiterer großer Kreuzfahrtschiffe. Das steigende Passagieraufkommen führt auch zu erhöhten Abwasser- und Abfallmengen an Bord. Die Kreuzfahrt-Reedereien entwickeln gemeinsam mit Forschern neue Konzepte für eine umweltgerechtere Entsorgung. Dabei sollen anfallender Biomüll und Abwasser-Klärschlamm an Bord gesammelt und an Land in einer Biogasanlage zur Energieerzeugung genutzt werden. Das neue Verfahren hilft, die Nährstoffeinträge durch Kreuzfahrtschiffe in die Ostsee zu reduzieren sowie Entsorgungskosten einzusparen. Es fördert außerdem die regenerative Energieerzeugung.

Beim bisher üblichen Abfallmanagement werden an Bord Speisereste und Abwasser in der Regel getrennt erfasst. Die Speisereste werden zerkleinert, in Vakuumtanks gesammelt und anschließend in den zulässigen Zonen in die Meere eingeleitet. Alternativ können Speisereste und Klärschlamm entwässert und ge-

Dieses Forschungsprojekt  
wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft  
und Energie (BMWi)

trocknet werden. Die Trocknung ist sehr energieaufwendig und führt zu Geruchsemissionen. Da der Betrieb einer Müllverbrennungsanlage an Bord in Sondergebieten wie der Ostsee verboten ist, muss dieses getrocknete Biomüllpulver, sogenannter Dried Biosludge, gelagert und anschließend im Hafen kostenpflichtig entsorgt werden. Da die EU-Hygieneverordnung Küchenabfälle aus dem internationalen Verkehr als potenziell gesundheitsgefährlich einstuft, sind die Anforderungen an die Entsorgung hoch, dadurch ist eine energetische Nutzung dieser Abfälle bisher unrentabel.

### Maritime Abfälle mit Biogastechnologien energetisch verwerten

Hohe Entsorgungskosten, strengere Grenzwerte und das Verbrennungsverbot motivieren Forscher und Reeder, neue Konzepte zur Behandlung der Bioabfälle zu entwickeln, die wirtschaftlicher und ökologischer sind als die bisherige Entsorgung in den Häfen. Was die Forscher vom Informations- und Bildungszentrum (IBZ) Hohen Luckow im Projekt „WAS2E - Waste and Sludge to Energy“ erreichen wollen, fasst Koordinator Maik Orth zusammen: „Bisher wird das Material getrocknet und dann entsorgt. Wir wollen lieber Energie rausholen, statt sie reinzustecken“. Ziel ist, den Biomüll in einer Biogasanlage an Land zu verwerten. Mit dem neuen Verfahren wollen die Entwickler das Einleiten von Abfällen in die Meere vermeiden sowie die bisher erforderlichen energetisch aufwendigen Verfahren zur Trocknung an Bord durch die anaerobe Vergärung in der Biogasanlage einsparen. Wichtig ist, dass diese Verwertung nachweislich unbedenklich für die Gesundheit von Mensch und Tier ist. Außerdem muss die Anlage das im Kreuzfahrtgeschäft saisonal schwankende Biomasseaufkommen ohne Störungen verdauen.

Das Projektteam entwickelte gemeinsam mit dem Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LALLF) ein neues Verfahrenskonzept zur Behandlung dieser organischen Abfälle an Land. Es umfasst alle Schritte, ausgehend von der Lagerung über die anaerobe Behandlung und Hygienisierung bis zur Verwertung. Um die hygienische Unbedenklichkeit und damit die rechtliche Zulassung des Gesamtverfahrens zu gewährleisten, folgt nach der Anaerobstufe eine Verkohlung. Dafür verglichen die Forscher Pyrolyse und hydrothermale Karbonisierung (HTC). In Laborversuchen konnten sie zeigen, dass gezielt in den Prozess eingebrachte ausgewählte Leitkeime (*Bacillus stearothermophilus*) zuverlässig abgetötet wurden, beim HTC-Prozess sowohl in der Biokohle als auch im Prozesswasser. Außerdem untersuchten sie, ob die erzeugte Biokohle auch technisch oder stofflich genutzt werden kann.

Speziell für Kreuzfahrtschiff-Neubauten ergänzen die Entwickler im Projekt CLEAN die Abwasserbehandlungsanlage an Bord mit einer Anaerobstufe für eine gemeinsame Verwertung von Abwasserschlamm und Speiseresten. Diese Anlage kann mehrere Aufgaben erfüllen: Überschussschlamm an Bord reduzieren, Abwassergrenzwerte einhalten sowie weniger Speisereste in die Meere einleiten.

### Was fällt an, welche Energiegehalte hat es

Zur Abschätzung des möglichen Biogaspotenzials des auf Kreuzfahrtschiffen anfallenden Biomülls erfasste das IBZ gemeinsam mit der Reederei Aida Cruises Art

Abfallart	Beschreibung	Menge [t/a]	Methanpotential [m <sup>3</sup> /a]
Schwarzwasser	Toilettenspülung (Vakuumsysteme)	20.000	5.000
Grauwasser	Waschen, Duschen, Küche	140.000	0
Speisereste	Küchen, Restaurants	2.500	150.000
Flotatfette	Fettabscheider aus Grauwasser	12	10.000
Frittenfette	Küchen	22	18.000
Dried BioSludge	Gemisch aus Abwasserschlamm und Speiseresten	3.000	320.000

Abb. 1 Energiepotenzial eines Schiffes mit 2.500 Passagieren plus Crew

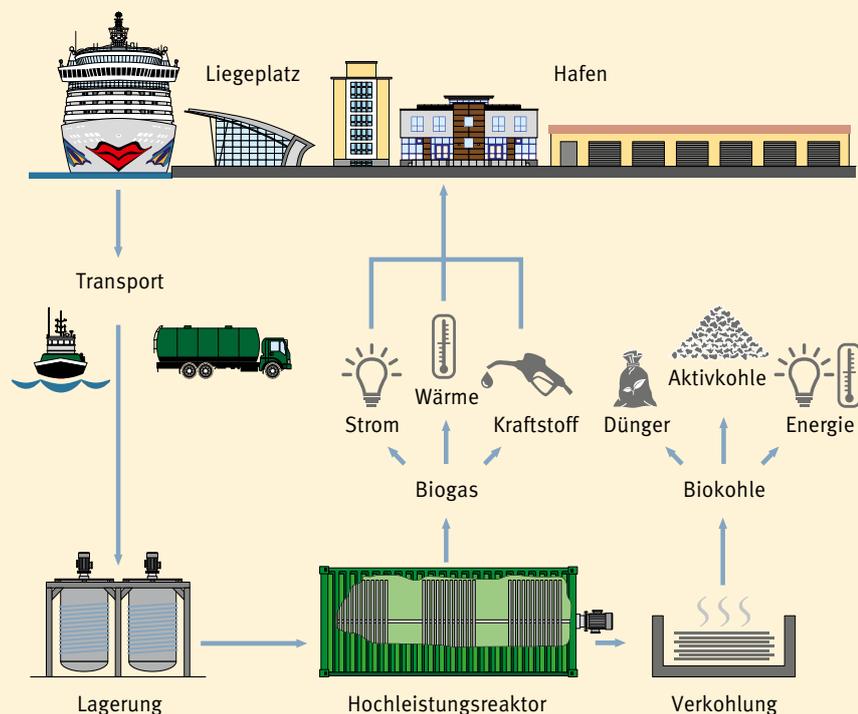
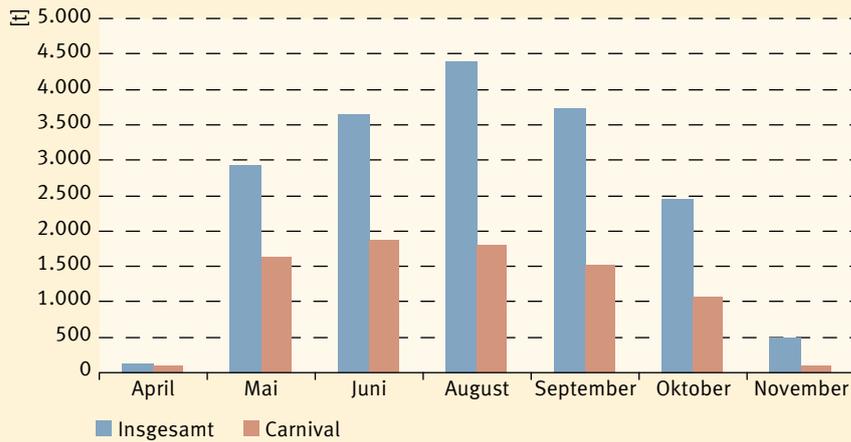


Abb. 2 Verfahrensschema der Entsorgung von Schiffsabfällen zur Energieerzeugung

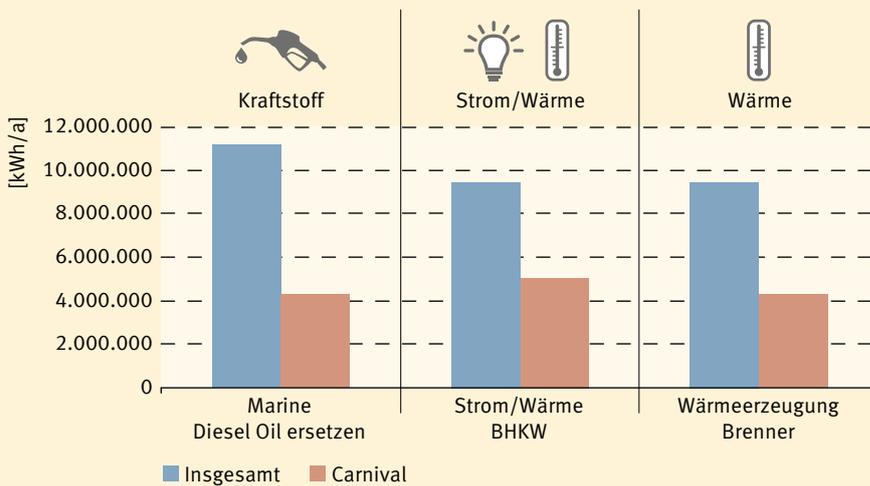
und Menge der Biomasse und ermittelte die jeweiligen Energiegehalte (Abb. 1). Ergebnis war, dass das Substrat mit Trockensubstanzgehalten von bis zu 15 % sich sehr gut für den Betrieb mesophiler Biogasreaktoren eignet.

Bei 2.500 Passagieren fallen pro Tag etwa 6 Tonnen Speisereste an. Hochgerechnet für ein Schiff mit 2.500 Passagieren liefert Dried BioSludge, zusammen mit der Fettfraktion eine Leistung von 400 kW. Die mit dieser verwertbaren Biomasse erzielbare Leistung entspricht der einer mittleren landwirtschaftlichen Biogasanlage. Das im gesamten Ostseeraum zu erschließende Energiepotenzial schätzen die IBZ-Experten auf etwa 20.000 MWh/Jahr.

Im Verhältnis zum Energiebedarf eines Kreuzfahrtschiffes macht die Biogasproduktion aus den organischen Abfällen nur einen sehr geringen Anteil aus. Für die Reederei ist deshalb die Energieerzeugung nachrangig. Ihr Hauptanliegen ist es, durch das neue Entsorgungsverfahren Umweltauflagen zu erfüllen, Kosten zu senken und die Effizienz des Gesamtsystems zu verbessern. Das summiert sich: Für ein Schiff können etwa 160.000 Euro je Jahr eingespart werden, wenn Trocknung und Entsorgungskosten entfallen. Weitere 190.000 Euro je Jahr bringt die Verwertung des erzeugten Biogases, wenn es als Kraftstoff MDO (Marine Diesel Oil) substituiert.



**Abb. 3** Abfallaufkommen insgesamt im Kreuzfahrthafen Rostock 2017 im Jahresverlauf: Etwa 17.600 t/a (Organik) insgesamt und Anteil der Reederei Carnival (ca. 8.000 t/a)



**Abb. 4** Möglicher Energieertrag der im Kreuzfahrthafen Rostock für das Jahr 2017 erwarteten Abfallfraktionen, abhängig von der Art der Verwertung des erzeugten Biogases

### Lagerung der Biomasse an Bord vor der Vergärung

Bis zur weiteren Behandlung an Land müssen Speisereste und Abwassertschlamm gelagert werden, zuerst an Bord der Schiffe, danach am Standort der Biogasanlage. Da es sich überwiegend um leicht abbaubare Substrate handelt, sind Lagerungsverfahren notwendig, die einen biologischen Abbau und damit die Bildung von Gasen unterbinden. Hierfür nutzt das Projektteam die bakterielle Versauerung als energieeffizientes und auf den Biogasprozess abgestimmtes Verfahren. Das Absenken des pH-Wertes führt zur Verflüssigung der Substrate. Das wirkt sich positiv auf die Rührigenschaften und somit auf den Eigenenergiebedarf und die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage aus. Das versauerte Material ist leicht abbaubar. Das ermöglicht im Fermenter eine Biogasproduktion mit kurzen Verweilzeiten und hohen Durchsätzen.

Für die Verwertung an Land ist der saisonale Substratanfall eine Herausforderung, denn das macht einen darauf abgestimmten Betrieb der Biogasanlage erforderlich. Der Grund liegt darin, dass das Kreuzfahrtgeschäft auf der Ostsee überwiegend in den Sommermonaten stattfindet. Für die geplante Biogasanlage stehen in den Wintermonaten somit keine Frischsubstrate zur Verfügung. Dafür untersuchten die Forscher, welche Betriebsoption am wirtschaftlichsten umsetzbar wäre. In Frage kommen ein saiso-

## Biomasse-Potenziale am Beispiel des Rostocker Kreuzfahrterminals

Der Hafen Rostock-Warnemünde als der bedeutendste deutsche Kreuzfahrthafen der Ostsee wurde 2017 von 38 verschiedenen Kreuzfahrtschiffen insgesamt etwa 190 mal angelaufen, die Schiffe beförderten dabei etwa 417.000 Passagiere (2002 waren es noch 62 Anläufe). Wenn die Schiffe ihre Abfälle während der Ostsee-Rundfahrten speichern und anschließend in Rostock anliefern würden, wäre es 2017 möglich gewesen, insgesamt 17.600 t organische Bioabfälle zu sammeln, schätzen die Forscher, davon 45 % durch die Carnival-Gruppe, zu der Aida Cruises gehört. Wird dieses Material in einer Biogasanlage verwertet, ergibt sich ein Energieertrag von ca. 11.000 MWh pro Jahr, abhängig von der Art der Verwertung (Abb. 4): Als Kraftstoff ersetzt das Biogas rd. 11 Mio. kWh/a marines Dieselöl, im BHKW rd. 9 Mio. kWh/a und in einem Brenner zur Wärmeerzeugung rd. 9 Mio. kWh/a. Das erwartete CO<sub>2</sub>-Einsparpotential liegt bei etwa 6.250 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent/Jahr, die Hälfte davon kann durch Einsparung der Trocknung an Bord realisiert werden. Im Vergleich zur konventionellen Energieerzeugung liegt die gesamte CO<sub>2</sub>-Einsparung bei 87 %.



**Abb. 5** Kreuzfahrt-Terminal im Hafen Rostock

ner Betrieb nur während der Kreuzfahrtsaison, bei dem die Anlage im Winter heruntergefahren wird, ein kontinuierlicher Betrieb, für den ein Teil des Substrates für die Wintermonate gelagert wird oder ein saisonaler Teillastbetrieb, für den kleinere Chargen energiereicher Fraktionen gelagert werden. Damit ließe sich bei kleinerer Lagerkapazität ein ganzjähriger kontinuierlicher Betrieb der Anlage aufrecht erhalten.

### Netzwerk Biogas Maritim

Für die energetische Verwertung der biogenen Reststoffe von Kreuzfahrtschiffen sind neue angepasste Technologien notwendig. Im vom IBZ koordinierten Netzwerk „Biogas Maritim – Biogastechnologien zur energetischen Verwertung maritimer Abfallstoffe“ arbeiten 12 Unternehmen, darunter auch die Kreuzfahrtreederei Aida Cruises, und vier unterstützende Einrichtungen, wie die Universität Rostock oder die Hafen- und Entwicklungsgesellschaft Rostock, zusammen. Ihr Ziel ist es, Entsorgungssysteme zu entwickeln, mit denen sie maritime Abfallströme erschließen, durch angepasste Biogastechnologien energetisch verwerten sowie klimafreundlich und rechtskonform entsorgen können. Damit wollen sie Entsorgungskosten verringern und Emissionen reduzieren.



## Emissionen von Schiffen reduzieren

Die großen Kreuzfahrtschiffe sind riesige schwimmende Hotels, ihr Betrieb ist enorm energieintensiv. Das gilt nicht nur auf See, auch im Hafen. In der Regel werden alle Einrichtungen, Klimaanlage, Beleuchtung, Restaurants, mit elektrischer Energie versorgt, die die bordeigenen Motoren erzeugen. Diese werden auf See oft noch mit Schweröl, einem Abfallprodukt der Ölindustrie, im Hafen mit Schiffsdiesel betrieben. So verursachen Kreuzfahrtschiffe auch während der Liegezeit im Hafen beträchtliche Schadstoffemissionen. Zukünftige Schiffsantriebe müssen daher umweltfreundlicher werden. Ein möglicher Weg ist es, Motoren mit Flüssiggas anstatt Diesel zu betreiben. Verglichen mit heutigen Dieselmotoren ohne Abgasnachbehandlung haben sie niedrigere Emissionen. Für diese sparsame neue Motoren-Generation entwickeln und erproben Forscher Komponenten und Regelungsinstrumente. Ihr Ziel ist, die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Motoren zu reduzieren und in Zukunft zu halbieren.

Die Jungfernfahrt des ersten mit Flüssiggas betriebenen Kreuzfahrtschiffs soll im Dezember 2018 stattfinden.

Um die Umweltbelastung durch die Schifffahrt zu verringern, verlangt die International Maritime Organization (IMO) unter anderem die Einrichtung von Überwachungsgebieten für Schiffsemissionen, z. B. Schwefel, Stickstoffdioxid sowie Schiffsabwässer. Außerdem fordert der IMO-Umweltausschuss, den Höchstwert für den Schwefelgehalt von Schiffskraftstoffen von derzeit 3,5 Prozent ab dem Jahr 2020 auf 0,5 Prozent zu senken.

### Forschung für neue maritime Technologien

Das BMWi unterstützt mit dem Förderprogramm „Maritime Technologien der nächsten Generation“ Forschung und Entwicklung für emissionsarme Antriebstechnologien. Die Bundesregierung stellt in ihrer „Maritimen Agenda“ fest, dass die Entwicklung alternativer Antriebe und die Etablierung neuer Schiffskraftstoffe dazu beitragen können, die strengeren Luftreinhalteanforderungen einzuhalten. Um die Einführung von verflüssigtem Erdgas (LNG) voranzutreiben, fördert sie die Nutzung von LNG als Schiffskraftstoff, insbesondere in deutschen Häfen und europäischen Gewässern. Im Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie unterstützt sie mit dem Leuchtturmprojekt „e4ships“ die Verwendung von Wasserstoff in der Binnen- und Seeschifffahrt.

## Projektbeteiligte

- » **Projektleitung, Anaerobstufe:** Innovations- und Bildungszentrum Hohen Luckow e.V., Hohen Luckow, Jessica Hudde, [jessica.hudde@ibz-hl.de](mailto:jessica.hudde@ibz-hl.de), Maik Orth, [maik.orth@ibz-hl.de](mailto:maik.orth@ibz-hl.de)
- » **Gärrestverwertung:** Rosoma GmbH Rostocker Sondermaschinen- und Anlagenbau, Rostock, Fabian Bröcker, [info@rosoma.de](mailto:info@rosoma.de)
- » **Chemisch-biologische Analytik und Hygienisierungsversuche:** LMS Agrarberatung GmbH, Rostock, Dr. Beate Richter, [brichter@lms-lufa.de](mailto:brichter@lms-lufa.de)

## Links und Literatur

- » Forschungsnetzwerk Energie – Bioenergie | [www.forschungnetzwerke-energie.de/bioenergie/start](http://www.forschungnetzwerke-energie.de/bioenergie/start)
- » Förderprogramm „energetische Biomassenutzung“ | [www.energetische-biomassenutzung.de](http://www.energetische-biomassenutzung.de)
- » Projektsteckbrief WAS2E: [www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/was2e-488/](http://www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/was2e-488/)
- » Kooperationsnetzwerk Biogas Maritim: [www.biogas-maritim.ibz-hl.de](http://www.biogas-maritim.ibz-hl.de)
- » Hudde, J.; Orth, M.; Seibicke, T.: Rohstoffpotenziale zur Biogaserzeugung schlummern im Rumpf. In: Biogas-Journal, Jg. 20 (2017), H. 1, S. 64-66

## Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Betrieb von Biogasanlagen an Strombedarf anpassen. BINE-Projektinfo 17/2018
- » Gas aus Biokohlenstaub. BINE-Projektinfo 04/2017
- » Energieverbrauch der Müllaufbereitung senken. BINE-Projektinfo 15/2016
- » Kompost und Biogas kombinieren. BINE-Projektinfo 17/2014
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online unter [www.bine.info/Projektinfo\\_14\\_2018](http://www.bine.info/Projektinfo_14_2018).

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  
Lena Panning  
Zimmerstr. 26–27  
10969 Berlin

**Förderkennzeichen**  
03KB119A,B,D

**ISSN**  
0937-8367

### Herausgeber

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

### Autor

Gerhard Hirn / Jutta Perl-Mai

### Urheberrecht

Titelbild: AIDA Cruises / Felix Gänsicke  
Abb.1–4: IBZ Innovations- und Bildungszentrum Hohen Luckow e.V.  
Abb. 5: Adobe Stock/pixs:sell

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