

Biogaserzeugung aus Schiffsabfällen internationaler Herkunft

Zusammenfassung: Kreuzfahrtschiffe sind schwimmende Kleinstädte. Das Abwasser- und Abfallaufkommen sowie der Bedarf an Energie und die daraus resultierenden Emissionen sind enorm. Die Behandlung und Entsorgung der biogenen Abfallfraktionen stellt Reederein zunehmend vor große Herausforderungen. Derzeit werden Speisereste trotz des hohen Energiegehalts und steigendem Aufkommen nur beseitigt und überwiegend in die Meere geleitet – zu Lasten der Umwelt. Die energetische Nutzung wird insbesondere durch die EG Nr. 1069/2009 stark eingeschränkt. Diese kategorisiert Abfälle hinsichtlich ihres Risikos für die Gesundheit von Mensch und Tier und definiert entsprechende Entsorgungsanforderungen. Die Verwertung in einer Biogasanlage ist derzeit nicht bzw. nur unter sehr ineffizienten Bedingungen möglich. Ziel des Vorhabens WAS2E ist die Entwicklung eines effizienten Verfahrens zur energetischen Nutzung der Speisereste an Land auf Basis der Biogaserzeugung. Die hygienische Unbedenklichkeit soll durch ein anschließendes HTC- bzw. Pyrolyseverfahren sichergestellt werden.

Abstract: Cruise ships are small floating towns. The quantity of waste and waste water as well as the demand of energy and the resulting emissions are enormously. The treatment and disposal of biogenic waste fractions faces cruise companies to major challenges. Actually, in spite of the high energy yield and the increasing quantity, food waste is only disposed and mostly discharged into the oceans – at the expense of environment. Especially the EG No. 1069/2009 restricts the energetic utilization, which categorizes waste relating to the health risk of humans and animals and defines corresponding disposal requirements. Actually the energetic utilization in a biogas facility is not possible or rather under very inefficient conditions. The aim of the project WAS2E is the development of an efficient process for energetic utilization of food waste ashore on the basis of biogas production. The hygienization should be realized by a following HTC- or pyrolysis process.

1 Einleitung

Die Kreuzfahrtbranche verzeichnete in den vergangenen Jahren ein starkes Wachstum. Im Jahr 2016 traten weltweit 24 Mio. Passagiere eine Kreuzfahrtreise an, 4,3 % mehr als im Vorjahr (CLIA 2016). In den weltweiten Orderbooks befindet sich derzeit eine große Anzahl an Kreuzfahrtschiffen, die künftig gebaut und in Dienst gestellt werden sollen. Diese nehmen Dimensionen von bis zu 6.000 Passagieren an. Steigende Passagierzahlen bedeuten aber nicht nur wirtschaftliches Wachstum, sondern führen auch zu erhöhten Abwasser- und Abfallmengen an Bord der Schiffe. Diese müssen umweltgerecht und wirtschaftlich im Rahmen der rechtlichen Möglichkeiten entsorgt werden, was die Schiffsbetreiber vor große Herausforderungen stellt. So sollen Nährstoffeinträge in die Meere

minimiert und Energieressourcen optimal genutzt werden. Strenger werdende Anforderungen an den Umweltschutz, z.B. zum Einleiten des Abwassers in die Meere, erfordern Alternativen zu den bestehenden Entsorgungs- und Behandlungsmöglichkeiten an Bord bzw. eine Weiterentwicklung der derzeitigen Technologien.

2 Stand der Abwasser- und Abfallentsorgung auf Kreuzfahrtschiffen

Derzeit werden Speisereste und Abwasser getrennt an Bord erfasst. Speisereste werden zunächst zerkleinert und in einem Vakuumtank gesammelt. Außerhalb der 12-Seemeilenzone dürfen diese über Bord und in die Meere eingeleitet werden (MARPOL ANNEX V 73/78). Ursprünglich war es vorgesehen, sie gemeinsam mit dem Überschussschlamm der bordeigenen Kläranlage in einer Müllverbrennungsanlage an Bord zu beseitigen. Dies erfordert allerdings eine Entwässerung und energieintensive Trocknung. Darüber hinaus ist der Betrieb der Müllverbrennungsanlage in Sondergebieten wie der Ostsee verboten (HELCOM 2012). Alternativ muss das getrocknete Biomüllpulver während der Fahrt gelagert und im Hafen landseitig entsorgt werden. Die landseitige Entsorgung ist sehr kostenintensiv, da Küchenabfälle aus internationalem Verkehr entsprechend der EU-Hygieneverordnung (VO (EG) 1069/2009) mit Blick auf das Gesundheitsrisiko für Mensch und Tier als Abfall der Kategorie 1 eingestuft ist – die bedenklichste Stufe, die gesonderten Entsorgungsanforderungen unterliegt. Eine energetische Nutzung ist nur unter ineffizienten Bedingungen möglich. Am Ende der Entsorgungskette muss das Material beseitigt werden – eine stoffliche oder technische Nutzung der Endprodukte ist nicht möglich.

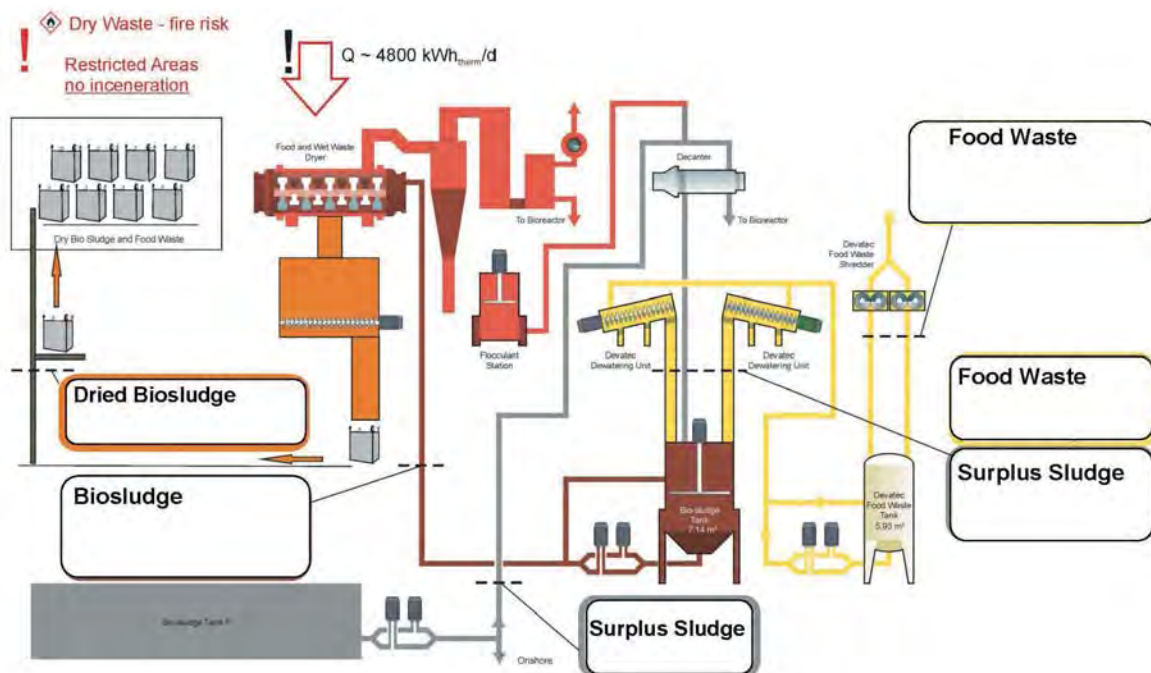


Abb. 1: Stand der Abwasser- und Abfallbehandlung an Bord von Kreuzfahrtschiffen (Hudde & Orth 2012)

Demnach zahlen Reedereien einen hohen Preis für die landseitige Entsorgung eines energiereichen Materials, was eigentlich einen monetären Wert besitzt. Die Einleitung der Speisereste in die Meere ist daher bevorzugte Entsorgungsvariante.

3 Biogaspotential auf Kreuzfahrtschiffen

Das Innovations- und Bildungszentrum Hohen Luckow e.V. hat im Jahr 2012/2013 gemeinsam mit der Reederei AIDA CRUISES eine Studie zum Biogaspotential an Bord eines Kreuzfahrtschiffes erarbeitet. Ziel war es, den mengenmäßigen Biomasseanfall zu quantifizieren, dessen Energiegehalt zu ermitteln und geeignete Gasverwertungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Tab.1: Energiepotential eines Schiffes mit 2.500 Passagieren plus Crew (Hudde & Orth 2012)

Abfallart	Beschreibung	Menge [t/a]	Methanpotential [m ³ /a]
Schwarzwasser	Toilettenspülung (Vakuumsysteme)	20.000	5.000
Grauwasser	Wäschen, 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 Abwasserschlämme und Speiseresten	3.000	320.000

Dried BioSludge, als Gemisch aus getrocknetem Abwasserschlämme und Speiseresten, in Kombination mit den Fettfraktionen ergibt ein Energiepotential von 400 kW und ist mit der Leistung einer mittleren landwirtschaftlichen Biogasanlage zu vergleichen. Dabei spiegelt das Energiepotential die zu generierende Leistung von nur einem Kreuzfahrtschiff wieder, weltweit existieren etwa 300 Kreuzfahrtschiffe (UBA 2016). Hinsichtlich der gesamten Kreuzfahrtbranche scheint das gesamte Energiepotential daher enorm hoch.

4 Netzwerk Biogas Maritim

Das Ergebnis der Machbarkeitsstudie machte deutlich, dass für die energetische Verwertung der biogenen Reststoffe von Kreuzfahrtschiffen neue angepasste Technologien notwendig sind. Insbesondere die rechtlichen Rahmenbedingungen schränken die Umsetzung verfügbarer Technologien stark ein. Die Vielzahl der Ideen zu den Nutzungsmöglichkeiten dieser Potentiale führte im Jahr 2015 zur Gründung des Netzwerkes „Biogas Maritim – Biogastechnologien zur energetischen Verwertung maritimer Abfallstoffe“, welches vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert wird (FKZ: 16 KN052502). Derzeit arbeiten beim Innovations- und Bildungszentrum Hohen Luckow e.V. 12 Unternehmen, darunter auch die Kreuzfahrtreederei AIDA CRUISES, und vier unterstützende Einrichtungen, wie die Universität Rostock oder die Hafen- und

Entwicklungsgesellschaft Rostock, zusammen. Sie alle vereint das Ziel, Systeme zu entwickeln, mit denen maritime Abfallströme erschlossen, energetisch durch angepasste Biogastechnologien verwertet und klimafreundlich unter Einhaltung rechtlicher Vorschriften entsorgt werden können. Die zu entwickelnden alternativen Entsorgungssysteme sollen Kreuzfahrtreedereien dabei unterstützen ihre Entsorgungskosten zu verringern, einen Beitrag zur umweltfreundlichen Energieversorgung zu leisten und damit auch Emissionen zu reduzieren.

Die Netzwerkpartner verfolgen verschiedene Strategien, um die maritimen Abfälle energetisch unter Nutzung der Biogaskonversion zu verwerten. Zur Umsetzung einer Lösung an Bord wird beispielsweise derzeit an einer modifizierten Abwasserbehandlungsanlage kombiniert mit einer Anaerobstufe gearbeitet, die gemeinsam Abwasserschlamm und Speisereste direkt an Bord verwerten soll. Diese Anlage könnte zur Reduzierung des Überschussschlammes an Bord führen, zur Einhaltung der geforderten Abwassergrenzwerte zum Einleiten in die Meere beitragen, das Einleiten von Speiseresten in die Meere verringern und so die Umwelt entlasten. Eine Bordlösung kommt vorrangig für Schiffneubauten in Frage und kann für Bestandsschiffe nur schwer umgesetzt werden. Um auch die Potentiale der bestehenden Flotte zu erschließen, beschäftigen sich die Netzwerkpartner auch mit der Entwicklung einer landseitigen Lösung. Hierzu wurde das Verbundvorhaben „Waste and Sludge to Energy (WAS2E) – Entsorgungskonzept für Schiffsabfälle internationaler Herkunft“, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Förderprogramm energetische Biomassenutzung gefördert wird, initiiert (FKZ: 03KB119A). Das Verbundvorhaben WAS2E wird gemeinsam durch die ROSOMA – Rostocker Sondermaschinen- und Anlagenbau GmbH, der LMS Agrarberatung GmbH und dem Innovations- und Bildungszentrum Hohen Luckow e.V. bearbeitet.

5 Waste and Sludge to Energy

Gemeinsam mit dem Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LALLF) wurde eine Strategie zur Entwicklung eines anaeroben Verfahrens zur energetischen Nutzung von Schiffsabfällen an Land erarbeitet, das den entsprechenden rechtlichen Rahmenbedingungen, insbesondere der VO (EG) Nr. 1069/2009, entspricht.

Dabei steht der Nachweis der hygienischen Unbedenklichkeit im Vordergrund, wobei die Vor- und Nachteile der hydrothermalen Karbonisierung sowie der Pyrolyse der Gärreste näher betrachtet werden. Im Erfolgsfall soll das Verfahren als alternative Verarbeitungsmethode in die Durchführungsverordnung VO (EG) Nr. 142/2011 aufgenommen werden und wäre somit EU-weit anerkannt. Darüber hinaus sollen auch Möglichkeiten der Gärrestnutzung, beispielsweise eine technische oder stoffliche Nutzung/Verwertung, betrachtet werden.

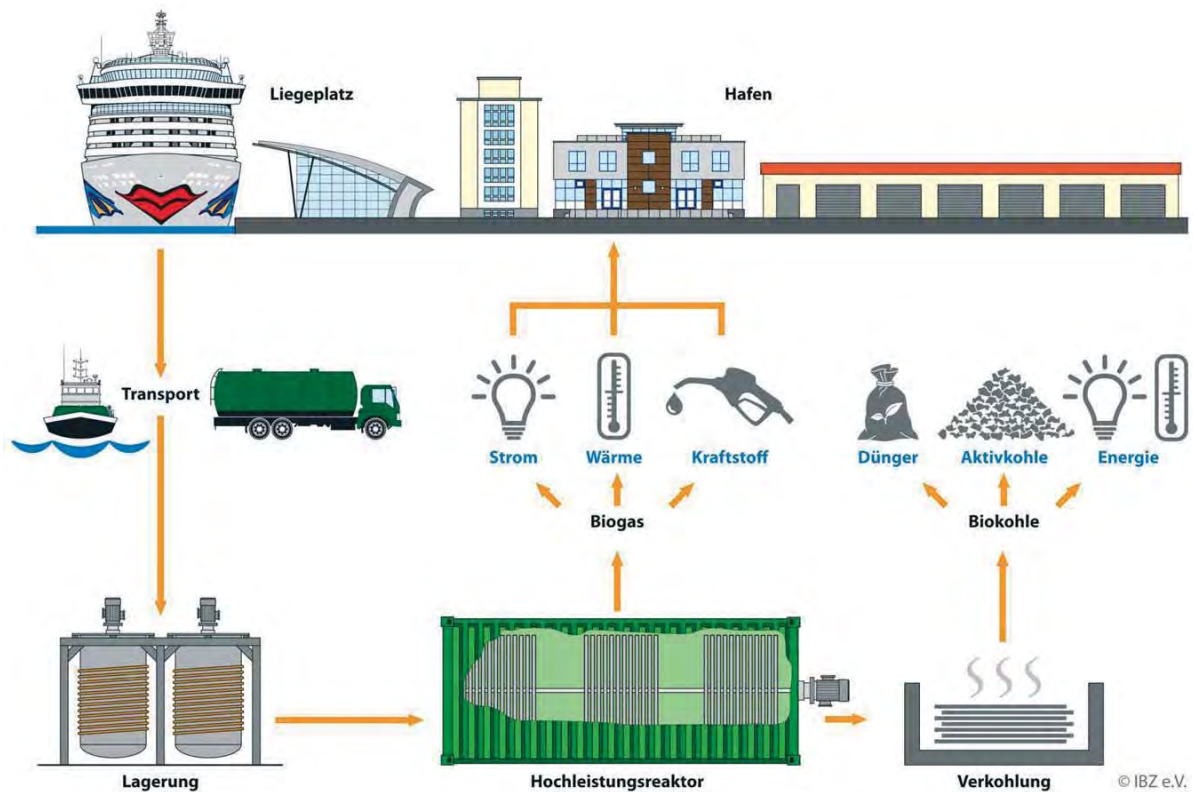


Abb. 2: Umsetzungskonzept WAS2E

5.1 Potentiale am Beispiels des Rostocker Kreuzfahrterminals

Der Hafen Rostock-Warnemünde ist der bedeutendste deutsche Kreuzfahrthafen der Ostsee. Im Jahr 2017 werden 192 Anläufe von 38 verschiedenen Kreuzfahrtschiffen erwartet.

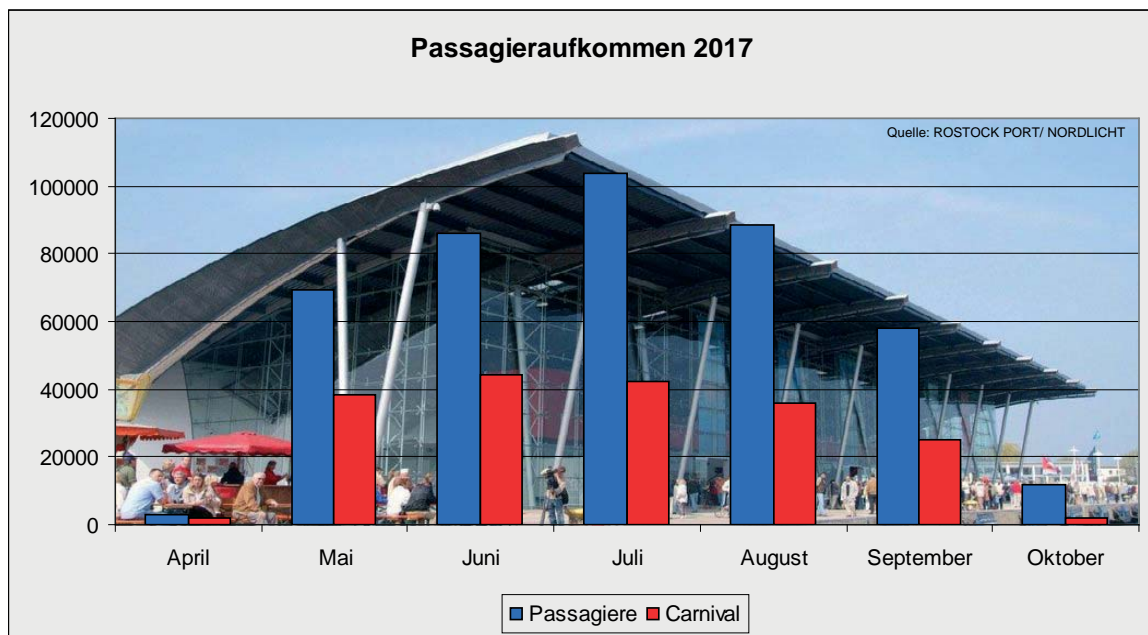


Abb. 3: Passagieraufkommen des Kreuzfahrterminals Rostock 2017

Mit mehr als 800.000 Kreuzfahrtgästen, die an und von Bord der Schiffe gehen werden, wird das Passagieraufkommen des vergangenen Jahres nochmals

gesteigert. 40 der 50 Passagierwechselanläufe hat das Tochterunternehmen der CARNIVAL CORPORATION, AIDA CRUISES, angemeldet. Somit haben die CARNIVAL-Schiffe einen erheblichen Anteil am Passagieraufkommen in Rostock.

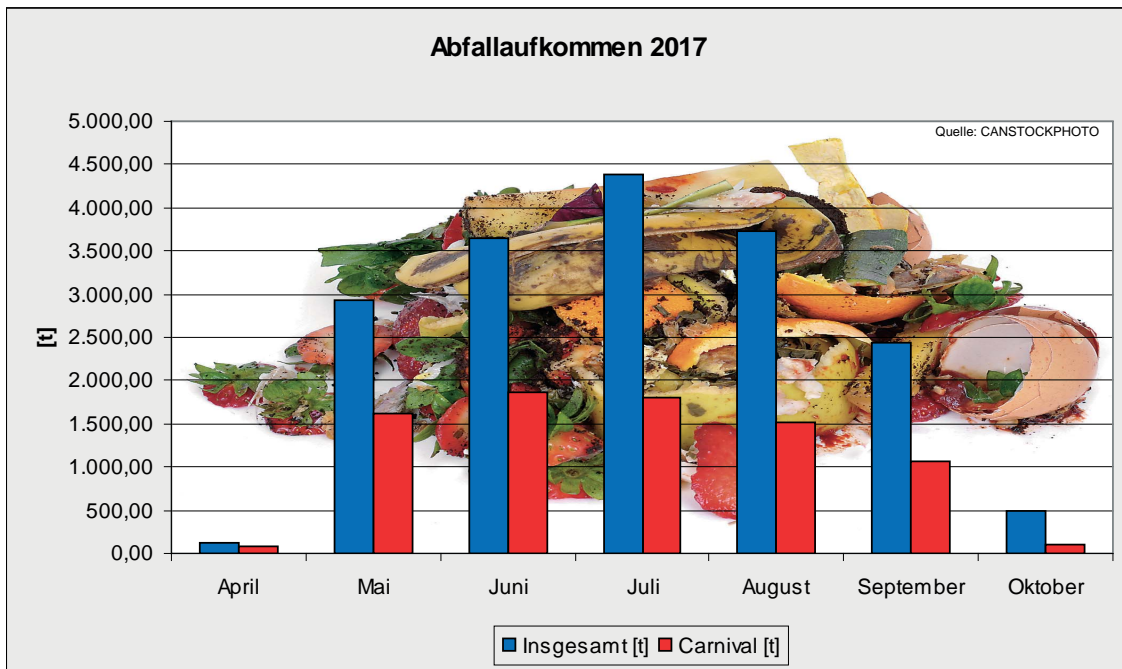


Abb. 4: Abschätzungen zum Abfallaufkommen im Kreuzfahrthafen Rostock 2017

2017 können insgesamt 17.600 t organische Bioabfälle gesammelt werden, davon 45 % allein durch die CARNIVAL-Gruppe. Die Verwertung des Materials in einer Biogasanlage führt zu einem Energieertrag von ca. 11.000 MWh pro Jahr. In Abhängigkeit der Gasverwertung lassen sich unterschiedliche Energieerträge erzielen.

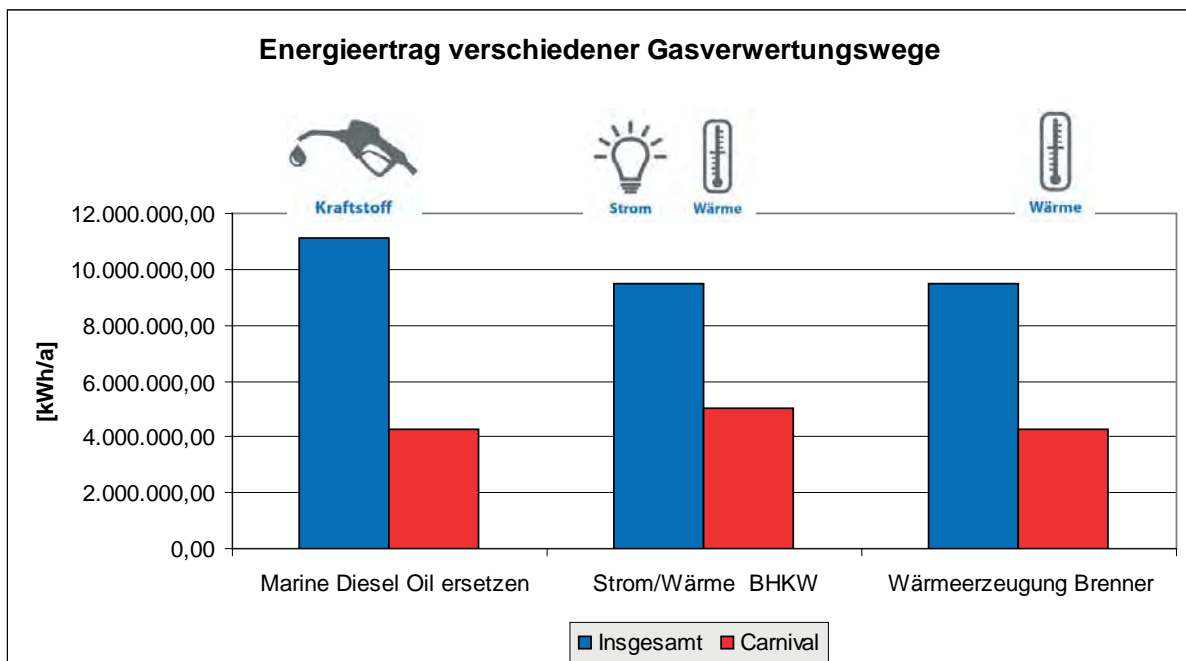


Abb. 5: Energiepotential der erwarteten Abfallfraktionen 2017

Das erwartete CO₂-Einsparpotential liegt bei etwa 6.253 t CO₂-Äq. / Jahr, wobei allein CARNIVAL ein Potential von 2.829 t CO₂-Äq. / Jahr erreichen könnte. Etwa die Hälfte dieses Potentials kann durch die Einsparung der Trocknung an Bord realisiert werden. Gegenüber der konventionellen Energieerzeugung liegt die gesamte CO₂-Einsparung bei 87 %.

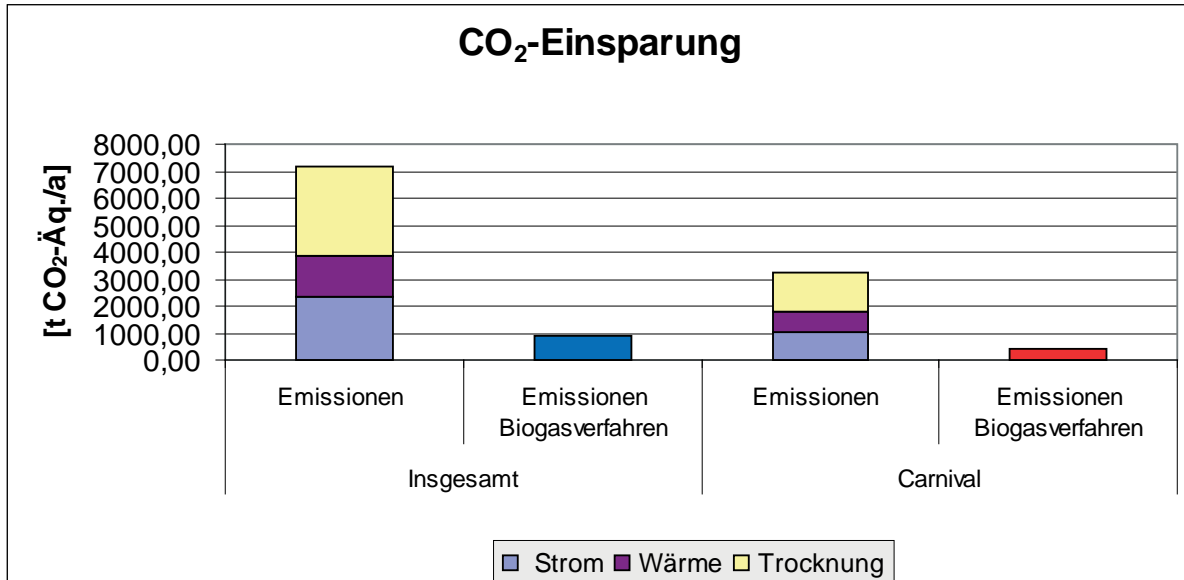


Abb. 6: CO₂-Einsparung bei Verstromung in einem BHKW

Aus ökologischer Sicht müssen auch die vermeidbaren Nährstoffeinträge in die Ostsee berücksichtigt werden.

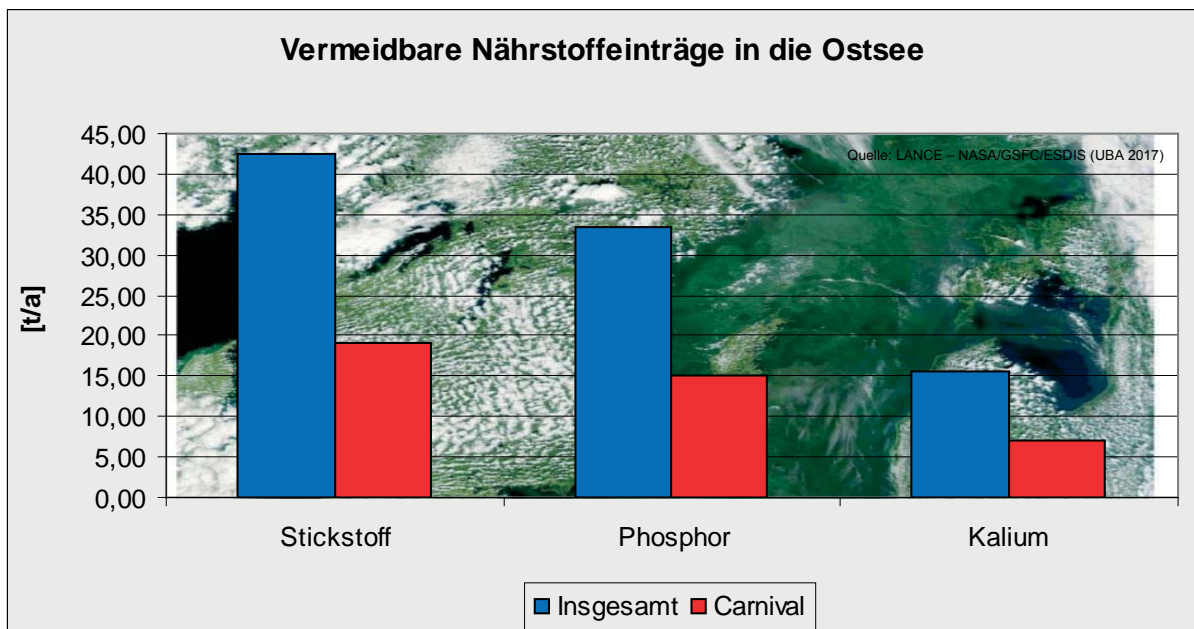


Abb. 7: Nährstoffeinträge in die Ostsee durch das Einleiten von Speiseresten

Die Nährstoffeinträge durch Kreuzfahrtschiffe machen zwar nur einen sehr geringen Anteil gegenüber anderen Eintragsquellen, wie z.B. der Landwirtschaft, aus. Unverständlich ist jedoch, warum landseitig ein so hoher Aufwand für die Entsorgung der als KAT-1-Material eingestuftten Abfälle begründet durch das erhebliche Gesundheitsrisiko betrieben wird, während das Einleiten in die Ostsee hingegen als völlig unbedenklich gilt. Und das, obwohl uns die Ostsee ebenfalls als Nahrungsgrundlage dient.

6 Aufgaben des Verbundvorhabens

Primäres Ziel von WAS2E ist es, die hygienische Unbedenklichkeit des zu entwickelnden Verfahrens nachzuweisen. Dies soll durch die hydrothermale Karbonisierung bzw. die Pyrolyse der Gärreste realisiert und durch die LMS Agrarberatung GmbH in Rostock nachgewiesen werden. Dazu ist es vorgesehen ausgewählte Leitkeime gezielt in die Prozess einzuschleusen und deren Reduktion bzw. Eliminierung innerhalb der einzelnen Verfahrensschritte nachzuweisen. Nach ersten erfolgreichen Untersuchungen wird die Antragstellung bei der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) gemeinsam mit dem LALLF vorbereitet.

Das Projekt sieht die Entwicklung eines Gesamtverfahrens vor, angefangen bei der Lagerung, über die anaerobe Behandlung und Hygienisierung der Materialien bis hin zur Verwertung der erzeugten Biokohle. Neben der energetischen Nutzung der Biokohle, sollen auch Möglichkeiten der technischen oder stofflichen Nutzung untersucht werden. Am Ende des Projektes liegt ein anlagentechnisches Gesamtkonzept vor, das von der Fa. ROSOMA projektiert wird.

Zur Entwicklung der technologischen Lösung müssen unterschiedliche Anforderungen berücksichtigt werden. Ein wichtiges Kriterium ist die Substratlogistik. Bei Umsetzung einer landseitigen Biogasanlage für Schiffsabfälle muss berücksichtigt werden, dass die Substrate nur saisonal anfallen. Daher sollen unterschiedliche Möglichkeiten zum Betrieb der Anlage betrachtet werden. Neben der saisonalen Betriebsweise, die ein Herunterfahren der Anlage während der Wintermonate erfordert, und dem ganzjährigen Betrieb mit Substratlagerung, soll auch die Möglichkeit des saisonalen Teillastbetriebs untersucht werden. Das Ziel besteht darin, nur energiereiche Fraktionen zu lagern, die überwiegend während der Wintermonate in kleinen Chargen gefüttert werden, um eine ganzjährige Auslastung mit möglichst kleinen Lagerkapazitäten zu erzielen.

Derzeit werden an Bord anfallende Speisereste vorwiegend in die Meere geleitet. Für die landseitige Verwertung müssen sie gegenüber dem derzeitigen Stand zum einen während der Fahrt, zum anderen am Standort der Biogasanlage gelagert werden. Dabei soll ein möglichst energieeffizientes und auf den Biogasprozess abgestimmtes Verfahren zur Anwendung kommen. Eine gute Möglichkeit bietet die Versauerung. Das Absenken des pH-Wertes wird durch Bakterienaktivität realisiert und erfordert kaum Energieaufwand. Voruntersuchungen zeigen

ten, dass während der Lagerung unter Ausschluss von Sauerstoff der pH-Wert innerhalb kurzer Zeit abgesenkt und stabil gehalten werden kann.

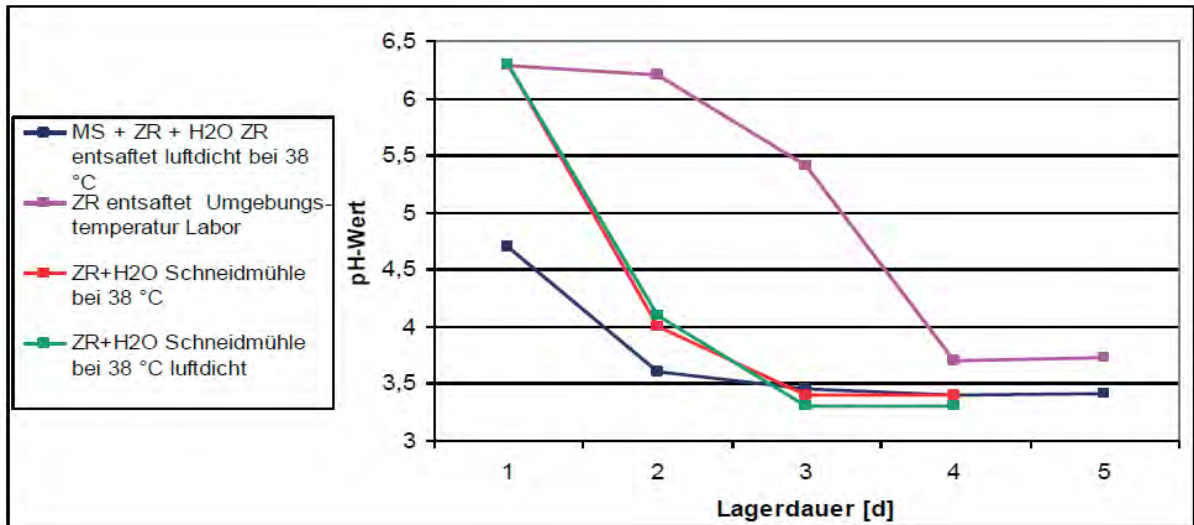


Abb. 8: Auszug aus dem Endbericht des Vorhabens "HydroCon" (Hudde et al. 2016)

Erste Untersuchungen mit Speiseresten im Rahmen von WAS2E bestätigen diesen Effekt. Auch die Gasproduktion kann so nahezu gestoppt werden.

Die Versauerung der Substrate führt neben einer erhöhten Bakteriendynamik zur Verflüssigung und wirkt sich positiv auf die Rühreigenschaften und somit auf den Eigenenergiebedarf und die Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage aus. Das versauerte Material gilt als leicht abbaubar und kann anschließend im Fermenter sofort in Biogas umgewandelt werden. Dies führt zur Prozessbeschleunigung und ermöglicht kurze Verweilzeiten und hohe Durchsätze.

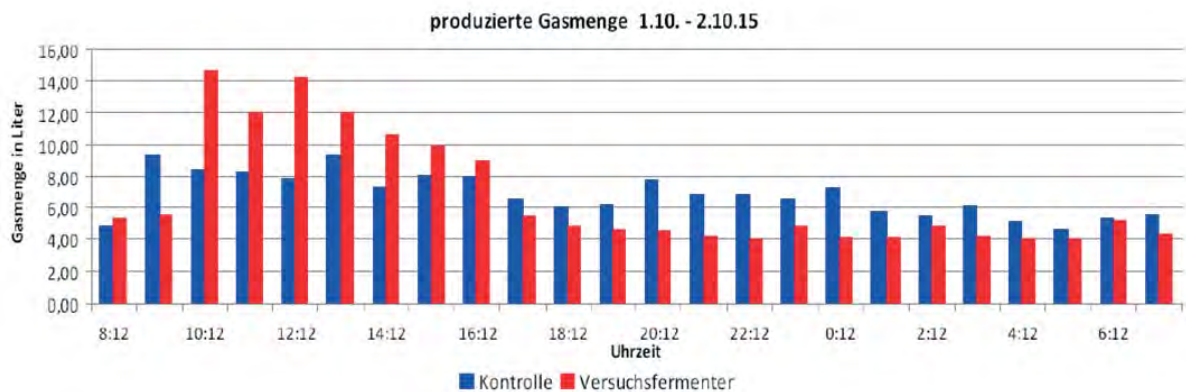


Abb. 9: Auszug aus dem Endbericht des Vorhabens "HydroCon" (Hudde et al. 2016)

Senkt man die Verweilzeit der Substrate allerdings bis unter die Reproduktionszeit der Mikroorganismen, nimmt die Bakteriendichte im Fermenter ab – die Mikroorganismen werden ausgespült. Durch das Einbringen von Oberflächen in den Fermenter sollen Bakterien gezielt angesiedelt werden, um diesem Effekt entgegenzuwirken.

Beim Innovations- und Bildungszentrum Hohen Luckow laufen derzeit die ersten Untersuchungen zur Oberflächenfermentation. Dazu wurde ein Oberflächenfermenter und ein Kontrollbehälter in Betrieb genommen, die beide mit zerkleinerten und versauerten Speiseresten beschickt werden. Erste Ergebnisse zeigen, dass bereits bei niedriger Raumbelastung eine höhere Leistung mit der Oberflächenfermentation erzielt werden kann, als mit dem Kontrollfermenter. Der Mehrgasertag liegt derzeit bei 6 %, wobei die Ergebnisse noch weiter verifiziert werden müssen.

7 Ausblick

Das Verbundvorhaben WAS2E ist im Dezember 2016 gestartet. Die Untersuchungen befinden sich demnach noch in der Anfangsphase. Voruntersuchungen und die ersten Projektergebnisse zur Lagerung und zur Oberflächenfermentation sind vielversprechend, müssen aber weiter abgesichert werden. Hier sollen v.a. der Einfluss der Oberflächendichte und der Oberflächenstruktur auf die Bakterienleistung näher betrachtet werden. Im Bereich der Lagerung stehen weitere Untersuchungen z.B. zum Einfluss eines Vakuums an.

Weiterhin sollen die beiden Verfahren Pyrolyse und HTC hinsichtlich ihrer Eignung als Hygienisierungsstufe in Kombination mit der Biogaserzeugung verifiziert werden. Bei beiden Verfahren entstehen Prozesswässer, die entweder nicht hygienisiert sind oder im Anschluss entsorgt werden müssen. Hier spielen neben den energetischen Aspekten v.a. die ökologischen Rahmenbedingungen hinsichtlich der Hygienisierung eine wichtige Rolle.

Mit der Erbringung des Nachweises der hygienischen Unbedenklichkeit, die durch ein der Fermentation nachgeschaltetes Pyrolyse- bzw. HTC-Verfahren realisiert werden soll, bestehen gute Aussichten das Verfahren in die VO (EG) Nr. 142/2011 aufzunehmen. Das LALLF Rostock hat bereits positive Erfahrungen mit der Antragsstellung und Genehmigungsprozedur für alternative Verarbeitungsmethoden und ist zuversichtlich, sollte der Nachweis gelingen. Somit stünde ein EU-weites Verfahren zur anaeroben Behandlung von Kat-1-Material zur Verfügung. Dieses ließe sich dann auch auf den Binnenschiffahrtsbereich übertragen. Flusskreuzer müssen, sobald sie die Grenzen überfahren, ebenfalls KAT-1-Material entsorgen. Die Platzkapazitäten an Bord sind hier aber zu klein, um über alternative Lösungen an Bord nachzudenken. Hier kommt nur die landseitige Entsorgung in Frage. Zwar ist das Potential je Schiff hier nicht vergleichbar mit dem eines Hochseeschiffes. Die Anzahl der Schiffe ist aber bedeutend höher. Genaue Untersuchungen zum Aufkommen der Abfälle auf Flusskreuzfahrtschiffen fehlt derzeit. Denkbar wären aber kleine Anlagen an vielbefahrenen Kreuzfahrtrouten, z.B. an der Donau oder dem Rhein.

Literatur/Quellen

- Cruise Lines International Association (2016): Travel Agent Cruise Industry Outlook, Travel Agent Member Perspective. February 2016
- Helsinki Commission – Baltic Marine Environment Protection Commission (2012): Clean Seas Guide – The Baltic Sea Area a MARPOL 73/78 Special Area. Information for Mariners. Helsinki
- Hudde, J., Orth, M. (2012): Machbarkeitsstudie – Anaerobe Abwasser- und Abfallbehandlung an Bord eines Kreuzfahrtschiffes der Reederei AIDA CRUISES. Innovations- und Bildungszentrum Hohen Luckow e.V. nicht veröffentlicht
- Hudde, J., Orth, M., Wiedow, D., Burgstaler, J., Rosenbaum, S., Brockmüller, K. (2016): Schlussbericht zum Verbundvorhaben “Hydrolysecontainer – flexible Anlagenkomponente zur Steigerung der Substratausnutzung in Biogasanlagen (Hydro-Con). FKZ: 03KB082. Hohen Luckow
- MARPOL ANNEX V (73/78): International Convention for the Prevention of Marine Pollution from Ships – Pollution by garbage from ships
- Umweltbundesamt (2016). Online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-viele-kreuzfahrtschiffe-gibt-es>; abgerufen am 05.04.2017

Kontakt

M.Sc. Jessica Hudde, Projektleitung Bioenergie

Innovations- und Bildungszentrum Hohen Luckow

☎ +49 (0)38295.74124 | ✉ jessica.hudde@ibz-hl.de | 🌐 www.ibz-hl.de