

ABSCHLUSSBERICHT

Förderkennzeichen: 03SX437A

Verbundprojekt: CLEAN – Energiegewinnung durch die anaerobe Behandlung organischer Reststoffe an Bord von Kreuzfahrtschiffen

Vorhaben: WEGS-Waste to Energy Green ship

Sonneberg, den 30.06.2025



Martin Systems GmbH

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 03SX437A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Das Verbundprojekt CLEAN unterteilt sich in sieben Arbeitspakete (AP) der folgenden Projektpartner.

CLEAN-Arbeitspakete

Projektpartner: Leibniz Universität Hannover



AP 1: Prozessparameter für die Anaerobe Faulung

Projektpartner: Martin Systems GmbH



AP 2.1: Anaerobprozess Design 1

AP 3: Biogas-Reinigung und Nutzung

Projektpartner: IBZ Innovations- und Bildungszentrum Hohen Luckow e.V. (IBZ)



AP 2.2: Anaerobprozess Design 2

AP 5: (Optimierung) Anlagenbetrieb

Projektpartner: Carnival Maritime GmbH (CM)



AP 4: Umsetzung an Bord

Projektpartner: Prüf- und Entwicklungsinstitut für Abwassertechnik an der RWTH Aachen e.V. (PIA)



AP 6: Integration des AF-Prozesses in die bestehende Abwasserreinigung

Projektpartner: Netzwerk „Biogastechnologie zur energetischen Verwertung maritimer Abfälle“



AP 7: Aufkommen und Verwertung von Gärresten

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 03SX437A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Inhalt

1.	KURZE DARSTELLUNG ZU	8
1.1.	Aufgabenstellung	8
1.2.	Voraussetzungen.....	9
1.3.	Planung und Ablauf des Vorhabens	11
1.4.	Anknüpfung an wissenschaftlichen und technischen Stand	12
1.4.1.	Landseitige Erfahrungen.....	12
1.4.2.	Abschätzung maßgeblicher Prozessgrößen	13
1.5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	15
2.	EINGEHENDE DARSTELLUNG.....	16
2.1.	Arbeitspaket 2.1: Anaerobprozess Design 1.....	17
2.1.1.	Flotation mit Austragsschnecke	17
2.1.2.	Biogasanlage	20
2.2.	Arbeitspaket 3: Biogas-Reinigung und Nutzung	31
2.2.1.	Schutz vor Überdruck im System	31
2.2.2.	Abgrenzung der Gasphase und Gasüberwachung.....	32
2.2.3.	Brandschutz	33
2.2.4.	Explosionsschutz.....	33
2.3.	Vorläufiges Ziel.....	33
2.4.	Stand des Gesamtprojekts	34
2.4.1.	Zertifizierung	35
2.4.2.	Umweltamt	35
2.4.3.	Corona Phase	35
2.4.4.	Wechsel der Zertifizierungsgesellschaft vom Schiff	35
2.5.	Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	36
2.6.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	36
2.7.	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	37
2.8.	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	37
2.9.	Erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses	37
3.	ERFOLGSKONTROLLBERICHT	38
3.1.	Förderpolitische Ziele.....	38

3.2.	Wissenschaftlich-technisches Ergebnis.....	38
3.3.	Fortschreibung des Verwertungsplans	38
3.4.	Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben	39
3.5.	Präsentationsmöglichkeiten	39
3.6.	Einhaltung der Ausgaben-/Kosten- und Zeitplanung	39
3.6.1.	Zertifizierung	40
3.6.2.	Umweltamt	40
3.6.3.	Corona Phase	40
3.6.4.	Wechsel der Zertifizierungsgesellschaft vom Schiff	40
4.	LITERATURVERZEICHNIS.....	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 Aufbau der Flotation mit Austragschnecke	19
Abbildung 2-2 Flotation mit Austragsschnecke	19
Abbildung 2-3 Funktionsschema der Flotation	20
Abbildung 2-4 Schema der Integration der Anlage im Schiff	21
Abbildung 2-5 Einordnung Schiff Deck 2	22
Abbildung 2-6 Einordnung Schiff Deck 0	23
Abbildung 2-7 Auslegung der Anlage	24
Abbildung 2-8 P&ID	26
Abbildung 2-9 Betriebsart Mixing and Fermentation tank	27
Abbildung 2-10 Betriebsart Beschickung HPDs	28
Abbildung 2-11 Betriebsart Entleerung HPD-B	28
Abbildung 2-12 Betriebsart Zirkulation HPD-A	29
Abbildung 2-13 Betriebsart Plug flow HPD-B zu HPD-A	30
Abbildung 2-14 Betriebsart Plug flow HPD-A zu HPD-B	30
Abbildung 2-15 Schnittansicht der Reaktoren	31
Abbildung 2-16 Übersicht Biogasanlage Frontansicht	32
Abbildung 2-17 Einordnung in Hohen Luckow	34
Abbildung 2-18 Anlage in Hohen Luckow	34
Abbildung 2-19 Anteilige Verteilung der Mittelverwendung	36

Abkürzungsverzeichnis

ABB	Abbildung
AP	Arbeitspaket
CLEAN	Cruise Liners: Efficient onboard Anaerobic digestioN of organic wastes for energy recovery (Energiegewinnung durch die anaerobe Behandlung organischer Reststoffe an Bord von Kreuzfahrtschiffen)
CM	Carnival Maritime
DNV	Det Norske Veritas (Schiffklassifikationsgesellschaft)
HAZID	Hazard Identification (Gefahrenanalyse)
HPD	High Performance Digester (Hochleistungsfermentor)
IBZ	Innovations- und Bildungszentrum Hohen Luckow e. V.
LUH	Leibniz Universität Hannover
MMS	Martin Membrane Systems
PIA	Prüf- und Entwicklungsinstitut für Abwassertechnik an der RWTH Aachen e.V.
P&ID	Pipe and Instrumentation Diagram (Rohrleitungs- und Instrumentierungsdigramm)
RINA	Registro Italiano Navale (Schiffklassifikationsgesellschaft)
WEGS	Waste to Energy Green ship

1. KURZE DARSTELLUNG ZU

Das Verbundprojekt Clean gliedert sich in sieben Arbeitspakete. Im vorliegenden Bericht werden die für Martin Systems relevanten Arbeitspakete behandelt.

- AP 2.1: Anaerobprozess Design 1
- AP 3: Biogas-Reinigung und Nutzung

1.1. Aufgabenstellung

Das CLEAN-Projekt zielt darauf ab, innovative technologische Lösungen für das verbesserte Management organischer Reststoffe an Bord von Kreuzfahrtschiffen zu entwickeln und umzusetzen. Im Mittelpunkt steht der Einsatz moderner Anaerobtechnik. Während diese an Land als sehr erprobter Ansatz zur Stabilisierung und Hygienisierung organischer Reststoffe gilt, wird sie bisher an Bord von Kreuzfahrtschiffen nicht genutzt. Hervorzuheben ist, dass bei dieser Behandlung zusätzlich Biogas erzeugt wird, das an Bord als zusätzlich nutzbarer Energieträger verfügbar wäre.

Das Clean-Projektconsortium aus Industrie und Wissenschaft hat sich deshalb zusammengeschlossen, um gemeinsam vielversprechende Ansätze der Anaerobtechnik auf Kreuzfahrtschiffen zu erproben, weiterzuentwickeln und zu etablieren. Diese lassen sich jedoch nicht problemlos auf den Betrieb an Bord transferieren. Herausforderungen sind insbesondere der limitierte Platzbedarf, andere Substratzusammensetzungen sowie rechtliche und sicherheitstechnische Aspekte. Dies erfordert eine Anpassung der Technologien und Verfahren an die Anforderungen an Bord von Kreuzfahrtschiffen.

Als Ganzheitliches Entsorgungskonzept für Abwasser und biogene Reststoffe strebt das Verbundvorhaben CLEAN eine Anaerobstufe in Kombination mit der Abwasserbereitung an Bord an. Hierzu ist ein neues Entsorgungskonzept mit neuen und noch zu entwickelnden Komponenten zu entwerfen und unter realen Bedingungen an Bord zu testen und zu bewerten. Schwerpunkt des Projektes war dabei die Entwicklung, der Bau und Test eines Anearobreaktors für die Integration in das Schiffsystem unter Beachtung aller gesetzlichen Vorschriften.

Im Rahmen des Projekts sollen organische Abfälle, die auf Kreuzfahrtschiffen anfallen, wie Speisereste und Klärschlamm, umweltgerecht verwertet werden. Dabei wird angestrebt, die Menge der zu entsorgenden Abfälle zu reduzieren, diese biologisch zu stabilisieren, zu hygienisieren und das bei der anaeroben Behandlung anfallende Biogas effizient zu nutzen.

Ein weiteres Ziel ist es, die Abgabe von Klärschlämmen und Speiseresten auf See zu vermeiden, um die Bemühungen der bordeigenen Abwasserreinigung nicht zu konterkarieren. Dies soll nicht nur zur Verbesserung des technischen Umweltschutzes an Bord beitragen, sondern auch den Reedereien einen Anreiz bieten, geeignete Anaerobtechnik ohne weiteren gesetzlichen Druck zu installieren. Insgesamt soll das CLEAN-Projekt dazu beitragen, die Energieeffizienz und den Umweltschutz auf Kreuzfahrtschiffen erheblich zu verbessern und gleichzeitig neue technologische Lösungen für die maritime Industrie zu entwickeln.

Zur Implementierung eines solchen anaeroben Verfahrens auf Schiffen sind Anpassungen und Optimierungen notwendig. Deshalb bestanden im CLEAN-Projekt folgende Aufgabenstellungen:

- Die Festlegung von Verfahrensvoraussetzungen für den Einsatz der Anaerobtechnik an Bord,
- Die Verfahrensentwicklung und –auslegung,
- Bau-, Test und Verfahrenstechnische Integration eines Anaerobreaktors an Bord und die
- Ableitung von Bewertungen und Empfehlungen

Die Aufgabenstellungen wurden in den Teilprojekten des CLEAN-Verbundes arbeitsteilig bearbeitet.

1.2. Voraussetzungen

Das CLEAN-Projekt zielt darauf ab, innovative technologische Lösungen für die anaerobe Behandlung organischer Abfälle an Bord von Kreuzfahrtschiffen zu entwickeln und umzusetzen. Dabei gibt es mehrere wichtige Grenzen und Voraussetzungen, die berücksichtigt werden müssen.

Die Implementierung der Anaerobtechnik an Bord von Kreuzfahrtschiffen ist technisch anspruchsvoll. Es müssen spezielle Reaktoren entwickelt werden, die den begrenzten Platzverhältnissen an Bord gerecht werden und gleichzeitig eine effiziente Biogasproduktion ermöglichen. Dies erfordert eine detaillierte Planung und Anpassung der landseitig bewährten Technologien. Der Umgang mit Biogas an Bord von Schiffen birgt besondere Sicherheitsrisiken. Biogas ist in Verbindung mit Luft eine explosionsfähige Gasmischung, daher müssen strenge Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden, um Leckagen zu verhindern und die Sicherheit des Schiffsbetriebs zu gewährleisten.

Die Zusammensetzung der organischen Abfälle an Bord von Kreuzfahrtschiffen kann stark variieren. Dies stellt eine Herausforderung für die Stabilität und Effizienz der anaeroben Biozönose dar, da die biologische Aktivität ggf. durch veränderte Substratzusammensetzungen gehemmt oder gestoppt werden kann. Die Umsetzungspartner müssen erhebliche Eigenmittel in die Entwicklung und den Einbau der Pilotanlage investieren. Unvorhersehbare Probleme können zusätzliche Kosten verursachen, und Fehlfunktionen der Anlage können negative Auswirkungen auf den Schiffsbetrieb und die Kreuzfahrtbuchungen haben.

Es müssen sowohl einstufige als auch zweistufige Reaktoransätze untersucht werden, um die optimale Biogasproduktion und die Minimierung des Reaktorvolumens zu gewährleisten. Die spezifische Zusammensetzung der organischen Abfälle an Bord muss untersucht und angepasst werden, um eine effiziente anaerobe Behandlung zu ermöglichen. Es müssen platzsparende Varianten zur Speicherung von Biogas entwickelt werden, wie Mittel- und Hochdruckspeicher aus Edelstahl. Die Qualität des erzeugten Biogases muss überwacht und optimiert werden.

Die Gärreste, die bei der Biogasherstellung entstehen, müssen sachgerecht entsorgt werden. Innovative Wege zur Nutzung der Gärreste, wie die Verwendung von Ammoniumstarkwasser als Additiv in der Rauchgasreinigung des Schiffes, sollten geprüft werden. Die Auswirkungen der Anaerobtechnik auf die Abwasserreinigung an Bord müssen untersucht und Anpassungen vorgenommen werden, um Betriebsprobleme zu vermeiden. Eine umfassende wissenschaftliche Begleitung der Pilotanlage ist erforderlich, um die technischen Konzepte zu validieren und die Betriebsbedingungen auf einem Kreuzfahrtschiff zu überwachen.

Insgesamt erfordert die Umsetzung des CLEAN-Projekts eine sorgfältige Planung und Koordination zwischen den verschiedenen Partnern, um die technischen, sicherheitsrelevanten und wirtschaftlichen Herausforderungen zu bewältigen und die Ziele des Projekts erfolgreich zu erreichen.

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Zunächst werden die Prozessparameter für die anaerobe Faulung untersucht (AP 1). Dabei wird die Charakteristik von Abwasserströmen, Klärschlämmen und Speiseresten im Hinblick auf die anaerobe Behandlung analysiert. Eine Pilotanlage für die Faulung biogener bzw. organischer Reststoffe wird ausgelegt und die thermo- und mesophile anaerobe Faulung mit organischem Substrat erprobt.

Im nächsten Schritt wird das Design des Anaerobprozesses entwickelt (AP 2). Dies umfasst die Entwicklung einer effizienten Küchenabwasservorbehandlung und die Evaluation einer geeigneten anaeroben Prozesstechnik für den Schiffsbetrieb (AP 2.1). Ein alternativer Verfahrensansatz mit vorgeschalteter Substratversäuerung wird ebenfalls untersucht, um die Effizienz des Gärprozesses zu steigern (AP 2.2).

Die Biogas-Reinigung und Nutzung ist ein weiterer wichtiger Aspekt des Projekts (AP 3), bei dem das anfallende Biogas gesammelt, aufbereitet und an Bord verwertet wird. Die Umsetzung an Bord ist eine zentrale Phase des Projekts (AP 4), bei der der Zugang zu Kreuzfahrtschiffen organisiert wird, um die Installation und Erprobung der Pilotanlage zu ermöglichen. Dies umfasst die Durchführung von Entwurfs-, Genehmigungs- und Ausführungsplanungen zum Einbau der Pilotanlage sowie den Testbetrieb durch Auf- und Abbau mit Technikern an Bord.

Die Optimierung des Anlagenbetriebs erfolgt durch eine sorgfältige Anfahrplanung und biologische Inbetriebnahmebegleitung, die Erstellung von Beschickungsplänen und umfassende Prozessanalytik (AP 5). Die Integration des anaeroben Faulungsprozesses in die bestehende Abwasserreinigung an Bord wird ebenfalls untersucht (AP 6), um das Zusammenspiel von Anaerobtechnik mit der aktuellen Prozessführung zur Abwasserreinigung zu bewerten und mögliche Anpassungen vorzunehmen.

Schließlich werden die Eigenschaften des ausgefaulten Materials analysiert und konkrete Empfehlungen zur Entsorgung der Gärreste erarbeitet (AP 7). Diese umfassende Planung und Strukturierung des Projekts stellen sicher, dass alle Aspekte der anaeroben Behandlung organischer Abfälle an Bord von Kreuzfahrtschiffen berücksichtigt und optimiert werden.

1.4. Anknüpfung an wissenschaftlichen und technischen Stand

Um die Ausgangssituation für das CLEAN Vorhaben eindeutig benennen zu können, wird im Folgenden der aktuelle Stand des Wissens bezüglich der Anwendung der Anaerobtechnik im maritimen Kontext eingehend beleuchtet.

Beginnend ist erneut festzuhalten, dass bis heute die Nutzung der Anaerobtechnik an Bord von Schiffen nicht stattfindet. Gas bzw. Betriebsstoffe mit einem Flammpunkt < 60 °C waren an Bord von Schiffen, außer als Ladung, aufgrund der hohen Brand- und Explosionsgefahr nach internationalen SOLAS1-Vorschriften zur Sicherheit an Bord verboten. Gas als Schiffsbetriebsstoff war also ein rein formales Ausschlusskriterium.

Mit zunehmenden Umweltaforderungen hinsichtlich CO₂-, SO_x- und NO_x-Emissionen steigt aber die Nachfrage nach alternativen Treibstoffen, wobei Erd- und Flüssiggas interessante Alternativen sind. Fortschreitende Entwicklungen der LNG-Antriebstechnologien bestätigen dies. Das Marine Safety Committee (MSC) der IMO hat daher im Jahr 2009 die Interims Guideline MSC.285(86) erarbeitet, die Sicherheitsstandards von mit Gas betriebenen Antriebs- und Hilfsmaschinen beschreibt. Daraus abgeleitete Klassifikationsvorschriften legten vorläufige Empfehlungen, Genehmigungs- und Abnahmeverfahren fest. Für vorhandene Schiffe hat diese Richtlinie künftig weiterhin Bedeutung.

Für neue Schiffe wird ab 2017 der neue IGF-Code der IMO gelten, die die MSC.285(86) ersetzen und international verbindliche Sicherheitsanforderungen an gasbetriebene Schiffe definieren (WATTER 2010). Aufgrund der bisherigen Restriktionen hinsichtlich des Umgangs mit Gas an Bord von Schiffen ist die Biogaserzeugung an Bord von Schiffen Neuland. Für die Abwasser- und Abfallverwertung ergibt sich neuerdings die gänzlich neue Option, an Bord organische Reststoffe als Energieträger zu nutzen.

1.4.1. Landseitige Erfahrungen

Bei Anaerobprozessen wird durch Anaerobier unter Sauerstoffausschluss organische Substanz mikrobiell umgesetzt. Ein wesentliches Merkmal von Anaerobprozessen ist, dass durch die Gärung ein Faulgas entsteht, oftmals auch als Biogas bezeichnet. Landseitig ist die Biogastechnologie in der Abwasser-, Land- und Abfallwirtschaft seit Jahrzehnten erprobt und erfolgreich im Einsatz. Deutsche Biogastechnologien nehmen weltweit sogar eine Vorreiterrolle ein [dena, 2016]. Die Erfahrungen und Erkenntnisse sind in der Fachliteratur umfassend dokumentiert und Stand der Technik.

Eine Übertragbarkeit der landseitigen Erfahrungen auf Kreuzfahrtschiffe ist nicht unmittelbar gegeben. Maßgebliche Gründe hierfür sind u.a.:

- Völlig andere Zusammensetzung der Substrate (der organischen Reststoffe),
- Erfordernis möglichst kleiner Reaktorvolumina,
- Ggf. andere Biogaszusammensetzung,
- Spezifische Anbindung der Biogasverwertung an die energetischen Systeme an Bord,
- Andere Optionen der Gärrestaufbereitung und -nutzung.

1.4.2. Abschätzung maßgeblicher Prozessgrößen

Der Anfall und die Beschaffenheit des oben hergeleiteten potentiellen Substrats bestimmen maßgeblich den möglichen Gasertrag. Erste eigene Abschätzungen über Menge und Zusammensetzung dieser Fraktionen erlauben konkretere Aussagen hinsichtlich des Anwendungspotential als der Anaerobtechnik auf Kreuzfahrtschiffen.

Eine direkte Übertragung und Umsetzung von landbewährten Bemessungsvorschriften führt im System Schiff zu grundsätzlichen Problemen. Während an Land ausreichend Raum für entsprechende Anlagen zur Biogasherstellung vorhanden ist, müssen Biogasanlagen auf Schiffen für minimalen Platzbedarf dimensioniert werden.

An Bord von Kreuzfahrtschiffen ist technisches Personal für den Betrieb und die Instandhaltung einer umfangreichen sowie komplexen Schiffstechnik verantwortlich. Dies erfordert die Entwicklung einer robusten und bedienungsarmen Pilotanlage zur Vergärung von organischen Reststoffen. Die Realisierung eines entsprechenden Anaerobreaktors wird anhand von 2 Konzepten verfolgt und nachfolgend dargestellt.

Verfahrensansatz: Einstufiger Reaktoraufbau

An Land werden für verschiedene Einsatzgebiete (z.B. Kläranlagen, Abfall- und Landwirtschaft) insbesondere einstufige Anaerobreaktoren eingesetzt. Der gesamte Umwandlungsprozess vom organischen Einsatzstoff bis hin zum Biogas findet unter Ausschluss von Sauerstoff im selben Reaktionsraum statt. Für die Implementierung dieses Anlagentyps an Bord eines Kreuzfahrtschiffes muss im Gegensatz zum Land eine Betriebsvariante gewählt werden, die den bisherigen landseitigen Einsatz der Anaerobtechnik

volumenoptimiert ermöglicht. Stellschrauben des einstufigen Vergärungsprozesses können wie folgt benannt werden:

- Hydraulische Verweilzeit des Substrates im Reaktor,
- Raumbelastung des Reaktors,
- Betriebstemperatur und somit die biologische Aktivität im Reaktor,
- Biologische Verfügbarkeit und Zusammensetzung des eingesetzten Substrates,
- Oberflächen für die Ansammlung sessiler Bakterienmasse.

Kreuzfahrtschiffe bieten bisher unbekannte Bedingungen für die Umsetzung einer einstufigen anaeroben Faulung und erfordern zunächst eine ausführliche Erhebung von benötigten Kennwerten. Maßgebende Informationen, die eine Verfahrensauslegung ermöglichen werden von der LUH im Arbeitspaket 1 „Prozessparameter für die anaerobe Faulung“ während des ersten Projektjahres gewonnen und für die Erstellung einer einsatzfähigen Pilotanlage berücksichtigt.

Verfahrensansatz: Zweistufiger Reaktoraufbau

Aufgrund der vorhandenen Platzverhältnisse auf Schiffen ist ein konventioneller einstufiger Aufbau nicht umsetzbar. Man bräuchte eine Höhe von 4m, um das benötigte Volumen zu erreichen. Um das Fermentervolumen hinsichtlich limitierender Platzverhältnisse weiter zu reduzieren, soll zusätzlich ein weiteres Verfahren als Hochleistungsfaulung in Festbettauflührung erprobt werden.

Ziel sind hohe Durchsätze bei kurzen Verweilzeiten. Der Biogasprozess durchläuft mehrere Phasen, wobei die meisten Anlagen einphasig betrieben werden. Das heißt, dass alle Phasen in einem Behälter ablaufen. Bei dem zweiten Verfahrensansatz handelt es sich um ein zweiphasiges Verfahren. Dabei soll die Hydrolyse-/Acidogenese phase räumlich von der Acetogenese-/Methanogenese phase getrennt werden.

Die Milieubedingungen in den einzelnen Phasen können so den Anforderungen der Mikroorganismen besser angepasst werden, sodass sich spezialisierte hochaktive Biozönosen ausbilden können. Die Hydrolyse/Acidogenese dient dabei

- dem Aufschluss der Substrate zur Steigerung des Methanertrags und der Beschleunigung der folgenden Prozessphasen,
- der verstärkten Verflüssigung des Substrats zur Erhöhung der Bakteriendynamik,

- der Verbesserung der Viskosität zur besseren Durchmischung und zur Reduzierung von Rührenergie.

Darüber hinaus soll eine Möglichkeit geschaffen werden, die Substrate verlustfrei bei niedrigem Energieaufwand durch Absenken des pH-Wertes zu lagern. Es sollen möglichst definierte Stoffparameter vor Eintrag in den Fermenter geschaffen werden. Da es sich bei den zu betrachtenden Substraten vor allem nach der Hydrolyse überwiegend um leicht abbaubare Stoffe handelt bestehen gute Aussichten eines schnellen Abbaus im Fermenter zur Realisierung hoher Durchsätze.

Kritisch sind allerdings die Reproduktionsraten der Mikroorganismen. Sinkt die Verweilzeit der Substrate im Fermenter unter die Reproduktionsrate der Bakterien, so werden diese aus dem Prozess ausgespült und die Gasproduktion kommt zum Erliegen. Um dies zu verhindern sind Rückhalte-mechanismen notwendig, welche die Bakterien im Fermenter halten. Dies soll durch das Einbringen von Oberflächen realisiert werden. Durch die Besiedlungsflächen bilden die Bakterien unter optimalen Bedingungen einen Biofilm aus und die Bakteriendichte wird erhöht.

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zertifizierungsprozess der Anlage fand in Zusammenarbeit mit der Schiffszertifizierungsgesellschaften DNV und RINA statt.

2. EINGEHENDE DARSTELLUNG

Das Vorhaben CLEAN hat zum Ziel, innovative technologische Lösungen für das verbesserte Management organischer Reststoffe an Bord von Kreuzfahrtschiffen zu entwickeln und zu erproben.

In der Gesamtschau wird das CLEAN Projekt für die Kreuzfahrtindustrie ein grundsätzlich neues Entsorgungskonzept entwickeln, mit neuen und noch zu entwickelnden technischen Komponenten, die unter realen Bedingungen an Bord getestet und anschließend bewertet werden. Ein Schwerpunkt dieses Projektes wird die Integration eines Anaerbreaktors in das Schiffsystem sein, unter Beachtung aller gesetzlichen Vorschriften.

Die anaerobe Faulung ist der am häufigsten angewandte Prozess zur Stabilisierung von biologischen Schlämmen aus der Abwasserreinigung. Dazu gehören die in den ersten Reinigungsstufen anfallenden Primärschlämme sowie der überschüssige Aktivschlamm aus Belebungsbecken. Auch Speisereste werden mittels dieses Verfahrens verwertet. Bei der anaeroben Behandlung entsteht Faulgas bzw. Methan, das als Energieträger genutzt werden kann.

Charakteristisch für die anaerobe Umsetzung ist der geringe Zuwachs von Biomasse, da der Großteil der in den Abwasserkomponenten enthaltenen Energie in das Endprodukt Methan übergeht und damit nicht zur Biomassebildung zur Verfügung steht. Zu den Herausforderungen einer Installation einer solchen Anlage auf Kreuzfahrtschiffen zählt der geringe Platz, weshalb eine kompakte und modulare Bauweise notwendig ist. Des Weiteren eine ausgereifte Technik, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten. Außerdem ist eine einfache Bedienbarkeit der Anlage zu gewährleisten, um mögliche Fehlbedienungen zu reduzieren. Dieses bedingt eine hohe Umsatzleistung der anaeroben Behandlung. Damit hohe Umsätze erreicht werden können, muss die Biomasse im Reaktor zurückgehalten und möglichst weit aufkonzentriert werden. Dies kann auf zweierlei Arten erfolgen: durch Immobilisierung der Biomasse auf einem Trägermaterial, z. B. in einem Festbettreaktor, oder durch mechanische Rückhaltung, z. B. durch Filtration in einem Membranfilterreaktor.

Wie dargestellt weichen die Rahmenbedingungen an Bord hinsichtlich der Abwasser- und damit Schlammcharakteristika deutlich von denen an Land ab. Deshalb sind zur Implementierung eines solchen anaeroben Verfahrens für den Betrieb auf Schiffen Anpassungen und Optimierungen nötig.

Das Verbundprojekt Clean gliedert sich in sieben Arbeitspakete. Im vorliegenden Bericht werden die für Martin Systems relevanten Arbeitspakete behandelt.

- AP 2.1: Anaerobprozess Design 1
- AP 3: Biogas-Reinigung und Nutzung

2.1. Arbeitspaket 2.1: Anaerobprozess Design 1

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus dem Arbeitspaket 2.1 vorgestellt. Dabei sind zum einen die Flotation mit Austragsschnecke und zum anderen die Biogasanlage erläutert.

2.1.1. Flotation mit Austragsschnecke

Ziel war die Entwicklung einer effizienten Küchenabwasservorbehandlung zur Effizienzsteigerung der Biogasanlage.

Rahmenbedingungen

Zu den Rahmenbedingungen der Flotation waren folgende Faktoren wichtig:

- Modularer, kompakter Aufbau,
- Schiffseinsatz (Entkopplung von der Schiffsstruktur).

Aufbau

In Abbildung 2-1 ist die Konstruktion der Flotation dargestellt und in Abbildung 2-2 die gebaute Flotation. An diesem werden im Folgenden die einzelnen Bauteile und deren Funktionen erläutert.

Schwingungsdämpfer

Die gesamte Flotation steht auf Schwingungsdämpfern, um eine Entkoppelung vom Schiff zu ermöglichen.

Schweißbehälter

Die Flotation selbst besteht aus einem runden Schweißbehälter, der im oberen Bereich konisch zuläuft. Diese Verengung bewirkt ein zusätzliches Verdichten des Fettschaums und somit eine weitere Entwässerung.

Der Zufluss der Flotation erfolgt über eine DN50 Zuleitung mit tangentialer Einleitung mit einer max. Zulauftrate von ca. 0,2 m³ pro Charge. Über diese Form der Einleitung sind folgende Vorteile gegeben:

- laminare Strömung erzielbar, somit ideal für Trennung von Fett und Wasser,
- Dosierung von Flotationsmitteln erfolgt in Strömungsrichtung (hohe Effizienz),
- Dispersion durch Leitstrahlmischer von Flotationsmitteln und Luft erfolgt in Strömung (hohe Effizienz).

Leitstrahlmischer und Flotationsmittel

Die Abscheidung von Fetten und Ölen wird über den Leitstrahlmischer und das Flotationsmittel erreicht.

- optimales Absetzverhalten von sedimentationsfähiger Fracht
- Aufschäumen von dispergierter und suspendierter Fracht aus wässriger Phase durch Leitstrahlmischer und Flotationsmittel

Prozessüberwachung und Sicherheit

Durch die verbaute Füllstandssonde und das Schauglas kann der Prozess überwacht werden. Zur Reinigung sind Spülanschlüsse vorhanden. Es besteht die Möglichkeit einer Probeentnahme über einen Kugelhahn.

Entleerungspumpe

Über die Entleerungspumpe wird das abgeschiedene Wasser abgepumpt. Über diese können bis zu 40 m³/h entleert werden.

Heizung

Um das Fett prozessfähig zu halten, wird eine Heizung für den oberen Flotationskörper sowie die Rohrleitung der Austragsschnecke installiert.

Austragsschnecke

Über die Austragsschnecke wird das abgeschiedene Fett in Fässer transportiert. Die Schnecke ist mit fettabweisenden Materialien gebaut, um ein Anhaften und Anbacken der Fettrückstände zu vermeiden.

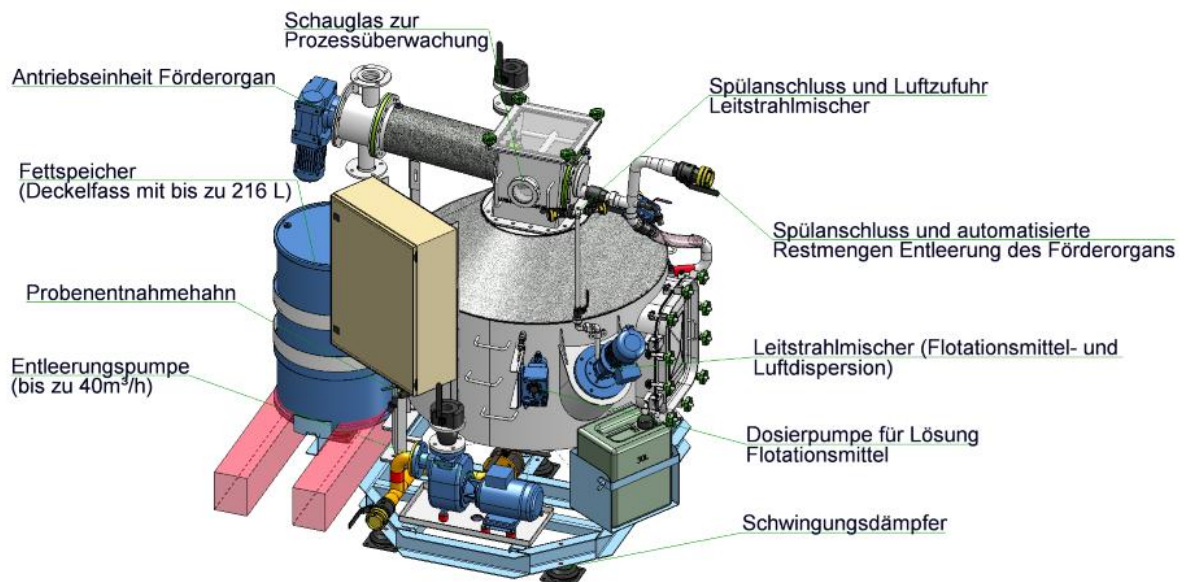


Abbildung 2-1 Aufbau der Flotation mit Austragsschnecke



Abbildung 2-2 Flotation mit Austragsschnecke

Funktion

In Abbildung 2-3 ist die Funktion der Flotation schematisch dargestellt.

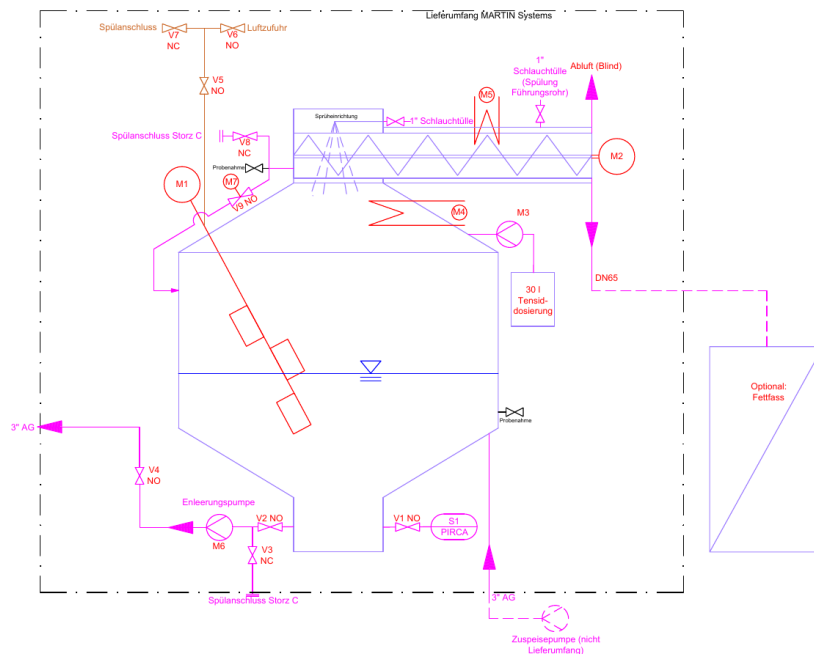


Abbildung 2-3 Funktionsschema der Flotation

2.1.2. Biogasanlage

In diesem Kapitel wird die Biogasanlage beschrieben. Die Schwerpunkte liegen hierbei zum einen beim Aufzeigen der Rahmenbedingungen an Bord des Schiffs. Zum anderen bei der Beschreibung vom Aufbau der Anlage und deren Funktionen.

Rahmenbedingungen

Die Anlage soll auf einem Schiff installiert werden. Die Grundanforderungen waren wie folgt:

- Kompakter Aufbau,
- Zugang von den Decks über Lift,
- Modularer Aufbau (muss zur Montage im Schiff zerlegt werden),
- Schiffszertifizierung erforderlich.

In Abbildung 2-4 ist das vereinfachte Fließschema vom Schiff zu sehen. Die für den Prozess benötigten Bestandteile (Fett, Speisereste, Bioschlamm) werden aus den bordeigenen Systemen entnommen.

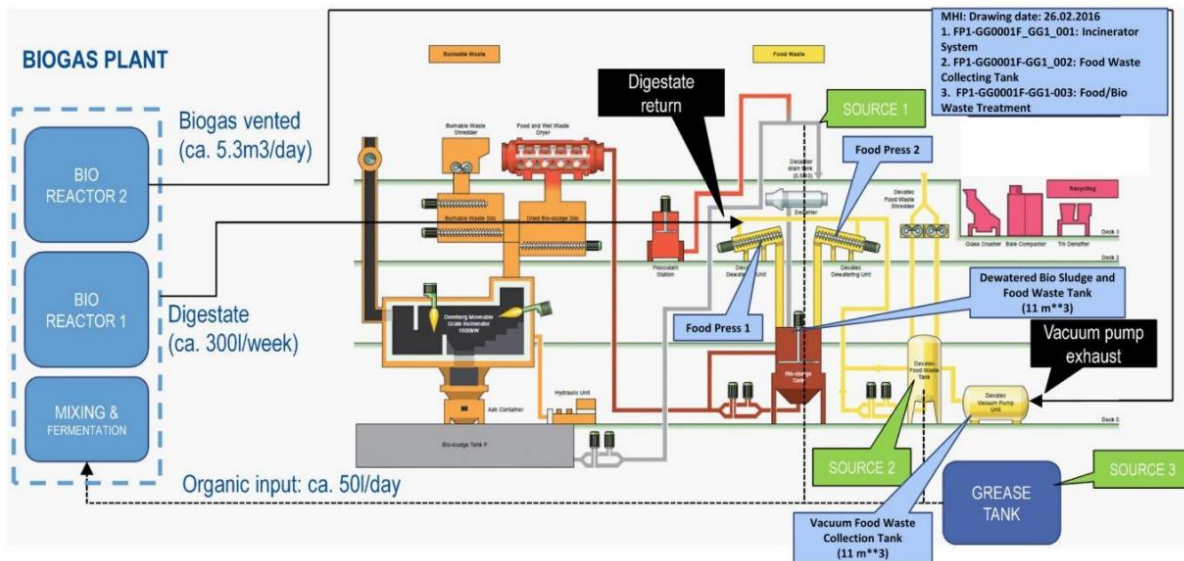


Abbildung 2-4 Schema der Integration der Anlage im Schiff

In Vorbereitung auf die Installation auf dem Schiff wurden die möglichen Aufstellorte ausgewählt und über einen 3D-Scanner die Gegebenheiten vor Ort erfasst.

Die Unterbringung des Equipments findet über zwei Decks statt. Auf Deck 2 siehe Abbildung 2-5 wird die Reaktoreinheit (1) sowie die Gasanalysestation (2) auf der rechten Seite positioniert. Auf der linken Seite befindet sich der Fermentations- und Mixingtank (3), die Dosiereinheit für Antischaum (4) sowie der Schaltschrank der Anlage (5) mit Transformator (6). Die Zuführung vom Bioschlamm erfolgt über eine Zuleitung vom schiffseigenen Dekanter (7) mit Pumpen zum Mixingtank.

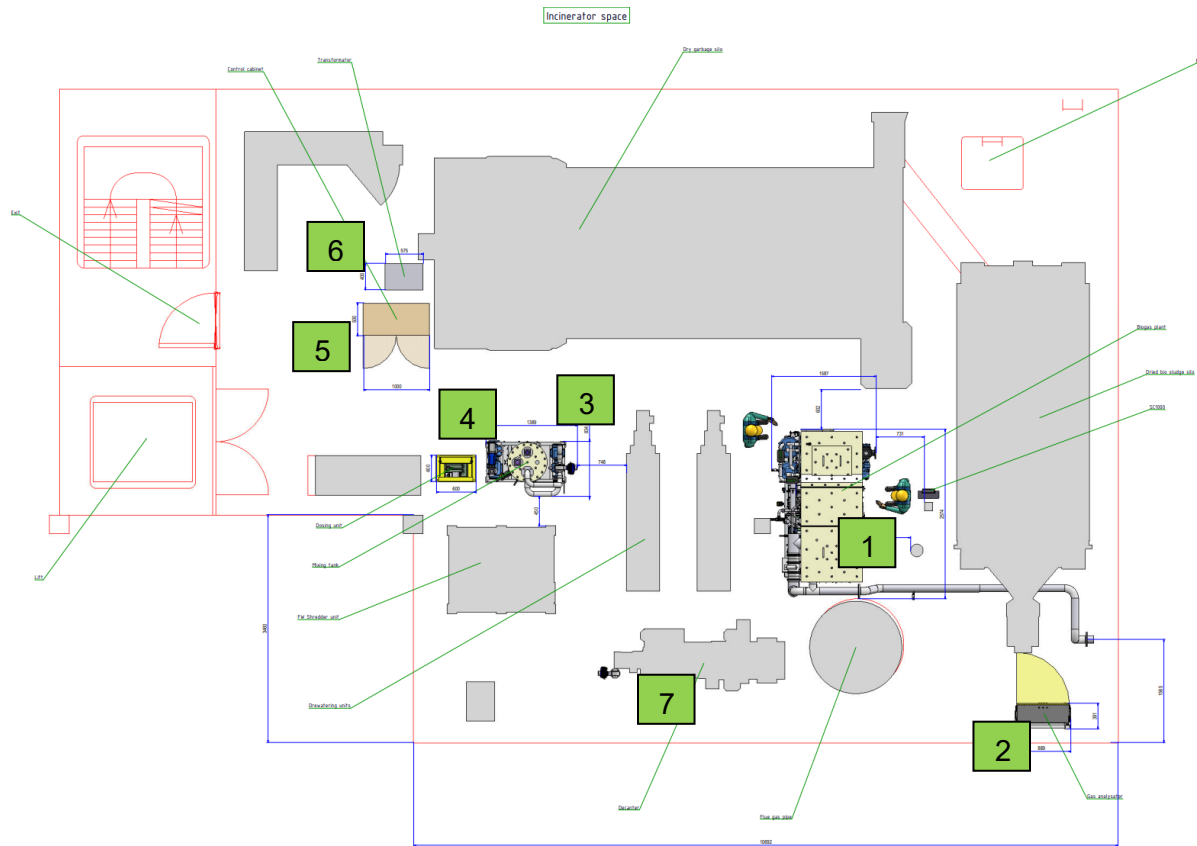


Abbildung 2-5 Einordnung Schiff Deck 2

Auf Deck 0 siehe Abbildung 2-6 befindet sich der Speiserestebehälter (1) sowie der IBC zur Fettsammlung (2). Über einen Macerator (3) werden die Speisereste zunächst zerkleinert und anschließend über eine Exzenterpumpe (4) auf Deck 2 zum Fermentations- und Mixingtank transportiert. Die Entnahme vom Fett aus dem IBC erfolgt zunächst über eine Fasspumpe. Anschließend wird das Fett ebenfalls über die Exzenter-schneckenpumpe in den Mixingtank gepumpt.

Input per day: $\approx 0,050 \text{ m}^3/\text{d}$
 Output per day - biogas: $\approx 5,300 \text{ m}^3/\text{d}$
 Output per day - CH₄: $\approx 3,200 \text{ m}^3/\text{d}$
 Residues per day: $\approx 0,044 \text{ m}^3/\text{d}$

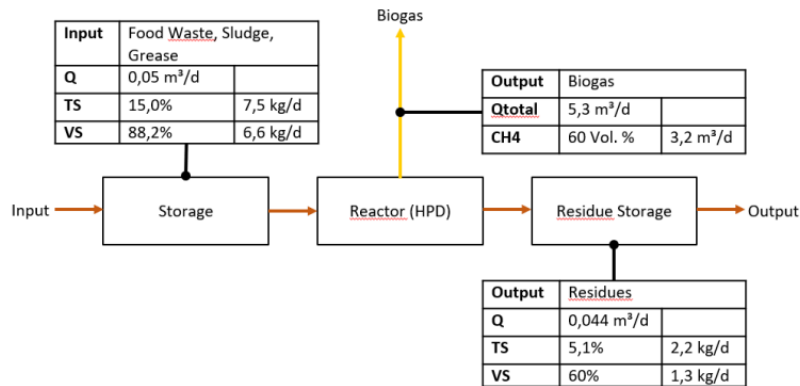


Abbildung 2-7 Auslegung der Anlage

Funktionsweise

In Abbildung 2-8 ist das Fließschema dargestellt. An diesem werden im Folgenden die einzelnen Komponenten der Biogasanlage sowie die schiffsbaulichen Einrichtungen erläutert.

Über den schiffseigenen Dekanter (1) wird der Bioschlamm über Pumpen in den Mixing tank (6) gepumpt. Aus dem Speiserestebehälter (2) werden die Essensreste entnommen. Diese werden zunächst über einen Macerator (4) zerkleinert und anschließend über eine Exzentrerschneckenpumpe in den Mixingtank befördert. Die Zuführung vom Fett erfolgt über ein Fettsammelbehälter des Schiffs (3). Über eine Fassungspumpe wird das Fett zunächst aus dem IBC gefördert und anschließend über die Exzentrerschneckenpumpe ebenfalls dem Mixingtank zugeführt.

Im Mixingtank werden die Bestandteile (Bioschlamm, Fett, Speisereste) zunächst homogenisiert über eine Kreiselpumpe und über eine Heizung auf entsprechender Temperatur gehalten.

Anschließend erfolgt einmal am Tag eine Abgabe von ca. 50 kg des Gemisches am die Reaktoranlage (7). In den Reaktoren werden die Komponenten im anaeroben Prozess vergoren und das Biogas produziert. Über eine Heizung an jedem Reaktor kann die optimale Prozesstemperatur gehalten werden.

Die einzelnen Bestandteile vom produzierten Biogas können über eine Gasanalysestation (8) erfasst und ausgewertet werden. Anschließend wird das Gas in den Kreislauf zurückgeführt und über das Abluftrohr vom Schiff (9) abtransportiert. Über die Entwässerungspresen vom Schiff werden die vergorenen Substrate wieder den Schiffstanks zugeführt.

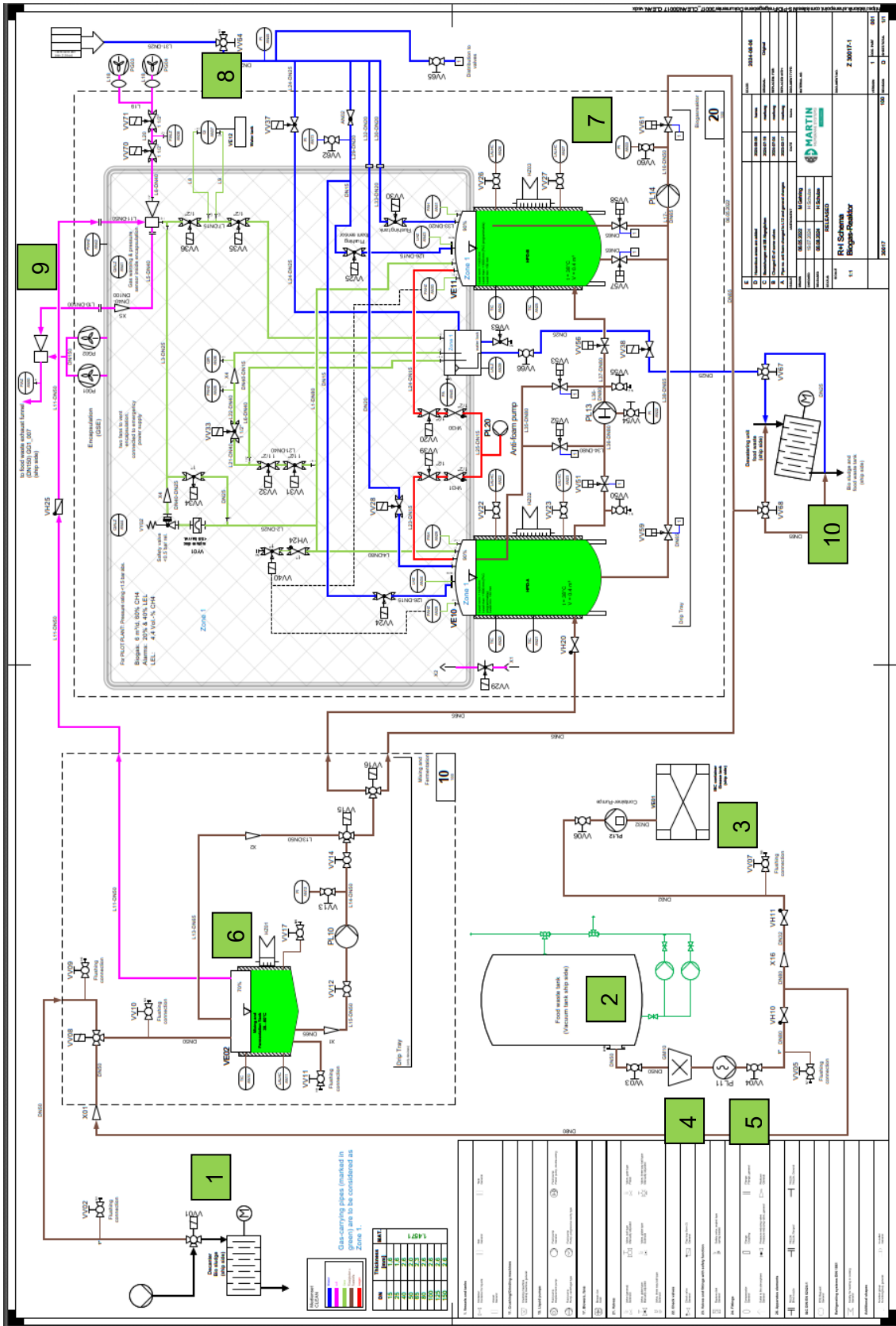


Abbildung 2-8 P&ID

Im Folgenden werden die einzelnen Betriebsarten der Anlage näher erläutert. Zur besseren Darstellung sind die für die Betriebsart notwendigen Aggregate; Armaturen mit einem grünen Kreis versehen. Für diesen Schritt geschlossene Armaturen sind rot gekennzeichnet.

Betriebsarten

Betriebsart Mixing tank

Der Mixingtank hat ein Fassungsvermögen von ca. 100 L. In diesem werden die Bestandteile (Fett, Speisereste, Bioschlamm) über die Pumpe PL10 siehe Abbildung 2-9 im Kreis zirkuliert und somit homogenisiert. Pro Tag werden 50 kg vom Gemisch an den Reaktor HPD-A (High Performance Digester) transferiert über die elektrischen Kugelhähne VV15 und VV16.

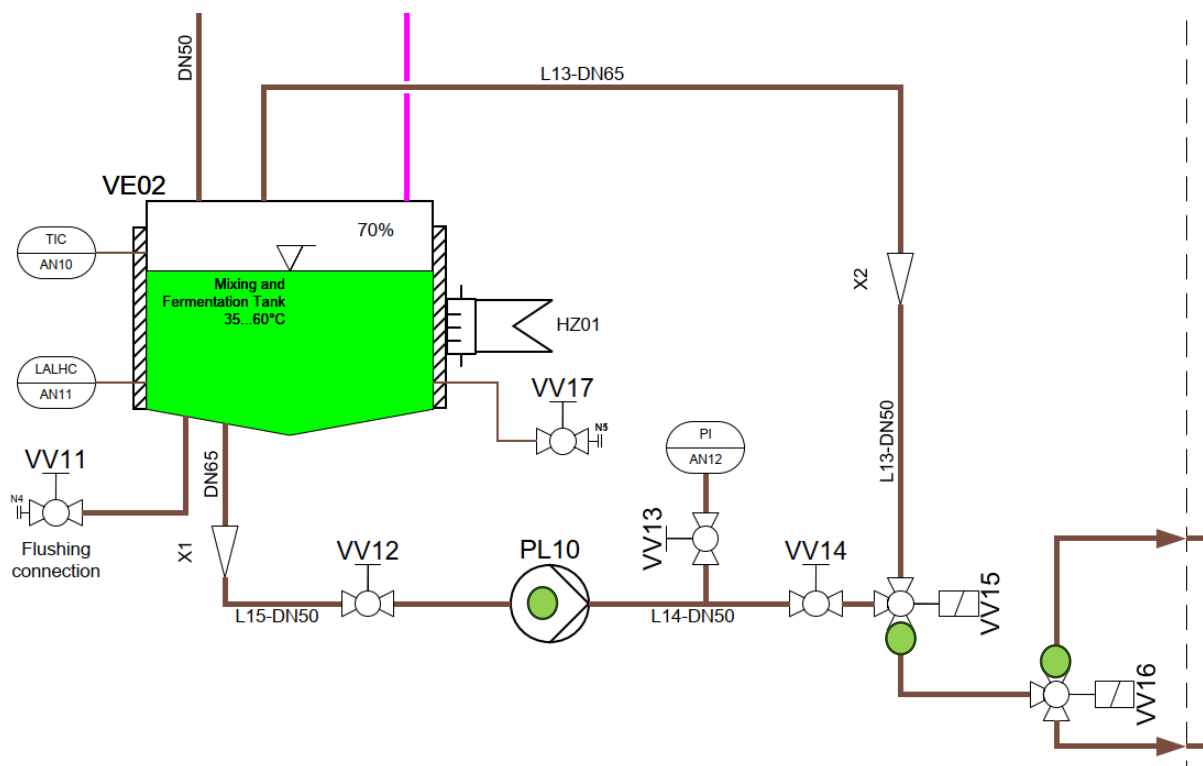


Abbildung 2-9 Betriebsart Mixing and Fermentation tank

Betriebsart Beschickung Reaktoren

Die 50 kg pro Tag werden von unten in Reaktor HPD-A gepumpt. Hierbei erhöht sich der Füllstand in HPD-A. Über die Doppelkolbenpumpe PL13 siehe Abbildung 2-10 wird der sich ergebene Überstand von Reaktor HPD-A nach HPD-B gepumpt bei geöffneten Schiebern VV52 und VV56.

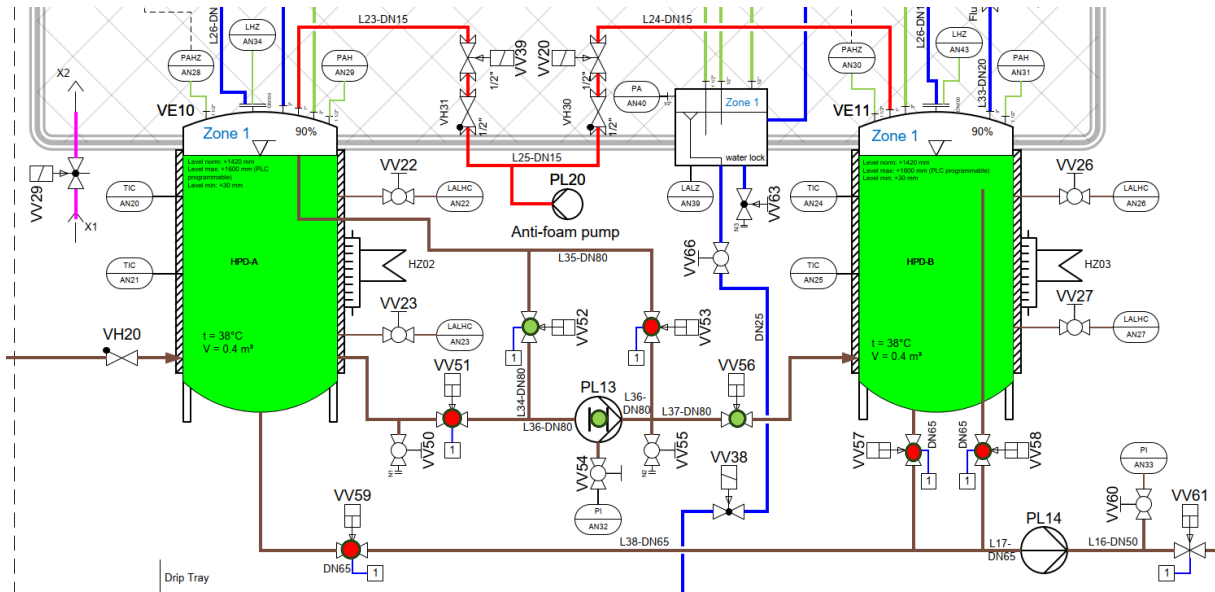


Abbildung 2-10 Betriebsart Beschickung HPDs

Betriebsart Entleerung HPD-B

In Abbildung 2-11 ist der Vorgang der Entleerung von Reaktor HPD-B dargestellt. Hierbei werden 50 kg von verbrauchtem Substrat über die Kreislumppe PL14 bei Öffnung der Schieber VV58 und VV61 an die Entwässerungsschnecken vom Schiff weitergeleitet.

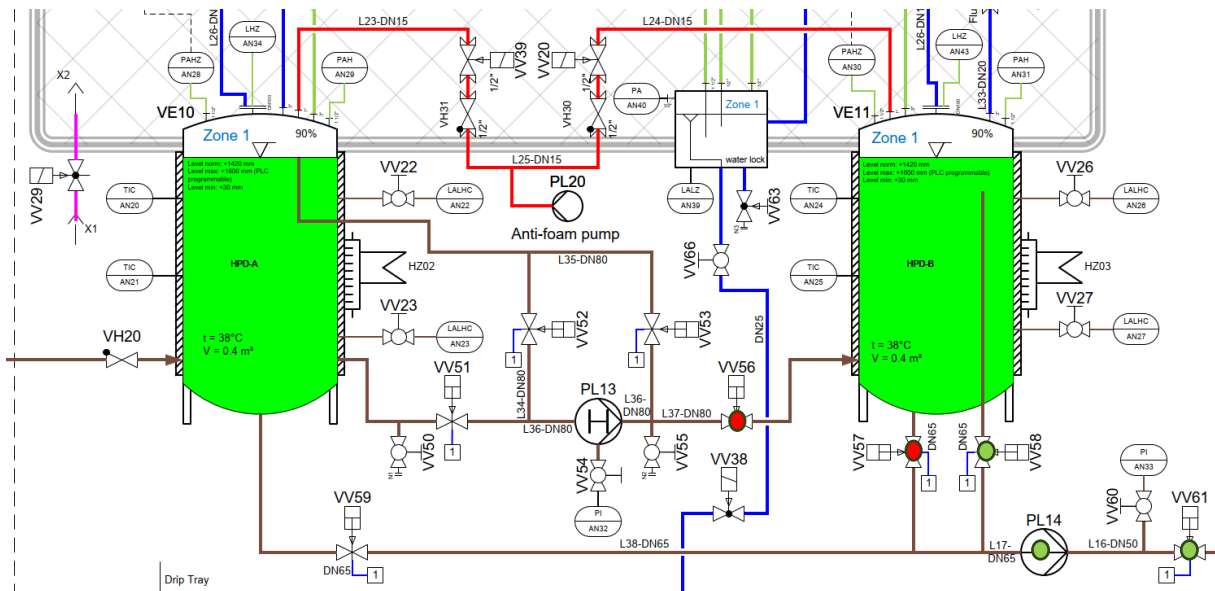


Abbildung 2-11 Betriebsart Entleerung HPD-B

Betriebsart Zirkulation Reaktor HPD-A

Über die Doppelkolbenpumpe siehe Abbildung 2-12 werden die Substrate innerhalb von Reaktor HPD-A im Kreis zirkuliert. Dies geschieht im Impulsbetrieb alle 15 Minuten für 30 Sekunden.

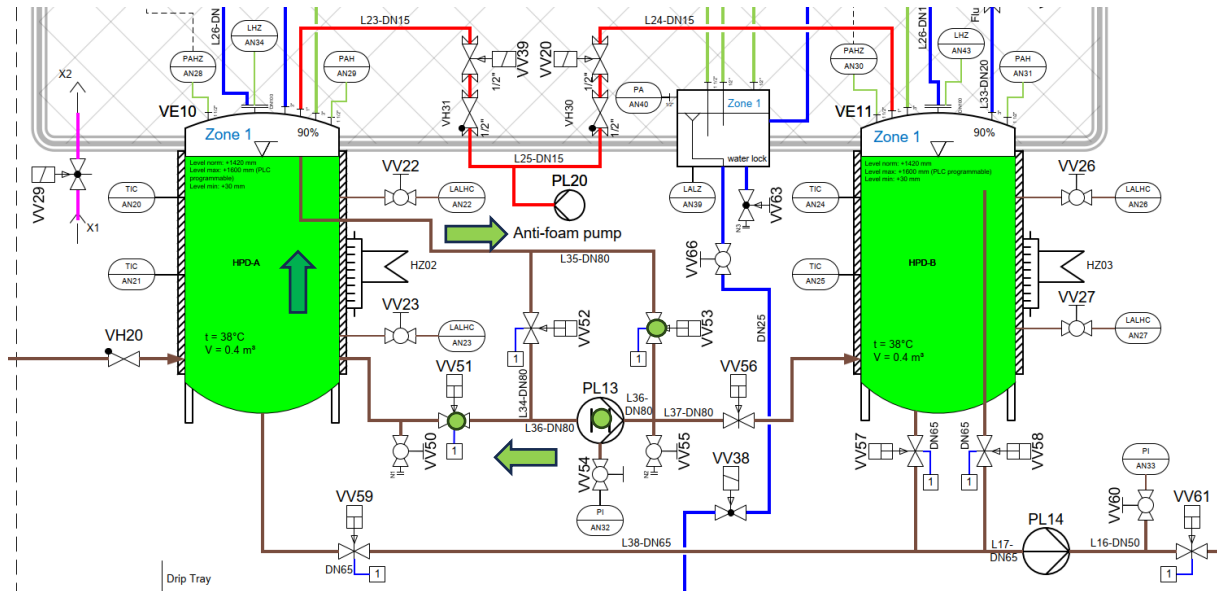


Abbildung 2-12 Betriebsart Zirkulation HPD-A

Betriebsart Plug flow HPD-B zu HPD-A

In Abbildung 2-13 ist der Plug flow von Reaktor HPD-B zu HPD-A dargestellt. Dieser erfolgt über die Doppelkolbenpumpe PL13 für ca. 30 Sekunden.

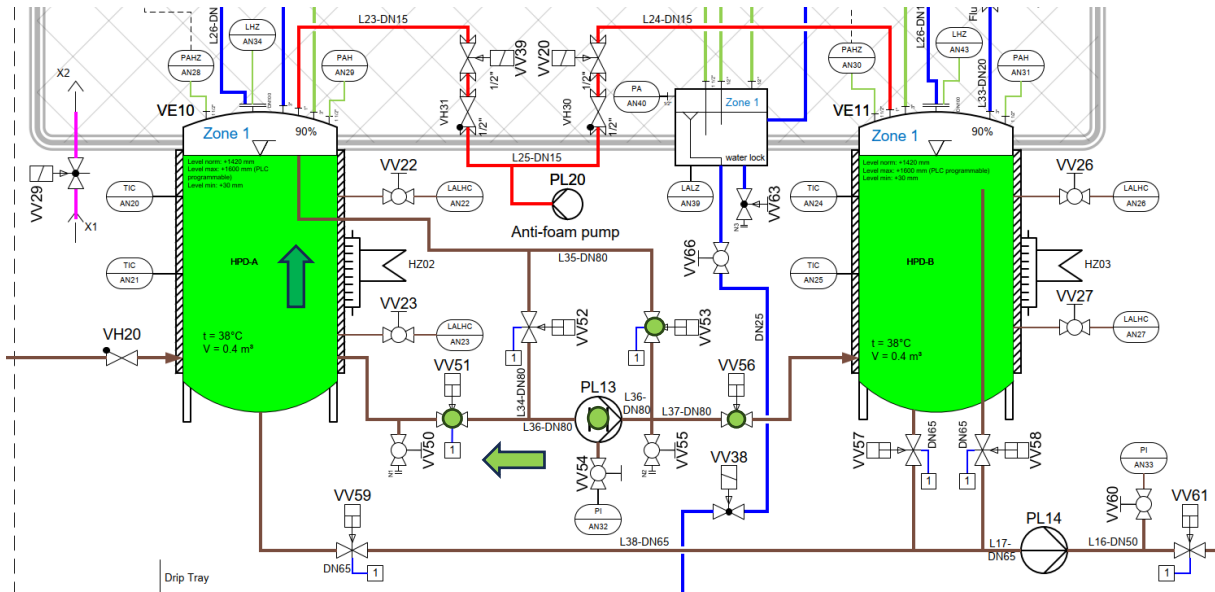


Abbildung 2-13 Betriebsart Plug flow HPD-B zu HPD-A

Betriebsart Plug flow HPD-A zu HPD-B

Der Plug flow von Reaktor HPD-A zu HPD-B siehe Abbildung 2-14 erfolgt über die Pumpe PL13 im Impulsbetrieb alle 15 Minuten für 30 Sekunden.

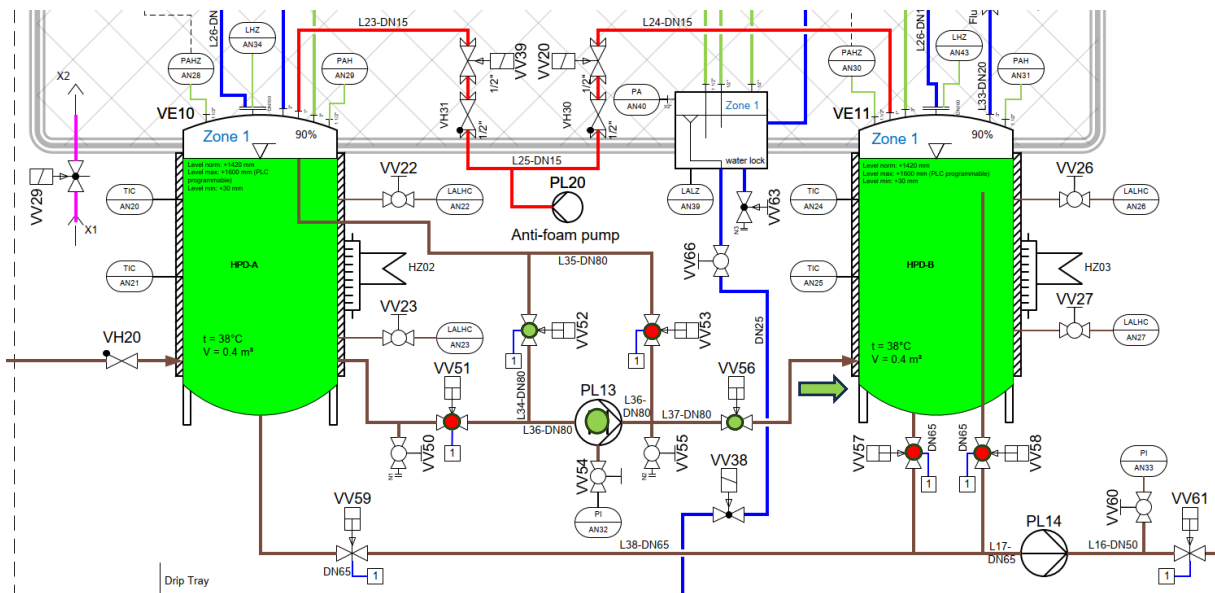


Abbildung 2-14 Betriebsart Plug flow HPD-A zu HPD-B

2.2. Arbeitspaket 3: Biogas-Reinigung und Nutzung

In diesem Kapitel werden die Sicherheitsmerkmale der Biogasanlage erläutert, die einen sicheren Betriebszustand der Anlage an Bord des Schiffes gewährleisten soll. Im Vorfeld wurde eine Gefahrenanalyse (HAZID) durchgeführt. Grundlegend sind alle sicherheitsrelevanten Aggregate und Sensoren redundant ausgeführt. Die im Folgenden näher beschriebenen Merkmale sind unter den Haupt Gesichtspunkten Schutz vor Überdruck im System, Abgrenzung der Gasphase und Gasüberwachung, Brandschutz und Explosionsschutz zusammengefasst.

2.2.1. Schutz vor Überdruck im System

In Abbildung 2-15 ist eine Schnittansicht der Reaktoren abgebildet. Über die Berstscheibe und das Drucksicherheitsventil (1) wird sichergestellt, dass der Maximaldruck des Systems maximal bei 0,5 bar liegen kann. Steigt er über das Sicherheitsventil und das Gas wird über die Bypassleitung direkt zum Abgastunnel vom Schiff geführt. Als zweite Sicherheitsstufe dient die Berstscheibe, die bei einem Druck größer als 0,5 bar zerstört wird. Die Behälterfüllstände und -drücke werden über Sonden überwacht.

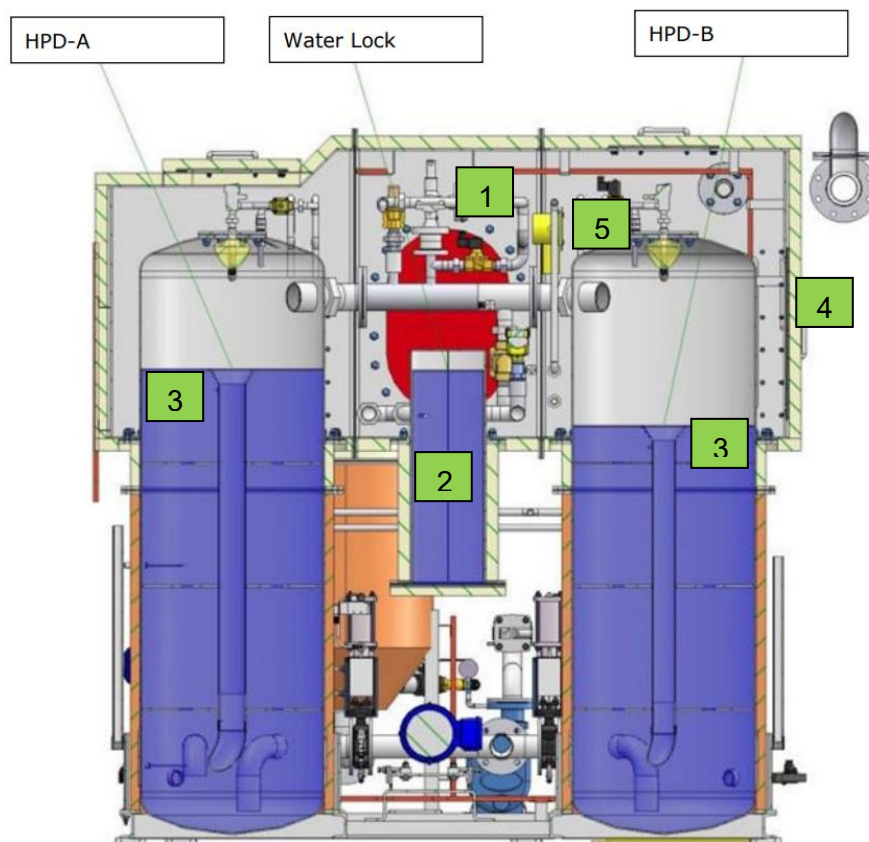


Abbildung 2-15 Schnittansicht der Reaktoren

2.2.2. Abgrenzung der Gasphase und Gasüberwachung

Über das Wasserschloss (2) werden die Behälter unter einem konstanten Überdruck von 60 mbar gehalten. Somit wird verhindert, dass von außen Gase in die Behälter gelangen können.

Eine mechanische Abgrenzung der Gasphase findet über die Reaktorbehälter statt. Hierbei werden die Mindestfüllstände über ein eingeschweißtes Rohr (3) vorgegeben. Somit wird sichergestellt, dass sich die Gasphase nur innerhalb der oberen Umhassung (4) befindet.

In dieser Umhassung wird über Gassensoren (5) die Gaskonzentration vom Methan innerhalb der Umhassung gemessen. Weiterhin verfügt die Umhassung über zwei Verdichter (6), die das Gehäuse unter einem permanenten Unterdruck halten siehe Abbildung 2-16.

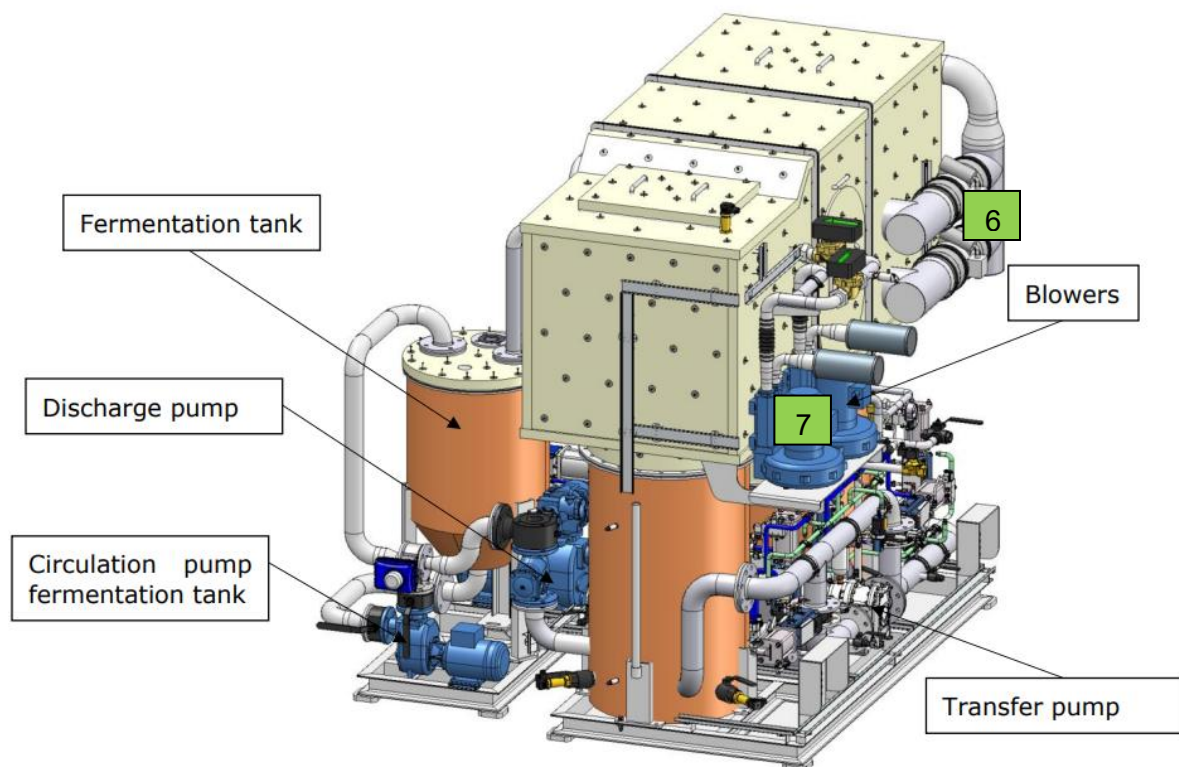


Abbildung 2-16 Übersicht Biogasanlage Frontansicht

2.2.3. Brandschutz

Das obere Gehäuse (4) siehe Abbildung 2-15 wird als eigener Maschinenraum innerhalb des Schiffes betrachtet und benötigt deshalb eine eigene Brandschutzisolierung nach den Maritimen Regularien.

2.2.4. Explosionsschutz

Zum Schutz vor einer Explosion muss jedes Aggregat und Sensor, die direkt oder indirekt mit der Gasphase in Berührung kommen könnte, einen Explosionsschutz der Klasse 1 aufweisen.

Nach den Reaktoren muss zu jedem Zeitpunkt gewährleistet sein, dass sich die Gaskonzentration des produzierten Methans außerhalb eines zündfähigen Gemisches befindet. Aus diesem Grund siehe Abbildung 2-16 verfügt die Anlage zum einen über zwei Gebläse (7), die die Luft vom Maschinenraum entnehmen und zum anderen über zwei Verdichter (6), die permanent die Luft vom inneren des Gehäuses absaugt. Diese Luft wird nach den Reaktoren zur Verdünnung der Gasphase benutzt, sodass kein zündfähiges Gemisch entstehen kann.

2.3. Vorläufiges Ziel

Der Schiffseinsatz konnte aufgrund einer nicht erreichten Zertifizierung nach den Regularien der Schiffszertifizierungsgesellschaften DNV und RINA nicht durchgeführt werden. Um erste Erkenntnisse in Bezug auf die Prozessstabilität gewinnen zu können, wurde als vorläufiges Ziel eine Landinstallation beim Projektpartner IBZ in Hohen Luckow umgesetzt, beginnend ab Juli 2025. Dieser Testbetrieb ist auf drei Monate angesetzt.

Um einen möglichst nahen Vergleich zu den an Bord des Schiffs vorhandenen Substraten zu erreichen, werden aus der nahen Umgebung die Speisereste, Fett und Bioschlamm angeliefert. Die Speisereste und das Fett werden von der Mensa der Universität Wismar und der Bioschlamm aus der kommunalen Kläranlage in Wismar bereitgestellt. Die Aufstellung der Anlage in Hohen Luckow ist in Abbildung 2-17 dargestellt.

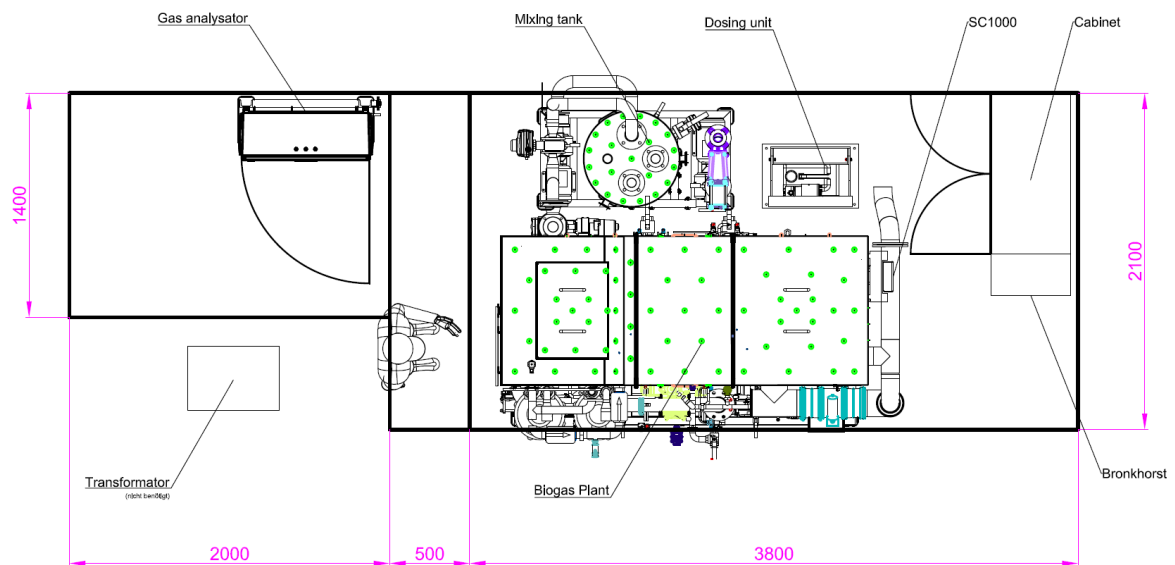


Abbildung 2-17 Einordnung in Hohen Luckow

In Abbildung 2-18 ist die Biogasanlage am Standort Hohen Luckow zu sehen.



Abbildung 2-18 Anlage in Hohen Luckow

2.4. Stand des Gesamtprojekts

Während der Projektlaufzeit ergaben sich zum Teil unerwartete und nicht beeinflussbare Faktoren, die das Projekt negativ beeinflussten. Hieraus ergaben sich erhebliche

Verzögerungen im Projektablauf. Diese führten dazu, dass das Projekt nicht erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Im Folgenden werden die wichtigsten Faktoren näher erläutert. Zu diesen zählen die Zertifizierung der Biogasanlage, die Mitwirkung des Umweltamts, die Corona Phase sowie der Wechsel der Zertifizierungsgesellschaft vom Schiff.

2.4.1. Zertifizierung

Im maritimen Sektor wurde bis jetzt keine Biogasanlage verwendet. Dementsprechend war die Zertifizierung der Anlage aus Sicht der Schiffszertifizierungsgesellschaft DNV eine Grauzone. Aus diesem Grund wurde die Biogasanlage unter den Regularien für die Auslegung eines Gastankers bewertet.

Im Zuge der Sicherheitsregularien hatte diese Einordnung einen erheblichen Aufwand zur Folge, die Einfluss auf die Projektzeit hatten. Die wichtigsten Punkte waren hierbei die Röntgen- und Druckprüfung der Tanks, der verbindenden Rohrleitungen sowie die Auswahl der verwendeten Aggregate nach Explosionsstufe 1. Weiterhin wurde die Gasphase als externer Maschinenraum betrachtet, der seinerseits eine Feuersicherheit nach IGF-Code verlangte.

2.4.2. Umweltamt

Vermischung der Abfallströme ist auf Schiffen grundsätzlich ein Problem und bedarf einer speziellen Genehmigung. Für die Dauer der Projektzeit von ca. sechs Monaten sollte das erzeugte Methan an die Umwelt abgegeben werden. Dies bedarf ebenfalls einer Ausnahmegenehmigung. Die italienische Umweltbehörde hat diese Genehmigungen noch nicht erteilt.

2.4.3. Corona Phase

Aufgrund der nicht vorhersehbaren Corona-Pandemie kam es zu erheblichen Einschränkungen im Projektablauf. Zum einen wurde die Effizienz und das Arbeitsumfeld aufgrund des Kontaktverbots und der Kurzarbeit gehemmt. Zum anderen durch extrem lange Lieferzeiten für die Komponenten der Anlage. Außerdem war durch Reiseeinschränkungen eine weitere Begehung des Schiffs nicht möglich.

2.4.4. Wechsel der Zertifizierungsgesellschaft vom Schiff

Während der Projektlaufzeit hat Carnival Maritime das Schiff zu einer anderen Schiffszertifizierungsgesellschaft überschrieben. Dies hatte zur Folge, dass zunächst eine

Zertifizierung der Biogasanlage vom DNV und anschließend von der RINA durchgeführt werden musste. Diese weitere Prüfstelle war auch ein Faktor für die Verzögerung des Projekts.

2.5. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Abbildung 2-19 zeigt die verschiedene Unterteilung der Totalkosten. Der hauptsächliche Anteil der Ausgaben fiel auf Personalkosten mit 63%, wovon etwa 10% für die Konstruktion der Flotation, 60% für die Konstruktion der Biogasanlage und 30% für die Zertifizierung der Biogasanlage verwendet wurde. Der zweite Posten mit 36% sind die Materialkosten. Diese gliedern sich wie folgt auf: ca. 15% für die Flotation und 85% für die Biogasanlage. Der letzte Anteil von ca. 1% sind für Reisen verwendet worden.

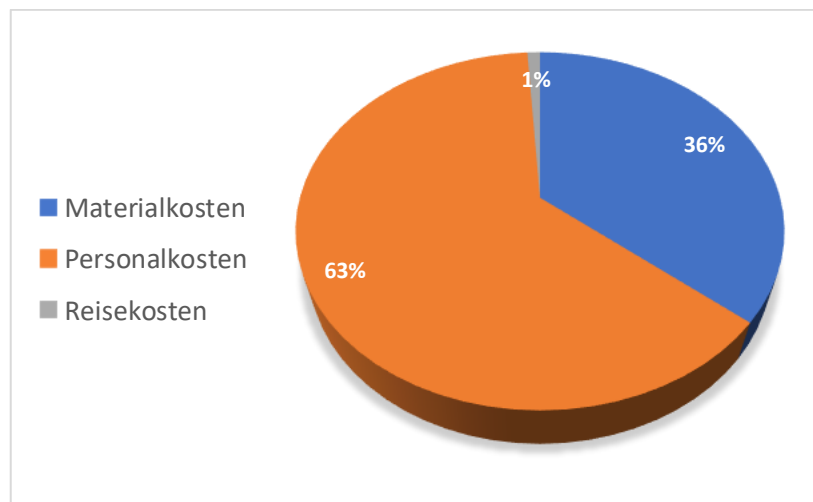


Abbildung 2-19 Anteilige Verteilung der Mittelverwendung

2.6. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Arbeiten und Finanzmittel wurden entsprechend den im Rahmen des Projekts erzielten Modulen und Ergebnissen angepasst. Die Arbeiten konnten eine Vielzahl sowohl geplanter als auch sich erst im Projektverlauf entwickelnder Fragestellungen beantworten, insbesondere zu:

- Schritte zur Zertifizierung einer Biogasanlage,
- Anlagensicherheit einer Biogasanlage auf Schiffen.

2.7. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Aufgrund der Tatsache, dass noch kein Einsatz auf dem Schiff stattgefunden hat, können noch keine Aussagen über die Wirtschaftlichkeit einer solchen Biogasanlage getroffen werden. Dennoch geht aus einer internen Studie von Carnival Maritime mit der Leibniz Universität Hannover hervor, dass das Projekt Clean nach wie vor noch eine Zukunft hat. Hierbei wurde die unterschiedlichen Abfallströme auf Kreuzfahrtschiffen betrachtet und deren mögliche Verwendungen hinsichtlich der Abfallminimierung und Energieerzeugung eruiert.

2.8. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

2.9. Erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses

Das Projekt Clean wurde auf der Statustagung Maritime Technologien im Jahre 2023 vorgestellt.

3. ERFOLGSKONTROLLBERICHT

3.1. Förderpolitische Ziele

den Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, z.B. des Förderprogramms (ggf. unter Angabe des Schwerpunkts), - soweit dies möglich ist

Im Hinblick auf die Ziele der Förderung konnte Erkenntnisse in Bezug auf die Auslegung einer Biogasanlage sowie deren Sicherheitstechnik gewonnen werden. Wissenschaftlich verwertbare Ergebnisse konnten nicht erzielt werden, weil die Anlage bis zum Ende des Projekts nicht auf einem Schiff installiert werden konnte. Erste Erkenntnisse wird der Einsatz der Anlage in Hohen Luckow bringen, beginnend im Juli 2025.

Dennoch geht aus einer internen Studie von Carnival Maritime mit der Leibnitz Universität Hannover hervor, dass das Projekt Clean nach wie vor noch eine Zukunft hat. Hierbei wurde die unterschiedlichen Abfallströme auf Kreuzfahrtschiffen betrachtet und deren mögliche Verwendungen hinsichtlich der Abfallminimierung und Energieerzeugung eruiert.

3.2. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis

Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens im Vergleich zu den ursprünglichen Zielen, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen

Es liegt ein technisches Ergebnis im Zug auf die Dimensionierung und die Sicherheitstechnik einer Biogasanlage auf einem Schiff vor. Ein wissenschaftliches Ergebnis konnte nicht erzielt werden, weil die Anlage aufgrund der fehlenden Zertifizierung nicht auf einem Schiff eingesetzt wurde. Erste Erkenntnisse wird der Einsatz der Anlage in Hohen Luckow bringen, beginnend im Juli 2025.

3.3. Fortschreibung des Verwertungsplans

3a. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom AN oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten.

Keine.

3b. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Auftragende (mit Zeithorizont) - z.B. auch

funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/ Industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien

Sind nach jetzigem Stand nicht ermittelbar, weil noch keine wissenschaftlich verwertbaren Ergebnisse außer der Auslegung der Anlage sowie deren Sicherheitstechnik gewonnen werden konnte.

3c. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Auftragende (mit Zeithorizont) - u.a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z.B. für weitere öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u.a. einzubeziehen

3d. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte

*** Keine Änderung gegenüber Antragstellung bzw. im Berichtszeitraum. ***

3.4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Die Arbeiten haben alle zu einer Lösung geführt, jedoch konnte das Projekt nicht mit Erfolg abgeschlossen werden. Die Gründe hierfür sind in Kapitel 3.6 näher erläutert.

3.5. Präsentationsmöglichkeiten

Zum jetzigen Stand sind keinen wissenschaftlich verwertbaren Ergebnissen außer der Auslegung der Anlage und der Sicherheitstechnik gewonnen worden. Erste Erkenntnisse wird der Einsatz der Anlage in Hohen Luckow bringen.

3.6. Einhaltung der Ausgaben-/Kosten- und Zeitplanung

Die Zeitplanung für das Projekt sowie die Kostenplanung konnten nicht eingehalten werden.

Während der Projektlaufzeit ergaben sich zum Teil unerwartete und nicht beeinflussbare Faktoren, die das Projekt negativ beeinflussten. Hieraus ergaben sich erhebliche Verzögerungen im Projektablauf. Diese führten dazu, dass das Projekt nicht erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Im Folgenden werden die wichtigsten Faktoren näher erläutert. Zu diesen zählen die Zertifizierung der Biogasanlage, die Mitwirkung des Umweltamts, die Corona Phase sowie der Wechsel der Zertifizierungsgesellschaft vom Schiff.

3.6.1. Zertifizierung

Im maritimen Sektor wurde bis jetzt keine Biogasanlage verwendet. Dementsprechend war die Zertifizierung der Anlage aus Sicht der Schiffszertifizierungsgesellschaft DNV eine Grauzone. Aus diesem Grund wurde die Biogasanlage unter den Regularien für die Auslegung eines Gastankers bewertet.

Im Zuge der Sicherheitsregularien hatte diese Einordnung einen erheblichen Aufwand zur Folge, die Einfluss auf die Projektzeit hatten. Die wichtigsten Punkte waren hierbei die Röntgen- und Druckprüfung der Tanks, der verbindenden Rohrleitungen sowie die Auswahl der verwendeten Aggregate nach Explosionsstufe 1. Weiterhin wurde die Gasphase als externer Maschinenraum betrachtet, der seinerseits eine Feuersicherheit nach IGF-Code verlangte.

3.6.2. Umweltamt

Vermischung der Abfallströme ist auf Schiffen grundsätzlich ein Problem und bedarf einer speziellen Genehmigung. Für die Dauer der Projektzeit von ca. sechs Monaten sollte das erzeugte Methan an die Umwelt abgegeben werden. Dies bedarf ebenfalls einer Ausnahmegenehmigung.

3.6.3. Corona Phase

Aufgrund der nicht vorhersehbaren Corona-Pandemie kam es zu erheblichen Einschränkungen im Projektablauf. Zum einen wurde die Effizienz und das Arbeitsumfeld aufgrund des Kontaktverbots und der Kurzarbeit gehemmt. Zum anderen durch extrem lange Lieferzeiten für die Komponenten der Anlage. Außerdem war durch Reiseeinschränkungen eine weitere Begehung des Schiffs nicht möglich.

3.6.4. Wechsel der Zertifizierungsgesellschaft vom Schiff

Während der Projektlaufzeit hat Carnival Maritime das Schiff zu einer anderen Schiffszertifizierungsgesellschaft überschrieben. Dies hatte zur Folge, dass zunächst eine Zertifizierung der Biogasanlage vom DNV und anschließend von der RINA durchgeführt werden musste. Diese weitere Prüfstellung war auch ein Faktor für die Verzögerung des Projekts.

4. LITERATURVERZEICHNIS

Würsig, Dr. Ing. Gerd. *Safety Concept CLEAN Project.* Juli 2024.

Borgmann GmbH & Co KG. *IGF-Code Internationaler Code für die Sicherheit von Schiffen, die Gase oder andere Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt verwenden.* Dortmund : Verkehrsblatt-Verlag, August 2016. Dokument Nr. B 8151.

DNV. *RULES FOR CLASSIFICATION Ships: Part 4 Systems and components Chapter 6 Piping systems.* Juli 2022.

DNV. *RULES FOR CLASSIFICATION Ships: Part 4 Systems and components Chapter 7 Pressure equipment.* Juli 2021.

DNV. *RULES FOR CLASSIFICATION ships: Part 5 Ship types Chapter 7 Liquefied gas tankers.* Juli 2022.

DNV. *RULES FOR CLASSIFICATION Ships: Part 6 Additional class notations Chapter 2 Propulsion, power generation and auxiliary systems.* Juli 2022.

Prof. Dr.-Ing. Stephan Köster, Dr.-Ing. Arne Freyschmidt, Institute of Sanitary Engineering and Waste Management of Leibniz University Hannover (ISAH). Scientific consulting for the development of a Waste-to-Energy concept on board cruise ships. Mai 2025