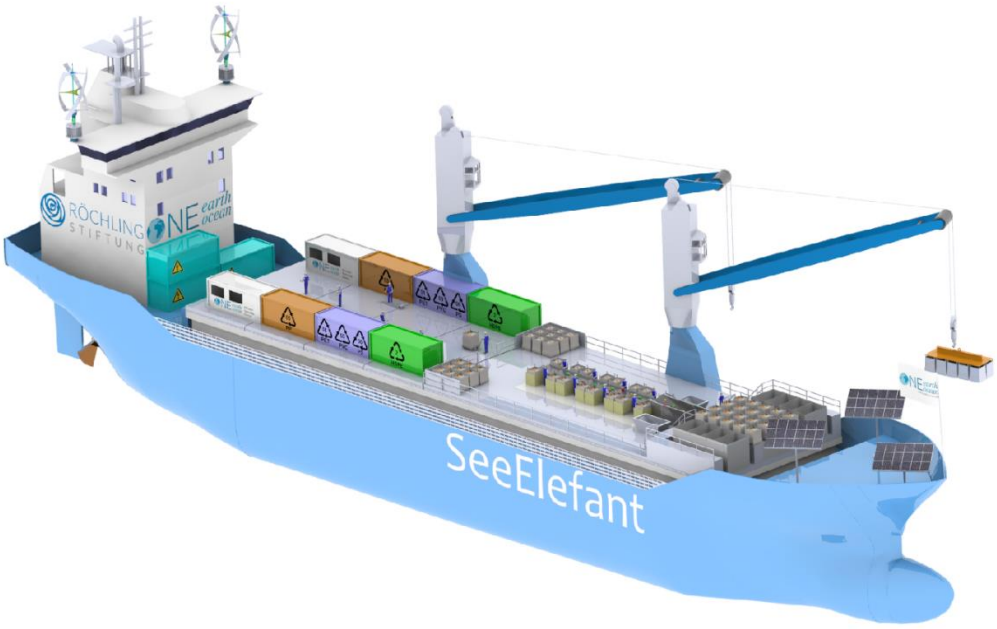


Projekt: SeeElefant

- Machbarkeitsstudie -

Pilotsystem für Flussmündungen und Küstengebiete

Dr. Harald Frank, Lennart Rölz
Günther Bonin, Erich Groever, Dr. Rüdiger Stöhr
Paul Marbach, Melanie Strutz, Janosch Erny, Armin Willburger
Sebastian Winter
Info@oneearth-oneocean.de

Unser Dank gilt der Röchling Stiftung GmbH und insbesondere dem Kuratorium.

Ohne die großzügige finanzielle Förderung der Röchling Stiftung wäre es nicht möglich gewesen, die vorliegende Machbarkeitsstudie zu erstellen. Wir sind glücklich, dass die Ergebnisse eine operative Durchführung des Pilotsystems SeeElefant empfehlen. Insofern wird One Earth - One Ocean e.V. mit Ausdauer und Hartnäckigkeit die Umsetzung des Projektes verfolgen.

Sehr gerne würden wir unseren Kontakt und unsere Zusammenarbeit weiter vertiefen, um auch zukünftig gemeinsam an dem Ziel der Reduzierung der Meeresverschmutzung zu arbeiten.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis I
Zusammenfassung (Executive Summary) 1
1. Vorwort 8
1.1. Machbarkeitsstudie als Entscheidungsinstrument 12
1.2. Aufgabenstellung der Fördervereinbarung der Röchling Stiftung und Abgrenzungen 13
1.3. Ziele der Machbarkeitsstudie 17
1.4. Methodik und Bewertungskriterien 18
2. Einleitung 19
2.1. Der Verein One Earth – One Ocean e.V. 19
2.1.1. Aufklärungs- und Bildungsarbeit 21
2.1.2. Forschung 21
2.1.3. Technik 21
2.1.4. Vereinsorganisation 23
2.2. Plastikmüll im Meer 24
2.2.1. Herkunft und Eintragsquellen 24
2.2.2. Auswirkungen von Plastikmüll im Meer auf die Umwelt 26
2.2.3. Quellen und Mengen 29
2.2.4. Zerfall und Abbau von Meeresmüll 36
2.2.5. Zusammensetzung und Zugänglichkeit des Meeresmülls 37
2.2.6. Verteilung des Kunststoffes in der Wasserssäule 40
2.2.7. Größe des Plastiks 42
2.2.8. Qualität von Meereskunststoffen 43
2.2.9. Saisonale Abhängigkeit der Eintragsmenge 46
2.2.10. Fazit 47
2.3. Notwenigkeit einer Maritimen Müllabfuhr 48
2.4. Das Konzept der Maritimen Müllabfuhr von OEOO - Kurzbeschreibung 49
2.5. Differenzierung zu maritimen Reinigungsprojekten anderer Organisationen 51
2.5.1. Pragmatismus statt Science-Fiction 51
2.5.2. Ähnliche Projekte und potenzielle Partner 53
2.5.3. Fazit 57
3. Machbarkeitsüberprüfungen 58
3.1. Technische Machbarkeit: Lokalisierung und Ortung 59

3.1.1. Marine-Litter-App 60
3.1.2. Drohneneinsatz 60
3.1.3. Satelliteneinsatz 60
3.2. Technische Machbarkeit: Sammeltechniken 61
3.2.1. SeeHamster 63
3.2.2. SeeKuh 64
3.2.3. Vermeidung von tierischem Beifang 69
3.2.4. Fazit 71
3.3. Technische Machbarkeit: Anlagen des Pilotsystems zur Verarbeitung von Meeresmüll 72
3.3.1. Anforderungsliste an das Pilotsystem 72
3.3.2. Stoffstromdiagramm des Pilotsystems 73
3.3.3. Übertragung des Stoffstromdiagramms in die Anlagentechnik des Pilotsystems 74
3.3.4. Erklärung der Prozessschritte und Anlagentechnik 75
3.3.5. Energiebedarf der Anlagentechnik 92
3.3.6. Gewicht der Anlagentechnik 92
3.3.7. Kosten für die Anlagentechnik 93
3.3.8. Fazit 94
3.4. Technische Machbarkeit: Schiffskonzepte für das Pilotsystem 95
3.4.1. Mobiler SeeElefant - Mehrzweckfrachter 96
3.4.2. Stationärer SeeElefant - Schwimmponton 118
3.5. Ausblick: Anlagentechnik Ausbaustufe 123
3.5.1. Stoffstromdiagramm Ausbaustufe 124
3.5.2. Alternative Nutzungs- und Verarbeitungsmöglichkeit von Meereskunststoffen 125
3.6. Rechtliche Machbarkeit: Genehmigungssituation und internationale Normen 131
3.6.1. Rechtliche Grundlagen für lokale Reinigungsprojekte 131
3.6.2. Bau und Betrieb von Sammelfahrzeugen 133
3.6.3. Betrieb des Verarbeitungsschiffes SeeElefant 134
3.6.4. Beifang 135
3.6.5. Zollfragen zum Handel mit sortenreinen Plastikballen 135
3.6.6. Fazit 136
3.7. Organisatorische Machbarkeit: Zeit- und Umsetzungsplanung 137
3.7.1. Roadmap 137
3.7.2. Nächste Schritte: Meilensteine 5 bis 7 140

3.7.3. Projektorganisation und Betreibermodell 142
3.8. Wirtschaftliche Machbarkeit: Businessmodell und Finanzplanung 146
3.8.1. Präambel und wirtschaftswissenschaftliche Einordnung 146
3.8.2. Modell und Ergebnis 147
3.8.3. Investitionen und Finanzierung 153
3.8.4. Leistungen und Kosten 156
3.8.5. Gewinn- und Verlustrechnung, Break-Even Betrachtung 163
3.8.6. Einzahlungen und Auszahlungen 164
3.8.7. Liquidität 165
3.8.8. Exkurs: Integration der Verölungstechnologie 166
4. Analyse der Risiken und Risikosteuerung 170
4.1. Technische Risiken 170
4.2. Genehmigungsrechtliche Risiken 172
4.3. Wirtschaftliche Risiken 173
4.4. Risikosteuerung 173
5. Ökologische Aspekte 174
5.1. Vergleich ökologisch wesentlicher Effekte 174
5.2. Negative externe Effekte: Tierischer Beifang 175
5.3. Positive externe Effekte durch den Einsatz einer Maritimen Müllabfuhr 175
5.3.1. Verminderung des maritimen Plastikeintrages - positive Umweltwirkungen 175
5.3.2. Erhöhung des touristischen Potenzials und geringere Strandreinigungskosten 175
5.3.3. Schaffung von lokalen Arbeitsplätzen 176
5.3.4. Gesteigertes Umweltbewusstsein 176
Abbildungsverzeichnis 177
Tabellenverzeichnis 179
Abkürzungsverzeichnis 180
Literaturverzeichnis 181
Anhangsverzeichnis 185
1. Anhang: Bandbreite jährlicher Eintrag und Bestands-Meeresmüll 186
2. Anhang: Zersetzungszeiten von Plastik 187
3. Anhang: Berechnungsmodell der Zusammensetzung 188
4. Anhang: Projekte gegen Plastikmüll im Meer 191
5. Anhang: Monatlicher Report Kambodscha Dezember 2018 193

6. Anhang: Heizwertberechnung Kunststoff 196
7. Anhang: Schiffsdatenblatt MS-Forester 198
8. Anhang: Sicherheitsstandards für SeeElefant als Spezialschiff 200
9. Anhang: Windstärken 202
10. Anhang: Definition: Signifikante Wellenhöhe 203
11. Anhang: Regenerative Energiegewinnung 204
12. Anhang: Protokoll BG-Verkehr 213
13. Anhang: Vergleich ökologisch wesentlicher Effekte 216

Zusammenfassung (Executive Summary)

Der Kunststoffmüll in den Ozeanen hat dramatische Dimensionen erreicht und wird in den kommenden Jahren weiter zunehmen. Diese Zunahme resultiert nicht nur aus dem schnellen Wachstum der weltweiten Kunststoffproduktion, sie hängt auch mit dem bis zu 600 Jahre dauernden und damit überaus langen Zersetzungsprozess des Plastikabfalls[1] zusammen.

Allein die Primärschäden dieser Verschmutzung beziffert das United Nations Environment Programme (UNEP) mit jährlich 13 Mrd. USD (1). Diese Summe enthält jedoch noch nicht die Folge- und Langzeitschäden für Menschen, Tiere und Ökosysteme, die z.B. durch Mikroplastik in den Nahrungsketten verursacht werden, da sie weitgehend unerforscht und damit nicht quantifizierbar sind.

Sehr deutlich ist bereits heute, nicht zuletzt auch durch die starke Präsenz des Themas in den Medien, dass unmittelbar gehandelt werden muss. Dass bis heute keine wirksame Bekämpfung dieser globalen Problematik gelungen ist, hat insbesondere zwei Ursachen:

Ein privatwirtschaftliches unternehmerisches Eingreifen erfordert auf Sicht die realistische Chance auf Gewinnerzielung. Aktuell gibt es weder einen Markt für Meeresplastik noch sind die Qualitäten des in den Gewässern befindlichen Plastikmülls definierbar, ganz zu schweigen von bekannten und erprobten Lösungen zur effizienten, großflächigen Extraktion aus dem Wasser. Hinzu kommt, dass aufgrund des niedrigen Rohölpreisniveaus der Markt für Kunststoff-Sekundärrohstoffe nicht sonderlich attraktiv ist, und die Politik weltweit u.a. den verbindlichen Einsatz höherer Anteile von Recyclingmaterialien nicht konsequent vorantreibt. Insoweit erscheinen heute die Risiken für ein betriebswirtschaftlich sinnvolles Engagement zu hoch.

Aber auch ein effektives Handeln einzelner Regierungen ist nicht wahrscheinlich. Denn die Wasserqualität der Weltmeere ist in der ökonomischen Theorie ein globales Umweltgut, bei dem Trittbrettfahrer-Probleme ausschlaggebend sind: Zwar wird nahezu überall in der Welt die Bedeutung einer intakten Umwelt sowie müll- und schadstofffreier Ozeane anerkannt, aber wenn es darum geht, dass einzelne Länder wesentliche Beiträge und Engagements bringen sollen, so kommt schnell das Sankt-Florians-Prinzip ins Spiel. Ökonomisch rational handelnde Regierungen bekunden nicht ihre wahre Präferenz für dieses globale öffentliche Gut, sondern warten, dass andere vorangehen; sie also auch ohne eigene Beiträge in den Genuss sauberer Meere kommen.

[1] Die Begriffe Kunststoff und Plastik werden in dieser Studie synonym verwendet.

Durch öffentliche Träger organisierte Cleanups erfolgen allenfalls in den regionalen Küsten- und Strandbereichen, da hier eigene Interessen wie Tourismus- und Fischereiumsätze unmittelbar betroffen sind.

Insoweit ist es keine Überraschung, dass die Themen Vermüllung der Ozeane, Entwicklung von Lösungsansätzen und operative Reinigungsaktionen in erster Linie von NGOs besetzt werden. Prominentestes Beispiel ist "The Ocean Cleanup" (ab 2013) des Niederländers Boyan Slat, "4Ocean" der Australier Alex Schulze und Andrew Cooper (ab 2017) und auch "One Earth - One Ocean" (ab 2011) des Deutschen Günther Bonin.

Nachhaltige und wirkungsvolle Lösungen setzen an der Ursache der jeweiligen Problematik an.
Ein solcher Angriff an der Wurzel dieses Problems erfordert u.a. die weltweite Etablierung geschlossener Stoffkreisläufe, die Reduzierung oder Vermeidung kurzlebiger Kunststoffprodukte, die Entwicklung von Kunststoffen mit besseren Umwelteigenschaften und nicht zuletzt auch verbindliche und ehrgeizigere Recyclingquoten.

Wesentlich ist zudem die Aufklärung und Bewusstseinsbildung von Konsumenten und Produzenten hinsichtlich der Folgen ihres Konsumverhaltens und ihrer Produktionsweisen. Neben dieser Sensibilisierung für einen "richtigen" Umgang mit Kunststoffen ist der Aufbau von Abfallwirtschaftssystemen in Entwicklungs- und Schwellenländern nötig; also dort, wo 80 % des Plastikmülls in die Weltmeere eingetragen wird.

Bereits beim schnellen Überfliegen der genannten Ansätze zur Ursachenbekämpfung wird klar, dass diese Entwicklungen Jahre, wenn nicht Jahrzehnte erfordern. Zeit, die wir nicht haben!

Dies verdeutlicht die Dringlichkeit, unmittelbar mit der Umsetzung auch sehr langfristiger Ansätze zu beginnen. Außerdem ist gleichzeitig auf der Symptomseite zu arbeiten: Es muss versucht werden, die Millionen Tonnen Plastikmüll wieder aus dem Wasser zu holen – und bestenfalls in einen Recyclingkreislauf zu führen –, um die ökonomischen und ökologischen Schäden zu begrenzen.

Es muss uns bewusst sein, dass sich maritime Reinigungslösungen nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik ausschließlich auf oberflächennahes Makroplastik und nicht auf primäres Mikroplastik und bereits auf den Meeresgrund abgesunkene Kunststoffe beziehen können. Allerdings kann durch die Entnahme von Makroplastik eine Zersetzung zu sekundären Mikroplastik und ein Absinken verhindert werden.

The Ocean Cleanup hat sich als erste Organisation operativ der Verschmutzung der Hochsee gewidmet. Mit viel Geld und visionärer Technologie sollten kilometerlange – am Meeresgrund verankerte – Barrieren auf der Wasseroberfläche schwimmen und den durch die Strömung hineintreibenden

Plastikmüll des Great Pacific Garbage Patches einfangen. Da eine Verankerung am Meeresboden nicht möglich ist, wurde konzeptionell auf eine Schwimmbarriere gewechselt, die bauartbedingt schneller als der Müll treiben und auf diese Art das Plastik zusammentragen sollte. Im Januar 2019 wurden die Versuche gestoppt; die Barriere konnte das Plastik nicht aufhalten und das System hat den rauen Bedingungen auf hoher See nicht standgehalten und Schaden genommen.

So wichtig diese Pionierarbeit auch immer war, es drängt sich die Frage auf, warum nicht mit den Reinigungsarbeiten dort begonnen wurde, wo die Verschmutzungskonzentrationen am größten sind; wo Hotspots sich tatsächlich als riesige Müllteppiche darstellen und der Plastikmüll noch relativ "jung", großstückig und unversprödet ist. Hier sind Zugänglichkeit, Logistik und Energieaufwand der Müllentnahme beherrschbar: Dies ist vor allem der Fall in den Mündungsgebieten von südostasiatischen Top-Verschmutzer-Flüssen wie beispielsweise dem Yangtse, Ganges, Brantas oder Pasig und an den Küsten vor den Megacities.

Wesentlich in diesem Zusammenhang ist ebenfalls, dass das auf die Ozeane hinausgetriebene Plastik im Laufe der Zeit durch Wind, Wellen und Sonneneinstrahlung in immer kleinere Teile zerfällt und als sogenanntes sekundäres Mikroplastik durch organische Anhaftungen auf den Meeresboden absinkt. Heute ist davon auszugehen, dass sich dort bereits mehr als 90% des ozeanen Plastikmülls befindet. Dieser abgesunkene Müll ist den Meeren grundsätzlich nicht mehr entnehmbar, genauso wenig wie die Millionen Tonnen des primären Mikroplastiks beispielsweise aus Reifenabrieb oder von Textilfasern.

Die NGO 4Ocean agiert mit konventionellen Booten und viel Manpower mit Keschern, um lokal küstennahe Gewässer zu reinigen. Ein Ansatz, der funktioniert, gut und wichtig ist, aber mit insgesamt seit 2017 knapp 2.000 Tonnen gesammeltem Meeresmüll keine globale Problemlösung darstellen kann, zumal einer "Skalierung" über Manpower eher enge Grenzen gesetzt sind.

Der hier vorgelegte Lösungsansatz von One Earth – One Ocean heißt Maritime Müllabfuhr (kurz MM) und vereint Effizienz, Umweltnutzen und Wirtschaftlichkeit:

Meeresmüll wird von Sammelschiffen aufgenommen, zu dem im Bereich eines Müll-Hotspots liegenden Prozessschiff gebracht, um dort sortiert und zu marktfähigen Ballen gepresst zu werden.

Das Pilotsystem zur Maritimen Müllabfuhr arbeitet fokussiert in den o.g. küstennahen Haupteintragsgebieten. Unter der Prämisse "Pragmatismus statt Science-Fiction" bietet es ein effizientes Reinigungs- und Kunststoffverwertungssystem auf der Basis skalierbarer, industrietauglicher und verfügbarer Technik an.

Warum sollte ein Zusammenführen der Branchen "Schiff" und "Recycling" für unsere Problemstellung nicht gelingen? Beide Sektoren bieten in Deutschland technische Lösungen auf höchstem Niveau.

Die Maritime Müllabfuhr greift auf funktionierende Maschinen- und Anlagen zum Sortieren und Verwerten des Meeresplastiks zurück und nutzt dafür einen geeigneten 2nd-Hand-Mehrzweckfrachter als Prozess- und Mutterschiff: den SeeElefant. Mit den Typen SeeKuh und SeeHamster hat OEOO bereits Müllsammelboote im operativen Einsatz.

Durch den Rückgriff auf Standards im Maschinenbereich und das Gebrauchtschiff liegen die Investitionskosten für das bis 2028 laufende Pilotprojekt mit gut Mio. EUR 11 in einem vertretbaren Rahmen.

Wir wollen mit dieser Untersuchung das eingangs beschriebene "Dilemma des Abwartens" bzw. das drohende Staats- und Marktversagen im Spannungsfeld der privatwirtschaftlich gefürchteten hohen Risiken und staatlicher Neigung zum Trittbrettfahren auflösen.

Die identifizierten Projektrisiken sind beherrschbar und die unterlegten Annahmen des Business Modells – insbesondere auf der Leistungsseite – müssen weiter validiert werden. Gemäß unserer Prüfung bietet das hier vorgestellte Pilotsystem jedoch nicht nur bis heute unerreichte Meeresmüll-Sammelmengen, sondern auch sehr gute Chancen auf einen mittelfristigen betriebswirtschaftlichen Erfolg.

Bei erfolgreichem Betrieb des Pilotsystems kann es als Blaupause für weitere Systeme genutzt werden, und auch die Skalierung der Sammel- und Verarbeitungsmengen innerhalb eines Systems ist durch die im Containerraster verbauten Anlagen möglich.

Weitere Skalierungsmöglichkeiten liegen in der zusätzlichen Entgegennahme und Verarbeitung von landseitigem Kunststoffmüll. Dies erscheint sinnvoll, weil gerade die Metropolen an den Küsten Asiens mit begrenzter und oft erschöpfter Deponiekapazität zu kämpfen haben, bei gleichzeitig fehlenden Recyclingoptionen und hohem, steigendem Plastikmüllaufkommen. Allein in Hongkong fallen täglich mehr als 2.000 Tonnen Plastikmüll an (2).

Nach zweijähriger Forschungsarbeit sind wir fest davon überzeugt, eine tragfähige Lösung erarbeitet zu haben, die den gesammelten Meeresmüll in den Wertstoffkreislauf zurückführt. Wir stellen fest, dass die vorliegende Machbarkeitsstudie die technische, wirtschaftliche und rechtliche Umsetzbarkeit des Pilotprojektes SeeElefant – sowie der zugehörigen Subsysteme – bestätigt.

Die täglichen Sammel- und Verarbeitungsmengen sollen von 15 Tonnen Meeresplastik im Jahr 2021 kontinuierlich auf bis zu 40 Tonnen im Jahr 2026 gesteigert werden. Bei einem globalen Betrieb von beispielsweise 30 hochvolumigen SeeElefant-Systemen an entsprechenden Hotspots kann der globale

Eintrag von technisch zugänglichem Meeresplastik bis 2030 um ca. 500.000 Tonnen p.a. bzw. etwa 10% reduziert werden. Das ist ein Anfang!

Aber nicht nur die Skalierung bietet der Maritimen Müllabfuhr zukünftig gute Chancen der Weiterentwicklung, sondern auch eine mögliche Integration neuer Technologien. OEOO unterstützt die Entwicklung von industrietauglichen Plastic-To-Fuel-Anlagen, die über eine Depolymerisation von Polypropylen (PP)- und Polyethylen (PE)-Material heizölähnliche Destillate herstellt. Bereits in 2 erfolgreichen Tests konnten - vorerst im Labormaßstab - Meeresplastik und auch sogenannte „Geisternetze“ rückverölt werden.

Die jährlichen Gesamtkosten für den Betrieb des SeeElefant-Pilotsystems belaufen sich im ersten vollen Geschäftsjahr auf Mio. EUR 1,5 und steigen mengenabhängig, jedoch unterproportional, bis auf ca. Mio. EUR 4,2 bei einer Sammel- und Verarbeitungsmenge von 40 Tonnen täglich, bzw. - bei 320 unterstellten Betriebstagen im Jahr - auf 12.800 Tonnen p.a. in 2026.

Die Analyse der Kostenseite zeigt, dass das Müll-Abfischen – inkl. Sortieren und Verpressen – einer Tonne Meeresplastik bei gut EUR 300 liegen wird. Bei ausschließlicher Betrachtung der Systemkosten ohne Sortieren und Verpressen erwarten wir Kosten je abgefischter Tonne Meeresplastik von knapp EUR 200.

Gemessen an dem vom UNEP bezifferten jährlichen Primärschaden von 13 Milliarden USD, die durch Meeresplastik entstehen, erscheinen die o.g. Kosten der Müllextraktion aus dem Wasser volkswirtschaftlich vertretbar:

Beziehen wir die o.g. Schadenssumme auf den gesamten Bestandsmüll von 150 Mio. Tonnen, so liegen die Schäden je Tonne bei knapp EUR 90. Hinzuzurechnen wären alle weiteren negativen externen Effekte der Vermüllung inklusive der heute unbekannten - aber wesentlichen - Langzeitschäden für Menschen, Tiere und Ökosysteme. Schnell können die Schäden dann einen Wert erreichen, der deutlich größer ist als die Kosten der Entnahme.

Bisher haben wir uns lediglich die Kostenseite des Modells angesehen. Auf der Leistungsseite stehen Umsätze aus dem Verkauf sortenreiner Meeresplastik-Ballen. Es ist gut denkbar, dass ein spezieller Nischenmarkt mit Preisaufschlägen für diese Sekundärrohstoffe entstehen wird.

Selbst wenn die Meeresplastik-Ballen auf den regulären Sekundärrohstoffmärkten zu handeln sind, erscheinen Preise von EUR 200 bis EUR 300 je Tonne bereits heute durchaus möglich. Und damit kommt man in Sichtweite der Kostendeckung und des Break-Even für ein SeeElefant-System.

Zudem gehen wir von der Zahlungsbereitschaft derjenigen Küstenanrainerstaaten aus, deren Gewässer das SeeElefant-System reinigt. Denn die Küstenregionen profitieren direkt und unmittelbar

durch eine Stärkung des Tourismus infolge saubererer Strände, einer Verringerung von Schäden für die lokale Fischerei und zusätzlichen Arbeitsplätzen im Recyclingsektor.

Gelingt es, auch diese Reinigungs-Dienstleistungen angemessen zu fakturieren, so liegen die Chancen auf ein lohnendes Geschäftsmodell - ohne weitere Transferleistungen - nach unserer Berechnung gut.

Für die Leistungsseite einer globalen Maritimen Müllabfuhr ist ein Blick auf die potenzielle Marktgröße interessant: Gehen wir der Einfachheit halber lediglich von den jährlichen Plastikeintragsmengen – die ohne Mikroplastik bei ca. 10 Mio. Tonnen liegen – aus und bewerten die nicht aufbereitete Tonne konservativ mit 100 EUR, so gelangen wir bereits heute zu einer möglichen Marktgröße von 1,0 Mrd. EUR. Durch die prognostizierten deutlichen Wachstumsraten von Kunststoffproduktion und Kunststoffmüll wird sich das Angebot an Meeresplastik in wenigen Jahren voraussichtlich verdoppeln. Spannend wird die Entwicklung der Nachfrageseite sein. Dabei ist entscheidend, inwieweit es Forschung und Industrie mittelfristig gelingt, effiziente und nachhaltige Verwertungsoptionen für unterschiedliche Qualitäten von Meeresplastik aufzuzeigen.

Rechtliche Schwierigkeiten beim Umbau und der Nutzungsänderung des 2nd-Hand-Mehrzweckfrachters sind nicht zu erwarten. Die Deutsche Flagge hat als zuständige Behörde prinzipiell Genehmigungsfähigkeit signalisiert gegeben. Der geplante Umbau mit Integration der Anlagen in den Laderaum und Anpassung von Lukendeckeln wird nicht als "Major Conversion" eingestuft, so dass der Zeitbedarf und Aufwand für Tests und z.T. neue Schiffsdokumente überschaubar bleibt.

Hinsichtlich der Arbeiten des Pilotsystems vor Ort in Meeresmüll-Hotspots müssen zwingend Genehmigungen des jeweiligen Anrainerstaates eingeholt werden, da die Operationsgebiete innerhalb der 12 Seemeilen-Zone liegen, in denen jeweils nationales Recht gilt.

Für die Umsetzung und ggf. auch für den Betrieb des Pilotsystems bietet sich der Aufbau einer Projektgesellschaft an. So können die Managementkapazitäten, die nötigen Finanzmittel und das Know-how der Maschinenhersteller akquiriert werden, um dieses Projekt mit industriellen Partnern gemeinsam stemmen zu können.

Im Business-Modell ist eine vereinfachte Beispiel-Finanzierung hinterlegt. Sie unterstellt, dass zur Finanzierung der Investitionen ein KfW-Förderdarlehen (BMU Umweltinnovationsprogramm 230) aufgenommen werden kann. Bei 30% Investitionskostenzuschuss und 30 % Eigenmitteln würden Mio. EUR 5,0 bei einem Zinssatz von 6% langfristig zu finanzieren sein.

Ein Betriebsmittelkredit über Mio. EUR 1,7, der insbesondere die Verluste der Hochlaufphase finanziert, ist mit einer Verzinsung i.H.v. 4 % eingerechnet. Die Annuitäten für beide Darlehen liegen

zusammen p.a. bei knapp TEUR 700 p.a., der Kapitaldienstdeckungsgrad übersteigt ab 2022 dauerhaft den Wert von 1,5.

Bei Betrachtung der saldierten Ein- und Auszahlungen zeigt sich am Periodenende des Planungszeitraums in 2028 ein Cash-Bestand i.H.v. Mio. EUR. 10. Insoweit sind für den Folgezeitraum entsprechende Ersatzinvestitionen ohne weitere Kreditaufnahmen möglich.

Nachdem die Machbarkeitsprüfungen gezeigt haben, dass eine erfolgreiche Durchführung des Projektes möglich ist, empfehlen wir, unmittelbar mit Meilenstein 5 der Projekt Roadmap – Feldversuche an Meeresmüll Hotspots zur Evaluierung der Abfischtechnik und -Ausrüstung – fortzufahren. Parallel zur operativen Detailplanung dieses Meilensteins ist nun die Suche nach weiteren Partnern und Investoren wichtig, um zügig alle benötigten Kompetenzfelder für den Aufbau und späteren Betrieb des Pilotsystems abzudecken und eine Gesamtfinanzierung aufzubauen.

Wir sind sicher, dass der hier vorgeschlagene Weg ein guter Einstieg in die professionelle und großflächige Gewässerreinigung ist: Eine Lösung des Problems der oberflächennahen Makroplastik-Verschmutzung ist durch die SeeElefant-Systeme der Maritimen Müllabfuhr möglich.

Eine nicht nur theoretisch dokumentierte Lösung, sondern ein technisch erfolgreiches Pilotsystem im Einsatz wird schnell weitere Unterstützer mobilisieren und den Aufbau zusätzlicher Reinigungskapazitäten beschleunigen. Damit besteht eine realistische Chance, dass 2050 eben doch mehr Fisch als Plastik in unseren Gewässern schwimmt.

1. Vorwort

Die Vermüllung der Ozeane schreitet kontinuierlich voran. Es ist davon auszugehen, dass sich bereits etwa 150 Mio. Tonnen Meeresmüll in unseren Ozeanen befinden bei zusätzlichen jährlichen Neu-Einträgen zwischen 5 und 12 Mio. Tonnen. Mehr als 80% des Meeresmülls sind Kunststoffe (3), (4) .

Die heutige weltweite Plastikproduktion i.H.v. 380 Mio. Tonnen pro Jahr wird sich voraussichtlich bereits in den kommenden 20 Jahren verdoppelt haben (5). Es liegt auf der Hand, dass die Mülleintrags- und Bestandsmengen ebenfalls sehr deutlich anwachsen werden.

Die Auswirkungen und Schäden für Ökosysteme, Menschen, Tiere und Pflanzen sind gravierend und vielfältig, jedoch weitgehend unerforscht und kaum vollständig quantifizierbar - insbesondere in Bezug auf mögliche Langzeitauswirkungen

Es besteht somit dringender Handlungsbedarf, den Eintrag von Abfällen in die Weltmeere in einem ersten Schritt zu verlangsamen, dann zu reduzieren und schlussendlich zu stoppen.

Ein solcher weltweiter Veränderungsprozess dauert grundsätzlich Jahre bzw. Jahrzehnte und benötigt als sogenannte konzertierte Aktion unterschiedlichste Schwerpunktthemen. Im Rahmen der Studie "Polyproblem - Kunststoff und Umwelt" (6), herausgegeben 2019 von der Röchling Stiftung und Beyond Philanthropy, werden die wesentlichen Ansätze wie folgt zusammengefasst:

1. Etablierung geschlossener Stoffkreisläufe und einer möglichst vollständigen Kreislaufwirtschaft
2. Vermeidung und Reduzierung von (kurzlebigen) Kunststoffprodukten
3. Innovationen im Bereich der Verbesserung von Umwelteigenschaften von Kunststoffen und alternativen Materialien
4. Verlängerte Nutzungsdauer von Kunststoffprodukten
5. Verbesserte Abfallwirtschaftssysteme vor allem in Entwicklungs- und Schwellenländern
6. Erhöhung der Recyclingquoten
7. Cleanup-Maßnahmen

Zur Unterstützung und Implementierung dieser Ansätze ist zudem eine umfassende Aufklärungs- und Bildungsarbeit notwendig, die langfristig zu Bewusstseins- und Verhaltensänderungen im Umgang mit den knappen natürlichen Ressourcen und somit dem Schutz der Lebensräume und der Umwelt führt.

Die vorliegende Machbarkeitsstudie beschäftigt sich mit einem Teilaspekt des letzten Listenpunktes, nämlich mit der Realisierbarkeit einer Maritimen Müllabfuhr bzw. speziell mit der Realisierbarkeit von kontinuierlichen maritimen Cleanups in küstennahen Plastikmüll-Hotspots:

Mit speziellen Müllsammelbooten (Projektnamen SeeKuh, SeeHamster) sollen große Mengen Meeresmüll aufgenommen und an ein Verarbeitungsschiff (Projektname SeeElefant) übergeben werden. Das bis 2021 umzusetzende Pilotsystem des Verarbeitungsschiffes sieht vor, den Meeresmüll zu sortieren und die hochwertigen Kunststofffraktionen zu sortenreiner Ballenware zu prozessieren. Minderwertige und nicht sortierbare Kunststoffe werden thermisch verwertet, so dass ein Teil der für den Betrieb der Maritimen Müllabfuhr benötigten Energie selbst generiert werden kann.

Bei der Entwicklung des Pilotsystems zur Maritimen Müllabfuhr wurde strikt darauf geachtet, für das Pilotsystem ausschließlich auf bereits heute verfügbare, industrietaugliche Techniken zurückzugreifen, d.h. im Rahmen eines pragmatischen Ansatzes technische und finanzielle Risiken zu vermeiden und Umsetzungsgeschwindigkeit zu gewinnen.

In einer weiteren Ausbaustufe sollen zur Effizienzsteigerung komplexere, stärker automatisierte Sortierprozesse für den maritimen Müll integriert werden, sowie - bei Verfügbarkeit - industrietaugliche Verölungsanlagen zur Herstellung von dieselähnlichen Kraftstoffen aus PP- und PE-Meeresplastik.

Eine für die Zukunft ebenfalls interessante weiterführende Fragestellung ist die Erhöhung der Wertschöpfung auf dem Verarbeitungsschiff durch einen nachfolgenden, technisch relativ einfachen Zerkleinerungsschritt oder die etwas komplexere Granulierung des Plastikmülls.

Neben einem Anstieg der Produkt-Wertigkeit infolge einer Zerkleinerung oder Granulierung sinkt gleichzeitig der Raumbedarf auf dem Prozessschiff, so dass deutlich weniger Löschvorgänge - also Hafentransfers - durchzuführen sind. Auf diese Weise können neben der Umsatzsteigerung Treibstoff eingespart und Arbeits- bzw. Prozesstage gewonnen werden.

Mit den vereinseigenen Müll-Sammelkatamaranen der Typen SeeHamster und SeeKuh konnte bereits gezeigt werden, dass die Müllentnahme aus Binnen- und Küstengewässern möglich ist.

Dementsprechend untersucht diese Studie insbesondere die technischen Subsysteme der geplanten Maritimen Müllabfuhr wie Schiffs- und on-board-Anlagenkonzepte, sowie ihre Schnittstellen zu den Müllsammel-Wasserfahrzeugen einerseits und der Ver- und Entsorgung des Mutterschiffs "SeeElefant" andererseits. Wichtig ist zudem, dass das SeeElefant-Pilotsystem dieser Studie ausgelegt ist für den Betrieb im Glattwasser, also in küstennahen Müll-Hotspots und Mündungsbereichen von Top-Verschmutzer-Flüssen. Diese Operationsgebiete haben entscheidende technische, wirtschaftliche und ökologische Vorteile gegenüber einem Hochseebetrieb:

- „Angriff“ an den Quellen mit den höchsten Plastikmüll-Konzentrationen: 80% des Plastikeintrages gelangt über Küstengebiete von Megacitys und Flüsse ins Meer, Verhinderung des Eintrages bzw. Heraustreibens auf die offene See
- Kunststoffteile sind noch groß, treiben an der Wasseroberfläche. Auf offenem Meer zerfällt der herausgetriebene Müll wellen- und witterungsbedingt in kleine Teile, die in Folge des Ansetzens von Organik absinken. Schätzungen zufolge sind mindestens 90% des maritimen Plastikmülls auf offener See am Meeresgrund und damit für eine Entnahme heutiger Technik nicht mehr zugänglich
- Geringere technische Komplexität bei Glattwasserbetrieb mit Wellenhöhen von max. 1,5 m
- Einfache Lokalisierung mittels App (vgl. DB-App) und Drohnen bzw. Inaugenscheinnahme vor Ort / später Satellitenortung
- Höhere Sicherheit, da Ankern im Glattwasser möglich ist
- Deutlich geringere Betriebskosten aufgrund des überwiegend stationären Betriebes des SeeElefanten in Küsten- und Hafennähe
- Ökologische Vorteile, aufgrund geringerer Emissionen und Treibstoffverbräuche

Wesentlich ist, dass das Untersuchungsobjekt ein Pilotsystem ist, das nach erfolgreichem Probebetrieb als Blaupause für weitere z.T. komplexere und/oder größere Systeme dienen kann. Insoweit hat das Thema Skalierbarkeit grundsätzlich einen hohen Stellenwert und ist als conditio sine qua non einzustufen.

Neben den genannten technischen Prüfungen werden in weiteren Schwerpunkten auch Kernthemen der ökonomischen, rechtliche und organisatorischen Machbarkeit untersucht.

Im Vordergrund der ökonomischen Fragestellungen stehen Überlegungen zur mittelfristigen Profitabilität eines Business Modells zum Pilotsystem der Maritimen Müllabfuhr. Während die Kosten- und Auszahlungsseite des OEOO-Systemkonzepts relativ präzise quantifizierbar ist, liegen Unsicherheiten aktuell auf der Leistungs- und Einzahlungsseite:

- Welche maritimen Müllmengen in welchen Zusammensetzungen und welchen Qualitäten finden sich an welchen Hotspots?
- Ist der Markt bereit, für Meeresplastik und/oder sog. "social plastic" einen Aufschlag und wenn ja, in welcher Höhe zu zahlen?

- Wie werden sich die Sekundarmärkte für Rezyklate entwickeln? Aufgrund der langfristigen Verknappung der Ölreserven und dem damit einhergehende Preisanstieg werden auch Recycling-Kunststoffe langfristig teurer. Wie wird sich die Situation jedoch kurz- und mittelfristig darstellen?
- Besteht eine Zahlungsbereitschaft - und wenn ja, in welcher Höhe - bei den Verwaltungen und Regierungen der Küstenanrainer für die Reinigung der strandnahen Gewässer?

Für die ökonomische Abbildung des Pilotsystems werden jeweils geeignete Annahmen formuliert. Diese Annahmen sind im Business Modell und im Abschnitt 3.8 offengelegt.

Hinsichtlich der rechtlichen Aspekte sind die Vorschriften des deutschen Flaggenstaates und der Klassifikationsgesellschaft GL relevant. Wesentliche Prüfpunkte beziehen sich auf den Umbau eines Multipurpose-Schiffes zum Prozessschiff "SeeElefant" und seinem Betrieb mit Arbeitsraum, der aus Laderaum entwickelt wird und entsprechenden weiterführenden Themen wie Fluchtwege, Brandschutz und Arbeitsplatzgestaltung.

Weiterhin sind die internationalen Normen der IMO (International Maritime Organization) und MARPOL (Internationales Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch Schiffe) im Hinblick auf die Kompatibilität mit dem SeeElefant bzw. dem System Maritime Müllabfuhr und der Umwelt zu prüfen.

Auf einige Fragen werden die Regelwerke noch keine konkreten Antworten liefern können, weil die Zusammenführung des maritimen Sektors mit dem Recycling-Sektor neu ist.

Zudem sind Fragen zu klären, wem der küstennahe Müll gehört, bzw. ob und wer ggf. entsprechende Eigentumsrechte geltend machen kann.

1.1. Machbarkeitsstudie als Entscheidungsinstrument

Machbarkeit, Kosten, Nutzen, Chancen und Risiken sind die wesentlichen Kriterien, nach denen über die Durchführung eines Projekts entschieden wird. Stellt sich heraus, dass ein Projekt durchführbar ist, kann unmittelbar mit der detaillierten Planung und Umsetzung begonnen werden.

Eine Machbarkeitsstudie ist insoweit die Analyse eines Plans oder eines Vorschlags, um herauszufinden, ob und wie sich dieser durchführen lässt. Die Methode wird häufig im Projektmanagement verwendet und bezieht mitunter mögliche Alternativen mit ein. Insoweit finden sich in dieser Studie neben den umfassenden Ausführungen zur schiffsgebundenen Lösung auch Betrachtungen zu einem Ponton sowie Prüfungen zur alternativen Verwertung der Kunststoffe durch die Verölung oder der Herstellung eines 3D-Druck Filaments.

Überprüft wird dabei, ob mit dem jeweils betrachteten Lösungsansatz die Projektergebnisse unter den gegebenen Rahmenbedingungen erreicht werden können.

Gemäß Auftrag der Röchling Stiftung GmbH sind die zu untersuchenden Kategorien der Machbarkeit folgendermaßen festgelegt:

- Technische Machbarkeit
- Wirtschaftliche Machbarkeit
- Rechtliche Machbarkeit

Aufgrund der Komplexität des Projekts und der beschränkten Managementkapazitäten des Vereins als Projektträger enthält diese Studie unter Gliederungspunkt 3.7 zudem Ausführungen zur

- Organisatorischen Machbarkeit

N.B.: Die wirtschaftliche Beurteilung, ob also die Projektergebnisse unter Berücksichtigung der Kosten den erhofften Nutzen für Auftraggeber und/oder Investoren bringen, ist nicht typischer Inhalt einer Machbarkeitsstudie, wird hier jedoch im Rahmen des Business-Modells ebenfalls erläutert.

1.2. Aufgabenstellung der Fördervereinbarung der Röchling Stiftung und Abgrenzungen

Die Fördervereinbarung zwischen der Röchling Stiftung GmbH und One Earth – One Ocean e.V. wurde im Mai 2018 abgeschlossen und basiert auf dem Förderantrag „Projekt-Planungsteam SeeElefant“ vom 25.02.2018. Der Förderantrag ist dem CD Datenpaket dieser Studie beigefügt.

"Ziel [...] ist die Erarbeitung eines Detailkonzepts, das alle Fragen der technischen Machbarkeit, der Wirtschaftlichkeit und der rechtlichen Umsetzbarkeit des SeeElefanten vollständig auf Grundlage belegter Fakten beantwortet."

Der Antrag zur Fördervereinbarung beschreibt die konkreten Fragestellungen anhand von 9 wesentlichen Themen:

(1) Auswahl der Schiffe für die Funktionen SeeElefant und SeeFarmer

(2) Planung der entsprechenden Änderungs- und Anpassungsarbeiten für die Zwecke der Maritimen Müllabfuhr

(3) Planung und Durchführung von Versuchen mit unterschiedlichen Samples von gefischtem Müll, um Grob-Spezifikationen zur erforderlichen Anlagen-, Prozess- und Netztechnik zu erarbeiten

(4) Auswahl der Anlagentechnik und Peripherie zur Trocknung, Sortierung, Ballierung, Zerkleinerung und Verölung des maritimen Plastikmülls sowie Anpassung auf spezielle Einsatzbedingungen

(5) Technische „Zerlegung“ der Anlagentechnik in einen sog. TEU-Standard-Baukasten zur Installation auf einem Containerschiff und zum späteren Austausch mit Modulen auf anderen Systemen „SeeElefant“

(6) Konstruktive Anpassung/“Verschlankung“ der Seekuh zur Eignung für eine Kleinserienfertigung

(7) Einholung und Vorverhandlung der Preise für die Schiffe und das geplante Equipment

(8) Ausarbeitung des Business-Plans auf einer niedrigen Aggregationsstufe mit exakten Leistungen, Kosten und Cash-Flows unter Austausch der heutigen Annahmen durch konkrete Planungen, Konstruktionen und Ergebnisse der Projektgruppe.

(9) Investorensuche gemeinsam mit OEOO-Vorstand Günther Bonin

Im Rahmen von Voruntersuchungen - und auch im Rahmen der operativen Projektarbeit zur Machbarkeitsstudie - hat es hinsichtlich der Gewichtung, Bewertung und Durchführung der o.g. Punkte Verschiebungen gegeben und neue Punkte sind hinzugekommen:

zu (1) Untersuchungsobjekt für das Pilotsystem sind die Küstengewässer und Flussmündungen an Vermüllungs-Hotspots. Innerhalb dieses System-Sets kann - ohne Einschränkungen bei Funktion und Produktivität hinnehmen zu müssen - auf den sog. SeeFarmer verzichtet werden. Der SeeFarmer ist vorgesehen für großflächige Hochsee-Reinigungsaktionen als Bindeglied, das den Müll von den sammelnden SeeKühen übernimmt und an das Mutterschiff SeeElefant übergibt.

Für küstennahe Hotspot-Reinigungen ist die Funktion des SeeFarmers nicht nötig; die SeeKühe können den gesammelten Meeresmüll direkt an das mit Kranen ausgestattete Mehrzweckfrachtschiff SeeElefant übergeben. Insoweit enthält diese Machbarkeitsstudie keine weiteren Ausführungen zu Konzeption und Systemschnittstellen eines SeeFarmers, sowie seiner Ver- und Entsorgung.

zu (2) Der SeeElefant basiert auf einem 2nd-Hand Mehrzweckfrachter. Die entsprechenden Anpassungs- und Umbaumaßnahmen werden inkl. der rechtlichen Implikationen unter Gliederungspunkt 3.4.1 dargestellt.

zu (3) Die Grob-Planung hinsichtlich der Feldversuche und Generierung repräsentativer Meeresmüll-Samples ist erfolgt, die Durchführung wurde im Rahmen der "Roadmap Maritime Müllabfuhr" - vgl. Abschnitt 3.8 - als separater Meilenstein definiert und bepreist. Dies ist erforderlich, da die Kosten mit ca. TEUR 200 ein eigenständiges Budget erfordern. Insbesondere die Beschaffung der nötigen 20-40 Tonnen repräsentativen maritimen Mülles für Maschinentests bei den Anlagenherstellern ist in diesem Zusammenhang sehr aufwändig.

Insoweit beziehen sich die in dieser Studie erarbeiteten Maschinenspezifikationen auf plausible Annahmen zu Zusammensetzung, Qualitäten, Größenverteilungen und Gewichten des erwarteten Mülls und nicht auf empirische Fakten. Dieser Nachteil erscheint gravierender als er sich heute objektiv darstellt: Durch das Prinzip der Positiv-Sortierung (nur die Fraktionen, die nicht ins Meer gehören, werden prozessiert) und durch eine manuelle Vorsortierung kann sichergestellt werden, dass dem maschinellen Plastikabfall-Sortierkreislauf tatsächlich nur die Fraktionen zugeführt werden, die technisch beherrscht werden.

zu (4) Die Anlagentechnik findet sich ausführlich beschrieben unter Gliederungspunkt 3.3.

Die Thematik Verölung / Plastic-To-Fuel stellt sich zum aktuellen Zeitpunkt als nicht marktreif dar. Insoweit werden im Folgenden - und detailliert unter dem Gliederungspunkt 3.5.2.1 - lediglich Informationen zum Stand der Technik, der Time to Market-Prognose, den aktuellen Problemen und möglichen Lösungsansätzen erörtert.

OEOO hält an der Verölungstechnologie zur Verarbeitung von maritimen PP und PE-Fraktionen fest. Das heißt konkret, dass laufende Versuchsprojekte seitens unserer Spezialisten kontinuierlich begleitet

und mit Meeresmüll-Proben zu Testzwecken versorgt werden. Beispielhaft seien hier die erfolgreiche Verölung von ca. 10 kg maritimen Nordsee-Mülls am 19.06.2018 sowie die erfolgreiche Verölung von Fischernetzen am 25.02.2019 auf der Testanlage Biofabrik White Refinery GmbH in Dresden genannt.

Aber ein Fehlen der Plastic-To-Fuel-Anlagen im Pilotsystem ist kein sogenannter Show-Stopper, da sich die maritimen PE- und PP-Fraktionen nach der Sortierung in marktfähige, hochwertige Ballenware verarbeiten lassen.

Entscheidend ist ein möglichst zügiger Beginn der Aufräumarbeiten; also die Entnahme des Abfallplastiks aus dem Meer. Hinsichtlich der Verarbeitung ist immer - wenn möglich - die stoffliche Verwertung der thermischen vorzuziehen; insofern zeigt unser Ansatz für den aktuellen Piloten die Pressung von sortenreinen Ballen, die bei Verfügbarkeit einer industrietauglichen Verölung um entsprechende Aggregate ergänzt wird. Die Stellplätze für die Plastic-To-Fuel-Anlagen sind vorhanden und die Schnittstellen zum aktuellen Sortierkreislauf sind für eine zukünftige Integration geplant.

Das Umweltbundesamt hat 2018 zur Thematik „Evaluation neuer Entwicklungen bei alternativen thermischen Abfallbehandlungsanlagen mit dem Schwerpunkt Verölungsverfahren“ eine umfassende Studie erstellt (siehe CD Datenpaket). Auszüge und Vorab-Ergebnisse wurden in einem IFAT-Vortrag im Mai 2018 in München thematisiert. Die Techniker und Studienleiter des UBA (Prof. Quicker und Dr. Pohl) hatten freien Zugang zu den Anlagen LOGOIL und DIESELWEST und konnten detaillierte Prüfungen vornehmen.

Die wichtigsten Erkenntnisse der Studie sind im Folgenden zusammengefasst:

- Eine grundsätzliche Eignung der Verfahren für getrennt gesammelte Kunststoffe wie PP und PE wurde nicht in Frage gestellt; eine Eignung dieses Verfahrens für gemischten Müll wurde kategorisch ausgeschlossen.
- Offene Fragen müssen zwingend durch Langzeitversuche > 2 Wochen analysiert werden. Insbesondere aufgrund der Füllung von Evakuierungsbehälter und Reaktor mit Anfahr-/Startöl konnten bei den durchgeführten Versuchen keine plausiblen Massen- und Energiebilanzen erstellt werden.
- Die Ausbeute, abhängig vom Heizwert des eingehenden Ersatzbrennstoffes (EBS), lag in den Versuchen < 50 %. Aus 1000 kg Einsatzstoff bekam das Team knapp 400 kg Öl. Die Qualität des Öls ist nicht direkt in üblichen Motoren verwendbar, sondern müsste ggf. nochmals durch einen Raffinerie-Prozess aufbereitet werden.

Daher sind nach Auffassung der Studie folgende Fragen zur Verölung von Kunststoffen unbeantwortet:

a. Wie hoch und in welcher Form muss der Einsatzstoff aufbereitet werden?
b. Welchen Nachbehandlungs- bzw. Raffinerie-Prozess muss das Produktöl durchlaufen, um in Motoren eingesetzt werden zu können?
c. Da die Reaktionsgeschwindigkeiten bei der Umwandlung der Einsatzstoffe unklar sind, gibt es auch keine Aussagen zur Skalierbarkeit der Anlage.
d. Die Studie bezweifelt, dass die eingesetzten Katalysatoren einen Einfluss haben bzw. nötig sind.
e. Wie sehen die entsprechenden Bilanzen aus zu Massen, Energie etc.?
f. Wo bleiben während des Prozesses die Schadstoffe wie Chlor, Schwermetalle, Schwefel etc.?
g. Wie hoch sind ggf. die Instandhaltungsaufwendungen?
h. Aus den offenen Fragen 1-7 folgt, dass zur Wirtschaftlichkeit der Anlagen keine Aussagen gemacht werden können.

zu (5) Die modulare Bauweise der Anlagentechnik in einen Standard-TEU-Baukasten wurde konsequent umgesetzt und entsprechend geplant.

zu (6) Für die SeeKuh gibt es ein entsprechendes Ergänzungskonzept, das zudem eine höhere Fang-Effizienz durch einen kontinuierlichen Sammelprozess mittels Förderband zeigt.

zu (7) Zu Mutterschiff und Ausrüstungen gibt es eine belastbare Preisindikation.

zu (8) Ein Business-Plan ist erarbeitet und wird in Abschnitt 3.8 vorgestellt. Im CD Datenpaket dieser Studie ist das Excel-Datenmodell beigefügt.

zu (9) Die Investorensuche zur Finanzierung des Pilotsystems läuft parallel unter Führung des OEOO-Vorstands. Zwischenergebnisse liegen vor, sind jedoch nicht Inhalt dieser Studie.

<u>Abgrenzungen</u>

Auch wenn die Aufgabenstellung mit "Machbarkeitsstudie SeeElefant" definiert ist, müssen auch die Schnittstellen zur Sammeltechnik und Logistik auf Funktionsfähigkeit untersucht werden, sowie die Effizienz der Sammeltechnik/SeeKühe.

Denn eine fehlerhaft projektierte maritime Sammeltechnik führt zu unzureichenden Verarbeitungsmengen auf dem Mutterschiff und damit zu lediglich schwachen Erträgen ohne Chancen, einen Break-Even auf Sicht zu erreichen.

1.3. Ziele der Machbarkeitsstudie

Das Ziel der Machbarkeitsstudie ist der theoretische Nachweis zur technischen, finanziellen und rechtlichen Umsetzbarkeit des Pilotsystems SeeElefant inkl. der Schnittstellen und Randthemen. Nach einem positiven Ergebnis der Machbarkeitsstudie kann planmäßig weitergearbeitet und mit der technischen und organisatorischen Detailplanung für die Implementierung begonnen werden.

Diese Projektstudie soll eine belastbare Entscheidungsgrundlage bilden für den geeignetsten Lösungsweg zu diesem Vorhaben.

Potenzielle Investoren und Förderer können aus dieser Studie Informationen zu Wirtschaftlichkeit, Marktfähigkeit, Investitions- und Betriebskosten sowie Risiken und Zeitplanung bzw. Zeitrahmen entnehmen.

Die o.g. Daten zur Wirtschaftlichkeit sind dabei im Rahmen des 10-Jahres Business-Models zugänglich. Anhand dieser Analysen, Daten und logischen Verknüpfungen sind schlussendlich die Annahmen überprüf- und veränderbar, so dass unterschiedliche Kosten-, Investitions- und Leistungsszenarien simuliert werden können.

So werden die wesentlichen "Stellschrauben" des Systems für GuV und Liquidität deutlich. Potenzielle Investoren können beispielsweise eigene Annahmen zur Entwicklung der Preise für Meeresplastik-Sekundärrohstoffe abbilden und die entsprechende Veränderung der Ergebnisse prüfen, so dass mehr Transparenz im Entscheidungsprozess entsteht.

1.4. Methodik und Bewertungskriterien

Das Projekt SeeElefant wird im Rahmen dieser Studie technisch detailliert. Diese Detaillierung bezieht sich gemäß Gliederung auf alle wesentlichen Bereiche wie die Schiffstechnik, Schiffsbetriebstechnik, Umbaumaßnahmen und die on-board-Anlagentechnik zum Sortieren und Verarbeiten des Meeresmülls.

Da eine geprüfte Machbarkeit ausschließlich hinsichtlich des Mutterschiffs keine Aussage zur Funktionsfähigkeit des Gesamtprojekts zulässt, werden zusätzlich die Subsysteme aus den Bereichen "Orten und Sammeln des maritimen Mülls", sowie die entsprechenden Rahmenbedingungen und Schnittstellen vorgestellt und geprüft.

In dieser Studie kommen die folgenden Analysemethoden und Bewertungskriterien zum Einsatz:

Analysemethoden:

- Expertenbefragungen
- Besuch der Leitmesse IFAT München 04/2018
- CAD 3-D-Modell für Mehrzweckfrachter SeeElefant und Anlagenplanung sowie -integration
- Wirtschaftlichkeitsanalysen in Form des Business Modells
- Internet- und Fachliteraturrecherche

Bewertungskriterien:

- Verfügbarkeit, Industrietauglichkeit und Skalierbarkeit der Anlagentechnik
- Übertragbarkeit auf Containerraster und Schiffskonzept
- Bedienbarkeit auch von externen (angelernten) Arbeitskräften

2. Einleitung

2.1. Der Verein One Earth – One Ocean e.V.

Die deutsche Umweltorganisation One Earth – One Ocean e.V. (nachfolgend als OEOO bezeichnet) mit Sitz in München wurde 2011 von dem IT-Unternehmer und passionierten Segler Günther Bonin gegründet. Satzungsgemäß arbeitet der gemeinnützige Verein an Projekten zum Gewässer- und Küstenschutz.

Ziel ist die Entwicklung und Umsetzung von Konzepten zur weltweiten Reinigung der Gewässer von Müll, Öl und anderen Schadstoffen.

Der Fokus liegt auf der Reduzierung des maritimen Plastikmülls. Daraus leiten sich folgende Kernthemen ab:

- Aufklärungsarbeit zur **Vermeidung** von Plastik und Plastikmüll
- Projekte zur **Reinigung** von Binnengewässern, Flüssen und Ozeanen
- **Nachhaltigkeit** und ressourcenschonende Umsetzung der Projekte

Mit über 430 Mitgliedern, die in regionalen Vereinsgruppen organisiert sind, arbeitet der Verein zur Zeit mit 14 bezahlten Arbeitskräften insbesondere in den folgenden Bereichen:

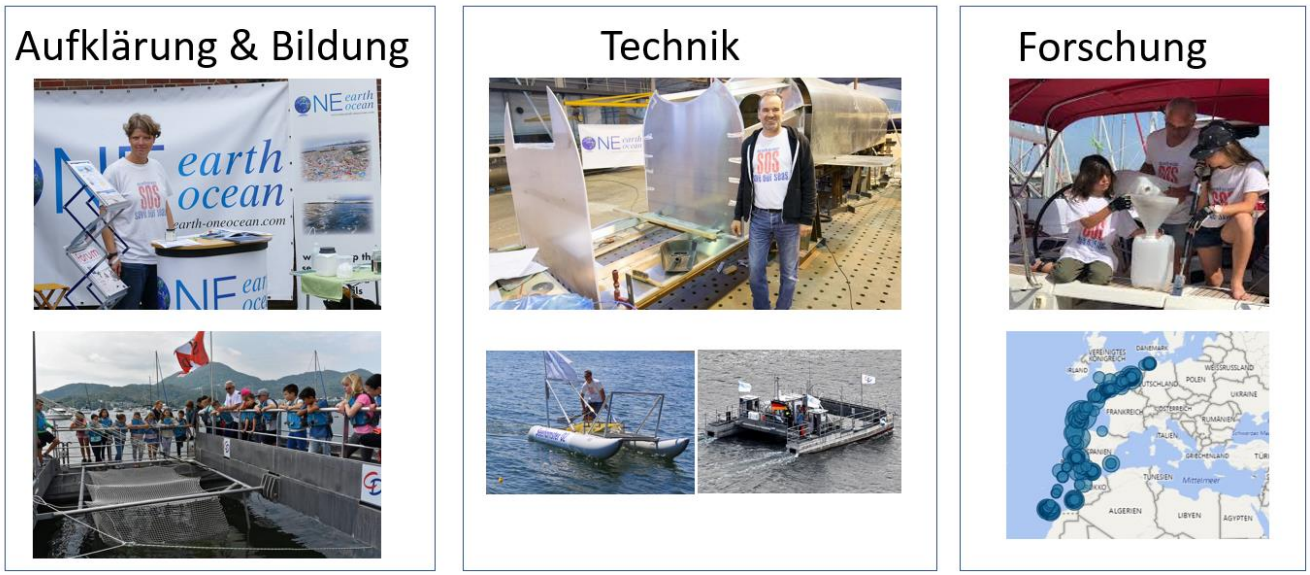


Abbildung 1 - Die drei Säulen von One Earth – One Ocean e.V.

Quelle: OEOO

Die folgende Abbildung zeigt langfristig laufende sowie in Planung befindliche Projekte von One Earth – One Ocean.

Abbildung 2 - Projekte von OEOO

Quelle: OEOO

Die langfristigen Projekte dienen neben dem unmittelbaren operativen Projektziel auch dem interkulturellen Wissenstransfer und stärken nicht zuletzt das Ansehen der Bundesrepublik Deutschlands. Weitere Aktivitäten und Projekte unter https://oneearth-oneocean.com

2.1.1. Aufklärungs- und Bildungsarbeit

OEOO leistet sowohl auf nationaler Ebene als auch international Aufklärungs- und Bildungsarbeit zum Thema Verschmutzung der Meere. Mit Informationsständen, Vorträgen und Workshops an Schulen und bei Veranstaltungen wird verschiedensten Zielgruppen das Thema nähergebracht. Auch bei den nationalen und internationalen Reinigungsprojekten von OEOO wird die Aufklärungs- und Bildungsarbeit zunehmend mit eingebunden.

Ziel ist es, den Menschen die Auswirkungen der Meeresvermüllung zu erläutern, sie für das Thema zu sensibilisieren und ihnen zu zeigen, wie die Verschmutzung der Meere verhindert, reduziert und beseitigt werden kann. In Deutschland wird die Aufklärungs- und Bildungsarbeit in den kommenden Monaten insbesondere auf dem Schulsektor ausgebaut.

Auch auf der Website www.oneearth-oneocean.com, die mittlerweile in den Sprachen Deutsch, Englisch, Spanisch und Chinesisch verfügbar ist, können sich Nutzer über Plastikmüll im Meer und dessen Auswirkungen informieren. Gleichzeitig gibt es auf der Seite auch nützliche Tipps, wie Menschen Plastik im Alltag vermeiden können.

2.1.2. Forschung

Um einen Beitrag zur Erforschung der mittel- bis langfristigen Auswirkungen von Mikroplastik auf Mensch und Tier zu leisten, engagiert sich OEOO beim Aufbau einer weltweiten Datenbank zu den Verschmutzungsgraden in den Weltmeeren.

Dabei werden regelmäßig Wasserproben der Nordsee, des Atlantiks und des Mittelmeers genommen, die anschließend per Infrarotspektrometer auf Art und Menge von Mikroplastik analysiert werden. Der OEOO-Bereich Labor/Mikrobiologie pflegt die Ergebnisse in die interaktive „Microplastic-Pollution Map“ – (https://oneearth-oneocean.com/der-verein/microplastic-pollution-map/) ein.

Ein weiteres wichtiges Forschungsthema von OEOO ist die Rückverölung von Meeresplastik. Hierbei arbeitet OEOO mit verschiedenen Firmen an Verfahren, wie polyoelefine Monofraktionen wieder in ihren Ausgangsstoff – Rohöl – rücktransformiert werden können. Der aktuelle Stand der Verölungstechnik ist in Abschnitt 3.5.2.1 beschrieben.

2.1.3. Technik

Auf Basis von Forschung und technischer Entwicklung ist das Konzept der Maritimen Müllabfuhr (nachfolgend auch als MM bezeichnet) entstanden. Die Maritime Müllabfuhr hat sich zur Aufgabe gesetzt, weltweit Meeresmüll, insbesondere Plastikmüll, aus den Gewässern zu entfernen und zu verarbeiten. Das mehrstufige Konzept der Maritimen Müllabfuhr bildet dabei ein geschlossenes System vom Lokalisieren, Sammeln und Verarbeiten von Meeresmüll.

In den vergangenen sechs Jahren wurden bereits fünf Müllsammelschiffe des Typs „SeeHamster“ gebaut. Ab September 2019 wird die 5. Generation der SeeHamster in Serie gebaut. 2016 wurde das Müllsammel- und Forschungsschiff vom Typ „SeeKuh“ vom Stapel gelassen. SeeKuh und SeeHamster sind seitdem sowohl in nationalen als auch in internationalen Gewässern im Einsatz.
Seit März 2018 wird am Standort Kiel im Zentrum für maritime Technik intensiv an der Entwicklung und Konstruktion des Pilot-Müllverarbeitungsschiffes, dem SeeElefanten, gearbeitet. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind in dieser Machbarkeitsstudie detailliert beschrieben.

Die folgende Grafik zeigt die Schifftypen, die zusammen das Pilotsystem der Maritimen Müllabfuhr von One Earth – One Ocean bilden.

SeeHamster

Quelle: OEOO

Die SeeHamster reinigen Seen und Flüsse mit speziellen Netz- bzw. Rampenkonstruktionen.

Abmessungen: L=4-5 m; B=2 m; T=0,2 m

Ladekapazität: 50-100 kg

Reinigungsleistung: 6500 m²/h

Einsatzgebiete: Flüsse, Binnengewässer

SeeKuh

Quelle: OEOO

Die SeeKühe reinigen Küstengebiete und Flussmündungen mit einer speziellen Netz- bzw. Förderbandtechnik.

Abmessungen: L=12 m; B=10 m; T=0,7 m

Ladekapazität: 500 kg

Reinigungsleistung: 14000 m²/h

Einsatzgebiete: Küstengebiete, Flussmündungen

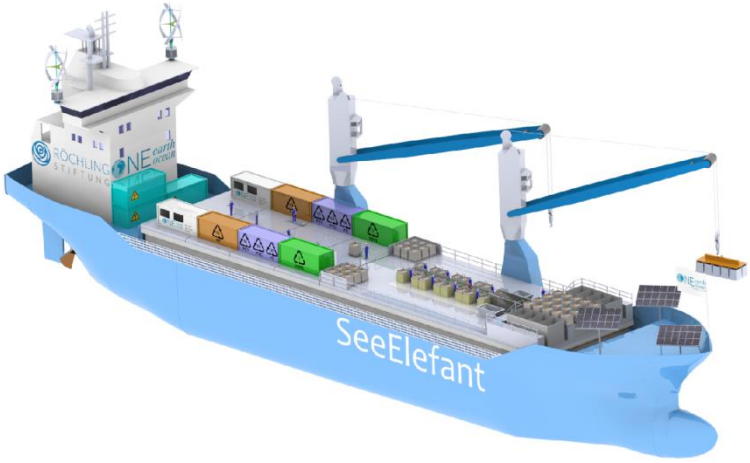


Abbildung 3 - Die Schiffstypen der Maritimen Müllabfuhr

SeeElefant

Auf dem SeeElefanten wird der Meeresmüll aufbereitet, sortiert und verarbeitet. Endprodukte sind sortenreine Kunststoffballen und elektrische Energie.

Abmessungen: L=100 m; B=18 m; T=7 m

Verarbeitungskapazität pro Tag: 15 – 40 t/Tag

Einsatzgebiete: Weltweit an Hotspots

2.1.4. Vereinsorganisation

Das folgende Organigramm zeigt die aktuelle Vereins- und Projektstruktur von One Earth - One Ocean.

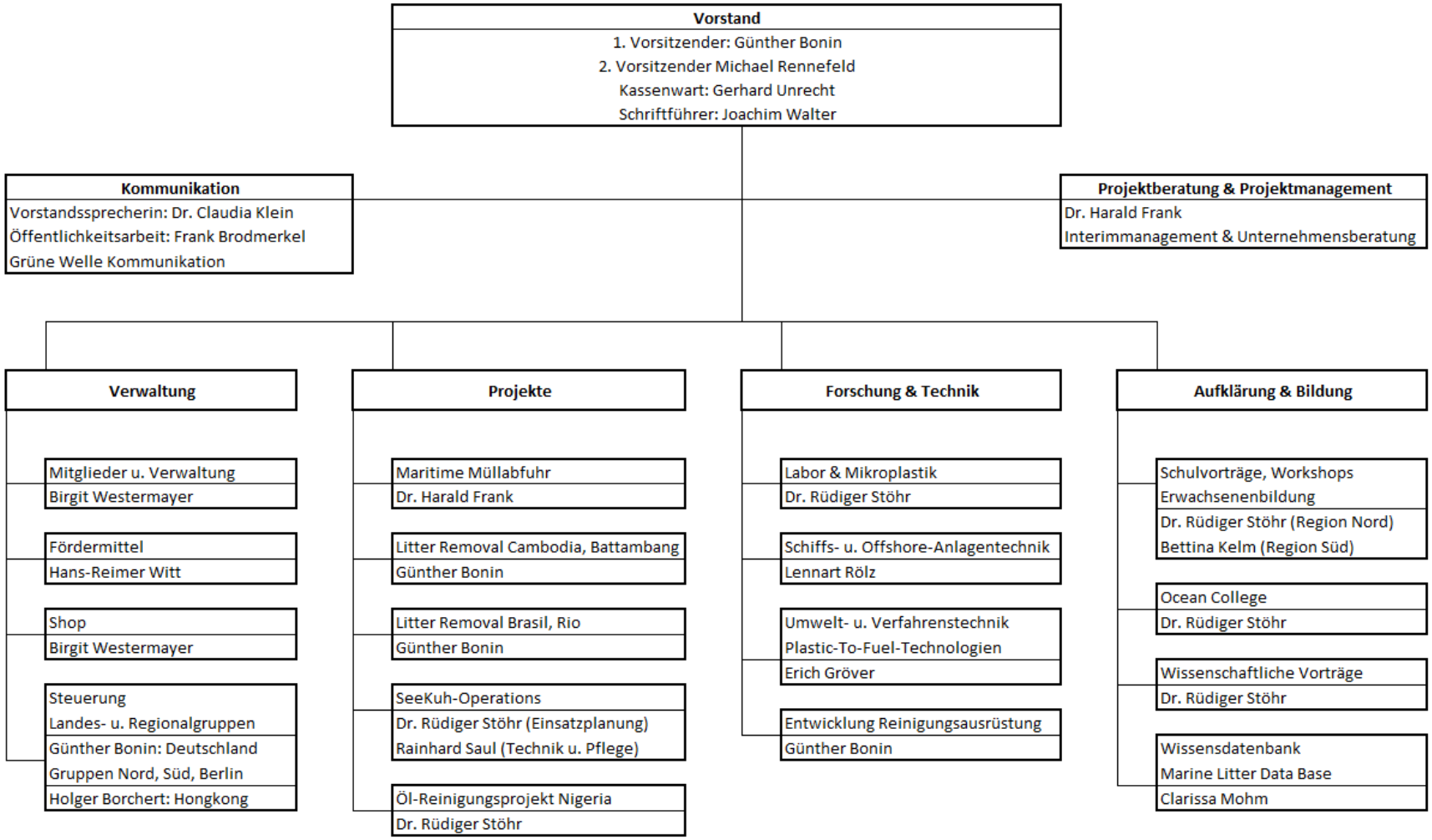


Abbildung 4 - Organigramm von OEOO

2.2. Plastikmüll im Meer

Kunststoffe sind ein unverzichtbarer Bestandteil unseres Lebens geworden. Sie sind flexibel einsetzbar, mit wertvollen funktionalen Eigenschaften ausgestattet, langlebig und günstig. Kunststoffe finden nahezu in allen Bereichen unseres alltäglichen Lebens nützliche Anwendungen.

Kunststoffverpackungen können Lebensmittelabfälle und CO2-Emissionen reduzieren. Dank seiner physikalischen Eigenschaften ist Plastik daher als Verpackungsmaterial unumgänglich – eine Tatsache, die sich auch in der Größe der Kunststoffverpackungsindustrie wiederspiegelt. 2013 wurden insgesamt 78 Millionen Tonnen Kunststoffverpackungen auf den Markt gebracht. Bis 2020 wird das Volumen auf voraussichtlich auf 108 Millionen Tonnen ansteigen (6). Allein in Deutschland wurden 2017 über 2,4 Milliarden Plastiktüten verbraucht (7).

Wird der Kunststoffabfall nicht flächendeckend eingesammelt und entsorgt, kann dieser in die Umwelt und letzten Endes in unsere Gewässer gelangen.

Da es in vielen Schwellen- und Entwicklungsländern noch keine Abfallsysteme gibt oder der Müll auf offenen Deponien gelagert wird, findet hier der Plastikmüll besonders häufig den Weg in die Umwelt. Dies hat zur Folge, dass heute schätzungsweise ca. 86 - 150 Millionen Tonnen Plastik in unseren Meeren treibt und jährlich ca. 4,8 – 12,7 Millionen Tonnen hinzukommen (3).

2.2.1. Herkunft und Eintragsquellen

Die Herkunft und die Eintragsquellen von Plastikmüll im Meer sind vielfältig und regional sehr unterschiedlich. Dies, und die Tatsache, dass es von einigen Regionen kaum Informationen zum Abfallaufkommen bzw. der Abfallbehandlung gibt, machen es sehr schwierig, eine generelle Aussage zu Quellen, Mengen und dem Verbleib von Plastikmüll im Meer zu treffen.

Die von der UN und der Europäischen Kommission beauftragte Recherche-Agentur EUNOMIA hat in ihrer Studie „Plastics in the Marine Environment“ von 2016 versucht, eine globale Qualifizierung und Quantifizierung von Herkunft und Eintragsquellen von Plastikmüll im Meer zu beschreiben. Die folgende Grafik stellt die Ergebnisse der Recherche anschaulich dar.

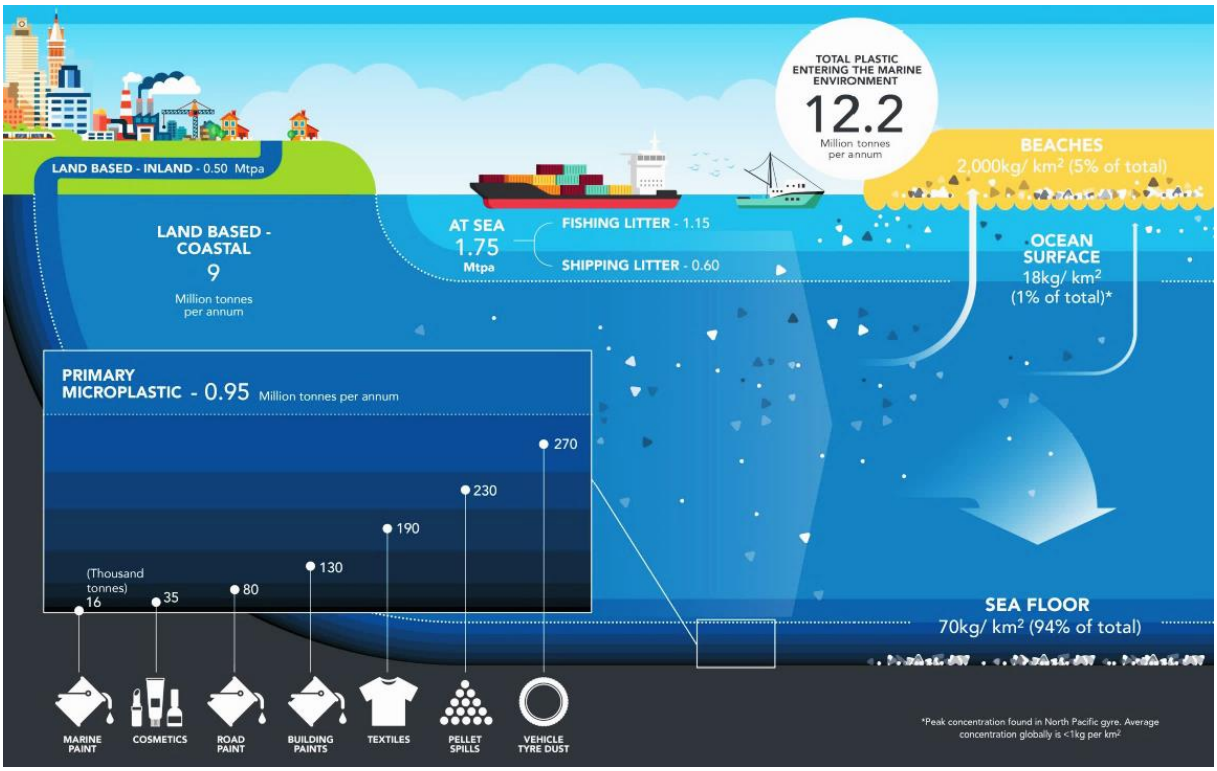


Abbildung 5 - Herkunft und Eintragsquellen von Plastik im Meer nach EUNOMIA (8)

Die Grafik zeigt, dass es drei Hauptquellen für den Eintrag von Plastikmüll im Meer gibt. Mit ca. 9 Millionen Tonnen pro Jahr machen die Küstengebiete (inklusive Flussmündungen) den Großteil des Eintrages aus. Es folgen Einträge durch Schiffe und Fischerei (1,75 Millionen Tonnen) und den Inlandsflüssen (0,5 Millionen Tonnen).

Der gesamte Plastikeintrag pro Jahr - inklusive des primären Mikroplastik von knapp 1 Million Tonnen - wird nach EUNOMIA mit 12,2 Millionen Tonnen pro Jahr beziffert. Anschaulich bedeutet das, dass jede Minute ein voller Mülllaster seinen Plastikabfall ins Meer entsorgt.

Des Weiteren trifft die Studie auch Aussagen zu dem Verbleib des Plastikmülls, wenn er einmal in die Meere gelangt ist. Demnach schwimmen lediglich 1 % (18 kg/km²) des Mülls an der Meeresoberfläche und 5 % (2000 kg/km²) werden wieder an die Strände gespült. Der mit 94 % (70 kg/km²) weitaus größte Teil des Plastiks sinkt sukzessive auf den Meeresboden und ist somit praktisch nicht mehr aus dem Ökosystem zu entfernen. (8)

Anmerkung: Die exakte Erfassung von Daten und die Dokumentation der maritimen Plastik-Vermüllung ist größtenteils unzureichend. In den verfügbaren wissenschaftlichen Studien besteht jedoch Übereinstimmung hinsichtlich der Größenordnungen. Insbesondere hinsichtlich der jeweils neu hinzukommenden jährlichen Eintragsmengen bestehen Unsicherheiten, die sich in der Bandbreite der Schätzungen wiederspiegeln.

Die Schätzungen beruhen auf statistischen Regressionsmodellen, die vornehmlich auf folgende Variablen Bezug nehmen:

1. Bevölkerungsdichte in Küstenstreifen
2. Wirtschaftliches Entwicklungsniveau des Landes
3. Abfallstatistik inkl. unsachgemäßer Entsorgung von Plastikmüll

Die analysierten Studien beziehen sich - z.B. bei Jambeck et al. - auf das Jahr 2010, so dass heute von bereits höheren Eintragsmengen auszugehen ist.

Im Anhang 1 befindet sich eine tabellarische Auflistung der Bandbreiten des jährlichen Eintrages und des Bestandsmülls im Meer.

2.2.2. Auswirkungen von Plastikmüll im Meer auf die Umwelt

Die 2014 erschienene Studie des United Nations Environment Programme (UNEP) – „Valuing Plastic - The Business Case for Measuring, Managing and Disclosing Plastic Use in the Consumer Goods Industry“ (1) setzt sich detailliert mit den Auswirkungen von Meeresmüll auseinander.

Die folgende Grafik zeigt die Wirkungen des Meeresplastiks differenziert nach ökonomischen-, physikalischen- und chemischen Auswirkungen.

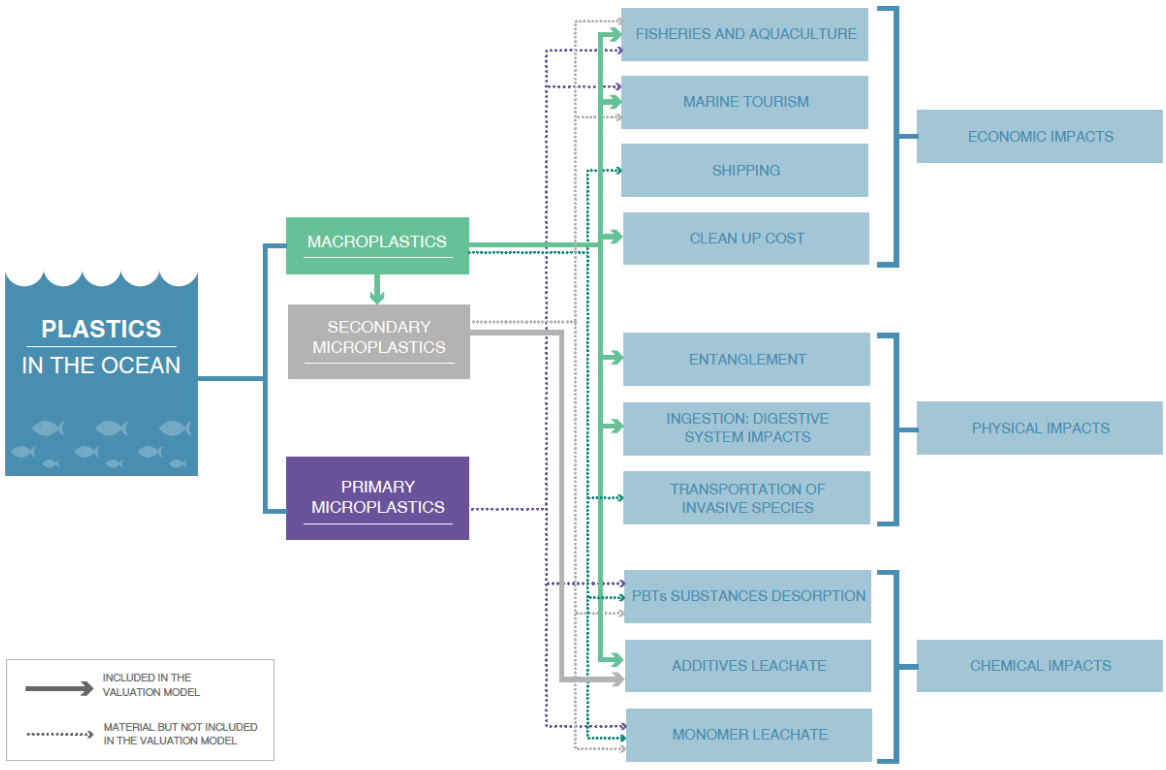


Abbildung 6 - Auswirkungen von Makro- und Mikroplastik (5)

2.2.2.1. Ökonomische Auswirkungen

In der Studie der Ellen MacArthur Foundation – „The new plastics economy – rethinking the future of plastics“ wird der globale Gesamtschaden, der durch Plastikmüll im Meer entsteht, mit 13 Milliarden USD p.a. angegeben (9). Die Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC) schätzt die jährlichen Schäden durch Kunststoffe im Meer allein für die Mitgliedsländer in den Bereichen Tourismus, Fischerei und Schifffahrtsindustrie auf 1,3 Mrd. USD (1).

Zusätzlich zu den direkten Kosten gibt es potenziell negative Auswirkungen auf Ökosysteme, Nahrungsketten und die Gesundheit von Menschen und Tieren. Für diese kaum absehbaren Folgeschäden finden sich in der Literatur noch keine Quantifizierungsversuche.

Im Folgenden werden beispielhaft Wirtschaftsbereiche vorgestellt, auf die Plastikmüll im Meer große primäre ökonomische Auswirkungen hat.

Fischerei und Aquakultur

Nach Angaben der 2010 erschienenen Studie „Economic Impacts of Marine Litter“ von J. Mouat verlieren die Sektoren der Seefischerei und der Aquakultur-Sektor 2% ihres jährlichen Umsatzes aufgrund von Plastikmüll im Meer (10). Nach Angaben der Recherche Agentur Trucost liegen somit die Einbußen im Jahr 2012 für die Fischerei bei 794 Millionen USD und bei der Aquakultur bei 7 Millionen USD (1).

Maritimer Tourismus

Für viele potenzielle Einsatzgebiete der Maritimen Müllabfuhr ist der Tourismus eine der Haupteinnahmequellen. Vermüllte Flüsse, Strände, Küsten- und Tauchgebiete schaden dem touristischen Potenzial und sorgen für signifikant weniger Umsatz in diesem Sektor. Um dem Wegbleiben der Touristen entgegenzuwirken, werden beliebte Touristenstrände und Küstengebiete mit hohem finanziellem Aufwand oberflächlich gesäubert.

2017 haben beim „International CleanUp Day“ fast 800.000 Freiwillige über 10.000 Tonnen Meeresmüll an Stränden in über 106 Ländern gesammelt (11). In Europa werden die potenziellen Kosten für Küsten- und Strandreinigungen mit 630 Mio. EUR pro Jahr beziffert (12).

Quellen zu den globalen Einbußen bzw. regional differenzierten vermüllungsbedingten Tourismus-Rückgängen sind nicht vorhanden.

Trucost berechnet, dass allein dem Meeressport-Sektor ca. 3% der weltweiten Einnahmen aufgrund von Müll im Meer verloren gehen. Dies bedeutet einen jährlichen Umsatzverlust von 4 Millionen USD.

2.2.2.2. Physikalische Auswirkungen

Neben den wirtschaftlichen Schäden verursacht Plastikmüll im Meer auch weitreichende ökologische Schäden, welche im Folgenden beschrieben werden.

Verfangen: Tiere können sich in Plastikteilen wie Netzen, Sixpackhalter o.ä. verfangen, mit möglichen Folgen wie Ersticken, Verhungern oder Ertrinken. Außerdem können Tiere, die sich verheddert haben, sich nicht mehr gut verstecken oder vor Fress-Feinden fliehen.

Nahrungsaufnahme: Meerestiere fressen Plastik, da sie es versehentlich mit Nahrung verwechseln oder es bei der Nahrungsaufnahme mit aufnehmen. Dies kann zum Verhungern, Unterernährung oder inneren Verletzungen führen.

Transport invasiver Arten: Schwimmender Kunststoff kann als Transportmittel für invasive Arten wie z.B. Muscheln und Krebse dienen. Invasive Arten können fragile Ökosysteme verändern und auch zerstören (1).

Die UNEP-Studie „Marine litter Vital graphics“ (13) aus 2016 setzt sich intensiv mit den physikalischen Auswirkungen auf die Tierwelt auseinander und enthält u.a. Statistiken, welche Tierarten mit welchen physikalischen Einflüssen zu kämpfen haben.

2.2.2.3. Chemische Auswirkungen

Bei den Zersetzungsprozessen von Kunststoffteilen zu sekundärem Mikroplastik werden gefährliche Inhaltsstoffe wie Bisphenol A, Phtalate oder Flammschutzmittel freigesetzt, die sich in der Nahrungskette anreichern und nachhaltig das Erbgut und den Hormonhaushalt mariner Lebewesen - bzw. aller Beteiligten an der Nahrungskette - beeinflussen können.

Mikroplastikpartikel ziehen außerdem im Meerwasser gelöste Umweltgifte wie das Insektizid DDT oder PCB an und übergeben diese an die Lebewesen, welche die belasteten Microplastikpartikel versehentlich aufnehmen (1).

Im Oktober 2018 hat die Universität Wien erstmals Mikroplastik im Darm von Menschen nachgewiesen (14). Der Filmproduzent von „Plastic Ocean“, Werner Boote, ließ sich während der Dreharbeiten auf Plastik im Blut testen. Das Ergebnis war *positiv* (15).

Aufgrund fehlender Daten und Langzeitstudien können jedoch noch keine Aussagen über die Tragweite des globalen Problems von Plastik in der Umwelt und dem menschlichen Organismus gemacht werden.

2.2.3. Quellen und Mengen

Im folgenden Abschnitt wird auf die Meeresplastik „Hotspots“ näher eingegangen. Ein Hotspot bezeichnet dabei ein Gebiet, in dem die Plastikkonzentration besonders hoch ist und dadurch das Aufsammeln von Plastik besonders effizient, ökologisch und wirtschaftlich ist. Hotspots sind somit die potenziellen Operationsgebiete der Maritimen Müllabfuhr von One Earth – One Ocean.

Die folgende Grafik zeigt die drei grundsätzlichen Lokalisationen von Hotspots: Flüsse, Küstengebiete und die sogenannten Müllstrudel, welche anschließend detailliert auf ihre Eignung für einen Einsatz der Maritimen Müllabfuhr untersucht werden.

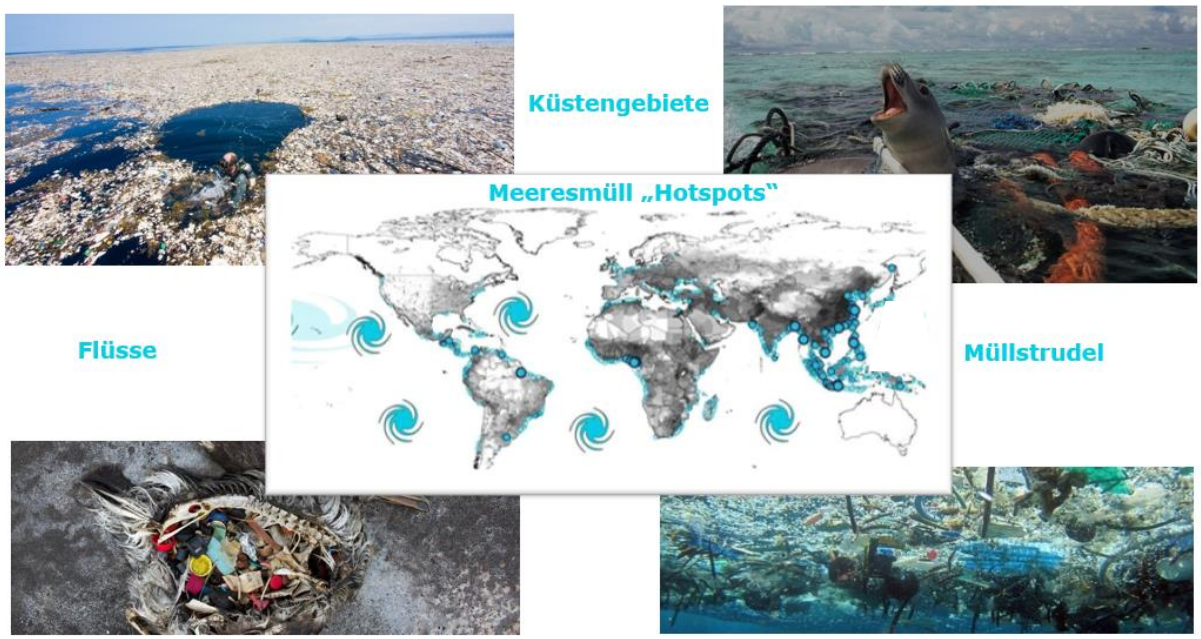


Abbildung 7 - Die drei Lokalisationsformen von Meeresplastik-Hotspots

2.2.3.1. Flüsse und Flussmündungen

Die Studie – „River plastic emissions to the world’s oceans (2017)“ von Laurent CM Labreton (16) untersucht die Einträge von Plastikmüll in die Meere über die weltweiten Flusssysteme. Nach der Studie werden insgesamt jährlich 1,15 - 2,41 Millionen Tonnen Plastikmüll über die Flüsse ins Meer geleitet. Mehr als 90% dieses Eintrages kommt über die Top 120 der Verschmutzer-Flüsse in die Meere.

Die folgende Grafik und die dazugehörige Tabelle zeigen, in welchen Regionen über die Flüsse besonders viel Plastikmüll in die Meere eingeleitet wird:

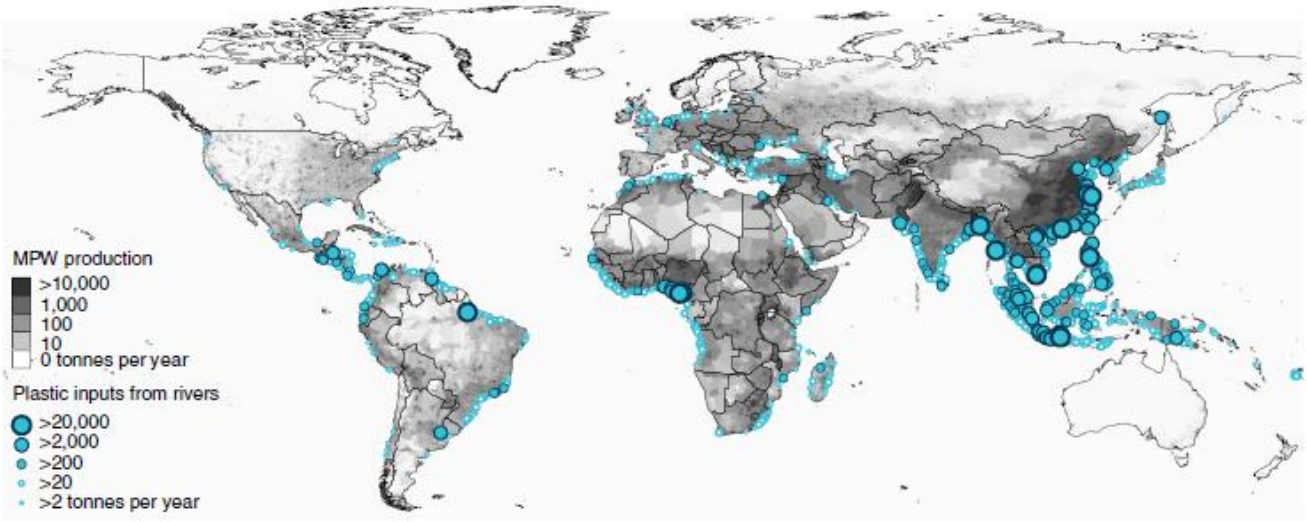


Abbildung 8 - Karte der weltweiten Plastikeinträge über die Flüsse (16)

Tabelle 1: Liste der Top 20 verschmutzenden Flüsse (16)

Table 1 | Top 20 polluting rivers as predicted by the global river plastic inputs model.

Catchment	Country	Lower mass input estimate ($t\,yr^{-1}$)	Midpoint mass input estimate ($t\,yr^{-1}$)	Upper mass input estimate ($t\,yr^{-1}$)	Total catchment surface area (km^2)[21]	Yearly average discharge ($m^3\,s^{-1}$)[21]
Yangtze	China	3.10×10^5	3.33×10^5	4.80×10^5	1.91×10^6	1.58×10^4
Ganges	India, Bangladesh	1.05×10^5	1.15×10^5	1.72×10^5	1.57×10^6	2.08×10^4
Xi	China	6.46×10^4	7.39×10^4	1.14×10^5	3.89×10^5	5.53×10^3
Huangpu	China	3.35×10^4	4.08×10^4	6.73×10^4	2.62×10^4	4.04×10^2
Cross	Nigeria, Cameroon	3.38×10^4	4.03×10^4	6.5×10^4	2.38×10^3	2.40×10^2
Brantas	Indonesia	3.23×10^4	3.89×10^4	6.37×10^4	1.11×10^4	8.18×10^2
Amazon	Brazil, Peru, Columbia, Ecuador	3.22×10^4	3.89×10^4	6.38×10^4	5.91×10^6	1.40×10^5
Pasig	Philippines	3.21×10^4	3.88×10^4	6.37×10^4	4.07×10^3	2.07×10^2
Irrawaddy	Myanmar	2.97×10^4	3.53×10^4	5.69×10^4	3.77×10^5	5.49×10^3
Solo	Indonesia	2.65×10^4	3.25×10^4	5.41×10^4	1.58×10^4	7.46×10^2
Mekong	Thailand, Cambodia, Laos, China, Myanmar, Vietnam	1.88×10^4	2.28×10^4	3.76×10^4	7.74×10^5	6.01×10^3
Imo	Nigeria	1.75×10^4	2.15×10^4	3.61×10^4	7.92×10^3	2.79×10^2
Dong	China	1.57×10^4	1.91×10^4	3.17×10^4	3.33×10^4	8.54×10^2
Serayu	Indonesia	1.33×10^4	1.71×10^4	2.99×10^4	3.71×10^3	3.70×10^2
Magdalena	Colombia	1.29×10^4	1.67×10^4	2.95×10^4	2.61×10^5	5.93×10^3
Tamsui	Taiwan	1.16×10^4	1.47×10^4	2.54×10^4	2.68×10^3	1.08×10^2
Zhujiang	China	1.09×10^4	1.36×10^4	2.31×10^4	4.01×10^3	1.33×10^2
Hanjiang	China	1.03×10^4	1.29×10^4	2.19×10^4	2.95×10^4	7.35×10^2
Progo	Indonesia	9.80×10^4	1.28×10^4	2.29×10^4	2.24×10^3	2.79×10^2
Kwa Ibo	Nigeria	9.29×10^4	1.19×10^4	2.08×10^4	3.63×10^3	1.92×10^2

Input rate estimates (in $t\,yr^{-1}$) are representative of mismanaged plastic waste (MPW) production and catchment runoff. A lower, midpoint and upper estimate is calculated based on three regression analyses accounting for uncertainties in our field observations data set.

Tabelle 1 zeigt, dass ca. 67 % des Gesamteintrages von Meeresplastik, das über die Flüsse ins Meer gelangt, auf die Top 20 der Verschmutzer-Flüsse zurückgehen. Die meisten davon liegen Asien.

Der Fluss mit dem höchsten Plastikeintrag ist demnach der Yangtze in China mit einem mittleren jährlichen Plastikeintrag von ca. 333.000 Tonnen pro Jahr[2].

[2] Hochrechnung über Oberflächenplastik; Größenordnung: 0,3 mm – 0,5 m

Anschaulich gemacht bedeutet dies, dass über die Flussmündung des Yangtze jede Stunde 10 Mülllaster in die Meere entladen werden.

2.2.3.2. Küstengebiete

Die 2015 veröffentlichte Studie – „Plastic waste inputs from land into the ocean“ - von Jenna R. Jambeck (3) untersucht den weltweiten Eintrag von Plastikmüll in die Meere über die Küstengebiete. Grundlage der Statistik sind Daten zu Abfallaufkommen und Abfallbehandlung der Bevölkerungsanteile in 192 Ländern, die maximal 50 km von der Küste entfernt leben. Der Gesamteintrag von Meeresplastik über die Küstengebiete wird von Jambeck mit 4,8 bis 12,7 Millionen Tonnen pro Jahr beziffert. Hierbei sind allerdings auch die Einträge über Flüsse, die in dem 50 km breiten Küstenabschnitt verlaufen, mitberücksichtigt.

Die folgende der Studie entnommene Grafik zeigt durch die Farbskalierung, über welche Küstenregionen besonders viel Plastik in die Meere gelangt.

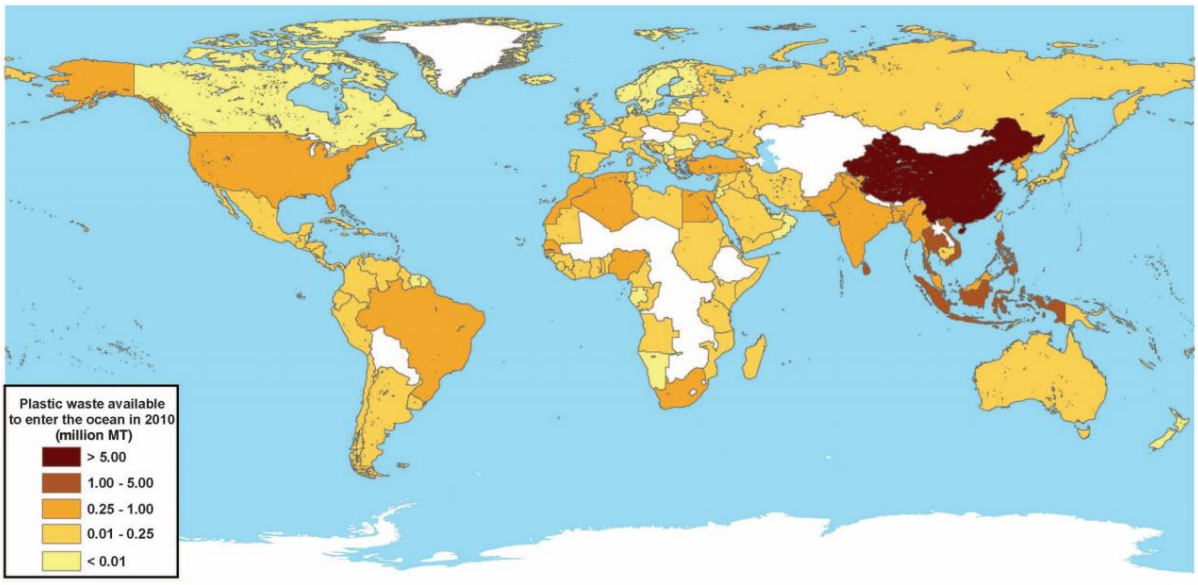


Abbildung 9 - Karte der weltweiten Plastikeinträge über die Küstengebiete (3)

Analog zum Eintrag über die Flüsse zeigt sich auch hier, dass ein großer Teil der Einleitung von Plastikmüll ins Meer über die süd-ost-asiatischen Küstengebiete geschieht.

Die folgende Tabelle quantifiziert die Grafik durch Auflistung der Top 20 Verschmutzer-Küstenregionen.

Tabelle 2: Liste der Top 20 Verschmutzer-Küstengebiete (3)

Rank	Country	Econ. classif.	Coastal pop. [millions]	Waste gen. rate [kg/ppd]	% plastic waste	% mismanaged waste	Mismanaged plastic waste [MMT/year]	% of total mismanaged plastic waste	Plastic marine debris [MMT/year]
1	China	UMI	262.9	1.10	11	76	8.82	27.7	1.32–3.53
2	Indonesia	LMI	187.2	0.52	11	83	3.22	10.1	0.48–1.29
3	Philippines	LMI	83.4	0.5	15	83	1.88	5.9	0.28–0.75
4	Vietnam	LMI	55.9	0.79	13	88	1.83	5.8	0.28–0.73
5	Sri Lanka	LMI	14.6	5.1	7	84	1.59	5.0	0.24–0.64
6	Thailand	UMI	26.0	1.2	12	75	1.03	3.2	0.15–0.41
7	Egypt	LMI	21.8	1.37	13	69	0.97	3.0	0.15–0.39
8	Malaysia	UMI	22.9	1.52	13	57	0.94	2.9	0.14–0.37
9	Nigeria	LMI	27.5	0.79	13	83	0.85	2.7	0.13–0.34
10	Bangladesh	LI	70.9	0.43	8	89	0.79	2.5	0.12–0.31
11	South Africa	UMI	12.9	2.0	12	56	0.63	2.0	0.09–0.25
12	India	LMI	187.5	0.34	3	87	0.60	1.9	0.09–0.24
13	Algeria	UMI	16.6	1.2	12	60	0.52	1.6	0.08–0.21
14	Turkey	UMI	34.0	1.77	12	18	0.49	1.5	0.07–0.19
15	Pakistan	LMI	14.6	0.79	13	88	0.48	1.5	0.07–0.19
16	Brazil	UMI	74.7	1.03	16	11	0.47	1.5	0.07–0.19
17	Burma	LI	19.0	0.44	17	89	0.46	1.4	0.07–0.18
18*	Morocco	LMI	17.3	1.46	5	68	0.31	1.0	0.05–0.12
19	North Korea	LI	17.3	0.6	9	90	0.30	1.0	0.05–0.12
20	United States	HIC	112.9	2.58	13	2	0.28	0.9	0.04–0.11

*If considered collectively, coastal European Union countries (23 total) would rank eighteenth on the list

Die Tabelle gibt Aufschluss über die Mengen von unsachgemäß entsorgten Kunststoffen und deren Einleitung in die Meere. Sie zeigt, dass die Top 6 der Verschmutzer-Küstenregionen in Süd-Ost-Asien liegen. Mit einem mittleren jährlichen Plastikeintrag von 2,43 Millionen Tonnen führt China die Liste mit Abstand an.

2.2.3.3. Hochsee-Gyres (Plastikstrudel)

Ist der Kunststoff einmal ins Meer gelangt, verteilt er sich durch Wettereinflüsse, Wellen und Wind und schließt sich den globalen Strömungssystemen unseres Planeten an. Diese Strömungssysteme sind dafür verantwortlich, dass sich sogenannte Plastikstrudel (Gyres) bilden, also Hochseegebiete, in denen die Plastikkonzentration besonders hoch ist. Wissenschaftliche Studien bestätigen die Existenz von fünf Gyres in unseren Meeren[3].

Die folgende Grafik zeigt die Lage der Plastikstrudel in den Ozeanen.

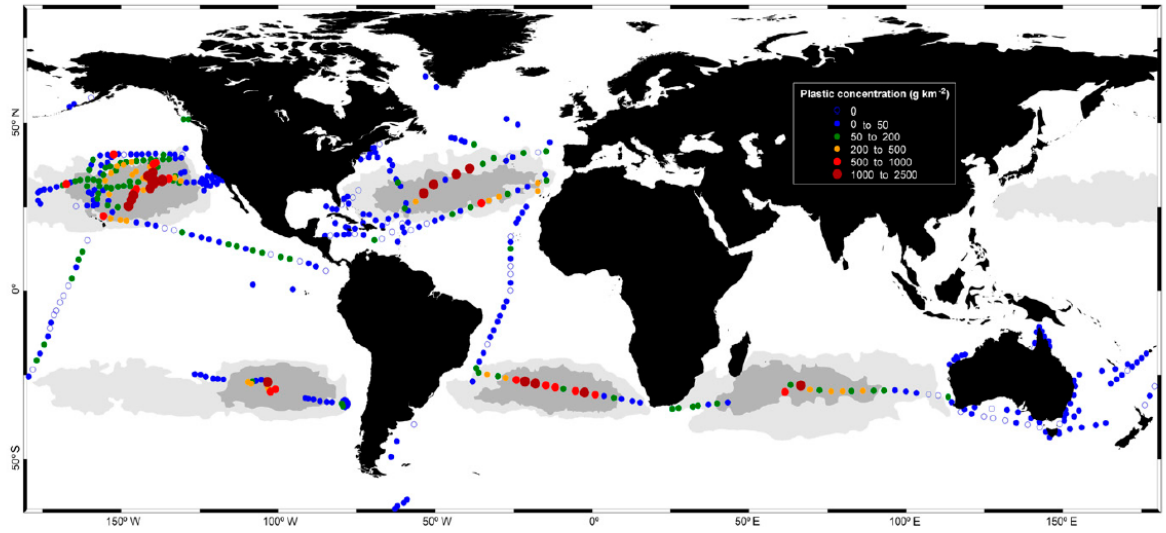


Fig. 1. Concentrations of plastic debris in surface waters of the global ocean. Colored circles indicate mass concentrations (legend on top right). The map shows average concentrations in 442 sites (1,127 surface net tows). Gray areas indicate the accumulation zones predicted by a global surface circulation model (6). Dark and light gray represent inner and outer accumulation zones, respectively; white areas are predicted as nonaccumulation zones. Data sources are described in *SI Appendix*, Table S1. Plastic concentrations along the Malaspina circumnavigation and a latitudinal gradient are graphed in *SI Appendix*, Figs. S4 and S5.

Abbildung 10 - Geografische Lage der bekannten weltweit größten Müllstrudel (62)

Demnach existieren zurzeit zwei Plastikstrudel im pazifischen Ozean, zwei im atlantischen Ozean und einer im indischen Ozean.

Der größte dieser Art ist der sogenannte Great Pacific Garbage Patch (GPGP) im Nord-Pazifik. Mit einer Fläche von ca. 1,6 Millionen km² ist der GPGP bereits fast fünf Mal so groß wie Deutschland und soll insgesamt 112.000 Tonnen Kunststoffmüll[4] enthalten.

Die Studie – „Plastic in the Great Pacific Garbage Patch“ (17), die 2018 von Laurent CM Labreton veröffentlicht wurde, gibt Aufschluss über die Konzentration, Art, sowie die Größenverhältnisse von Plastikteilen an der Wasseroberfläche im GPGP.

[3] M. Eriksen - Plastic Pollution in the World’s Oceans (2014); A. Cózar - Plastic debris in the open ocean (2014)
[4] Mengenangabe bezieht sich auf den schwimmenden Teil

Die Folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Studie zusammen.

Tabelle 3: Konzentration, Art und Größe von Plastikteilen im GPGP (17)

Size class	Type	Mean mass concentration (kg km^{-2})	Mean numerical concentration (# km^{-2})
Microplastic (0.05–0.5 cm)	H	2.33	643,930
	N	0.041	19,873
	P	0.13	14,362
	F	0.001	216
Mesoplastic (0.5–5 cm)	H	3.68	20,993
	N	0.23	803
	P	0.0003	3.6
	F	0.003	12
Macroplastic (5–50 cm)	H	15.53	640
	N	1.27	49
	F	0.021	0.7
Megaplastic (>50 cm)	H	3.52	0.3
	N	42.82	3.3
All	All	69.58	700,886

Table 2. Mean observed mass and numerical concentrations within the 1.6 million km^2 GPGP for different size and type of ocean plastics. Plastic type H include pieces of hard plastic, plastic sheet and film, type N encompasses plastic lines, ropes and fishing nets, type P are pre-production plastic pellets, and type F are pieces made of foamed material.

Die Tabelle beziffert die durchschnittliche Plastikkonzentration im GPGP mit ca. 70 kg/km². Davon sind ca. 3% Microplastik (0,05 - 0,5 cm) und 6 % Mesoplastik (0,5 - 5cm). Die restlichen 91 % machen Makroplastik (5 - 50 cm) und Megaplastik (> 50 cm) aus.

Stellt man sich die 70kg Plastik pro Quadratkilometer anschaulich vor, würde das bedeuten, dass auf einer Fläche eines Fußballfeldes ca. 10 herkömmliche 1,5 L PET Flaschen schwimmen. Dieser Vergleich zeigt, weshalb die teilweise in den Medien verbreiteten Vorstellungen eines zusammenhängenden „Müllteppichs“ für die Gyres nicht zutreffend sind. Die bekannten Bilder zusammenhängender Teppiche aus Abfall stammen von „Hotspots“ an Flussmündungen, Buchten oder Küstenregionen, wo die Strömungen die schwimmenden Abfälle zusammenschieben.

Gleichzeitig bedeutet dies jedoch auch, dass das Absammeln des Plastiks im offenen Meer aus ökonomischer und ökologischer Sicht heute nicht umsetzbar ist: Denn um den GPGP mit der Maritimen Müllabfuhr zu erreichen und eine Fläche von 1,6 Millionen km² abzusammeln, bedürfte es eines sehr hohen Energieaufwandes sowie hochseetüchtiger Sammelschiffe. Da die Entfernung zur Küste sehr groß ist, ist mit weiteren logistischen Problemen zu rechnen.

2.2.3.4. Fazit

Im vergangenen Abschnitt wurden die Lokalisationen der Plastik-Hotspots - Flüsse & Flussmündungen, Küstengebiete und Hochsee-Gyres - auf ihr Potenzial für die Maritime Müllabfuhr untersucht.

Die Müllstrudel (Hochsee-Gyres) scheiden für diese Machbarkeitsstudie aufgrund der vergleichsweisen geringen Konzentration von Plastikmüll als Operationsgebiet der Maritimen Müllabfuhr aus. Auch wenn eine solche Mission technisch beherrschbar wäre, so ist sie weder aus wirtschaftlicher Sicht (Kosten-Nutzen) noch aus ökologischer Sicht (Energieaufwand) vertretbar.

Großes Potenzial wird hingegen sowohl bei den Flüssen und Flussmündungen als auch bei Küstengebieten gesehen, da diese die Haupteinleitungsquellen für maritimen Plastikmüll sind. Hier ist die Konzentration vom Plastikmüll mit Einträgen von bis zu 912 Tonnen pro Tag[5] sehr hoch und die Plastikteile sind durch die eher kurze Verweilzeit im Wasser kaum degeneriert. Die Gefahr, dass sich die Plastikteile durch physikalische Einwirkungen verkleinern bzw. durch maritimen Bewuchs zum Grund sinken, wird im Küstenbereich als geringer eingeschätzt. Dadurch wird wiederum eine hohe Qualität des Plastiks erwartet, was für die spätere Vermarktungsfähigkeit sehr wichtig ist.

Durch den Einsatz der Maritimen Müllabfuhr in Flüssen, Flussmündungen und Küstengebieten wird verhindert, dass der Plastikmüll sich überhaupt erst den globalen Strömungssystemen anschließt und einen Weg ins offene Meer findet, wo er praktisch nicht mehr entfernt werden kann.

[5] Vgl. Yangtze Midpoint mass input estimate = 333 000 t/a entspricht 912 t/d
Mittelwert der 20 Top verschmutzer Flüsse = 46 500 t/a entspricht 127 t/d

2.2.4. Zerfall und Abbau von Meeresmüll

Die eigentlich vorteilhaften Eigenschaften von Kunststoffen wie Stabilität, Persistenz und Inertie bilden für die Ökosysteme, die mit Plastikabfällen belastet werden, zugleich die größten Gefahren.

Diese Faktoren behindern die Zersetzung bzw. den Abbau der Polymere und ebnen so den Weg für eine dauerhafte Einflussnahme von Kunststoffen auf die Umwelt. Die Zersetzungszeit von Kunststoffen kann in Abhängigkeit von verschiedenen Umweltfaktoren bis zu 600 Jahre betragen (siehe Anhang 2), wobei selbst dann nicht von einem vollständigen Abbau gesprochen werden kann.

Bei der Wandlung von größeren Kunststoffteilen zu sekundärem Mikroplastik zerfallen makroskopische Kunststoffteile, häufig durch mechanische Einwirkungen, kontinuierlich in immer kleinere Partikel. Dieser Zerfall (Fragmentierung) darf nicht mit einem biologischen Abbau verwechselt werden. Generell muss unterschieden werden zwischen Fragmentierung (mechanisch), Zersetzung (chemisch), Verwitterung (physikalisch) und dem biotischen Abbau durch Organismen (18).

In dem 2010 veröffentlichten World Ocean Review (19) wurden Abbauzeiten zu verschiedenen häufig im Meer zu findenden Produkten untersucht und in der folgenden Grafik festgehalten.

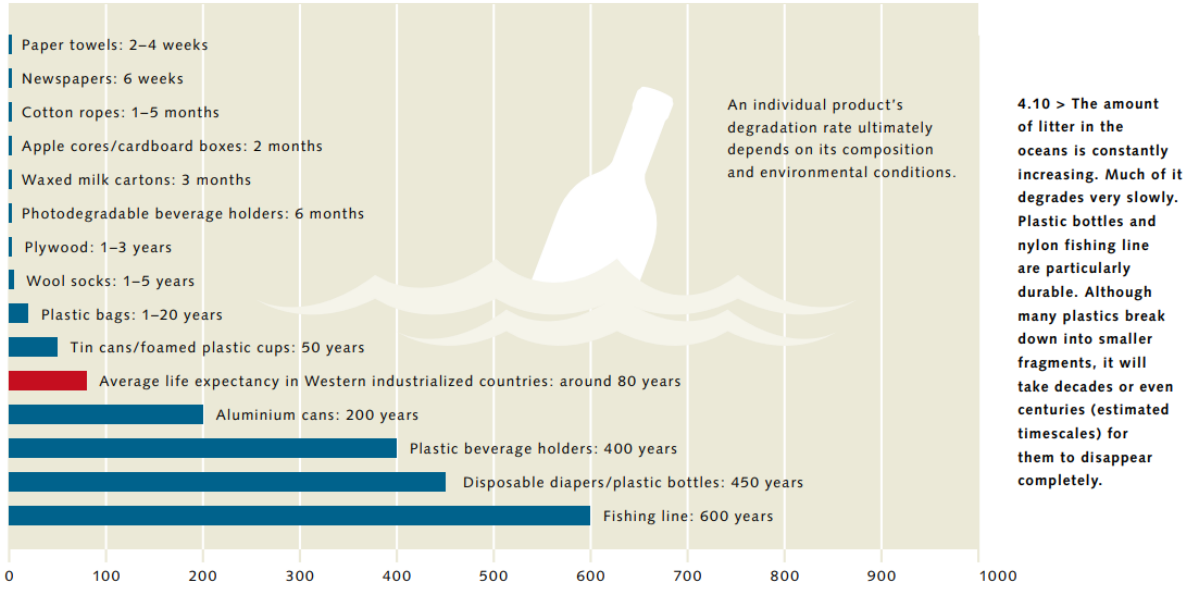


Abbildung 11 - Abbauzeiten von Meeresmüll (19)

Die Grafik zeigt, dass vor allem die Kunststoffprodukte besonders langlebig sind. Bis zur Zersetzung benötigt eine dünne Plastiktüte ca. 20 Jahre. Bei Angelschnüren dauert der Prozess ganze 600 Jahre. Im Mittel benötigt Meeresmüll ca. 80 Jahre um sich zu zersetzen, das entspricht der durchschnittlichen Lebenserwartung eines Menschen in Deutschland.

2.2.5. Zusammensetzung und Zugänglichkeit des Meeresmülls

Für die Auswahl und Auslegung der technischen Komponenten der Maritimen Müllabfuhr sind genaue Kenntnisse über die Zusammensetzung des Meeresmülls von großer Bedeutung.

In der interaktive Litterbase (https://litterbase.awi.de/litter_graph#) des Alfred-Wegner-Institutes (AWI) werden weltweite, wissenschaftliche Datensätze zu Zusammensetzungen von Meeresmüll prozentual zusammengefasst. Dabei wurden Datensätze verschiedener Einheiten (Volumen, Masse, Stückzahl) verwendet und in Prozentangaben umgerechnet.

In den folgenden Diagrammen ist die Zusammensetzung von Meeresmüll in den Zonen Meereswassersäule, Meeresboden, Meeresoberfläche und Strand dargestellt.

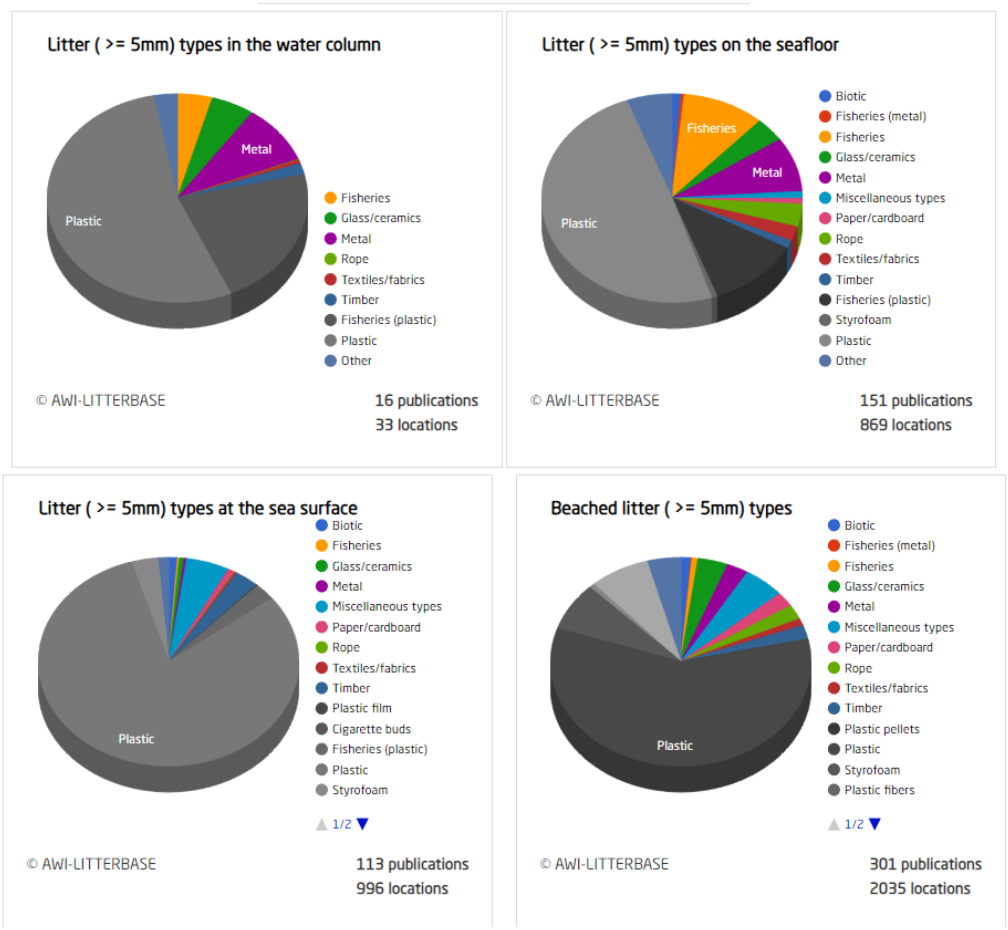


Abbildung 12 - Zusammensetzung des Meeresmülls in verschiedenen Zonen (4)

Die Diagramme zeigen, dass Plastik in allen Zonen den weitaus größten Anteil am Meeresmüll ausmacht.

Da die Sammelfahrzeuge der Maritimen Müllabfuhr nur schwimmenden Meeresmüll, je nach Fangtechnik bis zu einer Tiefe von maximal 2m erreichen können, ist die Kenntnis über die Zusammensetzung des Meeresmülls an der Wasseroberfläche maßgebend.

Im Folgenden werden die prozentualen Angaben der Zusammensetzung des Meeresmülls (größer > 5mm) an der Meeresoberfläche aus der aktiven Litterbase tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 4: Prozentuale Zusammensetzung des Meeresmülls an der Wasseroberfläche (4)

Art des Meeresmülls	Anteil [%] *
Biotic	1,30
Fisheries (other)	0,28
Glass/ceramics	0,68
Metal	0,36
Miscellaneous types (Sonstiges)	6,25
Paper/cardboard	0,98
Rope	0,08
Textiles/fabrics	0,30
Timber	3,52
Fisheries (plastic)	**3,05**
Plastic fibers	**0,12**
Plastic film	**0,20**
Plastic	**77,62**
Styrofoam	**3,68**
Other	1,57
Summe gesamt	**100,0%**
Summe Plastik	**84,67%**

*Die Prozentangabe ist ein Mittelwert aus den 105 Publikationen.

Die Tabelle zeigt, dass ca. 85 % des schwimmenden Meeresmülls (> 5mm) Plastik ist. Leider gibt die Litterbase keinen Aufschluss darüber, aus welchen Plastikfraktionen sich der Plastikanteil zusammensetzt und welche Anteile die jeweiligen Fraktionen haben (4).

Sowohl für die Auslegung der Anlagentechnik der Maritimen Müllabfuhr, als auch für die Vermarktungsfähigkeit der sortenreinen Meeresplastik-Ballen ist eine Aussage über die einzelnen im Meeresmüll enthaltenen Plastikfraktionen sehr wichtig.

Um eine Aussage über die erwartete Zusammensetzung des Meeresmülls – inklusive der einzelnen Plastikfraktionen treffen zu können, hat One Earth – One Ocean ein Berechnungsmodell erstellt (Siehe Anhang 3). Die Auslegung für das Pilotprojekt basiert auf der über das Modell berechneten Zusammensetzung.

Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis der Modellierung für die angenommene tägliche Sammelmenge von 15 Tonnen Plastik. Auf der Basis dieser Sammel- und Verarbeitungsmenge ist die Konfiguration des Pilotsystems aufgebaut.

Tabelle 5: Potenzielle Meeresmüll-Zusammensetzung

	Teile	Material	Anteil	Masse [t]	
Meeresmüll	**Kunststoffe** davon:		**85%**	**15,0**	**75 %**
	➢ z.B. Plastiktüten, Kisten und Boxen, Flaschen (Kosmetik), Nahrungsmittelbehälter	PE (HD/LD)	42%	6,3	
	➢ z.B. Netze, Lebensmittelverpackung (Tüten), Becher, Deckel, Hartplastik	PP	31%	4,7	
	➢ z.B. Behälter, Getränkeflaschen	PET	10%	1,5	
	➢ z.B. Dichtungen, Schläuche, Folien, Luftmatratzen	PVC	4%	0,6	
	➢ z.B. Verpackungen (Fastfood), Styropor, Schaumartikel	PS, EPS	2%	0,4	
	➢ z.B. Verschiedenes (Luftballons, Textilien, Zigarettenfilter)	Andere	10%	1,5	
	Bioabfall	**Organik**	**1%**	**0,2**	
	Dosen, Sprühflaschen	**Metall**	**1%**	**0,1**	
	Behandeltes/Lackiertes Holz	**Holz**	**4%**	**0,6**	
	Verbunde, Reste, Glas, Verschmutzung	**Verschiedene Materialien**	**10%**	**1,8**	
	Sammelmenge Meeresmüll			**17,7**	
Organik	Algen/Pflanzen	Organik	10%	0,6	**25%**
	Muscheln	Organik	10%	0,6	
	Treibholz	Organik	75%	4,4	
	Tierischer Beifang	Organik	5%	0,3	
	Sammelmenge			**5,9**	
	Gesamte Sammelmenge			**23,7**	

Die Tabelle zeigt, dass bei der geforderten Sammelmenge von 15 Tonnen Plastik pro Tag insgesamt ca. 17,7 Tonnen Meeresmüll aufgesammelt werden müssen. Der organische Anteil von ca. 25 %[6] wird zwar beim Sammelvorgang mit aufgenommen, anschließend jedoch unmittelbar wieder über Bord gegeben. Aus diesem Grund ist für das Verarbeitungsschiff der Maritime Müllabfuhr nur der Meeresmüllanteil von ca. 75 %[7] von Bedeutung.

[6] Schätzung Nils Möllmann (NABU - Fishing for Litter)
[7] Schätzung Nils Möllmann (NABU - Fishing for Litter)

Nach der Berechnung machen Kunststoffe ca. 85 % des Meeresmülls aus; die Hauptfraktionen sind PE (42 %), PP (31 %) und PET (10 %).

Da es sich um ein theoretisches Berechnungsmodell handelt, kann die reale Zusammensetzung des Meeresmülls und der im Plastikanteil enthaltenen Fraktionen abweichen. Aus diesem Grund sind Feldversuche in potenziellen Operationsgebieten, wie in 3.7.2.1 beschrieben, von entscheidender Bedeutung. Durch die Ergebnisse der Fangversuche können das Rechenmodell angepasst und optimiert werden, die Maschinentechnik exakter definiert, und die Umsätze aus dem Verkauf der Ballenware präziser quantifiziert werden.

2.2.6. Verteilung des Kunststoffes in der Wasserssäule

Meeresmüll ist in jeder Schicht der Wassersäule zu finden. Nur ein bestimmter Teil schwimmt sichtbar an der Oberfläche bzw. bis zu 2 m darunter (vgl. 2.2.1) und ist somit für die Sammelfahrzeuge der Maritimen Müllabfuhr zugänglich.

Die Eunomia Studie aus 2.2.1 geht davon aus, dass nach längerer Zeit lediglich 1 % des Kunststoffes noch auf dem Wasser schwimmt, 5 % wieder an die Strände gespült wurden und 94 % auf den Grund gesunken sind (8). Das Umweltbundesamt hingegen gibt an, dass rund 15 % des Meeresmülls an der Wasseroberfläche treiben, ungefähr 15 % an die Strände gespült werden und ca. 70 % in der Wassersäule verteilt sind oder auf den Meeresboden sinken. (20)

Die sehr unterschiedlichen Werte der Quellen zeigen, wie komplex Prognosemodelle zum Verbleib des Kunststoffes nach seinem Eintrag sind und welche Unsicherheiten in Bezug auf valide Daten bestehen.

Bei der Verteilung der verschiedenen Kunststoffarten in der Wassersäule spielt die Dichte der einzelnen Kunststoffe eine wichtige Rolle. Die folgende Grafik zeigt die theoretische Verteilung verschiedener Plastikarten in der Wassersäule auf Basis ihrer Dichte.

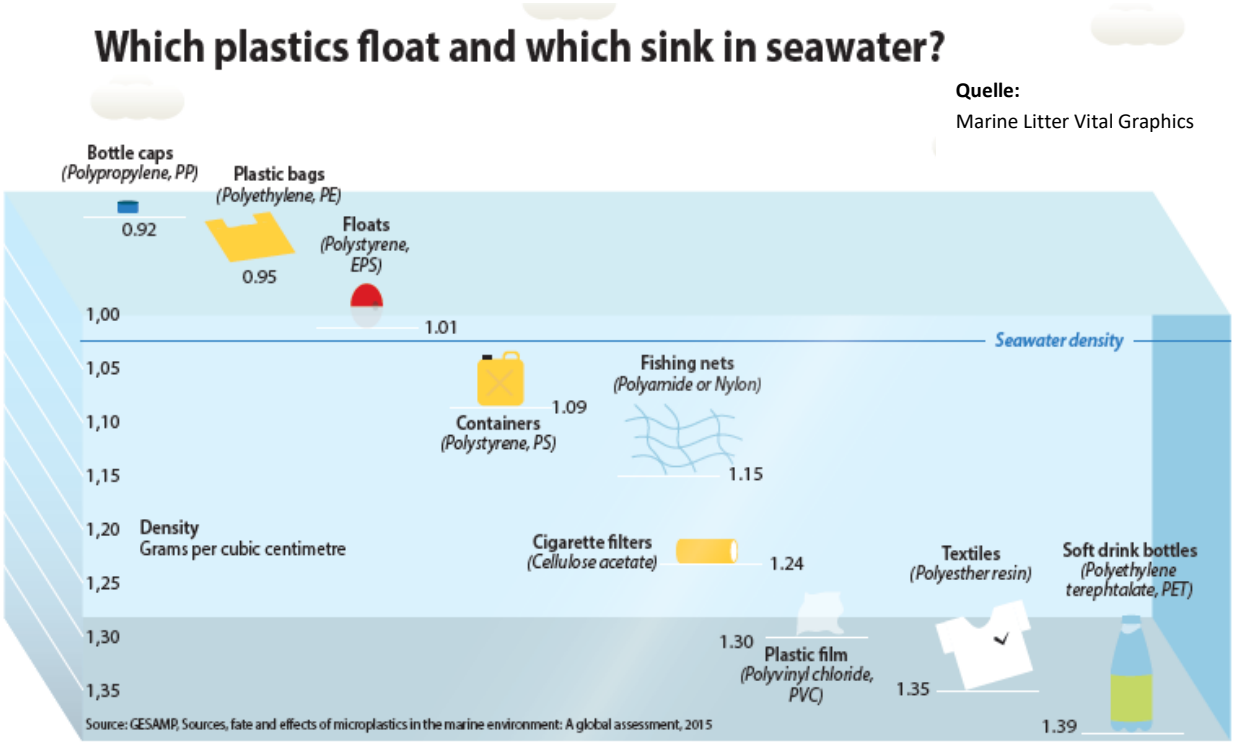


Abbildung 13 - Dichtebedingte Verteilung verschiedener Plastikarten in der Wassersäule (13)

Die Grafik geht dabei von einer homogenen Dichte der Kunststoffe aus und ist somit nur bedingt aussagekräftig. Plastikteile können aufgrund ihrer Form und durch Lufteinschlüsse trotz einer theoretisch höheren Dichte als Meerwasser dennoch schwimmen. Außerdem gibt es viele Plastikverbunde, die aus verschiedenen Plastiksorten bestehen, und dadurch eine abweichende Dichte aufweisen.

Es wird davon ausgegangen, dass die Fraktionen PP, PE und EPS dichtebedingt zu 100 % schwimmen. Für die Fraktionen PET, PS und PVC wird damit gerechnet, dass ca. 80 – 90 % der Teile aufgrund von Lufteinschlüssen schwimmen.

Je länger Kunststoffe im Wasser liegen, desto wahrscheinlicher ist die Anhaftung von Seepocken, Algen oder ähnlicher Organik. Durch maritimen Bewuchs steigt die Dichte und damit die Gefahr, dass die Kunststoffe zu Boden sinken. Aus diesem Grund muss der Plastikmüll so schnell wie möglich nach seinem Eintrag wieder aus dem Gewässer entfernt werden.

2.2.7. Größe des Plastiks

Man findet Kunststoffteile verschiedenster Größe im Meer. Sie reichen von großen Fischereikisten und meterlangen Netzen bis hin zu Zigarettenfiltern und Flaschendeckeln.

Durch die Kombination aus Wind, Salzwasser, UV-Strahlung der Sonne sowie mechanischem Reiben durch Seegang zerkleinert sich der eingetragene Kunststoffmüll mit der Zeit immer weiter. Bei der Zersetzung geben Kunststoffe giftige und hormonell wirksame Zusatzstoffe wie Weichmacher, Flammschutzmittel und UV-Filter in die Meeresumwelt oder den Organismus ab, der sie aufnimmt (21). Haben die Kunststoffteile schließlich eine Größe von < 5mm erreicht, wird von *sekundärem Mikroplastik* gesprochen, welches praktisch nicht mehr aus den Meeren zu entfernen ist.

Die folgende Tabelle aus der 2018 erschienenen Studie „Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic“ von L. Labreton (17) zeigt die Größenverteilung der schwimmenden Fraktionen von Kunststoffen im Great Pacific Garbage Patch und fasst diese in vier unterschiedliche Größen-Klassen zusammen.

Tabelle 6: Größen-Klassen und Anteile (17)

Größen-Klasse	Masse pro Größen-Klasse [kg/km²]	Prozentualer Anteil
Mikroplastik (0,05 - 0,5 cm)	2,5	4%
Mesoplastik (0,5 - 5 cm)	3,9	5%
Makroplastik (5 - 50 cm)	16,8	24%
Megaplastik (> 50 cm)	46,3	67%
Summe	**69,5**	**100%**

Die Einsätze des Sammelschiffes SeeKuh in Hongkong haben gezeigt, dass mit der vorhandenen Netztechnik (Maschenweite ca. 5 cm) Plastikteile zwischen 5 cm und 300 cm[8] eingesammelt werden können. Die neue Generation von Sammelfahrzeugen wird in der Lage sein, Kunststoffteile mindestens dieser Größenordnung zu sammeln. Damit wäre die Maritime Müllabfuhr in der Lage mehr als 90 % des schwimmenden Kunststoffmülls aufzusammeln.

Bei den Daten aus Tabelle 6 handelt es sich um Kunststoffteile aus dem GPGP. Es wird davon ausgegangen, dass in den Operationsgebieten (Küstengebiete und Flussmündungen) der Maritimen Müllabfuhr der Anteil von Plastikteilen > 5 cm deutlich größer ist, da die Plastikteile noch nicht lange im Wasser lagen und sich potenziell weniger zersetzt haben.

[8] Vorwiegend Geisternetze und Taue

2.2.8. Qualität von Meereskunststoffen

Die Vermarktungsfähigkeit der gesammelten Meereskunststoffe hängt maßgeblich davon ab, wie sich die Qualität der Kunststoffe durch ihre Zeit im Wasser verändert hat. In diesem Abschnitt werden deshalb wesentliche Einflussfaktoren sowie deren Auswirkungen auf die Qualität der Meereskunststoffe beschrieben.

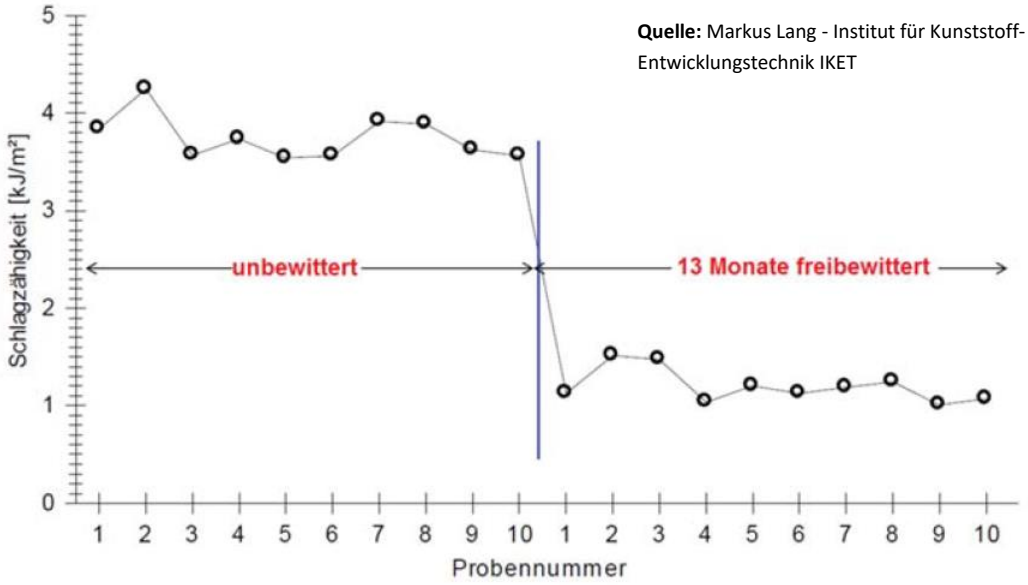
2.2.8.1. Verwitterung und Zersetzung

Die physikalische Verwitterung beschreibt den Zerfall von Kunststoffteilen in immer kleinere Fragmente ohne stoffliche Veränderung. Hier sind Einflüsse wie Temperatur, Druck, etc. verantwortlich für die Versprödung und den Zerfallsprozess des Kunststoffs.

Bei der chemischen Zersetzung reagieren die Polymere beispielsweise in Abhängigkeit von PH-Wert, Salinität oder UV-Strahlung zu anderen Stoffen (18).

Wesentliche Qualitätsparameter für Kunststoffe sind die Schlagzähigkeit, sowie die Bruchspannung und Bruchdehnung.

Die folgende Grafik zeigt die Schlagzähigkeit von unbewitterten im Vergleich zu 13 Monate freibewitterten Kunststoffen[9].



Quelle: Markus Lang - Institut für Kunststoff- und Entwicklungstechnik IKET

Abbildung 14 - Vergleich der Schlagzähigkeit von unbewitterten und freibewitterten Kunststoffen

Der Verlauf der Graphen zeigt, dass die Schlagzähigkeit der Kunststoffe nach 13 Monaten um das 2 bis 3-fache abgenommen hat.

[9] Versuchsmaterial: PP/ABS

Die nächste Grafik zeigt die Bruchspannung und Bruchdehnung gegenüber der Anzahl der Bewitterungsmonate.

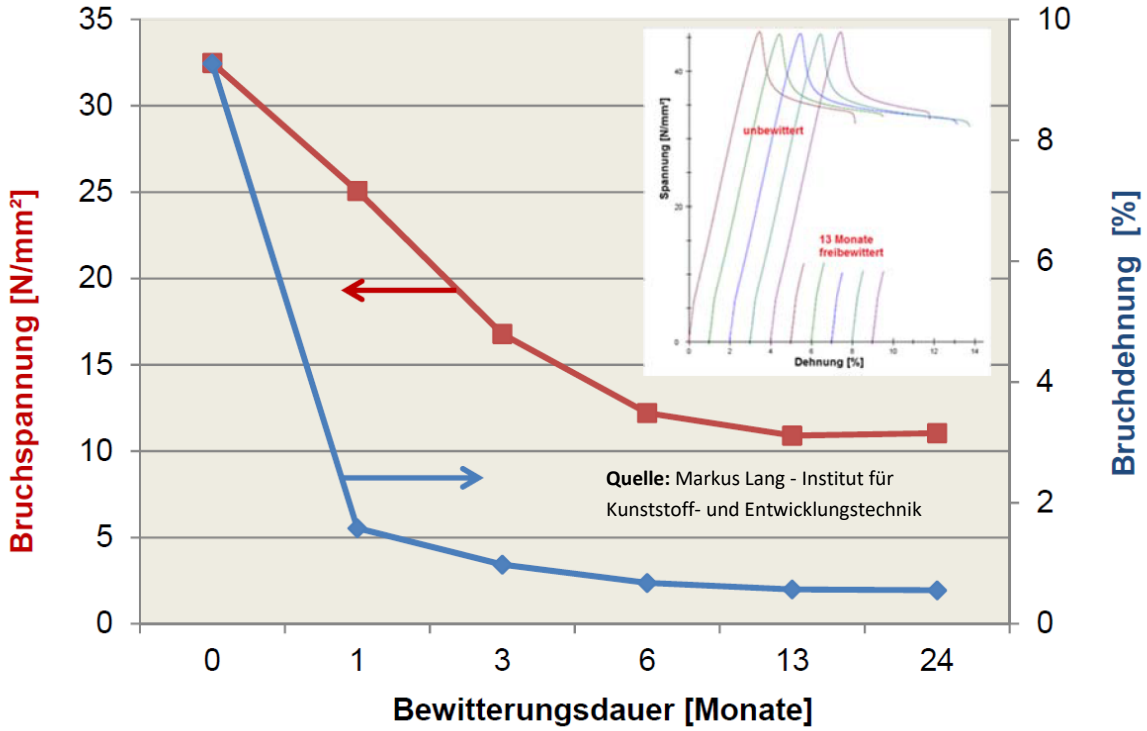


Abbildung 15 - Bruchspannung- und Dehnung in Abhängigkeit der Bewitterungsmonate

Die Auswertung zeigt, dass die Bruchspannung und Bruchdehnung exponentiell mit den Bewitterungsmonaten sinkt. Bereits nach 3 Monaten hat die Bruchspannung um das 2-Fache und die Bruchdehnung sogar um das 13-Fache abgenommen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Qualität der Kunststoffe signifikant sinkt, je länger Kunststoffe im Wasser liegen und Verwitterungen ausgesetzt sind. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Kunststoffe so schnell wie möglich wieder aus dem Gewässer gesammelt werden sollten, um möglichst hohe Qualitäten verarbeiten und auf dem Sekundärrohstoffmarkt anbieten zu können.

2.2.8.2. Maritimer Bewuchs

Mit zunehmendem maritimen Bewuchs wird ursprünglich leichtes Plastik schwerer und sinkt ab. Je kleiner die Plastikteile sind, desto höher ist auch die Sinkgeschwindigkeit, denn kleinere Partikel haben im Verhältnis eine größere Oberfläche und können daher stärker besiedelt werden (22).

Die folgenden Bilder zeigen beispielhaft, welche typischen Arten von Bewuchs an Kunststoffteilen aus dem Meer zu finden sind.

Quelle: OEOO

Abbildung 16 - Maritimer Bewuchs an Meereskunststoffen

Die aktuell verfügbaren Reinigungstechniken für Kunststoffe, welche auch meistens zugleich als Trenntechnik fungieren wie z.B. Schwimm-Sink-Rinnen, turbo-laminare Trenntechnik (TLT-Verfahren), Hochdruckspüldüsen können zwar Verschmutzungen und organischen Bewuchs von Bakterien, Algen und Seegras entfernen, ein Bewuchs durch z.B. Enten- oder Pfahlmuscheln erfordert wesentlich stärkere mechanische Kräfte.

Daher gilt auch für dieses Problemfeld die Prämisse, die eingetragenen Kunststoffe möglichst schnell wieder aus dem Wasser zu bekommen.

2.2.9. Saisonale Abhängigkeit der Eintragsmenge

Die Eintragsmenge von Meeresmüll variiert von Region zu Region stark und ist dabei direkt von den Jahreszeiten abhängig. Regen- und Sturmzeiten erhöhen die potenziellen Eintragsmengen an Flüssen und Küstengebieten.

Die folgende Grafik aus der 2018 erschienenen Studie „River plastic emissions to the world's oceans" von L. Labreton (16) zeigt die potenziellen Eintragsmengen von Plastikmüll ins Meer in Abhängigkeit der Monate und Kontinente.

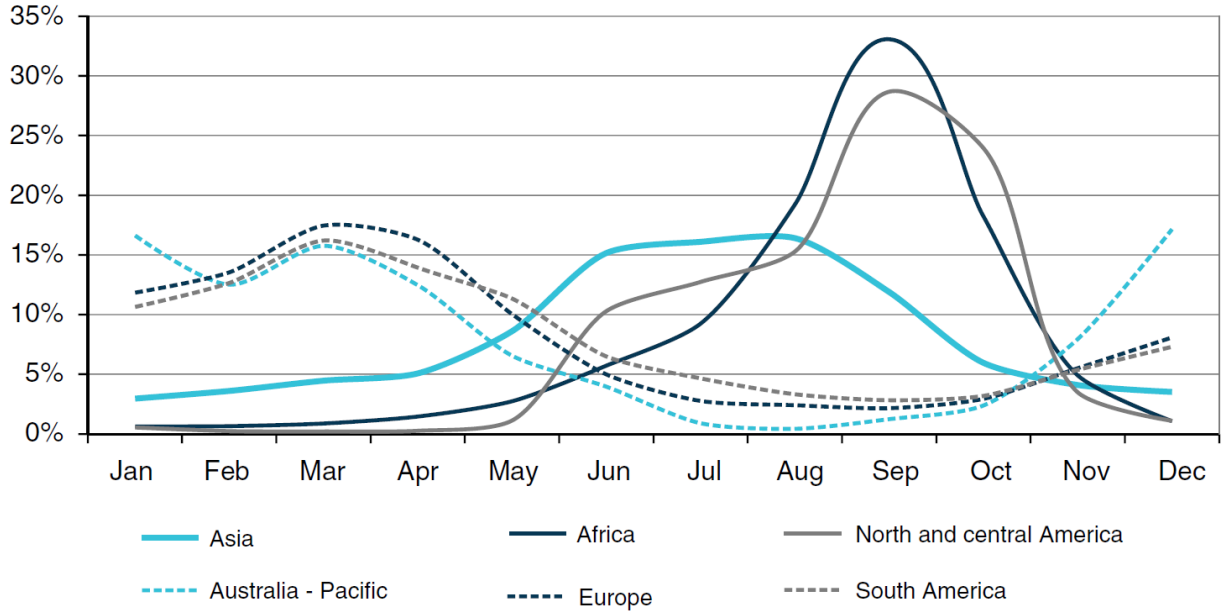


Abbildung 17 - Saisonale Abhängigkeit zwischen dem Plastikeintrag und der Jahreszeit (16)

Die Grafik zeigt, dass die Eintragsmengen in Spitzenmonaten ein Vielfaches von den Eintragsmengen in Monaten mit geringem Plastikeintragspotenzial erreichen können.

Anmerkung:

In dem für das Pilotsystem vorgesehenen asiatischen Einsatzgebiet ist die saisonale Schwankungsbreite nicht so groß wie z.B. in Afrika und Amerika. Zudem ist der Systembetrieb im Bereich von Top-Verschmutzer-Flussmündungen geplant, wo neben den saisonal unterschiedlichen Einträgen über die Flüsse auch der Bestandsmüll der Küstengewässer aufgenommen wird. Insoweit ist davon auszugehen, dass die geforderten 15 - 40 Tonnen Meeresplastik auch in den schwachen Eintragsmonaten erreicht werden.

2.2.10. Fazit

Der Abschnitt 2.2 zeigt, dass es eine Vielzahl an Herausforderungen gibt, die das schiffsgebundene großflächige Aufsammeln von Meeresmüll mit sich bringt. Es wird sowohl aus wirtschaftlicher als auch ökologischer Sicht davon ausgegangen, dass es am effizientesten ist, den Meeresmüll möglichst ortsnah und schnell nach seinem Eintrag wieder aus dem Wasser zu holen.

- Die Kunststoffteile sind noch groß und noch nicht zu Boden gesunken.
- Die Zersetzung zu Mikroplastik kann wirksam verhindert werden.
- Die Kunststoffe haben eine hohe Qualität, da das Potenzial an Verwitterung und Bewuchs gering ist.
- Plastik liegt an den Hotspots in hoher Konzentration vor. Dadurch höhere Effizienz bei geringerer ökologischer Belastung.

Dies bestätigt klar die in 2.2.3.4 festgelegten Operationsgebiete der Maritimen Müllabfuhr: Flüsse, Flussmündungen und Küstengebiete. Gleichzeitig wird deutlich, dass Feldversuche für Sammeltechniken und die Verarbeitungsfähigkeit des Meeresmülls notwendig sind, um den Herausforderungen möglichst effektiv zu begegnen. Dabei muss stets darauf geachtet werden, dass eine positive Ökobilanz erreicht wird.

2.3. Notwenigkeit einer Maritimen Müllabfuhr

Wie beschrieben muss zur Bekämpfung des Meeresmüll-Problems auf vielen Ebenen gleichzeitig gehandelt und das Bewusstsein der Menschen nachhaltig sensibilisiert werden. Ohne Frage ist es langfristig am wirksamsten, die Ursache des Problems anzugehen und dafür zu sorgen, dass der Kunststoffabfall nicht mehr in die Meere gelangt. Mit Hilfe gezielter Aufklärungs- und Bildungsarbeit müssen – gerade in Entwicklungs- und Schwellenländern ohne funktionierenden Entsorgungssystem – Anreize geschaffen werden, damit Kunststoff nicht als Müll, sondern als Wertstoff behandelt wird.

Eine globale Sensibilisierung der Menschen in Verbindung mit wirksamen Anreizsystemen zur Sammlung und Verwertung des Plastikmülls wird mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen. Es muss jedoch schon heute durch gezielte Projekte wie die Maritime Müllabfuhr von OEOO aktiv gegen Plastikmüll im Meer gekämpft werden, auch wenn eine Reduzierung des Plastikmülls lediglich ein Arbeiten an den Symptomen bedeutet.

Denn es werden auch in den kommenden Jahren weiterhin enorme Mengen von Plastikmüll in die Meere gelangen. Die folgende Grafik zeigt die von Jenna Jambeck prognostizierte kumulierte Summe von Plastikmüll im Meer für drei verschiedene Szenarien bis zum Jahre 2025.

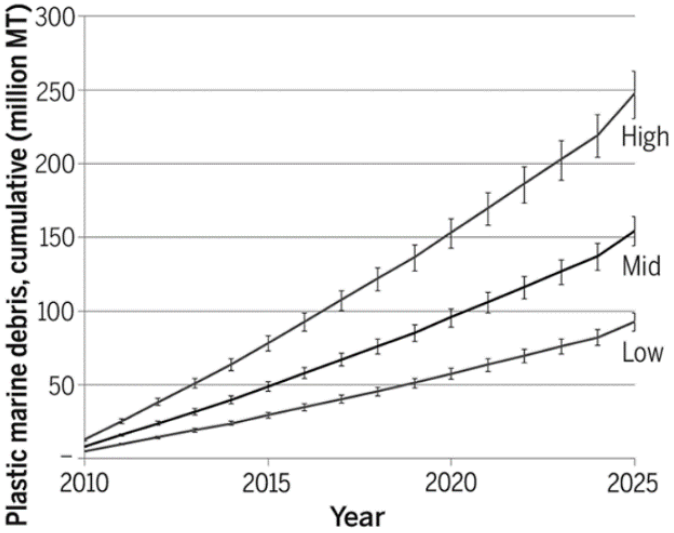


Abbildung 18 - Prognostizierte kumulierte Summe von Plastikmüll im Meer (3)

Deutlich wird, dass die Summe des Plastikmülls im Meer bis 2025 um ca. 100 Millionen Tonnen ansteigt, wenn nichts gegen die Einleitung unternommen wird (3).

Dies unterstreicht die große Notwendigkeit von maritimen Reinigungsprojekten. Solange die Küstengebiete und Flussmündungen die Haupt-Einleitungsquellen für den Plastikmüll ins Meer sind, muss dort eine Maritime Müllabfuhr betrieben werden, die ein Heraustreiben des Mülls auf die offene See nachhaltig verhindert.

2.4. Das Konzept der Maritimen Müllabfuhr von OEOO - Kurzbeschreibung

Das Konzept der Maritimen Müllabfuhr von OEOO sieht vor, Gewässer mit Hilfe von speziellen Boots- und Schiffstypen von Meeresmüll zu reinigen und das gesammelte Material zu verarbeiten. Meeresmüll bezeichnet dabei Gegenstände und Materialien, die nicht organischen Ursprungs sind, aber durch verschiedene Quellen in die Gewässer eingetragen wurden. Wie bereits beschrieben handelt es sich dabei insbesondere um Kunststoffabfälle.

Der Plan sieht vor: Potenzielle Meeresmüll-Hotspots wie Flüsse, Flussmündungen und Küstengebiete werden mit modernster Technik (Satelliten, Drohnen) lokalisiert und von speziellen Sammelbooten (SeeHamster, SeeKühe) gereinigt. Der gesammelte Meeresmüll wird an das Verarbeitungsschiff (SeeElefant) übergeben, das den Müll aufbereitet, sortiert und verarbeitet. Ein SE-System ist somit ein Verbund aus Müllsammelschiffen und einem SeeElefanten. Die jeweilige Anzahl der Müllsammelschiffe richtet sich dabei nach der Kapazität des SeeElefanten. Das Pilotsystem benötigt z.B. bei der Verarbeitungskapazität von täglich 15 Tonnen Meeresplastik jeweils 4 SeeKühe und SeeHamster. Bei der späteren Skalierung auf täglich 40 Tonnen werden jeweils 10 Sammelschiffe benötigt.

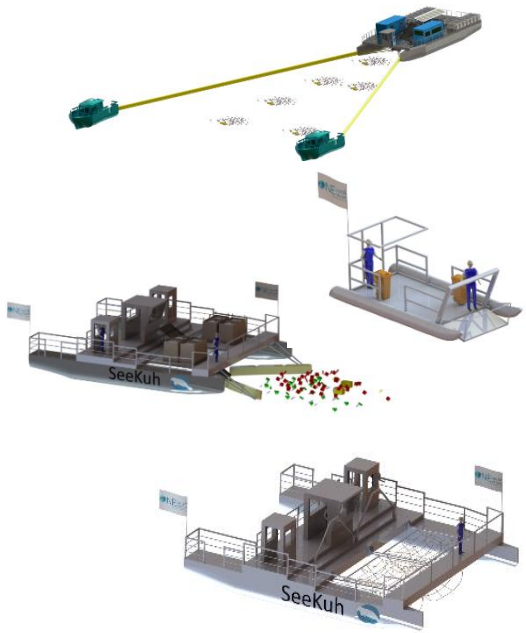
Alle SE-Systeme bilden gemeinsam die Maritime Müllabfuhr, die als globales Reinigungssystem fungiert. Das SeeElefant-Konzept (Anlagentechnik, Lagerung der Endprodukte, Lade- und Löschvorgänge) wird modular auf Containerbasis aufgebaut. Dadurch lassen sich die einzelnen Module schnell und unkompliziert austauschen und eine Skalierung des Systems ist einfach zu realisieren.

Die Anlagentechnik kann sowohl stationär an Land oder auf einem Ponton, als auch auf einem Schiff betrieben werden.

Die folgenden Abbildungen zeigen anschaulich die einzelnen Bausteine des Konzeptes der von OEOO entwickelten Maritimen Müllabfuhr

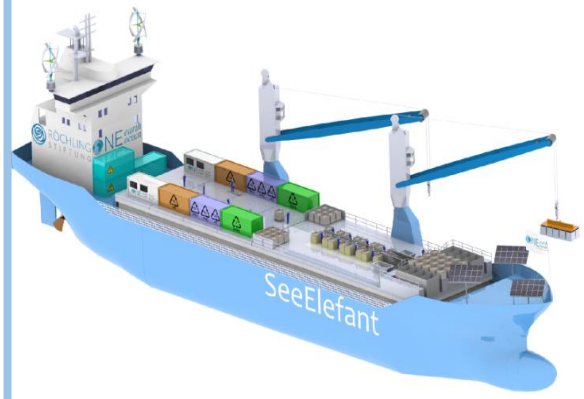
1. Lokalisieren

Mit Hilfe einer App, Satelliten und Drohnen werden die Hotspots des jeweiligen Einsatzgebietes lokalisiert.



2. Sammeln

Mit SeeKühen, SeeHamstern und lokalen Fischereinfahrzeugen, die mit speziellen Sammelwerkzeugen ausgestattet werden, wird der Meeresmüll gesammelt und grob vorsortiert.



3. Übernahme, Sortierung und Verwertung

Der SeeElefant übernimmt den Meeresmüll mit den bordeigenen Kränen. Anschließend wird der Müll aufbereitet, sortiert und z.B. zu sortenreinen Ballen verarbeitet, die in Containern auf dem Schiff gelagert werden.

4. Ladungsumschlag

Ist die Lagerkapazität des SeeElefanten ausgeschöpft, fährt dieser zum Ladungsumschlag in einen Hafen.
Hierbei werden auch Güter für den Schiffsbetrieb aufgenommen.

Quelle: OEOO

Abbildung 19 - Das Konzept der Maritimen Müllabfuhr von OEOO

2.5. Differenzierung zu maritimen Reinigungsprojekten anderer Organisationen

Es gibt eine Vielzahl von Projekten, welche sich mit der Säuberung der Meere vom Meeresmüll befassen. Eine Auflistung von bekannten Projekten befindet sich im Anhang 4.

Im Folgenden wird beschrieben, wie sich die Arbeit von OEOO maßgeblich von anderen Projekten unterscheidet.

2.5.1. Pragmatismus statt Science-Fiction

Unter der Prämisse „Pragmatismus statt Science-Fiction“ setzt die technische Abteilung von One Earth – One Ocean bei der Entwicklung ihrer Konzepte ausschließlich auf bewährte und marktreife Techniken. Diese Techniken werden in enger Zusammenarbeit mit den entsprechenden Herstellern, sowie bei Bedarf und Notwendigkeit in enger Absprache mit zuständigen Behörden auf den neuen Anwendungsfall übertragen. Hierdurch werden die technischen Risiken minimiert bei gleichzeitiger Maximierung der Umsetzungschancen.

Durch das containerbasierte System wird die Technik nicht nur leicht integrierbar, sondern kann durch die Skalierbarkeit flexibel auf sich ändernde Rahmenbedingungen und regionale Unterschiede reagieren.

Das Konzept der Maritimen Müllabfuhr bildet dabei ein geschlossenes System vom Lokalisieren, Sammeln und Verarbeiten von Meeresmüll.

Im Unterschied zur OEOO-Konzeption stellt kein anderes Projekt ein umfassendes, globales Lösungskonzept inklusive nachhaltiger Verwertung der aufgefischten Abfälle dar. Einige Ideen sind Visionen mit unklaren Kosten-Nutzen-Relation, deren technische Umsetzbarkeit nicht realistisch erscheint. Andere Ideen und Ansätze zur Müllfangtechnik sind ggf. mit der OEOO-Konzeption kombinierbar.

Vorteile bei Konzeption, Kosten und Umsetzungsgeschwindigkeit

<u>Mehrzweckfrachter-Gebrauchtschiff als Verwertungs- und Prozessschiff</u>

Der Sekundärmarkt der Mehrzweckfrachter (100 m bis 140 m) ist für Käufer aktuell und in Zukunft aufgrund der Entwicklung zu immer größeren Schiffen sehr vorteilhaft: Für die Zwecke der Maritimen Müllabfuhr geeignete Gebrauchtschiffe mit Kranen werden in ordnungsgemäßem Zustand zwischen 2,2 Mio. EUR und max. 4,0 Mio. EUR gehandelt.

Gegenüber einem neu zu konzipierenden und zu bauenden Schiff generiert das OEOO-Konzept an dieser Stelle nicht nur hinsichtlich der Kosten einen deutlichen Vorteil, sondern auch in Bezug auf die Umsetzungszeit des Konzepts.

Containerbasierte Maschinen- und Anlagentechnik

Modularität- und Skalierbarkeit der Prozesstechnik spielt eine wesentliche Rolle zur jeweils "richtigen" kapazitiven Ausstattung der SeeElefant-Systeme an den Hotspots und zur Verarbeitung wachsender Mengen auf dem Weg zu Kostendeckung und Profitabilität.

Globaler Ansatz

Der globale Konzeptansatz der Maritimen Müllabfuhr stellt sicher, dass weltweit alle Haupt-Eintragsquellen von Meeresmüll – insbesondere in Asien – angegangen werden können. Wesentlich ist, diesem räumlich nicht begrenzten Problem auch mit einem globalen Konzeptansatz zu begegnen.

Umsetzungsgeschwindigkeit

Zudem ist ein überschaubarer Umsetzungshorizont für potenzielle Investoren/Betreiber genauso wesentlich wie der Einsatz bewährter, industrietauglicher Technik: Nur bei pragmatischer Auslegung von praxiserprobten Hauptsystemen bleiben Risiken und Kosten beherrschbar.

Fazit:

Insbesondere aufgrund der Mehrzweckfrachter-Lösung aber auch aufgrund der belegbaren technischen, organisatorischen, finanziellen und rechtlichen Machbarkeit ist die Maritime Müllabfuhr von OEOO deutlich näher an der Realisierung als ähnliche Projekte.

2.5.2. Ähnliche Projekte und potenzielle Partner

Aus einer Vielzahl an recherchierten Projekten weltweit haben wir für die vorliegende Studie beispielhaft drei bekannte Initiativen ausgewählt, die sich bereits in der „aktiven“ Phase befinden und sich somit mit den Aktivitäten von One Earth – One Ocean vergleichen lassen. Der Vergleich soll zudem genutzt werden, um das Potenzial einer Partnerschaft und Zusammenarbeit aufzuzeigen.

2.5.2.1. The Ocean Cleanup

Beschreibung:

Das Unternehmen „The Ocean Cleanup“ wurde 2013 von dem damals 18-jährige Niederländer Boyan Slat gegründet. Mit Hilfe einer autark schwimmenden Barriere, die im Great Pacific Garbage Patch treibt, soll der Meeresmüll konzentriert und anschließend abgesammelt werden. Die folgenden Abbildungen zeigen den im Oktober 2018 ausgebrachten Prototypen der Schwimmbarriere, sowie dessen geplante Funktionsweise.

Abbildung 20 - Das Pilotsystem von The Ocean Cleanup

Quelle:
theoceancleanup.com

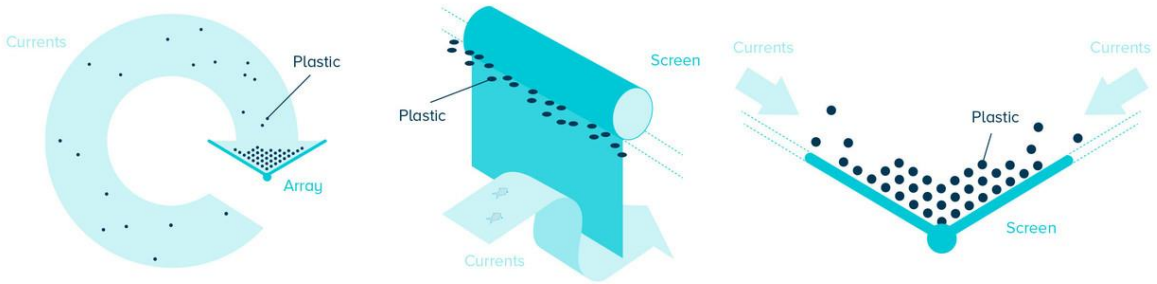


Abbildung 21 - Funktionsweise von The Ocean Cleanup

Durch die U-Form könne sich die 600 m lange Barriere sich schneller in der Meeresströmung fortbewegen als der Meeresmüll. Dadurch soll das System in der Lage sein, den Meeresmüll zu sammeln, der dann am Ende der U-Form in hoher Konzentration erwartet wird. Eine Plane, die bis ca.

3 m unter die Wasseroberfläche reicht, soll verhindern, dass der Meeresmüll wieder aus dem System getrieben wird. Der konzentrierte Kunststoffabfall soll dann mit Hilfe von Schiffen aufgenommen, an Land gebracht und dort zu neuen Produkten verarbeitet werden (23).

Projektdaten:

System: Autarke, schwimmende Barriere

Einsatzort: Müllstrudel, Great Pacific Garbage Patch

Zielsetzung: Entfernung von 50 % des schwimmenden Meeresmülls des GPGP (ca. 56.000 t) innerhalb von 5 Jahren

Davon erreicht: /

Finanzierung: 30 Millionen USD über Spenden und Sponsoren

Aktueller Stand des Projektes:

Im Dezember 2018 teilte The Ocean Cleanup zunächst mit, dass das 2 Monate zuvor ausgebrachte System das eingesammelte Plastik nicht festhalten konnte. Im Januar 2019 wurde das Projekt dann vorerst gestoppt und das System aufgrund einer Beschädigung zurück an Land gebracht. Als Ursache für den Schaden wird Materialermüdung und starke örtliche Beanspruchung vermutet. Wie lange die Reparatur und die gleichzeitige Anpassung der Anlage dauert, ist noch unklar (24).

Ebenso ungeklärt ist die Nachhaltigkeit des Ansatzes, da allein für das Sammelsystem mehrere Tonnen an Kunststoffen für die Barriere produziert werden, wobei Details zu Haltbarkeit, Lebensdauer und Wiederverwertbarkeit der Barriere aktuell nicht bekannt sind.

Potenzielle Zusammenarbeit:

Auch wenn die derzeitigen Probleme von The Ocean Cleanup bewältigt werden können und das System anschließend funktioniert, bietet das Konzept bisher keine einsatzfähigen Techniken zum Absammeln und Verarbeiten des Meeresmülls. Hier könnte die Maritime Müllabfuhr von OEOO mit ihren Sammel- und Verarbeitungsschiffen eingesetzt werden. Eine Zusammenarbeit kann sinnvoll sein, wenn sich das System von The Ocean Cleanup als funktionsfähig erweisen sollte.

2.5.2.2. 4Ocean

Die amerikanische Organisation 4Ocean wurde 2017 von den beiden Surfern Alex Schulze and Andrew Cooper gegründet und beschäftigt über 150 Arbeitskräfte in 16 Ländern. Mit großen Strandsammelaktionen (Beach Cleanups) und mit eigenen Booten hat 4Ocean seit der Gründung nach eigenen Angaben 1,78 Tonnen Meeresmüll gesammelt. Die Projekte von 4Ocean werden durch den Verkauf von Armbändern aus recyceltem Kunststoff finanziert.

Die folgenden Bilder zeigen beispielhaft die Aktivitäten von 4Ocean.

Abbildung 22 - Cleanup-Aktionen von 4Ocean

Quelle: 4ocean.com

Das neuste Projekt von 4Ocean ist das „Ocean Plastic Recovery“ kurz OPR Projekt. Es sieht vor, mit Schiffen an Flussmündungen großflächig den Meeresmüll aufzusammeln und an Bord eines Versorgungsschiffes manuell zu sortieren. Ein großes Versorgungsschiff transportiert Sammelboote in ein ausgewähltes Operationsgebiet (z.B. Flussmündung) und bringt anschließend eine Schwimmbarriere aus, um den Meeresmüll daran zu hindern, aus der Flussmündung in das Meer zu treiben.

Der konzentrierte Meeresmüll wird manuell mit Hilfe von Keschern gesammelt und in Big-Bags gelagert. Das Versorgungsschiff übernimmt die Big-Bags mit Hilfe eines Kranes. Auf dem Deck des Versorgers soll der Müll anschließend manuell sortiert und gelagert werden. Die Lagerkapazität wird dabei mit 150 Tonnen angegeben. Der sortierte Plastikmüll soll anschließend an Land gebracht und von dortigen Anlagen, die jedoch nicht Inhalt des Konzeptes sind, recycelt werden (25).

Projektdaten:

System: Strand Cleanups, Manuelle Reinigung von Küstenbereichen mit Booten
Einsatzort: weltweit in über 16 Ländern an Stränden, Küstengebieten und Flussmündungen
Zielsetzung: Es wird kein messbares Ziel angegeben
Davon erreicht: Nach eigenen Angaben hat 4Ocean bereits 1,776 Tonnen Meeresmüll gesammelt
Finanzierung: Über den Verkauf von Armbändern (20 €/Armband). Für jedes verkaufte Armband werden nach Angaben von 4Ocean 0,5 kg Meeresmüll gesammelt.

Potenzielle Zusammenarbeit:

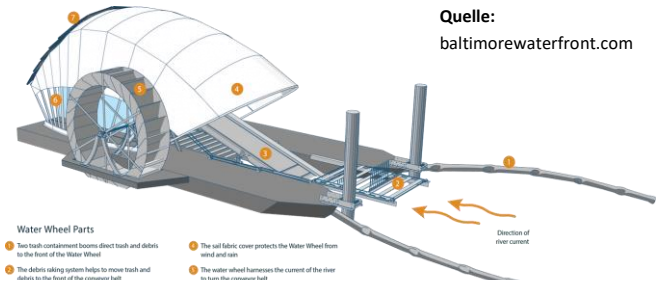
Das vorgestellte OPR-Konzept von 4Ocean hat viele Berührungspunkte mit der Maritimen Müllabfuhr von OEOO. Es ist ebenfalls schiffs- bzw. bootsbasierend und hat grundsätzlich ähnliche potenzielle Operationsgebiete. Entscheidender Unterschied ist, dass 4Ocean kein eigenes Konzept für die Verarbeitung des gesammelten Meeresmülls hat. Hier besteht großes Potenzial einer Zusammenarbeit. OEOO könnte ggf. 4Ocean mit dem Verarbeitungsschiff SeeElefant unterstützen und den gesammelten Meeresmüll direkt im Operationsgebiet verarbeiten. Da 4Ocean bereits an potenziellen Einsatzorten der Maritimen Müllabfuhr – wie z.B. Bali und Honduras – mit eigenen Standorten vertreten ist, könnte 4Ocean ggf. die vor Ort-Organisation und die rechtlichen Rahmenbedingungen für großangelegte gemeinsame Reinigungsaktionen übernehmen

Parallel zu den Flussmündungen und Küstenstreifen ist es zwingend erforderlich, auch die Landseite, Ufer- und Strandstreifen zu reinigen. Die Organisation und Durchführung dieser Cleanups würden eine effiziente Schnittmenge darstellen.

Eine Kontaktaufnahme zur Prüfung einer Zusammenarbeit mit 4Ocean ist für Q2/2019 geplant.

2.5.2.3. Trash Wheel Project

Das Trash Wheel im Auftrag der Waterfront Alliance wurde von John Kellett entwickelt und ist seit 2014 im Jones Falls River im Einsatz. Seitdem hat das Trash Wheel bereits 1000 Tonnen Meeresmüll gesammelt. Die folgenden Abbildungen zeigen die Funktionsweise des stationären Sammelsystems.



Quelle:
baltimorewaterfront.com

Abbildung 23 - Funktionsweise des Trash Wheels

Schwimmbarrieren leiten den im Fluss schwimmenden Müll auf ein Förderband, welches diesen in einen dahinter befindlichen Container befördert. Das Förderband wird dabei durch ein Wasserrad über die Strömung des Flusses angetrieben. Wenn die Strömung nicht ausreicht, um das Förderband zu betreiben, wird Energie über Solaranlagen zugeschaltet (26).

Projektdaten:

System: Stationäres Förderband, angetrieben von einem Wasserrad bzw. Solartechnik

Einsatzort: Baltimore (USA)

Zielsetzung: bis 2020 soll im Hafenbecken von Baltimore wieder Schwimmen und Fischen möglich sein

Davon erreicht: Nach eigenen Angaben hat das Thrash Wheel bereits 1000 t Meeresmüll aus dem Fluss geholt

Finanzierung: 720.000 USD über öffentliche und private Spenden

Potenzielle Zusammenarbeit:

Das stationäre System ähnelt in seiner Funktionsweise der SeeKuh mit Förderbandtechnik (siehe 3.2.2.5). Nach dem gleichen Prinzip könnten auch SeeKühe in verschmutzten Flüssen eingesetzt werden. Hier sollte auf das jahrelange Knowhow des Baltimore Projektes zurückgegriffen werden, sobald OEOO ein entsprechendes Projekt definiert hat.

2.5.3. Fazit

Es gibt bereits mehrere Projekte, die sich intensiv mit der Reinigung unserer Gewässer vom (Plastik)Müll befassen. Da die Herausforderungen einer großflächigen Reinigung komplex sind, sollten die Kompetenzen und Erfahrungen verschiedener Lösungsansätze sinnvoll gebündelt werden und dort, wo möglich, zusammengearbeitet werden. Die drei vorgestellten Projekte zeigen teilweise großes Potenzial für eine Zusammenarbeit. Insbesondere die Zusammenarbeit mit dem OPR-Projekt von 4Ocean erscheint interessant, da sich hier sowohl die geplanten Techniken als auch die potenziellen Operationsgebiete ähneln.

3. Machbarkeitsüberprüfungen

Im vorangegangenen Abschnitt wurde detailliert ausgeführt, weshalb eine Maritime Müllabfuhr dringend notwendig ist, und warum der Einsatz in Flussmündungen und Küstengebieten aus ökologischer und ökonomischer Sicht besonders effektiv ist.

Es wurden Herausforderungen beleuchtet, mit denen die Maritime Müllabfuhr zu kämpfen hat, ferner wurde das Potenzial der Zusammenarbeit mit anderen Projekten vorgestellt.

Die folgenden Machbarkeitsüberprüfungen untersuchen, ob durch den gezielten Einsatz von bereits heute marktfähigen Anlagen und Techniken eine nachhaltige Reduzierung des Meeresmülls erreicht werden kann.

Das Ziel der Machbarkeitsüberprüfungen ist die Konzeption eines technisch umsetzbaren, schiffsbasierten Gesamtsystems zur großflächigen Reinigung von Meeresmüll für Küstengebiete und Flussmündungen.

Im Folgenden werden die bereits in 2.4 genannten Einzelsysteme zur Lokalisierung, Sammlung und Verarbeitung von Meeresmüll, sowie deren Schnittstellen detailliert untersucht.

Anschließend wird die Genehmigungsfähigkeit des Schiffskonzepts erläutert, sowie eine wirtschaftliche Betrachtung des Betriebskonzepts anhand der Modellierung eines 10-Jahres-Zeitraums durchgeführt.

3.1. Technische Machbarkeit: Lokalisierung und Ortung

Die MM soll an Hotspots in Küstengebieten und Flussmündungen eingesetzt werden. Ein Hotspot bezeichnet dabei ein Gebiet, in dem die Müllkonzentration besonders hoch und dadurch das

Aufsammeln besonders effizient, ökologisch und wirtschaftlich ist.

Abbildung 24 - Hotspot am Fluss Citarum River, Jakarta

Quelle: http://coastalcare.org

Die in 2.2.3.1 und 2.2.3.2 vorgestellten Studien von Jenna Jambeck und Laurent Labreton geben einen sehr guten Überblick, an welchen Küstenabschnitten und Flussmündungen mit einer hohen Anzahl an Hotspots gerechnet werden kann. Eine genaue Lokalisierung ist anhand dieser Studien jedoch nicht möglich. Es muss zwischen zwei verschiedenen Arten von Hotspots unterschieden werden. *Persistente Hotspots* sind Gebiete, in denen die Müllkonzentration das ganze Jahr über an derselben Stelle durchgehend hoch ist. *Temporäre Hotspots* können sich durch Strömungen, Wind und Wetter an unterschiedlichen Stellen bilden und auch wieder verschwinden. Auch die in 2.2.9 beschriebene saisonale Abhängigkeit spielt hier eine große Rolle. Ein Live-Monitoring ist erforderlich, um die temporären Hotspots zu lokalisieren.

Im Meilenstein 8 der Roadmap zur Maritimen Müllabfuhr sind diese Aufgabenbereiche zusammengefasst.

3.1.1. Marine-Litter-App

Mit Hilfe einer smartphonebasierten, noch zu entwickelnden Marine Litter App soll die genauere Lokalisierung sowohl von persistenten als auch von temporären Hotspots möglich werden. Die App-Nutzer können weltweit Standorte, Bilder und Beschreibungen von Hotspots melden. Die Daten werden anschließend in eine interaktive Karte der App eingepflegt. Wenn sich die Meldungen an einem bestimmten Standort häufen – und die Bilder und Beschreibungen den Hotspot bestätigen – kann dieser als potenzielles Einsatzgebiet der MM aufgenommen und durch Inaugenscheinnahme eines OEOO-Experten verifiziert werden.

Sollten Hotspots an Stränden bzw. an Ufern von Flüssen gemeldet werden, kann die App außerdem als Plattform dienen, um Clean-Ups zu planen und durchzuführen.

Die Deutsche Bahn und verschiedene deutsche Städte nutzen bereits den Einsatz vergleichbarer Apps, um gezielt gegen Verschmutzungen vorzugehen (27).

3.1.2. Drohneneinsatz

Für die operative Planung eines Reinigungseinsatzes der MM müssen Existenz, Ausmaß und Zusammensetzung – gerade von temporären Hotspots – mit Hilfe einer Drohne mit hochauflösender Kameratechnik analysiert werden. Durch eine Auswertung der Drohnen-Bilder können überschlägig die Operationsdauer sowie die Kosten der Reinigungsaktion und die benötigte Reinigungsausrüstung abgeschätzt werden. Hochwertige Drohnen, die diese Aufgaben erfüllen können, sind im Handel für bis zu 2.000 € inkl. Peripherie erhältlich (28). Ihr Einsatz unterliegt den gesetzlichen Regularien des jeweiligen Staates und erfordert entsprechend ausgebildete bzw. zertifizierte Piloten.

3.1.3. Satelliteneinsatz

Auch ein Satelliteneinsatz zur Lokalisierung von Hotspots ist denkbar und technisch möglich. Die Satelliten 'Landsat 7 und 8', zwei baugleiche 'Sentinel 2'-Satelliten und 'Rapid Eye' sind technisch in der in der Lage, Meeresmüll-Hotspots zu orten (29). Ziel ist, ein permanentes, satellitengestütztes Echtzeit-Ortungssystems zur weltweiten Lokalisierung von Plastik-Hotspots aufzubauen. Inwiefern auch Strömungsmodelle Berücksichtigung finden sollten, um Plastik-Konzentration noch effizienter zu prognostizieren, müssen spätere Untersuchungen zeigen.

Kosten, rechtliche Grundlagen und technischer Aufwand müssten im Falle eines Einsatzes detailliert untersucht werden.

3.2. Technische Machbarkeit: Sammeltechniken

Ist ein Hotspot lokalisiert, bestätigt und analysiert sowie der Einsatz geplant worden, kann die Maritime Müllabfuhr das Zielgebiet ansteuern. Der erste Schritt ist das Aufsammeln des Meeresmülls mit Hilfe der speziell entwickelten Boots- und Schiffstypen SeeHamster und SeeKuh.

Die Effizienz der Maritimen Müllabfuhr hängt unmittelbar von der Effizienz der Sammelfahrzeuge ab. Aus diesem Grund werden in dieser Machbarkeitsstudie auch neue Technik- und Betriebskonzepte für zukünftige Sammelfahrzeuge vorgestellt.

Vorsortierung:

Während des Sammelvorgangs kann bereits eine grobe, manuelle Vorsortierung Organik/Meeresmüll realisiert werden. Gesammelt und in Big-Bags gelagert wird ausschließlich der Meeresmüll, also das Material, das nicht in die Meere gehört. Der ca. 25 %ige Anteil von organischem Material (siehe 2.2.5), der beim Sammelvorgang ggf. mit aufgenommen wird, wird vom Sortierpersonal aussortiert und unmittelbar wieder ins Meer gegeben.

Große, nicht handelbare Störstoffe wie Netze, Treibholz oder Verbunde werden ggf. mit Hilfe eines kleinen Kranes geborgen und sondergelagert.

Lagerung:

Der Meeresmüll wird in Big-Bags gelagert. Legt man die Dichte des gelben Sackes zugrunde, so kann ein mit Kunstoffen befüllter Big-Bag ca. 30 kg aufnehmen (30).

Als Lager- und Handlingsystem wurden bewusst ca. 1,5 m^3 große Big-Bags gewählt, weil:

1. dieser Behälter mit Kunststoffen lose gefüllt mit bis zu 30 kg noch gut von Hand zu bewegen sind
2. diese Säcke weich sind, d.h. bei Seegang oder umfallen weder beschädigt werden noch Schaden verursachen können
3. diese Säcke mit den Schlaufen gut zu kranen sind,
4. die Säcke stapelbar sind
5. im leeren Zustand nur minimalen Platzbedarf haben und leicht sind
6. weltweit verfügbar sind bei geringem Invest

Die nicht handlebaren Störstoffe wie Autoreifen, große Verbunde und Netze werden gesondert gelagert, um den Sortier- und Verarbeitungsprozess auf dem SeeElefanten möglichst einfach zu gestalten.

Mengen und Schichten:

Die Sammelfahrzeuge können nur bei Tageslicht arbeiten. Pro Tag wird in einer Schicht ca. 8 Stunden gesammelt.

Um die geforderten täglichen Verarbeitungsmengen von knapp 18 Tonnen Meeresmüll zu erreichen, müssen pro Tag von den Sammelfahrzeugen insgesamt ca. 600 Big-Bags gesammelt werden. Bei einer täglichen 8 Stunden Sammelschicht bedeutet das, dass pro Stunde ca. 75 volle Big-Bags entstehen. Bei einem Einsatz von 4 SeeKühen und 4 SeeHamstern muss ein Sammelfahrzeug im Mittel pro Stunde ca. 9 Big-Bags mit Meeresmüll füllen.

Im Folgenden werden die von OEOO entwickelten und teilweise schon technisch umgesetzten Sammelmethoden vorgestellt.

3.2.1. SeeHamster

Abbildung 25 - Das Müllsammelboot "SeeHamster" beim Einsatz in einem Fluss **Quelle:** OEOO

Kurzbeschreibung:

Die kleinste Einheit der „Maritimen Müllabfuhr“ ist der SeeHamster, ein kleiner Katamaran mit geringer elektrischer Motorisierung und herunterklappbarem Fanggeschirr.

Seit 2011 hat OEOO bereits fünf SeeHamster gebaut, die zur Reinigung von Seen in Deutschland, sowie Flüssen und Küstengebieten in Asien, eingesetzt werden. Waren die älteren SeeHamster-Versionen noch mit einer Netztechnik versehen, sind die neueren Generationen mit einer Lochrampe als Sammelgeschirr ausgestattet. Durch die relativ hohe Sammelgeschwindigkeit wird über den Staudruck des Wassers der Müll die Rampe hochgedrückt und kann dort manuell in Big-Bags gelagert werden. Seit 2018 ist ein SeeHamster in Kambodscha im Einsatz um Abschnitte des Flusses Sangke zu säubern. Ein aktueller Reinigungsbericht befindet sich im Anhang 5.

Technische Daten (versionsabhängig):

Abmessungen:	Länge: 4-5 m | Breite: 2 m | Tiefgang: 0,2 m
Gewicht:	400 - 500 kg
Motorisierung:	2,2 - 7,4 kW
Reinigungsleistung:	6500 m²/h
Ladekapazität:	50 - 100 kg
Einsatzgebiete:	Flüsse, Flussmündungen, naher Küstenbereich, Gebiete mit geringen Wassertiefen

3.2.2. SeeKuh

Das große Müllsammelfahrzeug von OEOO ist die SeeKuh. Im Folgenden werden die bereits gebaute SeeKuh sowie zukünftige Varianten der SeeKuh vorgestellt.

3.2.2.1. SeeKuh mit Netztechnik

Abbildung 26 - Das Müllsammelschiff "SeeKuh" im Einsatz vor Hong Kong (2018) **Quelle:** OEOO

Kurzbeschreibung:

Im Jahr 2016 wurde die SeeKuh in Lübeck vom Stapel gelassen und hatte ihren ersten Einsatz von 2017 bis 2018 in Hongkong. Das Spezialschiff ist modular aufgebaut, sodass es vollständig zerlegt und in vier 40-Fuß-Containern verstaut werden kann. Damit kann die SeeKuh in alle Teile der Erde verschifft werden und ist regional ohne Einschränkungen einsetzbar. Zwischen den Rümpfen befindet sich eine Netzkonstruktion, die manuell ausgebracht und eingeholt wird. Das Netz hat dabei eine Maschenweite von 3,5 - 5 cm und reicht bis zu 2,5 m unter die Wasseroberfläche. Ist das Netz voll, wird es eingeholt und der Meeresmüll in entsprechenden Behältnissen gelagert. Der unbedenkliche organische Anteil wird wieder über Bord geworfen.

Technische Daten:

Abmessungen:	Länge: 12 m | Breite: 10 m | Tiefgang: 0,6 m (2,5 m bei Netzeinsatz)
Gewicht:	6 Tonnen
Motorisierung:	2 x 60 PS
Reinigungsleistung:	14000 m²/h
Ladekapazität:	250 - 500 kg
Einsatzgebiete:	Flussmündungen, naher Küstenbereich

3.2.2.2. SeeKuh mit Förderbandtechnik

2019 wurde von OEOO ein Ergänzungskonzept für die SeeKuh erstellt. Die Fangtechnik soll von der heutigen Netztechnik auf eine Förderbandtechnik umgestellt werden.

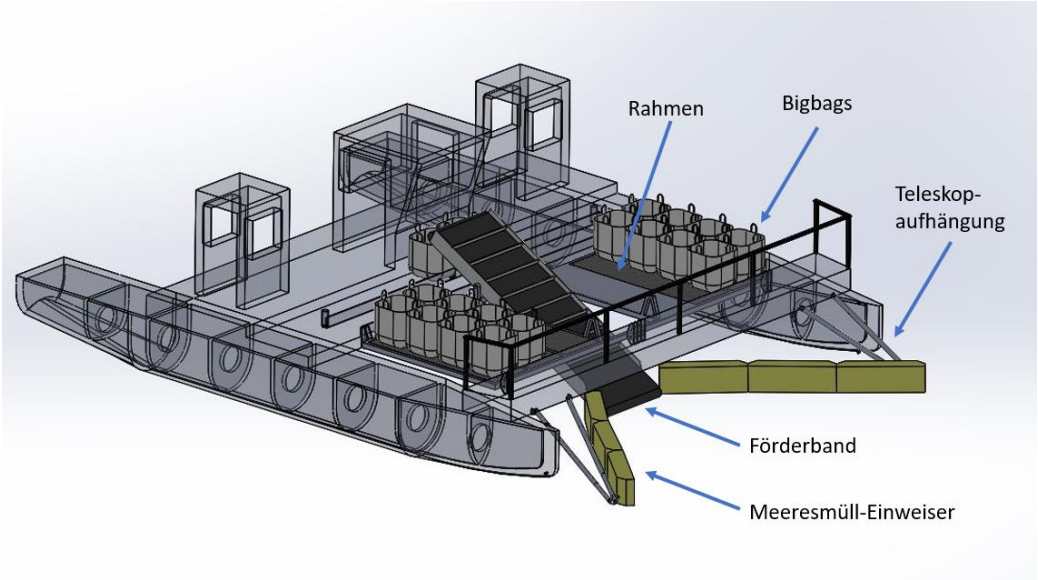


Abbildung 27 - Umbaukonzept: SeeKuh mit Förderbandtechnik **Quelle:** OEOO

Beschreibung:

Über die Einweiser (siehe 3.2.3.2) wird der Meeresmüll auf das in der Mitte angebrachte Steigband geleitet. Das Förderband transportiert den Meeresmüll anschließend direkt in Big-Bags. Die Rahmenkonstruktion im vorderen Bereich zwischen den Rümpfen ist als eine begehbare Plattform ausgelegt, welche gleichzeitig als Lager für bereits gefüllte Big-Bags dient. Das System ist eine zusammenhängende Baugruppe, welche über die vorhandenen Augen in die SeeKuh integriert werden kann. Mit Hilfe der Förderbandtechnik kann kontinuierlich Meeresmüll, bis zu einer Tiefe von ca. 1 m, gesammelt werden und der manuelle Aufwand ist wesentlich geringer als bei Einsatz der Netztechnik. Dadurch wird eine höhere Effizienz erwartet und gleichzeitig ist eine Aussortierung von organischem Material und ggf. von tierischem Beifang möglich. Da das mittlere Steigband verstellbar gelagert ist, kann flexibel auf unterschiedliche Wassertiefen reagiert werden. Der im Vergleich zur Netztechnik sehr geringe Tiefgang erhöht die potenziellen Einsatzorte der Seekuh signifikant.

Technische Daten:

Abmessungen:	Länge: 12 m | Breite: 10 m | Tiefgang: 0,6 m
Gewicht:	6,5 Tonnen
Motorisierung:	2 x 50 kW
Reinigungsleistung:	21000 m²/h
Ladekapazität:	500 - 1000 kg
Einsatzgebiete:	Flussmündungen, Küstengebiete, Gebiete mit geringem Tiefgang, Gebiete mit hoher Müllkonzentration

3.2.2.3. SeeKuh 2.0

Die folgende Abbildung zeigt, wie die zukünftigen SeeKühe aussehen könnten.

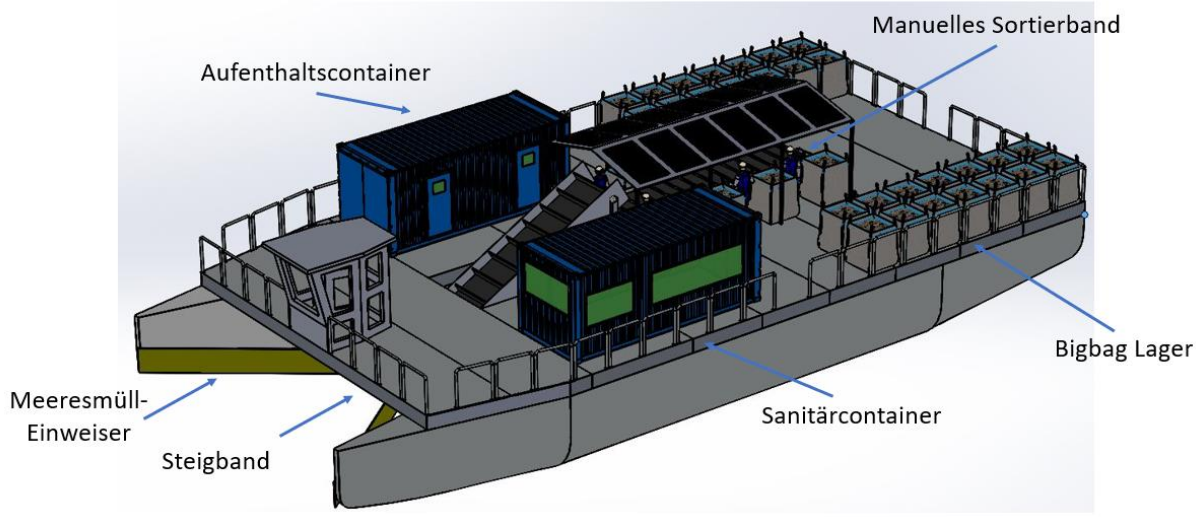


Abbildung 28 - Konzept der SeeKuh 2.0 **Quelle:** OEOO

Beschreibung:

Analog zu der in 3.2.2.2 vorgestellten SeeKuh soll das Sammelsystem der zukünftigen SeeKühe auf einer Förderbandtechnik basieren. Über die Einweiser wird der Meeresmüll auf das in der Mitte angebrachte Steigband geleitet. Große, nicht handlebare Störstoffe wie Netze, Treibholz oder Verbunde werden ggf. mit Hilfe eines kleinen Kranes geborgen und separat gelagert. Das Steigband fördert das Material auf ein horizontales Sortierband. Alles, was nicht in das Meer gehört, wird vom Sortierpersonal in Big-Bags aussortiert. Der unbedenkliche organische Anteil fällt am Ende des Förderbandes durch eine Öffnung im Deck zurück ins Wasser. Im hinteren Bereich verfügt die Seekuh 2.0 über eine große Lagerfläche für die vollen Big-Bags. Ein Sanitär- und ein Aufenthalts-Container sorgen dafür, dass ein 8-Stunden-Schicht-Betrieb des Sortierpersonals gewährleistet werden kann. Auch diese Seekuh-Variante ist modular entworfen, sodass eine Demontage und eine Stauung in 6 See-Container jederzeit möglich sind.

Technische Daten:

Abmessungen:	Länge: 24 m | Breite: 12 m | Tiefgang: 0,8 m
Gewicht:	12 Tonnen
Motorisierung:	Elektrisch
Reinigungsleistung:	30000 m²/h
Ladekapazität:	3000 kg
Einsatzgebiete:	Flussmündungen, Küstengebiete, Gebiete mit geringem Tiefgang, großflächige Gebiete

3.2.2.4. SeeKuh 2.0 (Passiv) als Tandembetrieb

Um besonders große Flächen absammeln zu können, wurde eine weitere Sammeltechnik für die SeeKuh 2.0 entwickelt.

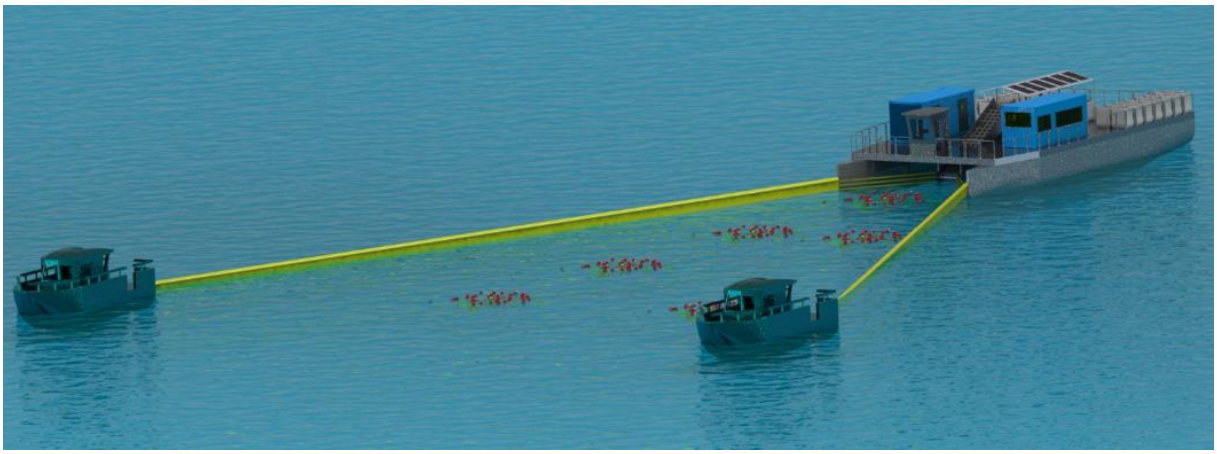


Abbildung 29 - Motorboote ziehen "passive" SeeKuh 2.0 **Quelle:** OEOO

Beschreibung:

Wie die Abbildung darstellt, ziehen zwei motorisierte Boote die SeeKuh 2.0 durch das verschmutzte Operationsgebiet. Für den Schleppvorgang eignen sich lokale Fischereifahrzeuge oder konventionelle Arbeitsboote. Das Schleppequipment besteht aus einer bis zu 200 m langen Schwimmbarriere, die in 3.2.3.2 näher beschrieben wird. Durch den Tandembetrieb beidseitig der Verschmutzungsquelle wird ein Durchqueren und damit verbundenes Aufwirbeln des Meeresmülls durch die Schleppboote verhindert. Gleichzeitig entsteht ein Trichter, durch den der Meeresmüll in Richtung des Förderbandes der SeeKuh 2.0 geleitet wird. Die schleppenden Fahrzeuge können flexibel auf die vorliegenden Verschmutzungs- und Gewässerbedingungen im Operationsgebiet reagieren. Bei dieser Variante benötigt die SeeKuh keinen eigenen Antrieb, da Sie sich in einer passiven Fahrt befindet.

Die Zug-Boote können bei Bedarf mit Hilfe der bordeigenen Kräne auf das Deck des SeeElefanten gebracht und dort gelagert werden. Dadurch ist das System unabhängig von der Hafenlogistik in der jeweiligen Fangregion.

Technische Daten:

Abmessungen:	Länge: 24 m | Breite: 12 m | Tiefgang: 0,8 m
Gewicht:	12 Tonnen
Motorisierung:	nicht benötigt, da Schleppfahrt
Reinigungsleistung:	185000 m²/h
Ladekapazität:	3000 kg
Einsatzgebiete:	Flussmündungen, Küstengebiete, Gebiete mit geringem Tiefgang, großflächige Gebiete

3.2.2.5. SeeKuh 2.0 (passiv) als stationäres Sammelsystem

Das in 3.2.2.4 beschriebene System kann auch stationär in Flüssen bzw. Strömungsgebieten Anwendung finden. Analog zu dem Trash Wheel in Baltimore (siehe 2.5.2.3) wäre die SeeKuh 2.0 in dem Strömungsgebiet verankert. Die Mülleinweiser bilden einen Trichter mit einem Öffnungswinkel von max. 60 Grad, der den Müll auf das mittlere Steigband leitet. Die folgende Abbildung zeigt, wie das System in kleineren Flüssen einzusetzen ist.

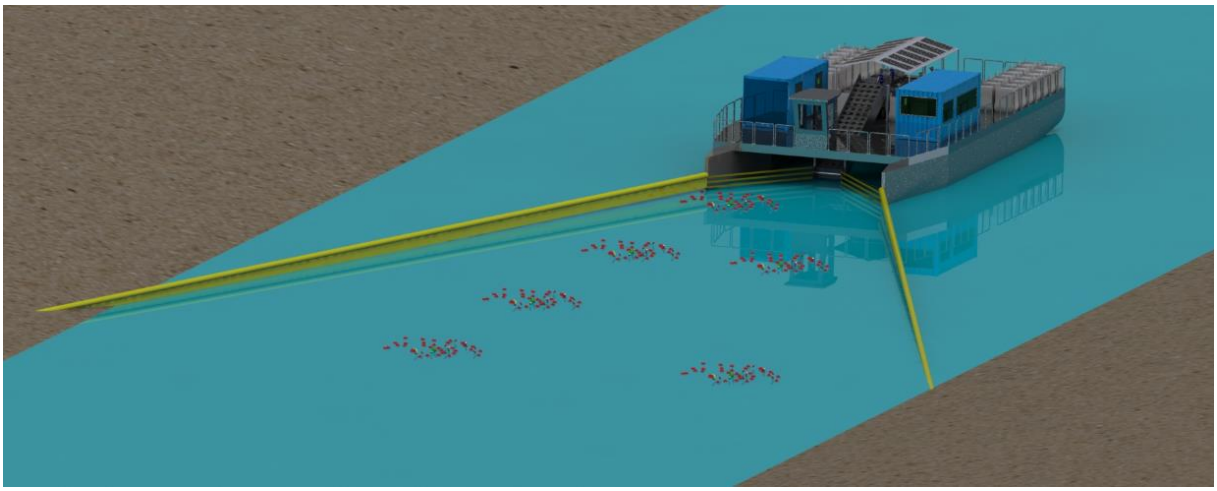


Abbildung 30 - SeeKuh 2.0 als stationäres Sammelsystem

Quelle: OEOO

Beschreibung:

Die Strömung treibt den potenziellen Meeresmüll in Richtung SeeKuh. Die ausgebrachten Schwimmbarrieren sorgen dafür, dass der Müll zum Steigband geleitet wird. Von hier gleicht der Prozess dem der SeeKuh 2.0/aktive Variante. Einziger Unterschied ist, dass bei Erreichen der Ladekapazität der SeeKuh externe Boote die Big-Bags abholen und an Land bringen müssen.

Technische Daten:

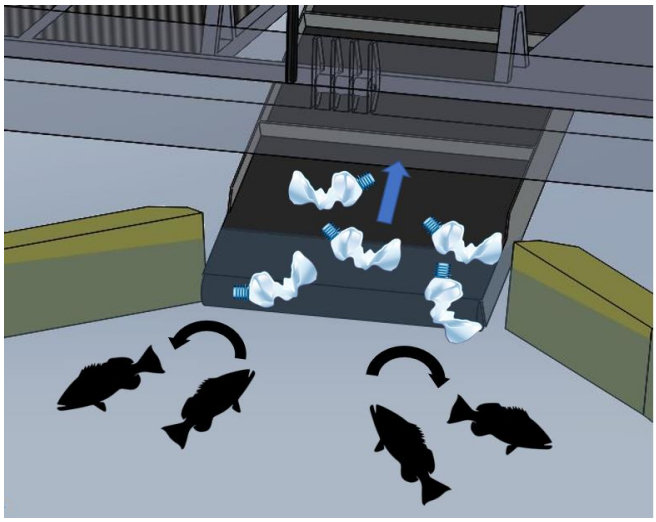
Abmessungen:	Länge: 24 m | Breite: 12 m | Tiefgang: 0,8 m
Gewicht:	12 Tonnen
Motorisierung:	nicht benötigt, da verankert
Reinigungsleistung:	anhängig von Breite und Fließgeschwindigkeit des Flusses
Ladekapazität:	bis ca. 5000 kg
Einsatzgebiete:	Flüsse und Strömungsgebiete

3.2.3. Vermeidung von tierischem Beifang

Um einen größtmöglichen ökologischen Nutzen des Einsatzes der MM zu erzielen, wurden die vorgestellten Sammelmethoden unter strikter Berücksichtigung der Minimierung von tierischem Beifang entwickelt. Neben der relativ geringen Sammelgeschwindigkeit der Boote von ca. einem Knoten, sind die technischen Ausführungen – Förderbandtechnik in Verbindung mit Meeresmülleinweisern – maßgeblich für diese Minimierung von tierischem Beifang verantwortlich.

3.2.3.1. Förderbandtechnik

Die von den Sammelfahrzeugen verwendete Förderbandtechnik wird als besonders schonend für die Meerestiere bewertet. Grund dafür ist, dass ein Förderband im Gegensatz zu einem Netz kein umschließendes System darstellt. Meerestiere, welche in den Bereich der Förderbandtechnik kommen, können in nahezu alle Richtungen ihrem Fluchtinstinkt folgen.



Quelle: OEOO

Abbildung 31 - Fluchtmöglichkeiten von Meerestieren

Das kontinuierliche Fördern des Meeresmülls verhindert außerdem einen Quetsch- bzw. Verhedderungseffekt, bei dem die Tiere Schaden nehmen könnten. Sollte dennoch ein Meerestier vom Förderband erfasst werden, wird es bei der manuellen Kontrolle wieder dem Wasser übergeben.

3.2.3.2. Meeresmülleinweiser/ Schwimmbarrieren

Als Meeresmülleinweiser werden spezielle Schwimmbarrieren verwendet, die bereits bei der Bekämpfung von Ölkatastrophen Anwendungen finden. Die folgenden Abbildungen zeigen einen typischen Einsatz einer Schwimmbarriere mit Schiffen, sowie desssen Aufbau.

Quelle: hydrotechnik-luebeck.de

Abbildung 33 - Anwendung der Schwimmbarriere bei Ölbekämpfung

Quelle: absorbentsonline.com

Abbildung 32 - Typischer Aufbau einer Schwimmbarriere

Die Barrieren bestehen aus einer sehr strapazierfähigen Plane, in die im oberen Bereich Schwimmkörper und im unteren Bereich Ketten eingesetzt sind. Die Schwimmkörper sorgen dabei für den nötigen Auftrieb, sodass der obere Teil der Barriere stets aus dem Wasser ragt. Die durchgehende Kette dient zum einen als Beschwerer und verhindert gleichzeitig durch die Spannung das Um- oder Einklappen der Unterwasserplane. An den beiden Enden der Barriere sind Aluminiumprofile angebracht. Diese dienen der Verbindung mehrerer Segmente, gleichzeitig können sie auch flexible Anschlussmöglichkeit an die Sammelfahrzeuge genutzt werden. Im Gegensatz zu einem Netz bildet diese Art der Schwimmbarriere eine geschlossene Fläche ohne Maschen. Dadurch können sich Meerestiere weder verheddern noch strangulieren. Die Barriere ist unten offen, sodass Meerestiere problemlos unter ihr hindurch tauchen können.

3.2.3.3. Pinger

Als zusätzliche Maßnahmen werden akustische Signale zur Vermeidung von Beifang eingesetzt. Diese sogenannten „Pinger“ senden hochfrequente Töne aus, die vor allem größere Meeressäuger in die Flucht schlagen. Pinger kommen bereits in der konventionellen Fischerei standardmäßig zum Einsatz (31).

3.2.4. Fazit

OEOO verfügt über Sammeltechnikkonzepte für die verschiedensten Anwendungsgebiete und regionalen Bedingungen und hat diese teilweise bereits technisch umgesetzt. Die vorgestellten Techniken reichen von Sammelfahrzeugen für kleinere Flächen (Reinigungsleistung ca. 6500 m²/h) bis hin zu einer Kombination aus mehreren Fahrzeugen für großflächige Reinigungen (Reinigungsleistung ca. 185000 m²/h).

Tierischer Beifang kann zwar nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden, allerdings wurde bei der Entwicklung der Sammeltechniken strikt die Minimierung von tierischem Beifang angestrebt. Sie wird erreicht durch das Ersetzen der Netztechnik durch Förderbänder in Kombinationen von tierschonenden Meeresmüll-Einweisern.

Die Sammelfahrzeuge für das Pilotsystem SeeElefant werden ausschließlich elektrisch angetrieben, um den Energiebedarf regenerativ zu gestalten, sowie den Schadstoffausstoß zu minimieren. Ein entsprechendes Energiekonzept wird in Abschnitt 3.4.1.6 beschrieben.

3.3. Technische Machbarkeit: Anlagen des Pilotsystems zur Verarbeitung von Meeresmüll

Der nachfolgende Abschnitt beschreibt und prüft die Anlagentechnik für die Verarbeitung des gesammelten Meeresmülls, welche später in das Prozessschiff SeeElefant integriert wird.

Da diese Machbarkeitsstudie das Pilotsystem des SeeElefanten vorstellt, wird im Folgenden nur auf die dort einzusetzende Anlagentechnik im Detail eingegangen. Nach einer erfolgreichen Testphase kann das technische System ggf. anschließend weiter ausgebaut werden. Wie ein möglicher Ausbau der Anlagentechnik, sowie das dazugehörige Stoffstromdiagramm aussehen könnte, wird in Abschnitt 3.5 beschrieben.

3.3.1. Anforderungsliste an das Pilotsystem

Um die Anlagentechnik des Pilotsystems spezifizieren und ein entsprechendes Stoffstromdiagramm erstellen zu können, werden zunächst die Anforderungen an das System definiert.

- Ausschließliche Verwendung von bewährten und marktgängigen Techniken
- Realisierung eines Sortier- und Aufbereitungskreislaufs mit möglichst geringer technischer Komplexität bei Kompensation über manuellen Aufwand
- Anlagentechnik zur Herstellung von sortenreinen Plastikballen/ Briketts für die Fraktionen PE, PP, PET, PVC, (E)PS
- Auslegung auf eine tägliche Verarbeitungskapazität von 15 Tonnen Meereskunstoff respektive 17,7 Tonnen Meeresmüll
- Betrieb im (2 x 8 h) Schichtsystem
- Modularer Aufbau der gesamten Anlagentechnik im Standard-Containerformat (TEU/FEU)
- Integrierbarkeit der Anlagentechnik in einen Schiffsladeraum mit möglichst geringem Umbauaufwand
- Nutzung der Laderaumkapazität durch Schaffung eines Verarbeitungskreislaufes auf mehreren Ebenen
- Skalierbarkeit des Systems bis 40 Tonnen Meeresplastik/Tag

3.3.2. Stoffstromdiagramm des Pilotsystems

Die folgende Abbildung zeigt das Stoffstromdiagramm des Pilotsystems, das auf Basis der vorangegangenen Anforderungsliste erstellt wurde. Das Stoffstromdiagramm zeigt die Verarbeitungsschritte (Prozessschritte) für die verschiedenen Fraktionen des Meeresmülls. Der dazugehörige Material-Massenstrom ist in Abschnitt 3.4.1.5 zu finden.

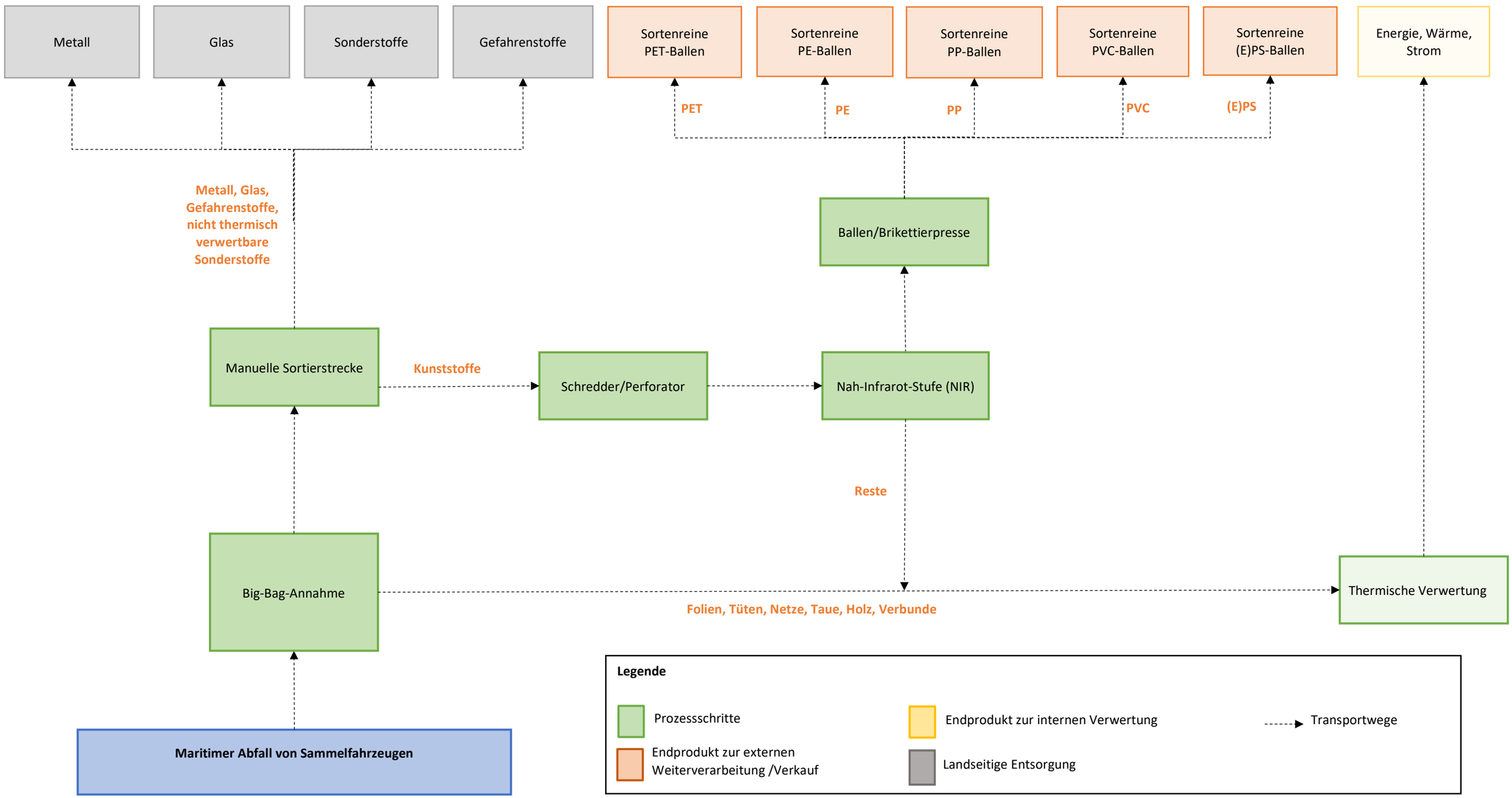


Abbildung 34 - Stoffstromdiagramm Pilotsystem

3.3.3. Übertragung des Stoffstromdiagramms in die Anlagentechnik des Pilotsystems

Die folgende isometrische Darstellung zeigt als Gesamtüberblick die im Containerraster verbaute Anlagentechnik, die für die Realisierung des Stoffstromdiagrammes aus 3.3.2 nötig ist.

Ebene 3:
Big-Bag Aufgabe, Vorsortierung, Zerkleinerung

Ebene 2:
Sortenreine Sortierung

Ebene 1:
Komprimierung

Ebene 0:
Lager für Ballen/ Briketts
Platz für Verölungsanlage (Ausbaustufe)

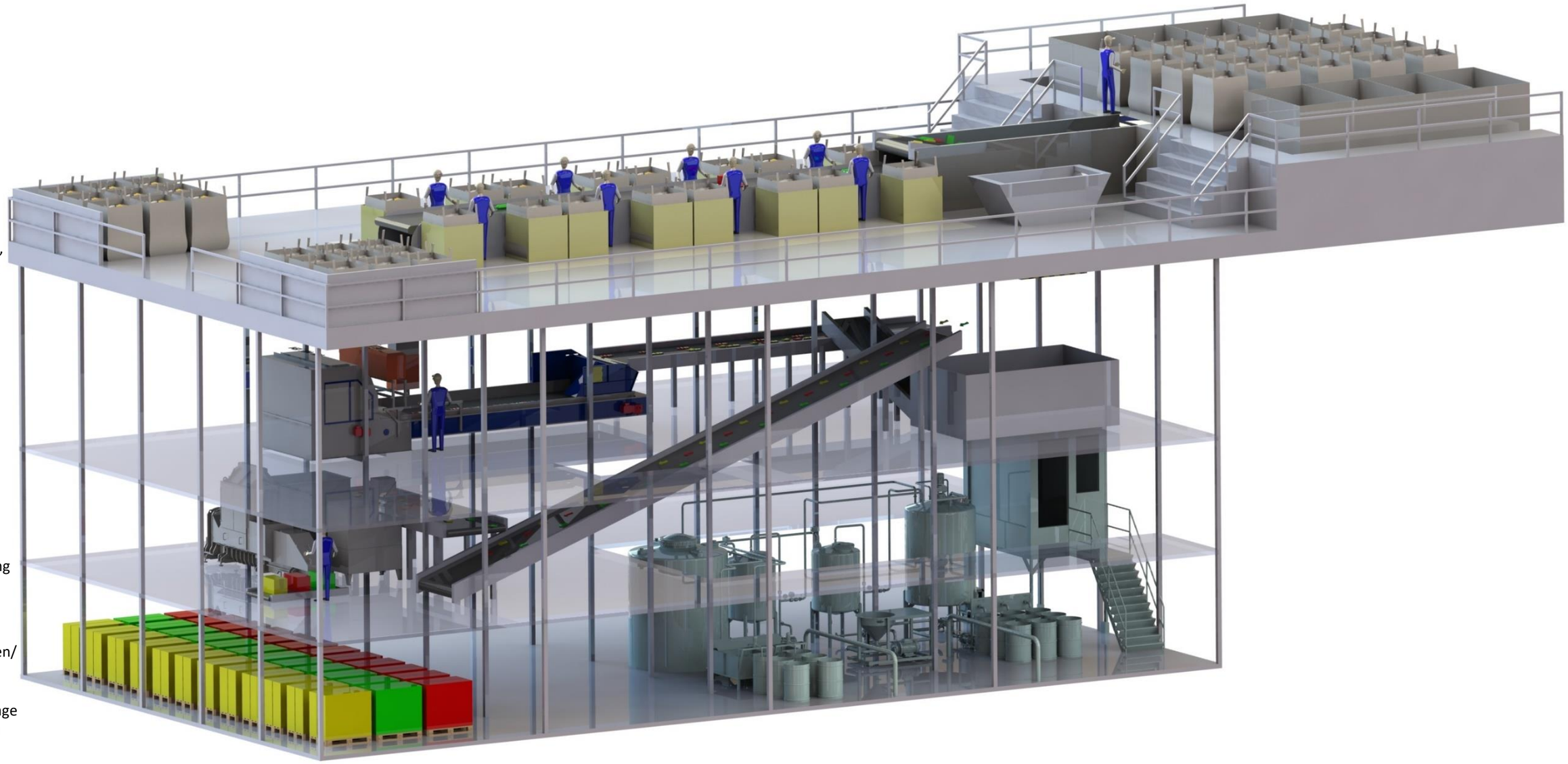


Abbildung 35 - Anlagentechnik des Pilotsystems (Isometrische Ansicht)

3.3.4. Erklärung der Prozessschritte und Anlagentechnik

Nachfolgend werden die einzelnen Prozessschritte des Systems für die Verarbeitung von Meeresmüll auf Basis eines 2 x 8 Stunden Schichtbetriebes beschrieben. Die Beschreibung ist dabei nach dem folgenden Schema aufgebaut: Zunächst wird der Einbaufall anhand eines Bildes aus dem erstellten 3D-Modell gezeigt. Anschließend werden, wenn sinnvoll, Beispiele von verfügbaren und marktgängigen Maschinen von ausgewählten Herstellern gegeben. Die Beschreibungen der Maschinen basieren auf den zugänglichen Herstellerangaben und Datenblättern und sind jeweils mit einer Quelle versehen. Die entsprechenden Datenblätter der Anlagen sind im CD Datenpaket zu finden.

Die Auswahl der Hersteller erfolgte über Experteninterviews und eigene Recherchen. Es kommen jedoch auch andere Maschinenhersteller infrage. Eine endgültige Auswahl und genaue Spezifikation der Anlagentechnik ist erst nach den Feldversuchen möglich.

Die folgenden Beschreibungen und technischen Daten der einzelnen Anlagen beziehen sich auf Herstellerangaben.

3.3.4.1. Big-Bag-Annahme, Aufgabe, Sondermüll

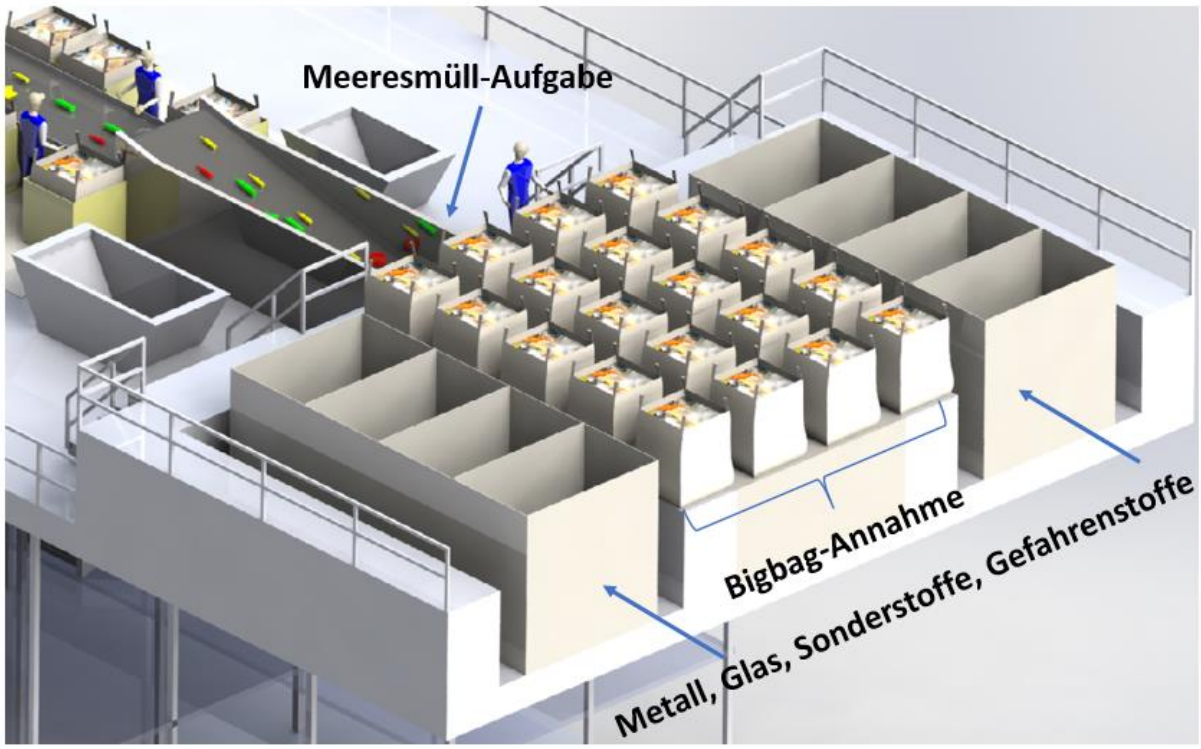


Abbildung 36 - Big-Bag-Annahme, Aufgabe des Meeresmülls, Sonderbereich

Der Meeresmüll wird in Big-Bags von den Sammelfahrzeugen angeliefert. Mit den bordeigenen Kränen, die mit entsprechenden Traversen ausgerüstet werden, können bis zu 16 Big-Bags gleichzeitig an Bord des SeeElefanten gehievt werden. Die Big-Bags werden zunächst auf eine erhöhte Plattform, der Big-

Bag Annahme, abgeladen. Die Big-Bags (max. 30 kg schwer) werden hier manuell auf ein Förderband entleert, um den Meeresmüll in den Prozesskreislauf zu geben.

Die Aufgabe besteht aus einem Schütt-Trichter und einem Förderband. Sie soll außerdem mit einem Reinigungssystem zum Entfernen von groben Verschmutzungen ausgestattet werden, wenn die Ergebnisse des o.g. Testprogramms dies nahelegen.

Um die geforderte tägliche Verarbeitungsmenge von 17,7 Tonnen Meeresmüll zu erreichen, müssen bei einer täglichen Arbeitszeit von 16 h (2 x 8 h Schicht) pro Stunde ca. 37 Big-Bags mit Meeresmüll aufgegeben und verarbeitet werden.

Meeresmüllvorrat für 2. Schicht:

Da die Sammelfahrzeuge nur einschichtig (8 h) arbeiten, das Verarbeitungsschiff jedoch zweischichtig (2 x 8 h = 16 h) betrieben wird, muss ein Meeresmüllvorrat für die 2. Schicht (in der Spitze bis zu 300 Big-Bags) bereitgestellt und gelagert werden. Im Bereich hinter der Big-Bag-Annahme ist ausreichend Platz (2 x 150 m²) für die Lagerung vorgesehen.

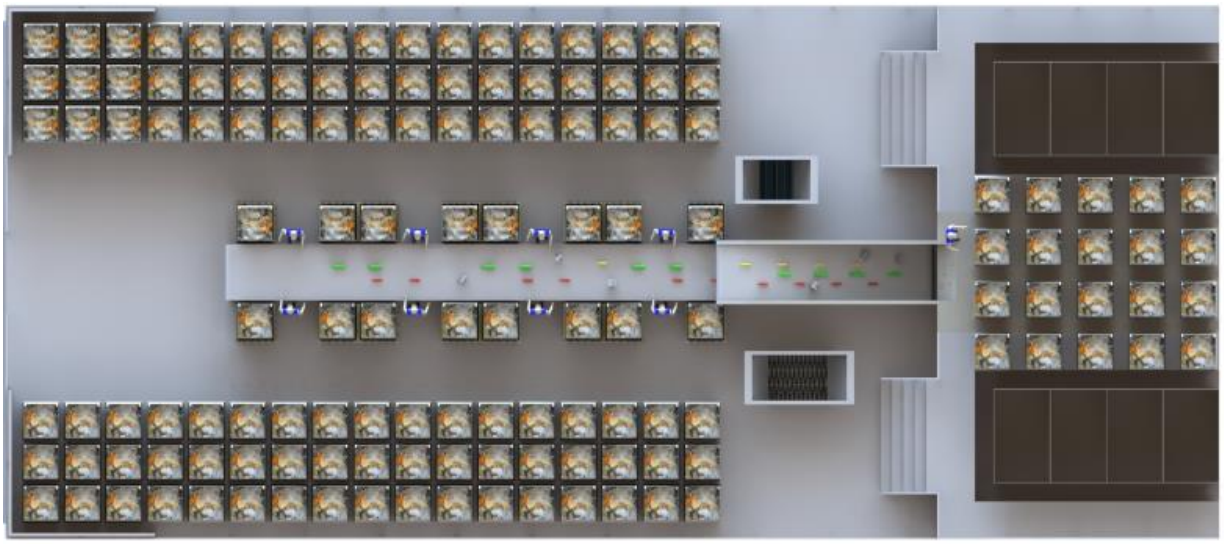


Abbildung 37 - Meeresmüllvorrat für die 2. Schicht

Behandlung besonderer Abfallchargen:

Bei besonderen Abfallchargen wird zwischen zwei Gruppen unterschieden:

1. **Sonder-/Störstoffe:** z.B. Autoreifen, große Teile mit Glas oder Metall, verschiedenste Verbunde, Netze
2. **Sonderabfall:** Spraydosen, Batterien, Energiesparbirnen, Altöl etc.

Diese Stoffe sollten bereits auf den Sammelfahrzeugen aussortiert und in gekennzeichneten Big-Bags zwischengelagert werden. Auf dem SeeElefanten können die gekennzeichneten Big-Bags anschließend in die bereitgestellten Sondercontainer entleert werden.

Alle anderen besonderen Abfallchargen, die dennoch in den Sortierkreislauf gelangen, aber den nachfolgenden Verarbeitungsprozess nachteilig beeinflussen können, werden manuell aussortiert und anschließend in die Sonderstoffcontainer entsorgt.

3.3.4.2. Manuelle Sortierstrecke

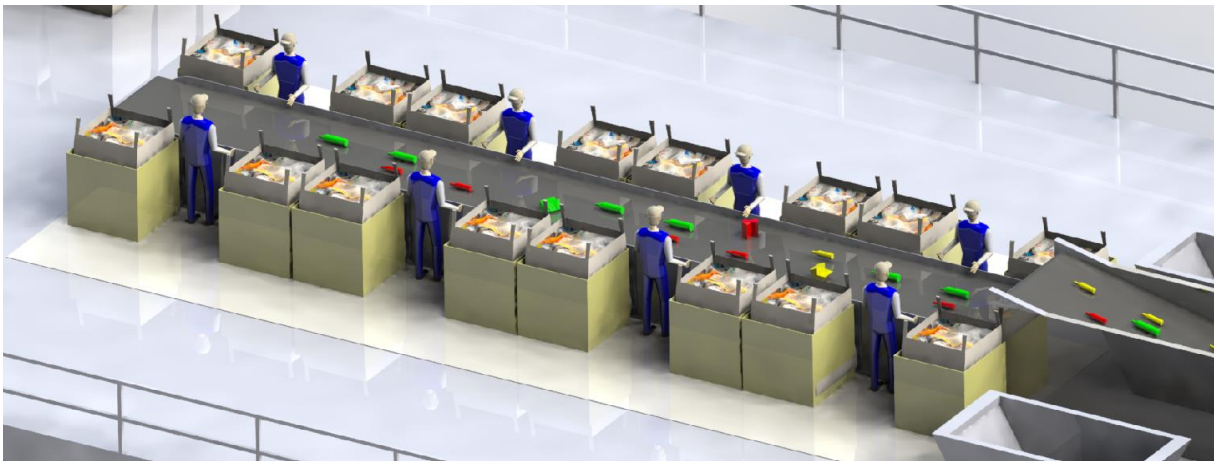


Abbildung 38 - Manuelle Sortierstrecke

Für die manuelle Sortierstrecke ist ein ca. 15 m langes und ca. 1,5 m breites Förderband vorgesehen. Auf beiden Seiten des Förderbandes werden jeweils 4 Arbeitsplätze für Sortierpersonal eingerichtet. Die Arbeitskräfte haben streng definierte Sortiervorgaben und sortieren das Material in entsprechende Big-Bags. Um das Sortierpersonal vor Wettereinflüssen zu schützen, kann um die Sortierstrecke eine Halle installiert werden.

Tabelle 7: Sortiervorgaben

Sortiervorgabe	Sortierer	Big-Bag Nr.	Verwendung
Folien, Tüten, Verbunde	1	1+2	Thermische Anlage
Netze, Taue, Holz	2	3+4	Thermische Anlage
Metal, Glas, gefährliche Abfallstoffe, div.	3	5+6	Sonderbereich
Kunststoffe	4	7+8	Aufbereitung
Kunststoffe	5	9+10	Aufbereitung
Kunststoffe	6	11+12	Aufbereitung
Kunststoffe	7	13+14	Aufbereitung
Kunststoffe	8	15+16	Aufbereitung

Jeder Sortierer befüllt links und rechts neben sich jeweils einen Big-Bag, in die er die aussortierten Teile hineinwirft. Ist ein Big-Bag voll, so wird dieser von einem „Springer“ ausgetauscht. Der Springer bringt den vollen Big-Bag anschließend zu dem für das Material vorgesehenen, nachfolgenden Prozessschritt.

Um die geforderte Verarbeitungskapazität von 17,7 Tonnen Meeresmüll zu erreichen, muss jeder der acht Sortierer ca. 138 kg Material pro Stunde aussortieren. Ein gut ausgebildeter Sortierer schafft ca. 1600 bis 1800 „Picks“ pro Stunde[10]. Die durchschnittliche Masse eines Teiles müsste somit ca. 80 g betragen, was ein durchaus realistischer Wert ist.

Die Anzahl der Sortierplätze sowie die Sortiervorgaben können auf die Bedingungen des entsprechenen Operationsgebiets angepasst werden.

Anmerkung 1: Nach erfolgreicher Erprobung des Pilotsystems ist ebenfalls denkbar auf der manuellen Sortierstrecke „negativ“ zu sortieren. Das heißt, alle nicht zu wertenden Materialien werden dem Stoffstrom entnommen; der Hauptstrom geht direkt von der Sortierstrecke in die Verarbeitung.

Anmerkung 2: Sollten sich wider Erwarten viele Metallteile im Stoffstrom befinden, wird ein Metallabscheider am Ende der Sortierstrecke eingebaut.

[10] Vergleichswert Kunststoff-Recycling an Land (Tom Schmitt - Stadler Anlagenbau GmbH)

3.3.4.3. Perforator/ Schredder

Damit die nachfolgende Sortiertechnik effizient arbeiten kann und die Peripherie über das Förderbandsystem einwandfrei funktioniert, müssen größere Volumenkörper mit Verkantungspotenzial grob zerkleinert und runde Teile mit Rollpotenzial - wie beispielsweise Flaschen - perforiert werden.

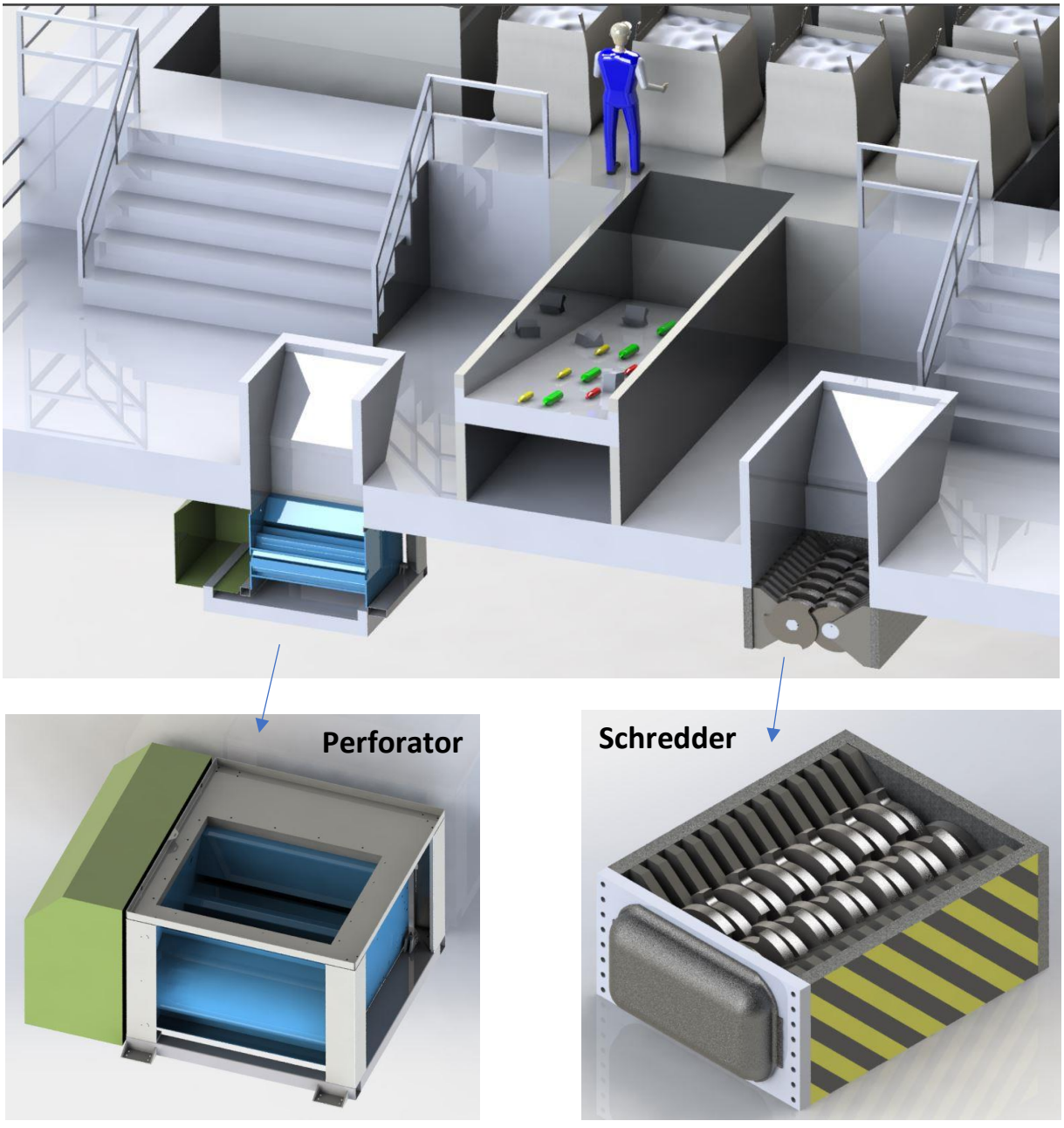


Abbildung 39 - Einbauweise von Perforator und Schredder im Containerraster

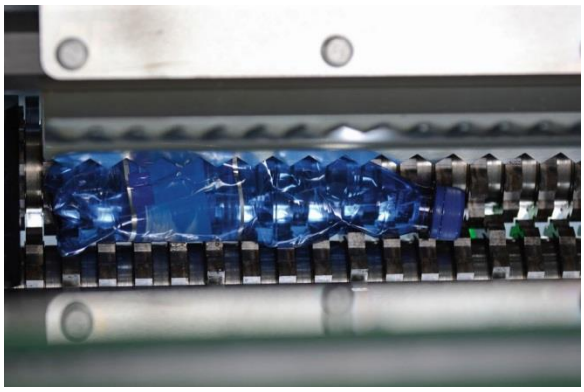
Hierfür werden zwei von einander getrennte Aggregate vorgesehen, die über einen Trichtereinwurf beschickt werden. Erst wenn sich genügend Material in dem Einwurf befindet, startet die Anlage den

Zerkleinerungs- bzw. den Perforierprozess. Die zerkleinerten bzw. perforierten Teile fallen anschließend in einen Bunker bzw. direkt auf ein Förderband in der nächst unteren Ebene. Von hier aus wird das Material in den Sortierkreislauf gegeben.

Durch das Schreddern bzw. das Perforieren findet gleichzeitig eine Entwässerung statt, da Körper, in denen sich ggf. eingeschlossenes Wasser befindet, durch den Zerkleinerungsvorgang aufgebrochen werden.

Perforator:

Beispielmaschine: HSM PET Perforator PF 1200-4 (32)



Quelle: directindustry.de

Abbildung 40 - Perforator - PF 1200-4 der HSM GmbH + Co. KG

Durch das spezielle Walzensystem werden Volumenkörper durchlöchert und zusammengedrückt. Das robuste Schneidewerk verarbeitet auch versehentlich in die Anlage gelangte Störstoffe wie Glasflaschen, Metalldosen, etc.

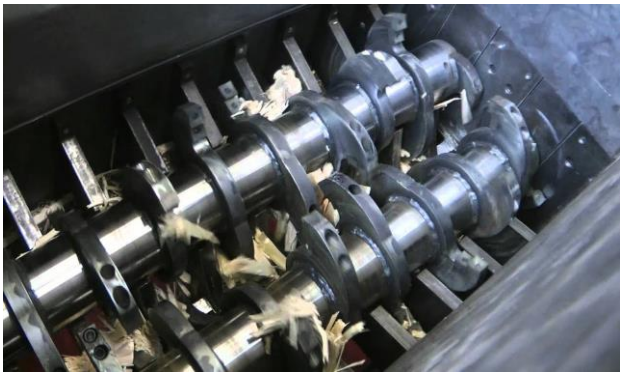
Technische Daten:

Modell	HSM PET-Perforator PF 600-4	HSM PET-Perforator PF 1200-4
Durchsatz (1l Flaschen / Stunde)	37 500	75000
Arbeitsbreite in mm	600	1200
Durchsatzleistung in m^3 / h	50 - 60	100 - 120
Motor in kW	2 x 3,0	2 x 4,0
Spannung / Frequenz	3 x 400 V / 50 Hz	3 x 400 V / 50 Hz
Abmessungen der Maschine BxTxH in mm	990 x 1200 x 500	1560 x 1200 x 500
Maschinengewicht in kg	ca. 670	ca. 950

Alle technischen Daten und Maße sind ca.-Angaben. Technische und optische Änderungen vorbehalten.

Schredder:

Beispielmaschine: Vecoplan V-ECO 1300/1700 (33)



Quelle:
vecoplan.com

Abbildung 41 - Schredder - Vecoplan AG V-ECO 1300

Beschreibung:

Durch variabel einstellbare Drehzahlen lässt sich der V-ECO auf das Input-Material abstimmen, wodurch optimale Schnitt- und Zerkleinerungsleistungen erreicht werden. Durch das nach unten aufschwenkbare Sieb ist ein schneller Siebwechsel möglich und so die Verarbeitung verschiedenster Materialien unkompliziert. Der Zerkleinerer eignet sich besonders für Kunststoffteile wie Hohlkörper, Folien, Faser- und Gewebematerialien, Rohre, Profile und Platten und hat hierbei einen Durchsatz von ca. 1,5 – 2 t/h.

Technische Daten:

Details			V-ECO 900	V-ECO 1300	V-ECO 1700
Einfüllöffnung		mm	840 x 1300	1255 x 1535	1670 x 2030
Rotorabmessungen		mm	Ø 495 x 830	Ø 495 x 1245	Ø 495 x 1660
Rotorgewicht		t	1	1,5	2
Rotorgeschwindigkeit		UpM	120 - 265	120 - 265	120 - 300
Motorleistung		kW	30, 37, 55, 75	30, 37, 55, 75	90, 110, 132
Gewicht (ohne Trichter, ohne Stahlgestell)		t	3,1	6,1	12,5
Durchsatz		t/h	abhängig vom Material und Maschinensetup	abhängig vom Material und Maschinensetup	abhängig vom Material und Maschinensetup
Gesamtmaße (B x H x L)	mit Rotorkühlung	mm	1975 x 1100 x 2500	2390 x 1500 x 3310	2935 x 1900 x 4080
	ohne Rotorkühlung	mm	1825 x 1100 x 2500	2240 x 1500 x 3310	2785 x 1900 x 4080
Auswurfmaß		mm	840 x 545	1255 x 675	1910 x 825

3.3.4.4. Nah-Infrarot-Sortierer (NIR)

Das NIR-Gerät bildet das Herzstück des Sortierkreislaufes. Es ist in der Lage, verschiedene Kunststoffsorten zu erkennen und diese zu sortieren. Die folgenden Abbildungen zeigen den Einbau des NIR sowie dessen Funktionsweise.

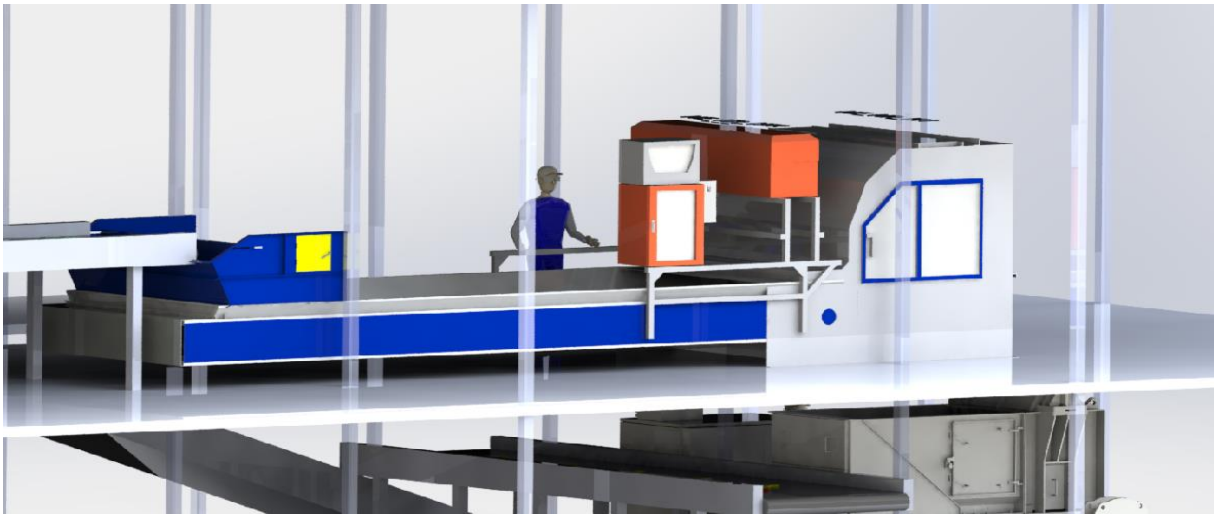
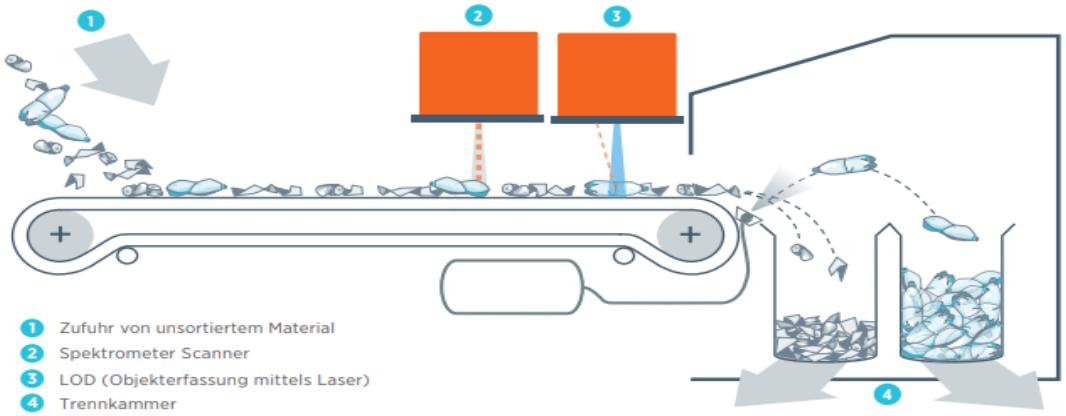


Abbildung 43 - Nah-Infrarot Sortiermaschine



Quelle: tomra.com

Abbildung 42 - Das Prinzip einer NIR-Sortiermaschine

Mit Hilfe eines Spektrometer-Scanners wird die Kunststoffsorte eines bestimmten Teiles erkannt. Ein Laser erfasst anschließend die Objekte und leitet die Information an ein Druckluftgebläse weiter, welches das entsprechende Teil dann aus dem Stoffstrom in eine separate Kammer bläst. Alle Teile, die nicht der auszusortierenden Fraktion entsprechen, verbleiben im Sortierkreislauf. Soll beispielsweise PET aussortiert werden, wird über die Anlage auch nur PET separiert. Alles, was nicht PET ist, bleibt im Sortierkreislauf.

Je nachdem, in wie viele verschiedene Fraktionen sortiert werden soll, kann die Anlage auf andere Fraktionen umgestellt werden. Es ist auch möglich, den Stoffstrom durch mehrere NIR-Anlagen hintereinander laufen zu lassen und somit pro Kreislauf mehrere Sortierschritte zu realisieren. Dies wird ggf. in der Ausbaustufe umgesetzt.

Im Pilotsystem ist zunächst nur eine NIR-Stufe vorgesehen. Diese wird in festzulegenden Intervallen auf die relevanten Kunststoffsorten (PE, PP, PET, PVC, [E]PS) eingestellt. Das zeitliche Intervall der Umstellung des NIR richtet sich dabei nach den Mengen der in den Kreislauf aufgegebenen Kunststofffraktionen. Hier lässt sich erst nach den Fangversuchen eine exakte Aussage treffen.

Beispielanlage: Tomra Autosort 1400 [NIR] (34)

Quelle:
tomra.com

Abbildung 44 - NIR-System: Autosort,Tomra Systems GmbH

Die Tomra Autosort 1400 hat eine Förderbandbreite von: 1400mm und arbeitet mit einer Fördergeschwindigkeit von 2,5 - 4,0 m/s. Dadurch kann ein stündlicher Durchsatz von ca. 2,5 t/h erreicht werden. Die Anlage ist für Kunststoffteile < 500mm ausgelegt und arbeitet mit Druckluft von 9 bar. Die Feuchtigkeit des zu sortierenden Materials kann bis zu haldenfeucht (nicht tropfend) sein.

Technische Daten:

Modell	autosort 1400 [NIR]
Durchsatz	abh. von Dichte, bis zu 2,5 t/h
Arbeitsbreite	1400 mm
Korngröße	< 500 mm
Energiebedarf	10,7 kW
Sortierbare Materialien	PE, PET, PP, PS, PVC, Zellulose /
Temperaturbereich	+5°C bis +40°C

Durch das Förderbandsystem (siehe 3.3.3) wird ein Kreislauf geschaffen, der es ermöglicht, mit geringem manuellem Aufwand und lediglich einem NIR-Gerät unterschiedliche Kunststoffsorten auszusortieren. Um zu verhindern, dass sich zu viel – bzw. aktuell nicht zur Sortierung vorgesehenes – Material auf dem Band befindet, werden entsprechende Zwischenbunker vorgesehen.

Die aussortierten Kunststoffe fallen direkt in eine Ballen- bzw. Brikettierpresse, die im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

3.3.4.5. Ballen/Brikettierpresse

Die Ballen- bzw. Brikettpresse verdichtet den sortenreinen Kunststoff zu lagerbaren Einheiten. Die von dem NIR-Gerät aussortierten Kunststoffe fallen direkt in die Aufgabe der Verdichtungsanlage, die für eine kontinuierliche Beschickung ausgelegt ist.

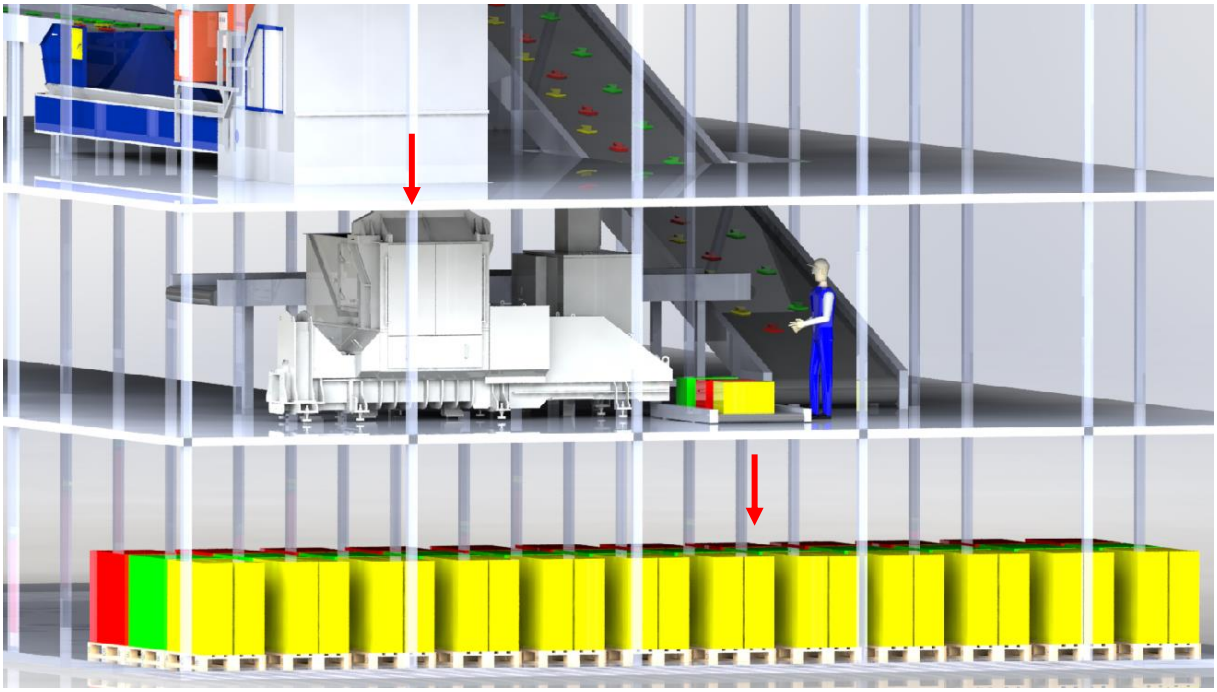


Abbildung 45 - Ballen/Brikettierpresse

In der Ebene unter der Presse werden die Ballen bzw. die Briketts auf Europaletten gestapelt und zwischengelagert. Anschließend werden die befüllten Paletten mit E-Gabelstaplern oder Hubwagen in die entsprechenden Lagercontainer verbracht.

Beispielmaschine: Brikettiermaschine - HSM BRP 4810 (32)

Quelle:
us.hsm.eu

Abbildung 46 - Beispielhafte Brikettiermaschine von HSM GmbH + Co. KG

Die Brikettierpresse verdichtet in einer 30 Sekunden-Taktung vollautomatisch große Mengen an Kunststoffen zu Briketts mit einer Höhe und Breite von ca. 25 cm. Da die Briketts „endlos“ aus der Maschine laufen, kann die Länge der Briketts bestimmt werden. Mit der Brikettiermaschine HSM BRP 4810 ist eine Verdichtung von Kunststoffflaschen von ca. 20 kg/m³ auf ca. 400 kg/m³ möglich. Die Briketts bedürfen keiner Umreifung und haben bei einer Länge von 40 cm ein Gewicht von ca. 10 kg. Dadurch sind Briketts besonders transport- und lagerfähig.

Die Briketts werden manuell auf Europaletten gestapelt und anschließend mit einem Hubwagen o.Ä. zur Lagerung in die vorgesehenen Container verbracht.

Technische Daten:

Modell	**HSM BRP 4810**
Presskraft in kN	477
Pressleistung im Leerlauf in m^3/h	55
Einfüllöffnung B x L in mm	1600 x 1100
Taktzeit im Leerlauf in sek.	28,4
Brikettquerschnitt B x H x L in mm	250 x 250 x var.
Abmessungen der Maschine B x T x H in mm	2860 x 4260 x 2380
Maschinengewicht in kg	ca. 8700

Alle technischen Daten und Maße sind ca.-Angaben. Technische und optische Änderungen vorbehalten.

Beispielmaschine: Kanalballenpresse - HSM VK 4812 P (32)

Quelle:
us.hsm.eu

Abbildung 47 - Beispielhafte Ballenpresse von HSM GmbH + Co. KG

Die Ballenpresse ist für eine kontinuierliche Beschickung ausgelegt und verarbeitet bis zu 204 m³ Kunststoff pro Stunde. Die Abmessungen der Ballen betragen B x H = 1100 mm x 750 mm und können in der Länge variiert werden. Ein Ballen mit einer Länge von ca. 1200 mm wiegt ca. 375 kg und lässt sich optimal auf Europaletten in den vorgesehenen Containern stauen.

Um Müllflug zu vermeiden müssen die Ballen mit einer Folie umwickelt werden.

Technische Daten:

Modell	**HSM VK 4812 P**
Presskraft in kN	480
Haupt-Antriebsleistung in kW	15 / 22
Spezifischer Pressdruck in N/cm²	58,2
Taktzeit im Leerlauf (theor.) in sek.	24,5 / 18,2
Pressleistung im Leerlauf in m³/h (theor.)	151/204
Max. Ballengröße B x H x L in mm	1100 x 750 x var.
Einfüllhöhe B x L in mm	1020 x 1250
Ballengewicht in kg (materialabhängig, bei 1200 mm Ballenlänge)	bis zu 375
Abmessungen der Maschine L x B x H in mm	6820 x 2570 x 2800
Maschinengewicht in t	ca. 10,0
Umreifung vollautomatisch	4-fach mit Draht

Alle technischen Daten und Maße sind ca.-Angaben. Technische und optische Änderungen vorbehalten.

3.3.4.6. Übersichtsbeschreibung der Anlagentechnik im Containerraster

Die folgende Abbildung zeigt das Gesamtsystem der Anlagentechnik des Pilotsystems in der Vorderansicht. Die einzelnen Bausteine des Verarbeitungskreislaufes werden hier grob beschrieben.

Bunker für thermische Anlage

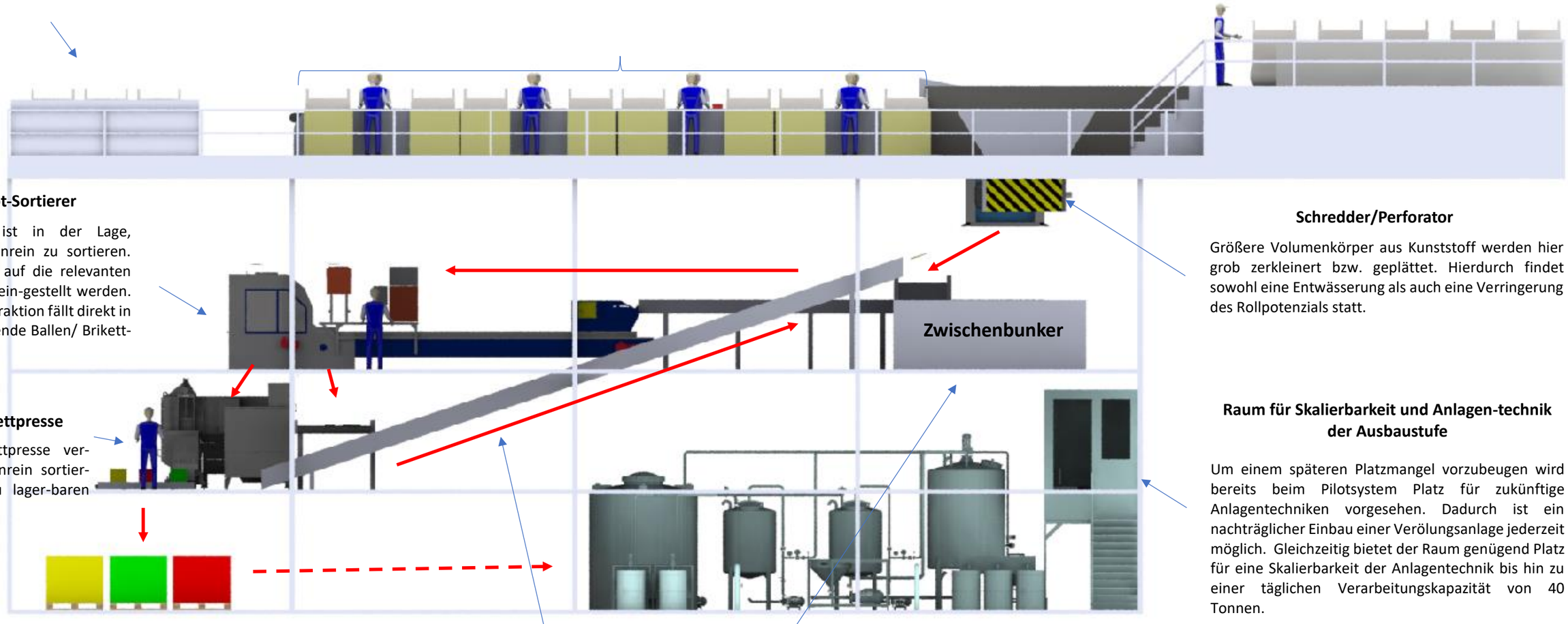
Damit die thermische Anlage im 24-Stunden-Betrieb arbeiten kann, werden entsprechende Bunker für den Ersatzbrennstoff (EBS) vorgesehen.

Manuelle Sortierstrecke (Positiv)

8 Arbeiter sortieren im Schichtsystem nach festgelegten Sortierkriterien den Meeresmüll. Alles, was nicht Plastik ist, wird zur Sondermüllabgabe bzw. zur thermischen Verwertung gebracht. Alle Kunststoffteile werden durch einen Einwurf in den Sortierkreislauf gebracht.

Annahme/ Aufgabe Meeresmüll

Volle Big-Bags werden mit Hilfe der bordeigenen Kräne übernommen und in den Sortierkreislauf gegeben. Big-Bags mit Sondermüll werden bereits hier in die vorgesehenen Container gegeben.



Nah-Infrarot-Sortierer

Das NIR-Gerät ist in der Lage, Kunststoffe sortenrein zu sortieren. Die Anlage kann auf die relevanten Kunststoffsorten ein-gestellt werden. Die aussortierte Fraktion fällt direkt in die darunter liegende Ballen/ Brikett-presse.

Schredder/Perforator

Größere Volumenkörper aus Kunststoff werden hier grob zerkleinert bzw. geplättet. Hierdurch findet sowohl eine Entwässerung als auch eine Verringerung des Rollpotenzials statt.

Ballen/Brikettpresse

Die Ballen-/Brikettpresse ver-dichtet den sortenrein sortier-ten Kunststoff zu lager-baren Einheiten.

Raum für Skalierbarkeit und Anlagen-technik der Ausbaustufe

Um einem späteren Platzmangel vorzubeugen wird bereits beim Pilotsystem Platz für zukünftige Anlagentechniken vorgesehen. Dadurch ist ein nachträglicher Einbau einer Verölungsanlage jederzeit möglich. Gleichzeitig bietet der Raum genügend Platz für eine Skalierbarkeit der Anlagentechnik bis hin zu einer täglichen Verarbeitungskapazität von 40 Tonnen.

Zwischenlager für Briketts/Ballen

Die sortenreinen Briketts bzw. Ballen werden auf Europaletten zwischengelagert und anschließend mit Hubwagen zu den Lagercontainern gebracht.

Förderbandsystem mit Zwischenbunker

Durch das Förderbandsystem wird ein Kreislauf geschaffen, der es ermöglicht, mit einem NIR-Gerät unterschiedliche Kunststoffsorten zu sortieren. Um zu verhindern, dass sich zu viel bzw. aktuell nicht zur Sortierung vorgesehenes Material auf dem Band befindet, werden entsprechende Zwischenbunker vorgesehen.

Abbildung 48 - Anlagentechnik des Pilotsystems (Vorderansicht)

3.3.4.7. Anlagentechnik im Containerraster

Eine wichtige Anforderung an die Anlagentechnik ist der modulare Aufbau im Standard-Containerformat.

Deshalb wurde bei Auswahl sämtlicher Maschinen darauf geachtet, dass diese in ein Containerraster - bestehend aus 20- und 40 Fuß Container-Rahmen – integrierbar sind.

Die folgenden Bilder zeigen Containerrahmen, sowie ein Anwendungsbeispiel eines modularen Aufbaus einer Produktionsanlage.

Quelle:
www.menzl.de

Quelle:
holzkurier.com

Abbildung 49 - Containerraster mit Anwendungsbeispiel

Für die Anlagentechnik gemäß 3.3.5 werden insgesamt 4 x 5 x 3 = 60 - 20-Fuß-Container-Rahmen benötigt.

Aufgrund seiner Modularität kann das System sowohl auf verschiedensten Schiffstypen aufgebaut und betrieben werden, als auch stationär an Land.

Der modulare Aufbau sorgt außerdem für eine Skalierbarkeit, wodurch schnell und effektiv auf Unterschiede bezüglich vorliegender Mengen und Zusammensetzungen von Meeresmüll in einem potenziellen Operationsgebiet reagiert werden kann.

3.3.4.8. Lagerung der sortenreinen Kunststoffe

Die sortenreinen verdichteten Plastikbriketts bzw. Plastikballen werden auf Europaletten in 20-Fuß-Container (Twenty Foot Equivalent Unit – TEU) auf dem SeeElefanten gelagert. Ein TEU hat dabei ein Innenvolumen von ca. 33 m³ und bietet somit Platz für 11 Europaletten pro Ebene.

Quelle: http://www.chg.pl/de

Abbildung 50 - Container mit Europaletten und Plastikdeklarierung

Pro Europalette sind ein Ballen oder entsprechend viele Briketts mit einem Gesamtvolumen von ca. 1 m³ vorgesehen. In einem Container lassen sich so zwei Ebenen von mit Kunststoff beladenen Europaletten realisieren.

Im Folgenden sind die Gewichte von Kunststoffballen für die verschiedenen Kunststoffsorten angegeben. Die Dichte der Ballen kann überschlagsmäßig auch auf Kunststoffbriketts angewendet werden. Außerdem gibt die Tabelle Aufschluss über die Lagerkapazität eines Containers.

Tabelle 8: Ballengewichte und Lagerkapazität eines Containers

Material	Masse pro Tag [t]	Gewicht pro Ballen [kg]	Ballen pro TEU	Gesamtmasse pro TEU [t]
HDPE	6,3	375	22	8,25
PP	4,7	375	22	8,25
PET	1,5	375	22	8,25
PVC	0,6	375	22	8,25
PS	0,4	375	22	8,25

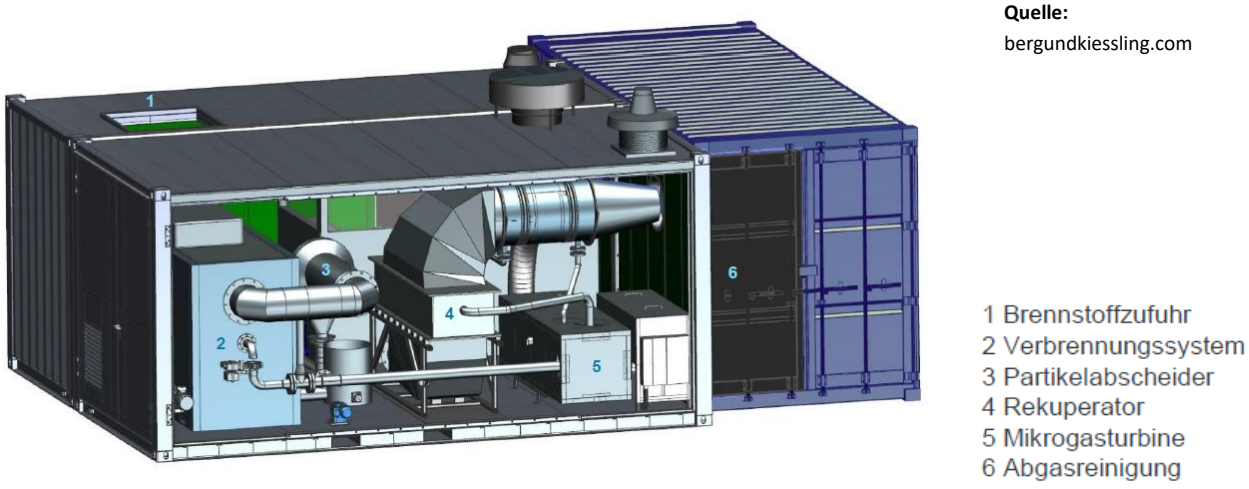
Für die Hauptfraktionen HDPE und PP sollten eigene Lagercontainer bereitgestellt werden.

Die erwarteten Nebenfraktionen: PET, PVC, PS können gegebenenfalls zusammen in „Misch-Containern“ gelagert werden.

3.3.4.9. Thermische Anlage

Für brennbare Rest- bzw. Sonderstoffe, die durch die Anlagentechnik des Pilotsystems nicht verarbeitet werden können, wird eine thermische Verwertungsanlage vorgesehen. Neben Verbunden, Holz, Mischkunststoffen gehören auch Fischereinetze und Leinen zu den Stoffen, die thermisch genutzt werden sollen. Momentan sind Fischereinetze und Leinen für Recyclinganlagen – insbesondere für Schredder – noch sehr schlecht zu verarbeiten und bergen ein hohes Störpotenzial. Deswegen werden sie im SE-Pilotsystem noch der thermischen Verwertung zugeführt. Die Firma Vecoplan AG forscht intensiv an einem prozesssicheren System zum Recycling von Fischereinetzen (35). Zurzeit gibt es jedoch noch keine marktreife Lösung.

Beispielmaschine: B+K ClinX (36)



Quelle:
bergundkiessling.com

Abbildung 51 - Thermische Anlage, Professor Dr. Berg & Kießling GmbH

Die ClinX Anlage steht für eine saubere Verbrennung von beliebigen Brennstoffen. Die Abfälle werden mit sehr geringer Luftzufuhr pyrolisiert und das entstehende Schwachgas wird direkt heiß einer speziellen „Mikrogasturbine“ (vgl. Flugzeugturbine) zugeführt, wo die enthaltene Energie direkt auf die Welle eines Generators zur Stromerzeugung geleitet wird. Die Turbinenabluft wird dann über Wärmetauscher und Reinigungssystem geführt. Das System nutzt Reststoffe und wandelt daraus nicht nur hocheffizient Wärme, sondern auch Strom aus erneuerbaren Energien bei vergleichsweise geringen Abgasmengen. Die Leistungsklasse liegt zwischen 35 – 250 kW elektrisch, wobei die Feuerungswärmeleistung 200 – 1000 kW entspricht. Die verbleibende Wärmeenergie aus dem Rauchgas kann beispielsweise als Heizungs- und Trocknungssystem genutzt werden. Bei der Verbrennung insbesondere von Kunststoffen auf Schiffen ist eine Zulassung nach MARPOL 73/78 und IMO MEPC.1/76 Abgasreinigung zu berücksichtigen. Da die Abgasbehandlung beim Verbrennen von Plastik technisch aufwendig wird, sollte die Abgasreinigung in die bestehende Abgasreinigung des

Schiffsschornsteinsystems integriert werden. Bei dem Einsatz auf dem SeeElefanten ist die thermische Anlage deshalb in unmittelbarer Nähe zum Schornstein geplant.

Der mittlere Heizwert des Materials, das für die Thermische Anlage vorgesehen wird, wird mit 8 kWh/kg angenommen[11].

Die folgende Abbildung zeigt den Einbau der Anlage auf dem SeeElefanten.

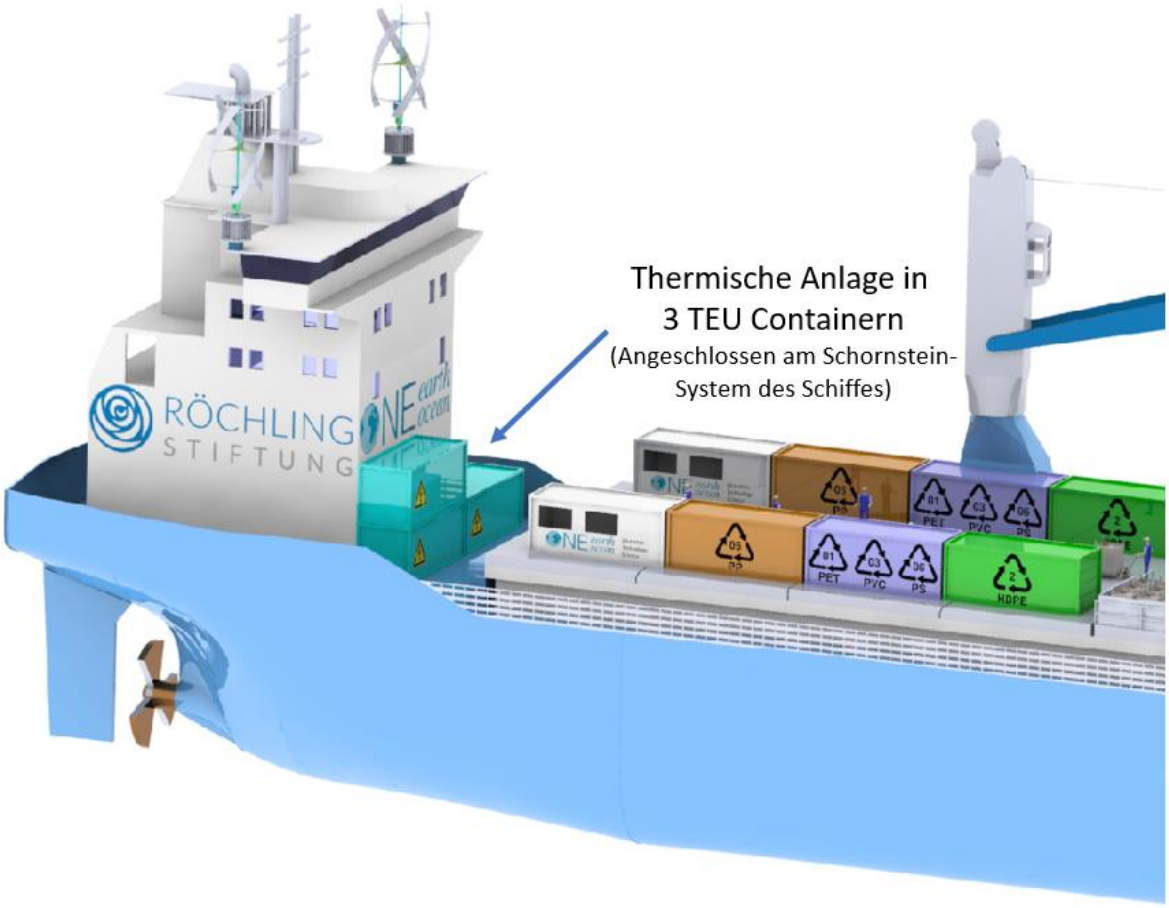


Abbildung 52 - Einbau der thermischen Anlage auf einem Beispielschiff

Technische Daten:

Modell	ClinX 130
Betriebszeit	24 h/365 d
Verarbeitungskapazität EBS (bei Heizwert = 8 kWh/kg)	2,1 t/h
Output elektrische Leistung in (kW)	130 kW
Benötigte Input Brennleistung (kW)	700 kW

[11] Angenommener Wert aus DIN 18230-3; Beilicke - Bautechnischer Brandschutz siehe Anhang 6

3.3.5. Energiebedarf der Anlagentechnik

In diesem Abschnitt wird der Energiebedarf der Anlagentechnik bestimmt. Basis bilden die Datenblätter der in 3.3.5 beschriebenen Beispielmaschinen, sowie Experteninterviews mit Vertretern der Hersteller.

Tabelle 9: Energiebedarf der Anlagentechnik

Anlagentechnik	Hersteller/Anlage (Beispiel)	Energiebedarf [kW]
Manuelle Sortierstrecke inkl. Aufgabe	Stadler Anlagenbau GmbH	5
Perforator	HSM PET Perforator PF 1200-4	8
Schredder	Vecoplan V-ECO 1300	30
NIR-Sortierer	Tomra autosort 1400	10
Verdichtung	HSM VK 4812 P / HSM BRP 4810	15
Peripherie (Förderbänder, Bunker etc.)	Stadler Anlagenbau GmbH	10
Sonstiges	Noch nicht definiert	2
Summe		**80 kW**

3.3.6. Gewicht der Anlagentechnik

Die Gewichtsbestimmung ist u.a. wichtig für die Stabilitätsrechnung des SeeElefanten. Basis dieser Gewichtsbestimmung bilden die Datenblätter der Beispielmaschinen, sowie Experteninterviews mit Vertretern der Hersteller.

Tabelle 10: Gewichtsbestimmung der Anlagentechnik

Anlagentechnik	Hersteller/Anlage (Beispiel)	Gewicht [t]
Manuelle Sortierstrecke inkl. Aufgabe	Stadler Anlagenbau GmbH	5
Perforator	HSM PET Perforator PF 1200-4	1
Schredder	Vecoplan V-ECO 900/1300	5
NIR-Sortierer	Tomra autosort 1400	4
Verdichtung	HSM VK 4812 P / HSM BRP 4810	10
Peripherie (Förderbänder, Bunker etc.)	Stadler Anlagenbau GmbH	10
60 Container (Rahmen + Fundament)	Standard-20-Fuß-Container	160
Sonstiges	Noch nicht definiert	5
Summe		**Ca. 200 t**

3.3.7. Kosten für die Anlagentechnik

Im Folgenden werden die Investitionskosten der Anlagentechnik überschlagen. Basis der Berechnung sind die Datenblätter der beschriebenen Beispielmaschinen, sowie Experteninterviews.

Tabelle 11: Investitionskosten der Anlagentechnik

Anlagentechnik	Hersteller/Anlage (Beispiel)	Preis [€]
Manuelle Sortierstrecke inkl. Aufgabe und Kabine	Stadler Anlagenbau GmbH	150.000
Perforator	HSM PET Perforator PF 1200-4	50.000
Schredder	Vecoplan V-ECO 900/1300	100.000
NIR-Sortierer	Tomra autosort 1400	200.000
Verdichtung	HSM VK 4812 P / HSM BRP 4810	100.000
Peripherie (Förderbänder, Bunker etc.)	Stadler Anlagenbau GmbH	200.000
Montage/IBN/Fracht/Engineering/Doku/CE	Stadler Anlagenbau GmbH	200.000
E-Technik	Stadler Anlagenbau GmbH	50.000
Sonstiges (z.B. Anschlüsse, Mehrpreis für Seewasserfestigkeit etc.)	Noch nicht definiert	150.000
Summe		**1.200.000€**

Die Betriebskosten hängen maßgeblich vom Betriebskonzept ab und werden aus diesem Grund an dieser Stelle nicht behandelt. Das Betriebskonzept der Maritimen Müllabfuhr wird ausführlich in 3.4.1.3 beschrieben.

Das Business-Modell inklusiver detaillierter betriebswirtschaftlicher Betrachtung des Gesamtsystems der Maritimen Müllabfuhr wird in Abschnitt 3.8 behandelt.

3.3.8. Fazit

Der voran gegangene Abschnitt hat gezeigt, dass ein schiffsgebundenes System zur Aufbereitung, Sortierung und Verarbeitung von Meeresmüll mit heute verfügbaren und technisch bewährten Maschinen umsetzbar ist.

Zu jedem Prozessschritt konnten marktgängige Beispielmaschinen im Containerformat identifiziert werden. Die benötigten Maschinen sind bei verschiedenen Herstellern erhältlich und unterscheiden sich in ihren Ausführungen nur geringfügig.

Überschlägige Rechnungen zu Energieverbrauch und Gewicht der Anlagen weisen keine Auffälligkeiten auf und werden für die Integration auf einem Schiff als unkritisch bewertet.

Durch den modularen Aufbau der Anlagentechnik im Standard-Containerraster ist das System skalierbar und auf regionale Bedingungen eines potenziellen Operationsgebietes anpassbar.

Das System kann sowohl stationär an Land, als auch auf verschiedenen Schiffstypen eingesetzt werden.

Die exakte Festlegung der Maschinentechnik wird erst im Anschluss an die in 3.7.2.1 beschriebenen Fangversuche und den darauffolgenden Testprogrammen erfolgen.

3.4. Technische Machbarkeit: Schiffskonzepte für das Pilotsystem

Das vorgestellte Konzept der Maritimen Müllabfuhr ist vollständig schiffsbasiert und sieht vor, dass der von den Sammelbooten aufgenommene Meeresmüll von einem Prozessschiff übernommen und verarbeitet wird.

Dabei soll ein gebrauchtes Schiff zum Einsatz kommen, das mit der entsprechenden Anlagentechnik ausgestattet wird. Auf dem Gebrauchtmarkt (z.B. www.hmsbroker.com) gibt es verschiedene prinzipiell geeignete Schiffstypen:

Abbildung 53 - Geeignete Schiffstypen für den SeeElefanten

Grundsätzlich kann die in 3.3 beschriebene, modulare Anlagentechnik auf jeden dieser Schrifttypen angewendet werden.

Um eine konkrete Umbau- und Betriebsplanung durchspielen zu können, wird das System im Folgenden auf zwei unterschiedliche Schiffstypen angewendet. Als mobile Version des SeeElefanten wurde ein Mehrzweckfrachter als Beispielschiff ausgewählt (Auswahlkriterium siehe 3.4.1). Für eine stationäre Variante des SeeElefanten wird ein Schwimmponton untersucht (Auswahlkriterium siehe 3.4.2).

3.4.1. Mobiler SeeElefant - Mehrzweckfrachter

Mehrzweckfrachter

Mehrzweckfrachter (Multipurpose-Carrier) sind hochseetaugliche Schiffe, die für den Transport von Stückgut und Containern geeignet sind. Da sie oft nicht die großen Häfen anlaufen, haben sie bordeigenes Ladegeschirr (Krane), um unabhängig von dem Vorhandensein von Verladeeinrichtungen am Kai zu sein. Sie verfügen meist über große, durchgehende Laderäume, die teilweise bereits mit Container-Führungsschienen (Cell-Guides) ausgestattet sind. (37)

Ein Mehrzweckfrachter eignet sich aufgrund der folgenden Eigenschaften als Verarbeitungsschiff (Mutterschiff) für das Pilotsystem der Maritimen Müllabfuhr.

- Großer, durchgehender Laderaum, für Containerbestückung geeignet (geringer Umbauaufwand)
- Große Arbeits- und Lagerfläche auf den Lukendeckeln
- Unabhängiges Komplett-System mit eigenen Kränen und Hotelbetrieb
- Hohe Mobilität (Seetauglichkeit, eigener Antrieb)
- Sammelfahrzeuge können aufgeladen und vom Mehrzweckfrachter zum Zielgebiet transportieren werden

Das Schiff kann schnell und unkompliziert von einem Einsatzort zum anderen fahren und ist besonders für globale Demonstrationszwecke und lange Transferfahrten geeignet.

Auf dem Gebrauchtschiffsmarkt gibt es eine Vielzahl preiswerter Mehrzweckfrachter im guten Zustand.

Als Beispielschiff für das Pilotsystem dient der Mehrzweckfrachter MS Forester der Reederei Rörd Braren, der aktuell zu einem Preis von Mio. EUR 2,8 zum Verkauf steht. Das folgende Bild zeigt die MS-Forester im Betrieb.

Abbildung 54 - Beispielschiff des mobilen SeeElefanten: MS Forester

Quelle: marinetraffic.com

Technische Daten[12]:

Schiffstyp	Mehrzweckfrachter	Leistung	2990 kW
Flagge	Deutsch [DE]	Tragfähigkeit	6471 t
Klasse	DNV/GL	Länge x Breite x Tiefgang	100 m x 17 m x 7 m
IMO	9123300	Geschwindigkeit	12 kn
Baujahr	1996	Anzahl Besatzung	8
		Elektrische Versorgung	2 x 157 kW Dieselgeneratoren 1 x 780 kW Wellengenerator 1 x 157 kW Notstromaggregat

Ein Expertengespräch mit einem Reedereivertreter und die Besichtigung des baugleichen Schwesterschiffes MS-Cellus am 27.11.2018 in Kiel bestätigte die Eignung für den Einsatzzweck und zeigt, dass die Reederei Rörd Braren ihre Schiffe in einem ausgezeichneten Zustand hält.

[12] Aus „Schiffsdatenblatt MS-Forester“ siehe Anhang 7

Die folgenden Bilder zeigen den großen, durchgehenden Laderaum (L=60 m, B=14 m, H=7,5 m), sowie die Schiffsbrücke der MS-Cellus.

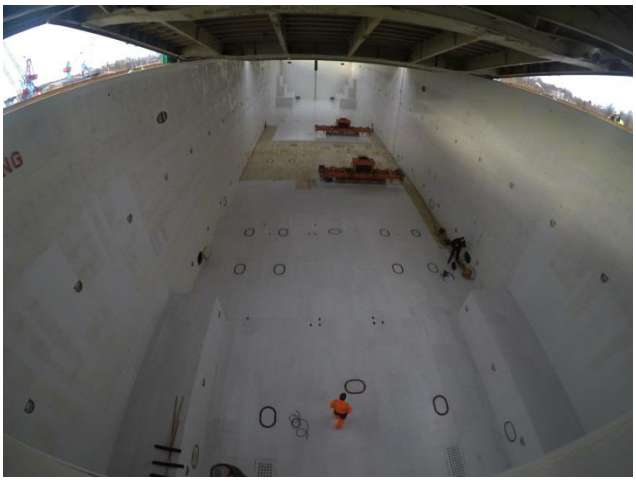


Abbildung 55 - Laderaum und Brücke der MS-Cellus

Quelle: OEOO

3.4.1.1. Integration der Anlagentechnik in das Beispielschiff MS-Forester

In diesem Abschnitt wird die Anlagentechnik aus 3.3. in ein 3D-CAD-Modell der MS-Forester integriert. Das 3D-Modell (im Maßstab 1:1) wurde auf Basis der Original-Generalpläne der MS-Forester erstellt.

Die nachfolgenden Zeichnungen zeigen die Integration der Anlagentechnik in das Schiff in isometrischer Ansicht, Seitenansicht, Draufsicht und transparenter Ansicht mit entsprechenden Beschreibungen.

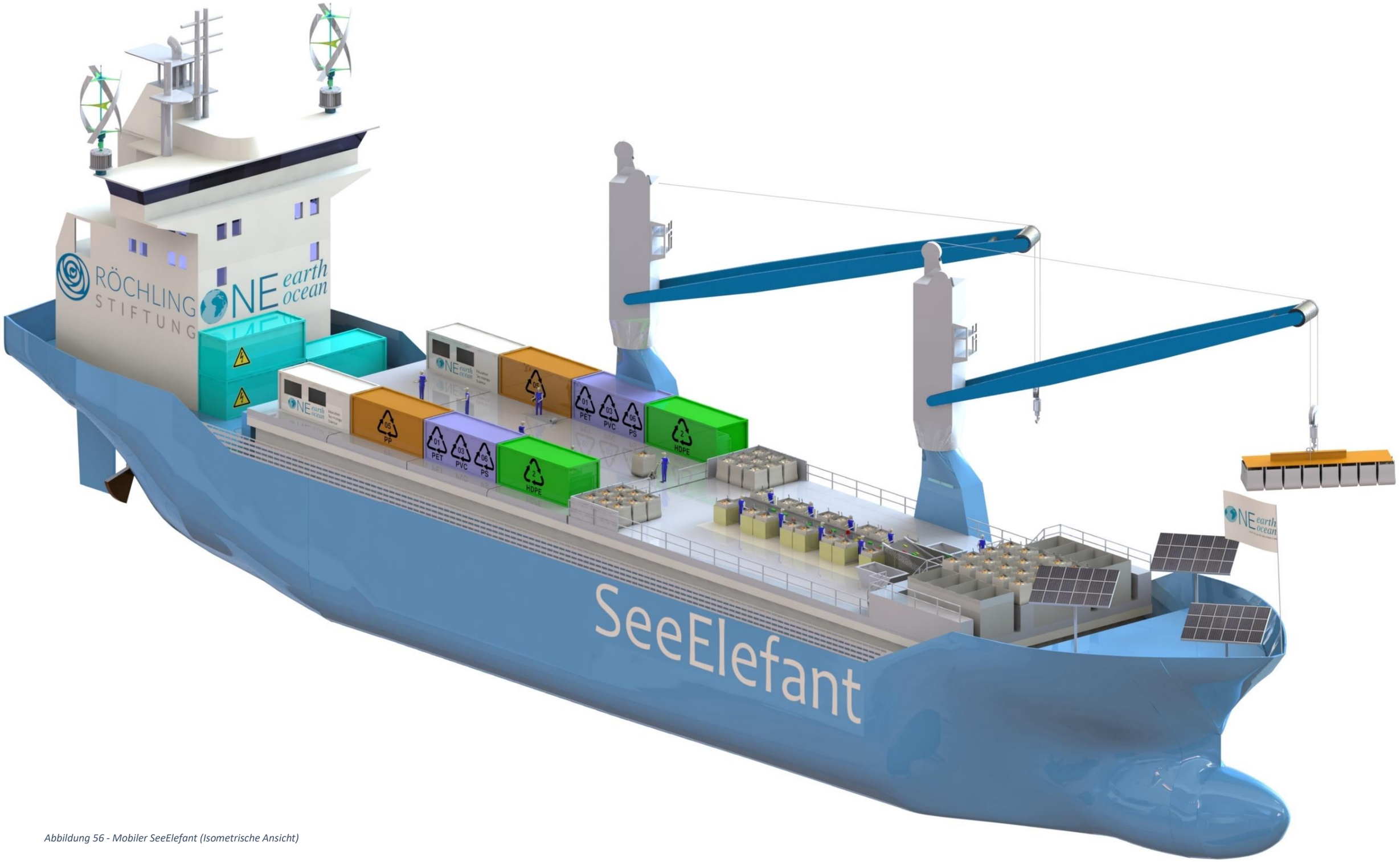


Abbildung 56 - Mobiler SeeElefant (Isometrische Ansicht)

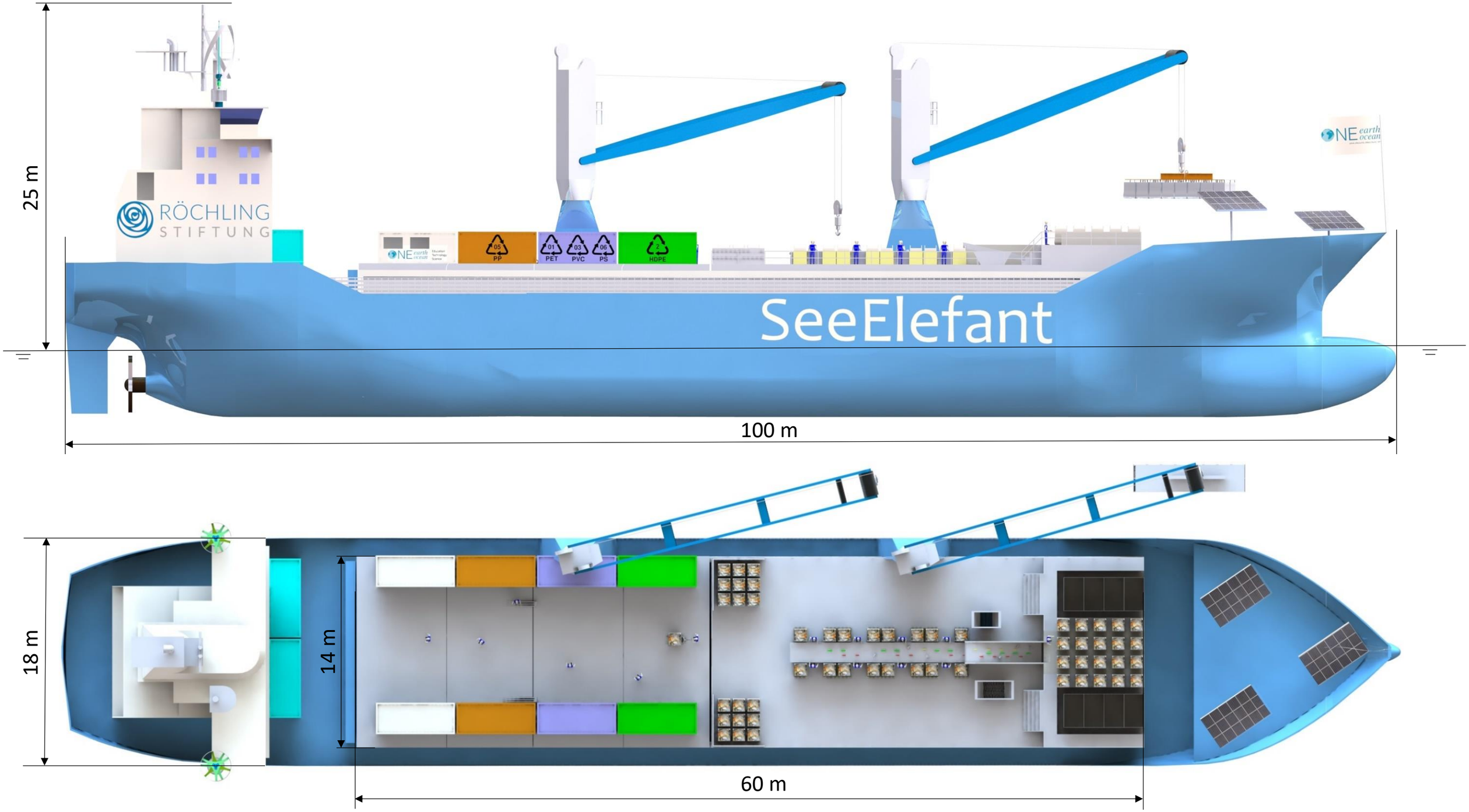


Abbildung 57 - Mobiler SeeElefant (Seitenansicht, Draufsicht)

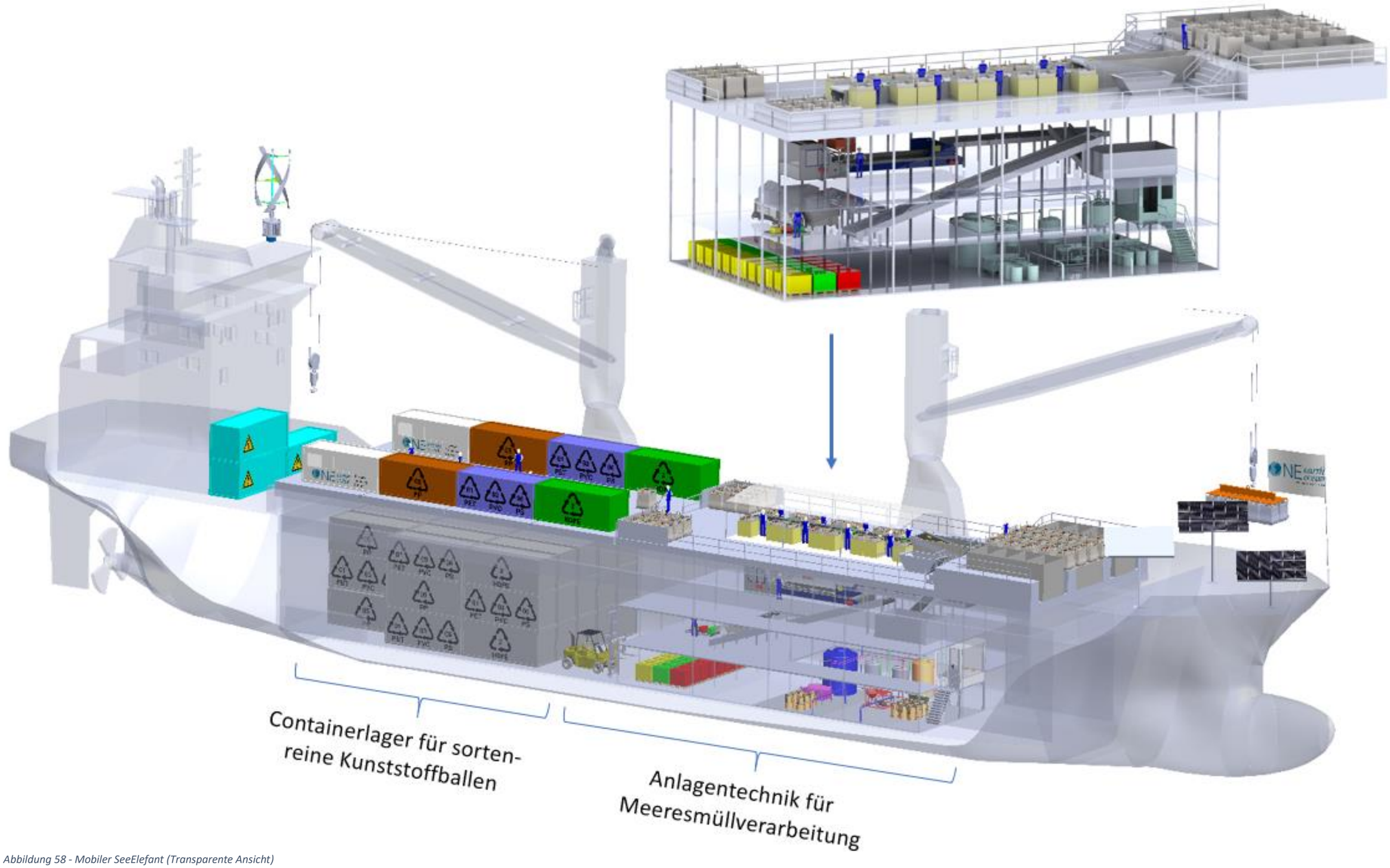


Abbildung 58 - Mobiler SeeElefant (Transparente Ansicht)

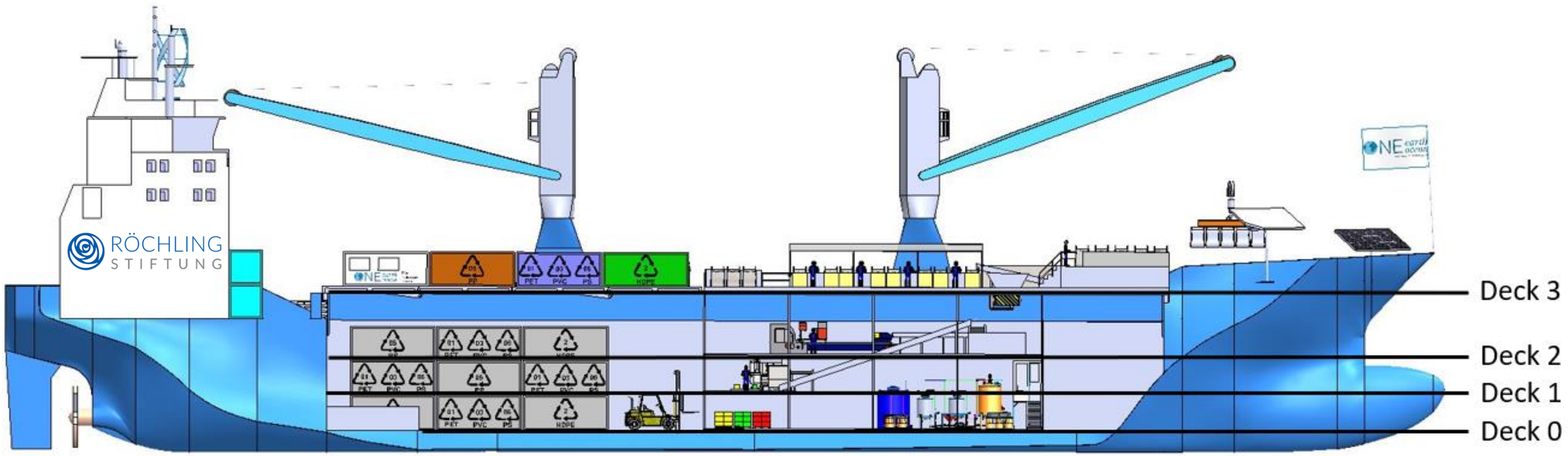


Abbildung 59 - Mobiler SeeElefant (Deckstruktur und Laderaum)

Deckstruktur der MS-Forester mit Anlagentechnik

Deck 0 (Schiffsboden)

- Platz für Anlagentechnik einer späteren Ausbaustufe des SeeElefanten (u.A. Verölungsanlage)
- Zwischenlager/Lager für sortenreine Kunststoffballen/Briketts

Deck 1

- Komprimierung der sortenreinen Kunststoffe in Ballen bzw. Briketts mittels Ballen- oder Brikettierpresse.
- Rückförderung der noch unsortierten Kunststoffe auf das Sortierdeck 2.

Deck 2

- Aufnahme der perforierten bzw. grob zerkleinerten Kunststoffe in Zwischenbunkern
- Sortenreine Sortierung von Kunststoffen mittels NIR-Geräts

Deck 3 (Außendeck)

- Big-Bag Annahme/ Aufgabe Meeresmüll in den Verarbeitungskreislauf
- Sondermaterial-Handling
- Manuelle Vorsortierung, Zerkleinerung und Perforation
- Thermische Verwertung
- Lagerung Arbeitsvorrat Meeresmüll für 2. Schicht

3.4.1.2. Personalkonzept

Schiffspersonal:

Für den Schiffsbetrieb der MS-Forester wird eine Besatzung von mindestens 8 Personen nach dem folgenden Besatzungszeugnis benötigt.

Tabelle 12: Besatzungszeugnis der MS-Forester

Dienstgrad / Anzahl / erforderliches Befähigungszeugnis gem. STCW-Übereinkommen: *Grade or capacity / number of persons / certificate acc. to STCW-Convention:*					
Kapitän 1) *Master*	1	**II/2, IV/2, VI/2(1), VI/3**	**Leiter der Maschinenanlage** 2) *Chief Engineer Officer*	1	**III/3, VI/2(1), VI/3**
Erster Offizier 2) *Chief Mate*	1	**II/2, IV/2, VI/2(1), VI/3**	**Zweiter techn. Offizier** 2) *Second Engineer Officer*	-	
Nautische Wachoffiziere 2) *Navigational Watchkeeping Officers*	1	**II/1, IV/2, VI/2(1), VI/3**	**Techn. Wachoffiziere** 2) *Engineering Watchkeeping Officers*	-	
Schiffsmechaniker 3) *General Purpose Rating*	-		**Schiffselektrotechniker/-elektriker** *Electrical Technician / Electrician*	-	
Schiffsmann Deck (wachbefähigt) *Rating Deck (watchkeeper)*	4	**II/4, VI/1**	**Schiffsmann Maschine (wachbefähigt)** *Rating Engine (watchkeeper)*	-	
Schiffsmann Deck *Rating Deck*	-		**Schiffsmann Maschine** *Rating Engine*	-	
Koch *Cook*	-			-	
Gesamtzahl: 8 *Total Number:*					

Im aktuellen Schiffsbetrieb fährt die MS-Forester die Route Kiel [D] nach Vlissingen [NL] mit einer Besatzung von 8 - 10 Personen.

Jedes Besatzungsmitglied ist in einer komfortablen Einzelkabine untergebracht.

Da das Schiff für 12 Personen ausgelegt ist und Vorgänge wie Ankern, Ladungsumschlag, Reede- und Hafenbetrieb beim Schiffsbetrieb (siehe 3.5.1.4) relevant sind, eignet sich das Schiff ebenfalls sehr gut für Ausbildungszwecke von Seepersonal (Nautiker, Schiffsmechaniker etc.)

Im Reede- bzw. Hafenbetrieb kann die Besatzung auf drei Personen reduziert werden. Es sollte dabei der Kapitän, ein erster Offizier und ein nautischer Wachoffizier an Bord sein, um das Schiff im Notfall in Betrieb nehmen zu können (38).

Personal für die Anlagentechnik:

Für die Anlagentechnik aus 3.3. ist bei der geplanten Verarbeitungsmenge des Pilotsystems von knapp 18 Tonnen Meeresmüll ein Zweischichtbetrieb zu je 8 h ausreichend. Insgesamt werden pro Schicht 12 Arbeitskräfte für den sicheren und reibungslosen Ablauf der Meeresmüllverarbeitung benötigt. Überwachungsfunktionen können dabei ggf. von schiffseigenem Personal übernommen werden.

Für die Decks 1 und 2 wird jeweils ein ausgebildeter Techniker vorgesehen, der die Anlagen überwacht und wartet, bzw. im Falle einer Störung reagieren kann. Diese Aufgabe ist – je nach Qualifikation – ebenfalls von Technikern und Ingenieuren der Schiffsbesatzung zu übernehmen.

Als Sortierpersonal für die manuelle Sortierung, sowie für Annahme und Aufgabe der Big-Bags auf dem Außendeck werden jeweils 8 bis 10 lokale Arbeitskräfte je Schicht vorgesehen. Zwei weitere lokale Arbeitskräfte sorgen für die fachgerechte Komprimierung und die Lagerlogistik der sortenreinen Kunststoffballen bzw. Briketts.

Transfer von externem Personal:

Der Transfer von externen, regionalen Arbeitskräften zwischen Land und SeeElefant wird mit eigenen Transferbooten (z.B. Zodiak, SeeKuh etc.) realisiert.

Mit einem Personenkorb, der über die bordeigenen Kräne bewegt wird, findet der Austausch der Arbeitskräfte zwischen den Transferbooten und dem SeeElefanten statt.

Für den Offshore-Bereich gibt es verschiedene Personenkorb-Systeme. Die folgende Abbildung zeigt die gängigsten Modelle.

Quelle: reflexmarine.com

Abbildung 60 - Hängige Personenkorb-Systeme im Offshore-Sektor

Wichtig ist eine Bewertung nach Sicherheitskriterien. Nachfolgende Tabelle qualifiziert die o.g. Personenkorb-Systeme bezüglich verschiedener Risiken:

Tabelle 13: Sicherheitsbewertung von Personenkorb-Systemen

CARRIER TYPE	VERTICAL IMPACTS	LATERAL IMPACTS	FALLS	IMMERSION	TRIP AND ENTANGLEMENT
Collapsible basket	Low	Low	Low	Low	Low
Rigid basket	Low	Medium	Medium	Low	Medium
Rigid capsule	High	High	High	High	High

RANKING	DESCRIPTION
Low	Little or no protection. Only suitable for benign operating conditions
Medium	Moderate protection. Suitable for moderate operating conditions
High	High level of protection. Suitable for harsh operating conditions

Quelle: reflexmarine.com

Das Ranking zeigt, dass das „rigid capsule“ (dt. = Starre Kapsel) System die mit Abstand sicherste Lösung für den Personentransfer mit Kränen darstellt. Diese ist deshalb auch für den SeeElefanten vorgesehen.

Beispielsystem: Reflex Marine Ltd - FROG-XT6

Die folgende Abbildung zeigt ein vielversprechendes Beispiel eines rigid capsule systems von Reflexmarine Ltd.

Quelle:
reflexmarine.com

Abbildung 61 - Personenkorb FROG-XT6 von Reflex Marine Ltd

Der FROG-XT6 kann bis zu 6 Personen gleichzeitig oder eine Trage mit einer verletzen Person und eine Begleitperson transportieren. Das System ist bis zu einer Wellenhöhe von 4 m und einer Windgeschwindigkeit von 20 m/s zugelassen. (39)

Technische Daten:

DIMENSIONS	OPERATIONAL LIMITS	PASSENGERS	MAX GROSS WEIGHT	TEMPERATURE	FEATURES
W1 2110mm / 84" **W2** 2110mm / 84" **H** 2180mm / 86"	**Wave height up to** 4m / 13'1" **Wind speed up to** 40 knots / 20m/s	6 persons or 1 person plus stretcher	1200kg / 2646lbs	**Standard** -20°C to +50°C (-4°F to +122°F) **Arctic** -40°C to +50°C (-40°F to +122°F)	MedEvac Mode ABS Statement of Fact (by request)

Quelle:
reflexmarine.com

Das System ist für ca. TEUR 50 erhältlich[13]

[13] Angebot von Survitec Group Limited vom 22.02.2019

Exkurs: Betrieb mit mehr als 12 externen Personen - Die Klassifizierung des Müllverarbeitungsschiffes *SeeElefant*

Da an Bord des *SeeElefanten* Meeresmüll verarbeitet wird, müssen sich geeignete Anlagen und entsprechendes Personal an Bord befinden.

Regelmäßig werden mehr als 12 Personen an Bord des SE beschäftigt sein. Die nach IMO nun mögliche Einstufung als Passagierschiff ist aufgrund höherer, aber nicht für den SE-Betrieb relevanter Zulassungsanforderungen (z.B. hinsichtlich Stabilität, Leckstabilität und Krängung) abzulehnen.

Für ebendiese Art von Schiffen, auf denen sich einsatz- bzw. auftragsbedingt mehr Personen aufhalten, im Gegensatz zu jenen, die im eigentlichen Schiffsbetrieb eingesetzt sind und deren Anzahl 12 Personen übersteigt, sieht die IMO die Kategorie „Spezialschiff“ vor (Bekanntmachung des überarbeiteten IMO-Codes über die Sicherheit von Spezialschiffen (Entschließung MSC. 266(84)).

Allerdings wird bei diesen „Mitglieder[n] des Spezialpersonals vorausgesetzt [wird], dass sie sich in einer guten Verfassung befinden und über hinreichende Kenntnisse über das Schiff verfügen und in Bezug auf die Sicherheitsverfahren und die Bedienung der Sicherheitsausrüstung des Schiffes ausgebildet wurden (…)“ (Code über die Sicherheit von Spezialschiffen von 2008, Präambel, Abs. 4).

Die Sicherheitsstandards, die für den SeeElefanten in der Kategorie "Spezialschiff" anzuwenden sein werden, sind im Anhang 8 dargestellt.

3.4.1.3. Betriebskonzept

Im Folgenden werden der Betriebsablauf der Maritimen Müllabfuhr und die Schnittstellen von Orten, Sammeln, Verarbeiten und dem Ladungsumschlag von Meeresmüll auf Basis eines Mehrzweckfrachters beschrieben. Abbildung 63 zeigt die Prozessschritte im Überblick:

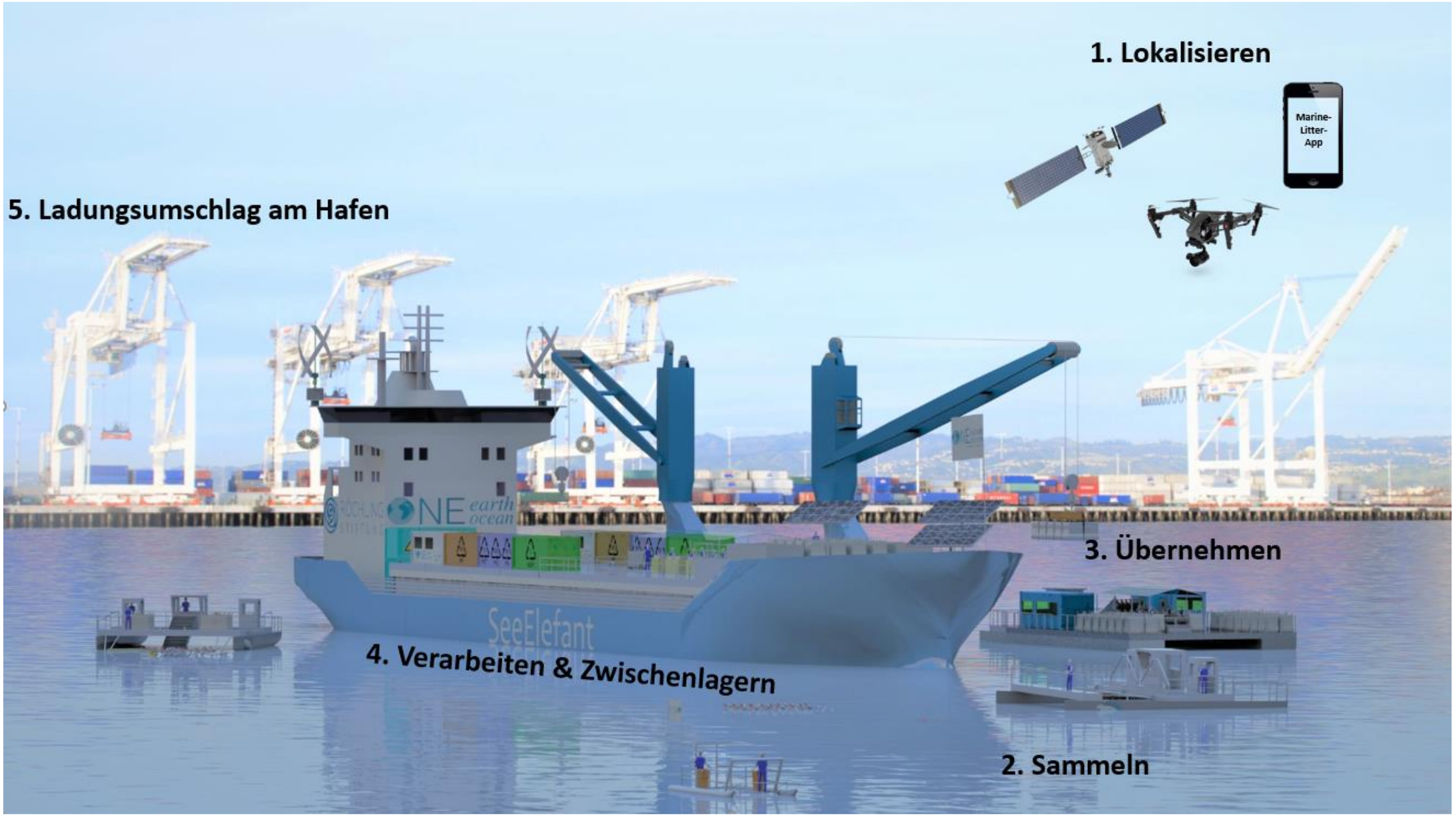


Abbildung 62 - Betriebskonzept des Maritimen Müllabfuhr - Realdarstellung

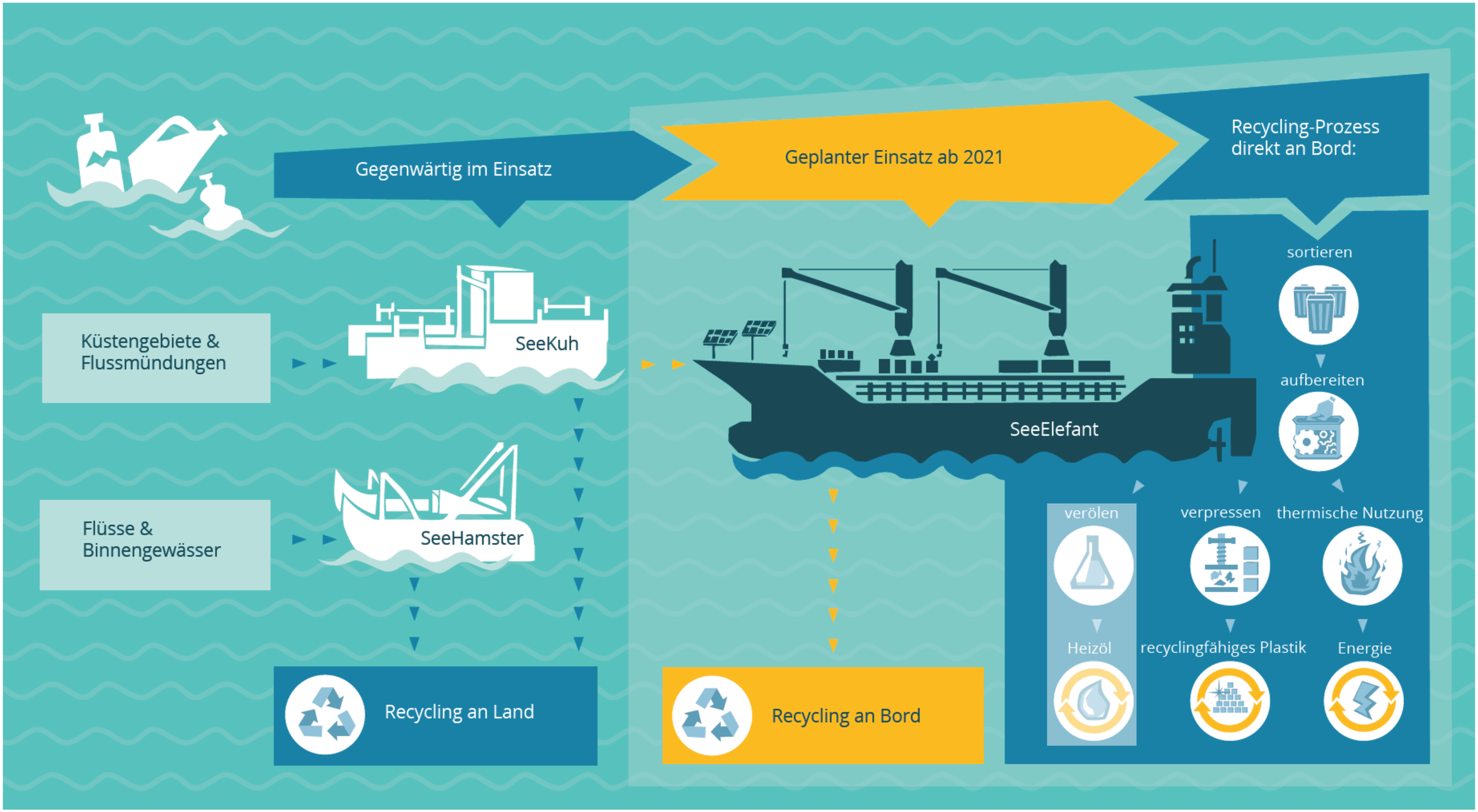


Abbildung 63 - Betriebskonzept der Maritimen Müllabfuhr - schematisch

Zusammenfassende Beschreibung des Betriebskonzeptes:

Im Folgenden wird das Betriebskonzept der Maritimen Müllabfuhr zusammenfassend beschrieben. Grundlage des Betriebskonzeptes sind die Abschnitte 3.1 - 3.3 sowie das Businessmodell aus Abschnitt 3.8.

Lokalisieren von Hotspots, Einsatzplanung

In einem potenziellen Operationsgebiet werden mit Hilfe der Marine-Litter-App, sowie mit modernster Satelliten- und Drohnentechnik Meeresmüll-Hotspots identifiziert und lokalisiert (siehe 3.1). Durch die Auswertung bestimmter Parameter (Fläche, Menge, Zusammensetzung, vorliegende Wasser- und Wetterbedingungen etc.) des lokalisierten Hotspots und eine lokale Inaugenscheinnahme wird ein Einsatzplan erstellt. Dieser umfasst u.a. die benötigte Anzahl und Ausrüstung der Sammelboote, das benötigte externe Personal sowie die geschätzte Einsatzzeit und die Arbeitsschichtplanung.

Anfahrt SeeElefant, Aufbau der Sammelfahrzeuge, Positionierung

Der SeeElefant fährt in das lokalisierte Hotspot-Gebiet und transportiert dabei die Sammelfahrzeuge (SeeHamster/SeeKuh) entweder zerlegt in Containern oder nicht zerlegt an Deck. In einem nahegelegenen, geeigneten Hafen werden die Sammelfahrzeuge ggf. zusammengebaut und mit den bordeigenen Kränen des SeeElefanten zu Wasser gelassen.

Daraufhin legt sich der SeeElefant in dem zu reinigenden Hotspot auf Reede. Während des Reinigungseinsatzes sind Fahrbewegungen des SeeElefanten – ausgenommen Lösch- und Ladevorgänge – nicht vorgesehen und nicht nötig.

Transfer von Arbeitskräften für den Sammel- und Sortierbetrieb

Externe Arbeitskräfte für den Betrieb der Sammelboote werden direkt mit den jeweiligen Fahrzeugen vom Festland abgeholt.

Das Personal für den Schichtbetrieb der manuelle Sortierstrecke des SeeElefanten wird mit Transferbooten (z.B. Zodiaks) vom Festland zum SeeElefanten, und dort über einen kranbaren Personenkorb (siehe 3.4.1.2) an und von Bord gebracht.

Sammeln des Meeresmülls in Big-Bags

Der Meeresmüll wird von den verschiedenen Sammelbooten gesammelt und in Big-Bags gelagert. Ein mit Meeresmüll gefüllter Big-Bag hat dabei ein Gewicht von ca. 30 kg. Um die angestrebte tägliche Menge von 17,7 Tonnen Meeresmüll zu erreichen, müssen somit ca. 600 Big-Bags pro Tag von den Sammelbooten gefüllt und an den SeeElefanten übergeben werden.

Bei einem Einsatz von 8 Sammelfahrzeugen (4 SeeKühe, 4 SeeHamster) und einem täglichen Sammelbetrieb von 8 Stunden bedeutet dies, dass ein Sammelfahrzeug im Mittel pro Stunde ca. 9 – 10 Big-Bags mit Meeresmüll füllen muss.

Übernahme der mit Meeresmüll gefüllten Big-Bags

Ist die Lagerkapazität eines Sammelfahrzeuges nach maximal 2 Stunden erschöpft, fährt dieses zum SeeElefanten. Hier werden die mit Meeresmüll gefüllten Big-Bags mit Hilfe der bordeigenen Kräne übernommen. Durch den Einsatz spezieller Traversen können bis zu 16 Big-Bags mit einem Gesamtgewicht von ca. 480 kg übernommen werden. Im Durchschnitt muss alle 12 - 13 Minuten eine Übernahme von 16 Big-Bags erfolgen.

Verarbeitung des Meeresplastiks:

Bei einem angestrebten täglichen Durchsatz von 17,7 Tonnen Meeresmüll und einer täglichen Arbeitszeit von 16 h müssen pro Stunde ca. 37 Big-Bags mit Meeresmüll manuell sortiert und davon ca. 30 Big-Bags mit Meeresplastik in den Verarbeitungskreislauf aufgegeben werden. Die einzelnen Prozessschritte und die Verarbeitungstechnik sind detailliert in 3.3.4 beschrieben. Alles was nicht zu sortenreinen Ballen verarbeitet werden kann, wird sonderentsorgt oder in die thermische Verwertungsanlage gegeben.

Zwischenlagern der sortenreinen Ballen:

Die Zwischenlagerung der sortenreinen Ballen erfolgt im hinteren Bereich des Schiffes. Dort stehen im Laderaum insgesamt 43 TEU-Container zur Verfügung. An Deck stehen bis zu 60 TEU-Container zur Verfügung.

Mit Hilfe von Hubwagen und einem E-Gabelstapler werden die Container befüllt und später deklariert. Geht man von den in 3.4.1.5 genannten Mengen und Containerkapazitäten aus, so sind nach 60 Tagen im Operationsgebiet die Container mit Plastikballen gefüllt, und das Schiff muss zum Ladungsumschlag in den nächsten geeigneten Hafen.

Ladungsumschlag am Hafen

Der Ladungsumschlag findet im nächstliegenden geeigneten Hafen statt. Durch die bordeigenen Kräne ist man nicht auf landseitige Infrastruktur angewiesen; insoweit eignen sich auch kleinere Häfen für den Ladungsumschlag.

Die mit sortenreinen Kunststoffen gefüllten 20-Fuß-Container werden mit Hilfe der Kräne des SeeElefanten im Hafen übergeben. Der SeeElefant nimmt im Gegenzug leere 20-Fuß-Container auf und fährt zurück zum Operationsgebiet.

3.4.1.4. Betriebsgrenzen der mobilen Maritimen Müllabfuhr

Der Betrieb der Maritimen Müllabfuhr kann durch verschiedene Einflüsse eingeschränkt oder unterbrochen werden. In der folgenden Tabelle werden deshalb die Betriebsgrenzen der einzelnen Systeme der Maritimen Müllabfuhr festgelegt.

Tabelle 14: Betriebsgrenzen der mobilen Maritimen Müllabfuhr

System	Wind-geschwindigkeit[14] [Bft]	Signifikante Wellenhöhe[15] [m]	Strömungs-geschwindigkeit[16] [m/s]	Minimale Wassertiefe [m]
Drohne	4	/	/	/
SeeHamster	4	0,5	0,9	1
SeeKuh (Netz)	6	0,7[17]	1,3	3
SeeKuh (Förderband)	6	0,7	1,3	1
SeeElefant	12	15	2,4	8

Ist die Betriebsgrenze eines Systems erreicht, so muss dieses die Arbeit unterbrechen und ggf. zum Schutz auf den SeeElefanten gehoben werden. Unabhängig davon können die anderen Systeme der Maritimen Müllabfuhr bis zu ihren eigenen Betriebsgrenzen weiterarbeiten.

Lassen Wetterprognosen darauf schließen, dass ein sicherer Systembetrieb nicht mehr möglich ist – Betriebsgrenzen gemäß Tabelle 14 werden erreicht – muss der SeeElefant zusammen mit den Sammelfahrzeugen in ein sicheres Hafengebiet gebracht werden.

Da die minimale Wassertiefe vom Tiefgang des Boots bzw. Schiffstyps abhängt, muss dies bei der Einsatzplanung im potenziellen Operationsgebiet beachtet werden. Es ist davon auszugehen, dass bei den gesetzten Betriebsgrenzen eine durchschnittliche Betriebszeit der Maritimen Müllabfuhr von 320 Tagen/Jahr erreicht wird.

[14] Annahmen aus Tabelle Windgeschwindigkeiten siehe Anhang 9
[15] Definition Signifikante Wellenhöhe nach Anhang 10
[16] Annahme: 1/3 der maximalen Fahrgeschwindigkeit
[17] Aus Krängungstest der aktuellen SeeKuh

3.4.1.5. Material-Massenstrom des Pilotsystems

Die folgende Tabelle zeigt den Material-Massenstrom des Pilotsystems mit der in 3.3 beschriebenen Anlagentechnik. Die Tabelle bezieht sich auf die geforderte Verarbeitungsmenge von 15 Tonnen Meeresplastik pro Tag.

Tabelle 15: Massenstrom

Eingangsdaten	Sammelmenge Meeresplastik pro Tag [t]	15
	Anteil Meeresmüll	75%
	Anteil Organik	25%
	Betriebstage [d]	320

	Teile	Material	Gewichtsanteil	Trockenmasse [t]	Verarbeitung	Verarbeitungsmenge Pro Jahr [t]
Meeresmüll (75%)	**Kunststoffe** davon:		**85%**	**15,0**		**4800**
	➢ z.B. Plastiktüten, Kisten und Boxen, Flaschen (Kosmetik), Nahrungsmittelbehälter	PE (HD/LD)	42%	6,3	Sortenreine Ballen	1824
	➢ z.B. Netze, Lebensmittelverpackung (Tüten), Becher, Deckel, Hartplastik	PP	31%	4,7	Sortenreine Ballen	1680
	➢ z.B. Behälter, Getränkeflaschen	PET	10%	1,5	Sortenreine Ballen	480
	➢ z.B. Dichtungen, Schläuche, Folien, Luftmatratzen	PVC	4%	0,6	Sortenreine Ballen	184
	➢ z.B. Verpackungen (Fastfood), Styropor, Schaumartikel	PS, EPS	2%	0,4	Sortenreine Ballen	115
	➢ z.B. Verschiedenes (Luftballons, Textilien, Zigarettenfilter)	Andere	10%	1,5	thermische Verwertung	528
	Bioabfall	**Organik**	**1%**	**0,2**	**(thermische Verwertung) / Sonderentsorgung**	**74**
	Dosen, Sprühflaschen	**Metall**	**1%**	**0,1**	**Sonderentsorgung**	**40**
	Behandeltes/Lackiertes Holz	**Holz**	**4%**	**0,6**	**(thermische Verwertung) / Sonderentsorgung**	**199**
	Verbunde, Reste, Glas, Verschmutzung	**Verschiedene Materialien**	**10%**	**1,8**	**(thermische Verwertung) / Sonderentsorgung**	**568**
	Sammelmenge Meeresmüll			**17,7**		
Organik (25%)	Algen/Pflanzen	Organik	10%	0,6	Direkte Rückleitung ins Wasser	
	Muscheln	Organik	10%	0,6	Direkte Rückleitung ins Wasser	
	Treibholz	Holz	75%	4,4	Direkte Rückleitung ins Wasser	
	Tierischer Beifang	Organik	5%	0,3	Direkte Rückleitung ins Wasser	
	Fangmenge Organik			**5,9**		
	Gesamte Sammelmenge			**23,7**		

3.4.1.6. Energiekonzept

Die folgenden Tabellen fassen das Energiekonzept des Pilotsystems der - mobilen - Maritimen Müllabfuhr zusammen. Dabei wird sowohl auf die benötigte Energie für den gesamten Betrieb, als auch auf die Energieerzeugung (durch die thermische Verwertung von Kunststoffen und Solar- und Windenergie), eingegangen.

Tabelle 16: Energiebedarf der Maritimen Müllabfuhr (ohne Hauptmaschine SeeElefant)

Energiebedarf	2019	2020	2021[18]
1. SeeKuh / Leistung gesamt			
Anzahl (Stück) p.a.	1	1	2
Anzahl (Stück) kumuliert	1	2	4
Maschinenleistung / Fahrzeug (kW) Max.	100	100	100
Maschinenleistung / Fahrzeug (kW) Durchschnitt	50	50	50
Einsatzzeiten je Tag (Stunden)	8	8	8
Einsatzzeiten / Jahr (Tage)	21	191	306
Energiebedarf SeeKühe in kWh	**8.244**	**152.533**	**488.800**
2. SeeHamster			
Anzahl (Stück) p.a.	1	1	2
Anzahl (Stück) kumuliert	1	2	4
Maschinenleistung / Fahrzeug (kW) Max.	10	10	10
Maschinenleistung / Fahrzeug (kW) Durchschnitt	5	5	5
Einsatzzeiten je Tag (Stunden)	8	8	8
Einsatzzeiten / Jahr (Tage)	21	191	306
Energiebedarf SeeHamster in kWh	**824**	**15.253**	**48.880**
3. Hotel- und Kranbetrieb SeeElefant			
Hotelbetrieb (1 t Diesel/Tag) 40 kW	40	40	40
Hotelbetrieb Tage/Jahr	21	365	365
Hotelbetrieb je Tag (Stunden)	24	24	24
Krane (max. 2 t Diesel/Tag)	320	320	320
Krane Einsatzzeiten Stunden/Tag	6	6	6
Krane Einsatzzeiten Tage	21	191	306
Energiebedarf Hotel und Kranbetrieb in kWh	**59.733**	**716.480**	**936.960**
4. Sortier- und Verarbeitungsanlagen			
Anzahl (Stück) kumuliert	1	1	1
Anschlussleistung/Stück (kW)	80	80	80
Betriebszeit je Tag (Stunden)	6	12	16
Betriebszeit/Jahr (Tage)	21	191	306
Energiebedarf Anlagentechnik	**9.893**	**183.040**	**391.040**
5. WTF und WTE-Anlagen / Eigene Versorgung	**0**	**0**	**0**
6. Energiereserve			
In Prozent	10%	10%	10%
7. SUMME ENERGIEBEDARF ELEKTRISCH			
Leistung (kWh)	**86.565**	**1.174.037**	**2.052.248**

[18] Die Tabellen umfassen lediglich die Jahre bis 2021, da dann die Pilotmenge von 15 t Plastikmüll je Tag erreicht ist. Weiterführende Analysen über den 10-Jahreszeitraum bis 2028 enthält das Business Modell.

Tabelle 17: Energieerzeugung der Maritimen Müllabfuhr

Energieerzeugung	2019	2020	2021
1. WTE-Anlagen / B+K ClinX			
Einsatzmenge EBS aus Marine Litter (t/a)	12	220	527
Einsatzmenge EBS aus Marine Litter (t/d)	0,03	0,62	1,49
Heizwert EBS (kWh/kg)	8,0	8,0	8,0
Anzahl der Anlagen	0	1	1
Max. Betriebszeit [h/d] nach Hersteller	24	24	24
Max. Betriebszeit [d/a] nach Hersteller	354	354	354
Output elektrische Leistung [kW]	130	130	130
Benötigte Input Brennleistung [kW]	700	700	700
Max. Verarbeitungskapazität EBS [kg/a]	743.400	743.400	743.400
Max. Verarbeitungskapazität EBS [t/d]	2,1	2,1	2,1
Auslastung	2%	30%	71%
Energieerzeugung WTE [kWh/a]	**0**	**326.857**	**783.231**
2. Solartechnik*			
Mittlere Leistung [kWh/d]	110	110	110
Einsatztage	340	340	340
Energieerzeugung Solartechnik [kWh/a]	37.400	37.400	37.400
2. Windtechnik*			
Mittlere Leistung in [kWh/d]	204	204	204
Einsatztage	340	340	340
Energieerzeugung Windtechnik [kWh/a]	69.360	69.360	69.360
3. SUMME ENERGIEERZEUGUNG ELEKTRISCH			
Leistung [kWh/a]	**106.760**	**433.617**	**889.991**

Tabelle 18: Energiebilanz der mobilen Maritimen Müllabfuhr

Energiebilanz	2019	2020	2021
1. Energiebedarf ohne Hauptmaschine SeeElefant			
Energiebedarf	86.565	1.174.037	2.052.248
2. Energieerzeugung WTE		Abdeckung	38%
Energieerzeugung WTE [kWh/a]	0	326.857	783.231
3. Energieerzeugung Solar		Abdeckung	3%
Energieerzeugung Solar [kWh/a]	0	37.400	37.400
4. Energieerzeugung Wind		Abdeckung	2%
Energieerzeugung Wind [kWh/a]	0	69.360	69.360
5. SALDO ELEKTRISCH			
Abdeckung über selbst erzeugte Energie	0%	37%	43%
Zusätzlich benötigte Energie [kWh/a]	86.565	740.420	1.162.257
Zusätzlich benötigte Energie in Prozent	100%	63%	57%

Die Tabelle zeigt, dass 2021 bereits 43 % der für den Betrieb der Maritimen Müllabfuhr benötigten Energie von dem SeeElefant-System selbst erzeugt werden kann. Den Hauptteil macht dabei

*Berechnungen siehe Anhang 11

Energieerzeugung durch die thermische Verwertung mit 38 % des Gesamtbedarfs aus, gefolgt von der Windenergie mit ca. 3 % und der Solarenergie mit ca. 2 %.

Speicher und Versorgungssystem für die Sammelfahrzeuge:

Die gesamte für den Betrieb der Sammelfahrzeuge benötigte jährliche Energie (= 536 000 kWh) kann durch die thermische Nutzung von Restkunststoffen sowie Solar- und Windenergie selbst an Bord erzeugt werden (erzeugte Energie = 780 000 kWh).

Um einen möglichst durchgehenden Betrieb der Sammelfahrzeuge zu gewährleisten, wurde das folgende Energie-Versorgungssystem konzeptioniert:

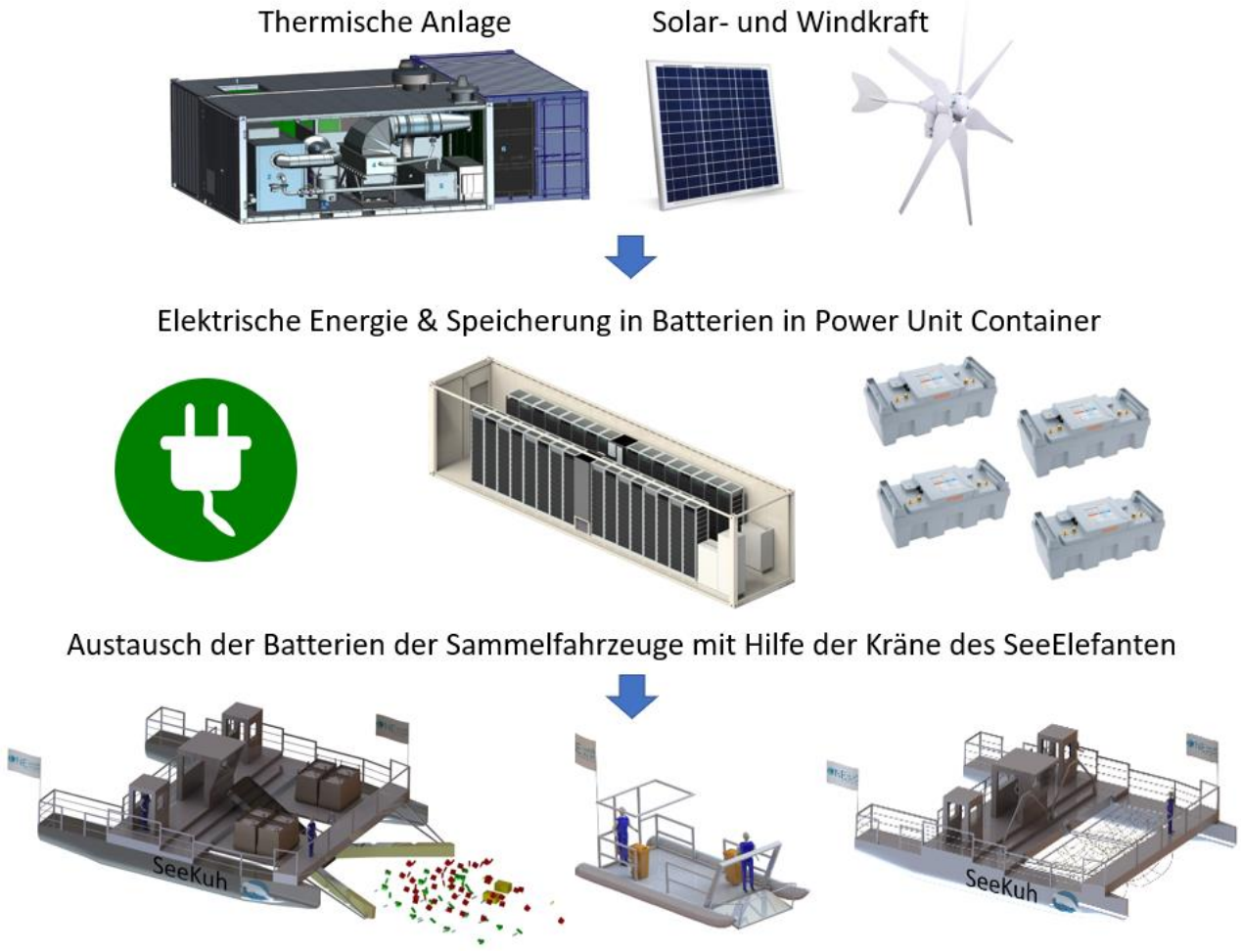


Abbildung 64 - Energie-Versorgungssystem

Die über die thermische Anlage und die Solar- und Windkraftanlagen erzeugte elektrische Energie wird in Batterien gespeichert, die in Power-Unit-Containern angeschlossen sind. Wenn die Batterien eines Sammelfahrzeuges entladen sind, werden diese mit Hilfe der Kräne des SeeElefanten im Rahmen eines Big-Bag-Meeresmüll-Entladevorgangs ausgetauscht. Für den Ladevorgang werden die Batterien in dem Power-Unit-Container angeschlossen.

3.4.1.7. Genehmigungsfähigkeit des Konzeptes

Das beschriebene Schiffskonzept wurde am 28.11.2018 der BG-Verkehr (Deutsche Flagge) vorgestellt und anschließend die Genehmigungsfähigkeit des Umbaukonzeptes besprochen. Das von den Experten bestätigte Dokument ist im Anhang 12 zu finden.

Im Folgenden sind die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst (40):

- Generell wird die Machbarkeit des vorgestellten SeeElefant-Umbaukonzeptes (inkl. Anlagentechnik im Containerraster) unter bestimmten Voraussetzungen bestätigt.
- Nötige Umbaumaßnahmen im Laderaum sind zulässig und werden nicht als „Major Conversion“ gewertet.
- Durchbrüche in den Lukendeckeln sind zulässig, wenn diese wetterdicht – nicht wasserdicht - verschließbar sind.
- keine Gefahr einer Nicht-Genehmigung durch die Klassifikationsgesellschaft.
- Die MS Forester ist nach Deutscher Flagge zugelassen und der BG bekannt.

Durch das Betreiben der vorgestellten Anlagentechnik im Laderaum eines Schiffes wird dieser zum „Arbeits- bzw. Produktionsraum“ und somit zum „Raum für Besatzung“. Somit gelten ergänzende Vorschriften für die folgenden Punkte:

  - Fluchtwege, Notausgänge, Evakuierung
  - Zugänglichkeit
  - Sanitäranlagen
  - Brandschutz (baulicher und aktiver Brandschutz)[19]
  - Lüftung
  - Pausen- und Arbeitsräume
  - Mindestraumhöhen
  - Rettungsmittel[20]

Diese Punkte müssen in der weiteren Planung und Konstruktion in enger Absprache mit der Deutschen Flagge bzw. DNV-GL erfolgen.

Die folgenden Dokumente sind nach erfolgen Umbau neu zu erstellen:

- Krängungsversuchsauswertung eines Krängungsversuches nach Abschluss der Umbauarbeiten '(IS Code 2008)
- Stabilitätsnachweis auf Basis der Ergebnisse des o. g. Krängungsversuches (IS Code 2008)
- Freibordaufnahmebericht

[19] Kann nach Experteninterview mit Herrn Dittbrenner von Survitec Group Limited übernommen werden.
[20] Kann nach Experteninterview mit Herrn Dittbrenner von Survitec Group Limited übernommen werden.

3.4.1.8. Fazit

Der voran gegangene Abschnitt zeigt, dass sich ein Mehrzweckfrachter als mobiles Verarbeitungsschiff sehr gut eignet. Aus ökologischer und wirtschaftlicher Sicht sollte ein existierendes Schiff umgebaut und mit der entsprechenden Anlagentechnik ausgestattet werden. Recherchen haben gezeigt, dass auf dem Gebrauchtschiffsmarkt eine Vielzahl von Mehrzweckfrachtern zu guten Konditionen und in guten Zuständen angeboten werden.

Am Beispiel der MS-Forester wurde gezeigt, wie der Einbau der Anlagentechnik zur Verarbeitung von Meeresmüll in einen Schiffsladeraum technisch umgesetzt werden kann. Die Deutsche Flagge hat das Umbaukonzept unter Einhaltung der genannten Voraussetzungen bestätigt.

Für das Beispielschiff wurde neben einem Personal- und Betriebskonzept auch ein Energiekonzept erarbeitet. Demnach kann das Verarbeitungsschiff etwa 50 % der für den gesamten Betrieb der Maritimen Müllabfuhr (inkl. der Sammelfahrzeuge) benötigten Energie über die thermische Verwertung von Kunststoffen, Solarenergie und Windkraft erzeugen.

Dadurch kann der Treibstoffverbrauch der Generatoren erheblich eingeschränkt werden bei gleichzeitiger Reduktion der Schadstoffemissionen.

3.4.2. Stationärer SeeElefant - Schwimmponton

Um die Anlagentechnik aus 3.3 auch stationär in unmittelbarer Ufernähe betreiben zu können, wurde der Einsatz eines Schwimmpontons als Alternative zu dem mobilen SeeElefanten untersucht. Der Einsatz eines stationären SeeElefanten ist vor allem dann sinnvoll, wenn sehr hohe Müllkonzentrationen punktuell, kontinuierlich und im unmittelbaren Küstenbereich lokalisiert werden, und es vor Ort keine Abfallwirtschaft gibt. Das schwimmende, stationäre System wird an einen geeigneten Liegeplatz gelegt und ist in der Lage, sowohl aus dem Wasser gesammelten Meeresplastik als auch landseitigen Kunststoffabfall der Bevölkerung zu verarbeiten.

Ponton:

Ein Ponton ist ein meist fest verankerter Schwimmkörper, der als Plattform für unterschiedliche Aufgaben dient. Er besitzt normalerweise keinen eigenen Antrieb und wird von Schleppern zu seinem Einsatzort gebracht und dort verankert. Als Arbeitsplattform finden auf ihm alle wichtigen Einrichtungen wie Anlagen, Kräne oder sogar Wohnungen für Arbeiter Platz.

Quelle:
products.damen.com

Abbildung 65 - Beispiel eines einfachen Pontons

Im Folgenden werden die wichtigsten Vor- und Nachteile des Einsatzes eines Schwimmpontons als stationäres Verarbeitungsschiff aufgelistet.

PRO SeeElefanten als Schwimmponton

- geringe Investitions- und Betriebskosten
- Große Arbeits- und Lagerfläche
- Unmittelbare Nähe zum Hafen bzw. Ufer -> Einfacher Transfer von Personen, einfacher Ladungsumschlag

CONTRA SeeElefanten als Schwimmponton

- geringe Mobilität (muss geschleppt werden)
- spezielle Ausrüstung und Aufbauten müssen für den Betrieb vorgesehen werden

3.4.2.1. Integrierung der Anlagentechnik

Der nachfolgende Abschnitt beschreibt, wie die Anlagentechnik aus Abschnitt 3.3 auf einem Arbeitsponton als stationäre Version des SeeElefanten installiert werden kann. Die folgenden Zeichnungen zeigen den Einbaufall der Anlagentechnik in das Schiff in isometrischer Ansicht, Seitenansicht und Draufsicht. Detailzeichnungen im A0-Format sind der dieser Studie angehörenden Zeichnungsunterlagen zu entnehmen.

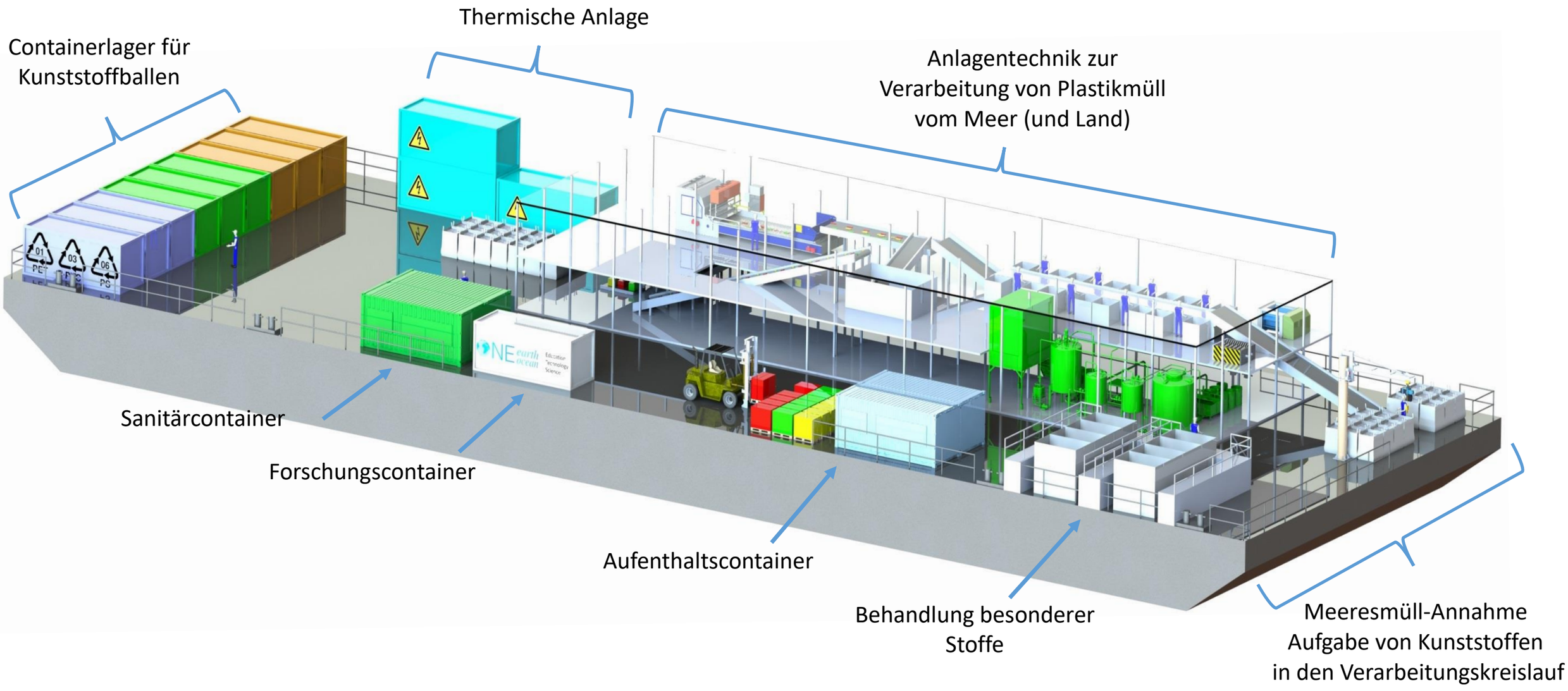


Abbildung 66 - stationäre Version des SeeElefanten als Schwimmponton (Isometrische Ansicht)

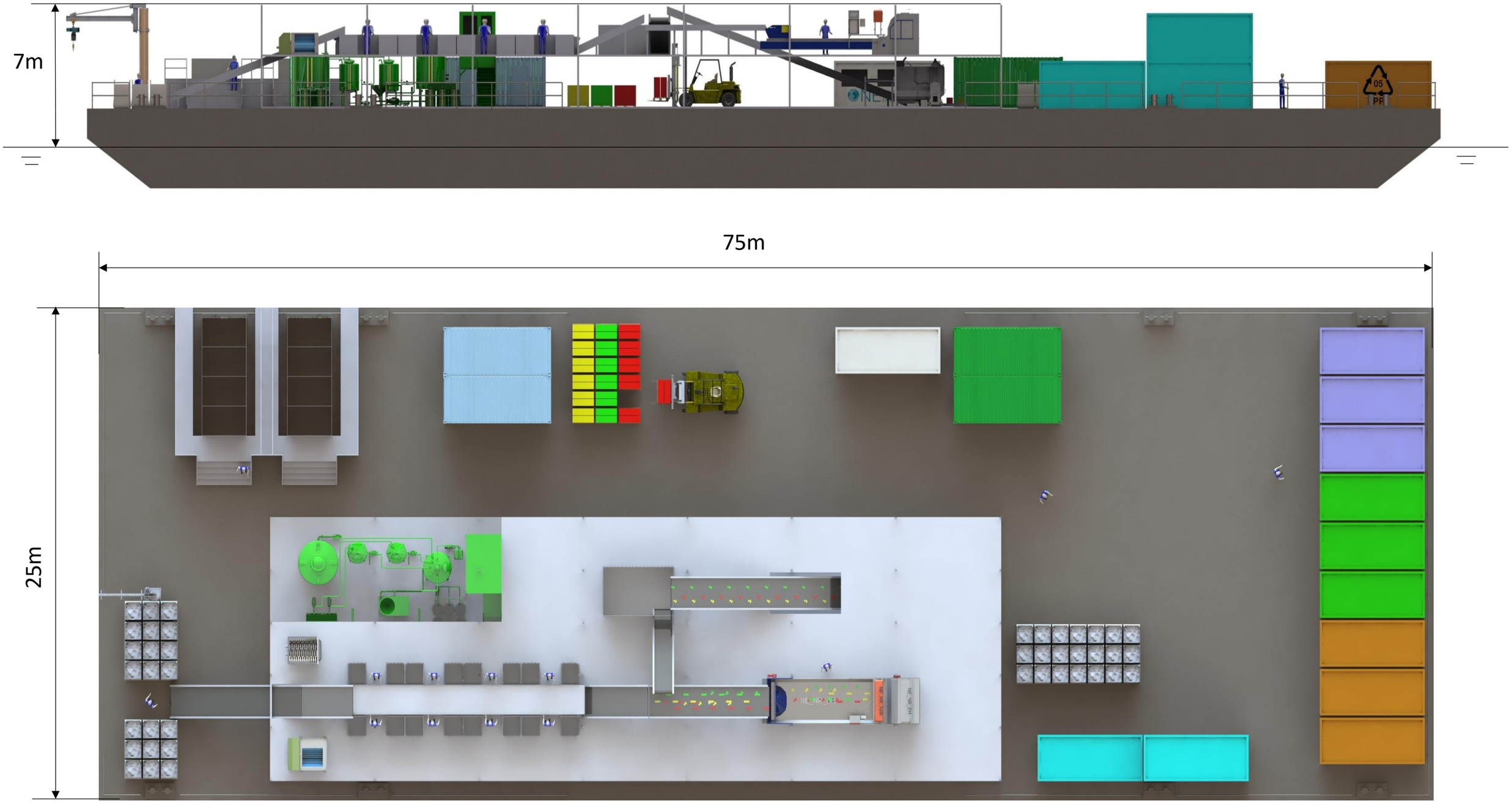


Abbildung 67 - stationäre Version des SE als Schwimmponton (Seitenansicht, Draufsicht)

3.4.2.2. Personalkonzept

Schiffspersonal:

Da der Ponton stationär direkt an einer geeigneten Uferkante/Kai-Kante (Hafen) liegt, wird keine feste Schiffsbesatzung benötigt.

Personal für die Anlagentechnik:

Da bei der stationären Pontonvariante ggf. auch landseitiger Plastikmüll verarbeitet werden soll, kann in einem 3-Schicht-System gearbeitet werden. Aufgrund der größeren Verarbeitungsmengen müssen die Betriebsabläufe angepasst werden.

Insgesamt werden pro Schicht 12 Arbeitskräfte für den sicheren und reibungslosen Ablauf der Meeresmüllverarbeitung benötigt.

Das gesamte für die Anlagentechnik benötigte Personal kommt für die Schichtarbeit von Land. Da der Ponton unmittelbar am Ufer liegt, kann der Transfer des Personals über einfache Gangways realisiert werden.

Quelle:
hewittrad.com

Abbildung 68 - Beispiel einer einfachen Gangway

3.4.2.3. Betriebskonzept

Das Betriebskonzept des mobilen SeeElefanten (siehe 3.5.1.3) ist prinzipiell auch auf für die stationäre Version des SeeElefanten übertragbar.

Der Ponton muss mit einer für den sicheren Betrieb benötigten Ausrüstung (Windensysteme, Anker, Brandschutzsystem etc.) ausgestattet werden.

Falls die Frischwasserzufuhr für die Sanitäranlagen von Land aus nicht möglich ist, müssen entsprechende Frischwasserbunker auf dem Ponton vorgesehen werden. Dies gilt in gleicher Weise für das Abwassersystem. Die für das NIR-System benötigte Druckluft muss über ein entsprechendes Aggregat erzeugt werden. Für die Übernahme von Meeresmüll sowie den Ladungsumschlag muss der Ponton mit einem Kran ausgestattet werden.

3.4.2.4. Energiekonzept

Die Ausführungen zum mobilen SeeElefanten aus Abschnitt 3.4.1.6 gelten grundsätzlich auch für die Ponton-Lösung: Durch die Verbrennung von Reststoffen in der thermischen Anlage sowie durch Windkraft und Solarenergie wird ein Teil der benötigten Energie gewonnen. Der zusätzliche Energiebedarf wird dabei möglichst nicht über Generatoren, sondern über einen Landanschluss bereitgestellt. Im Idealfall sollte hier auf regenerativen Strom zurückgegriffen werden.

3.4.2.5. Genehmigungsfähigkeit

In Bezug auf Richtlinien und Voraussetzungen für den Anlagenbetrieb, Arbeitssicherheit etc. wird der Ponton nach den Vorschriften der Deutscher Flagge der Klassifikationsgesellschaft DNV GL ausgelegt. Eine Vorbesprechung der Genehmigungsfähigkeit hat im Rahmen des Gespräches vom 28.11.2018 mit der Deutschen Flagge bereits stattgefunden. Das Protokoll zur generellen Genehmigungsfähigkeit des SeeElefanten ist im Anhang 12 zu finden.

3.4.2.6. Fazit

Zusammenfassend ist zu sagen, dass ein stationärer Arbeits-Ponton zur Verarbeitung von gesammeltem Meeresmüll und landseitigem Plastikmüll unter den genannten Voraussetzungen eine praktikable Variante darstellt.

Eine große und freie Arbeitsfläche bietet ausreichend Platz für alle notwendigen Anlagen, Kräne und Einrichtungen für das Personal. Die minimale Ausrüstung und das Fehlen der Antriebstechnik sorgen für Einsparungen sowohl im Betrieb, als auch bei Wartung und Reparatur.

Ein Arbeitsponton eignet sich besonders in Gebieten mit ständigem Eintrag von Meeresmüll wie beispielsweise Uferbereichen von Flussmündungen und Großstädten ohne funktionierendes Abfallmanagement-System. Durch den stationären Betrieb sind Positionsveränderungen nicht möglich bzw. gegebenenfalls mit einem Schlepper durchzuführen.

Verfügbarkeiten von Pontons und Arbeitsplattformen sind weltweit durch viele unterschiedliche Anbieter gegeben.

3.5. Ausblick: Anlagentechnik Ausbaustufe

Der Abschnitt 3.3 hat ein heute technisch umsetzbares Konzept für ein Pilotsystem zur Verarbeitung von gesammeltem und grob vorsortiertem Meeresmüll beschrieben.

Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie soll jedoch auch ein Ausblick auf eine zukünftige Ausbaustufe des Pilotsystems gegeben werden, die neben der Verarbeitung größerer Mengen Meeresmüll mit höherem Automatisierungsgrad auch neue Technologien einsetzen könnte.

In diesem Zusammenhang stellt die Verölungstechnik einen wesentlichen Punkt der Ausbaustufe dar, die in Abschnitt 3.5.2.1 detailliert beschrieben wird. Der gesamte PE- und PP-Anteil des Meeresmülls (ca. 64 %) soll dabei wieder in Öl umgewandelt und teilweise für den Schiffsbetrieb verwendet werden.

Die folgende Grafik zeigt ein mögliches Stoffstromdiagram der Ausbaustufe des SeeElefanten mit der Verölungstechnik.

3.5.1. Stoffstromdiagramm Ausbaustufe

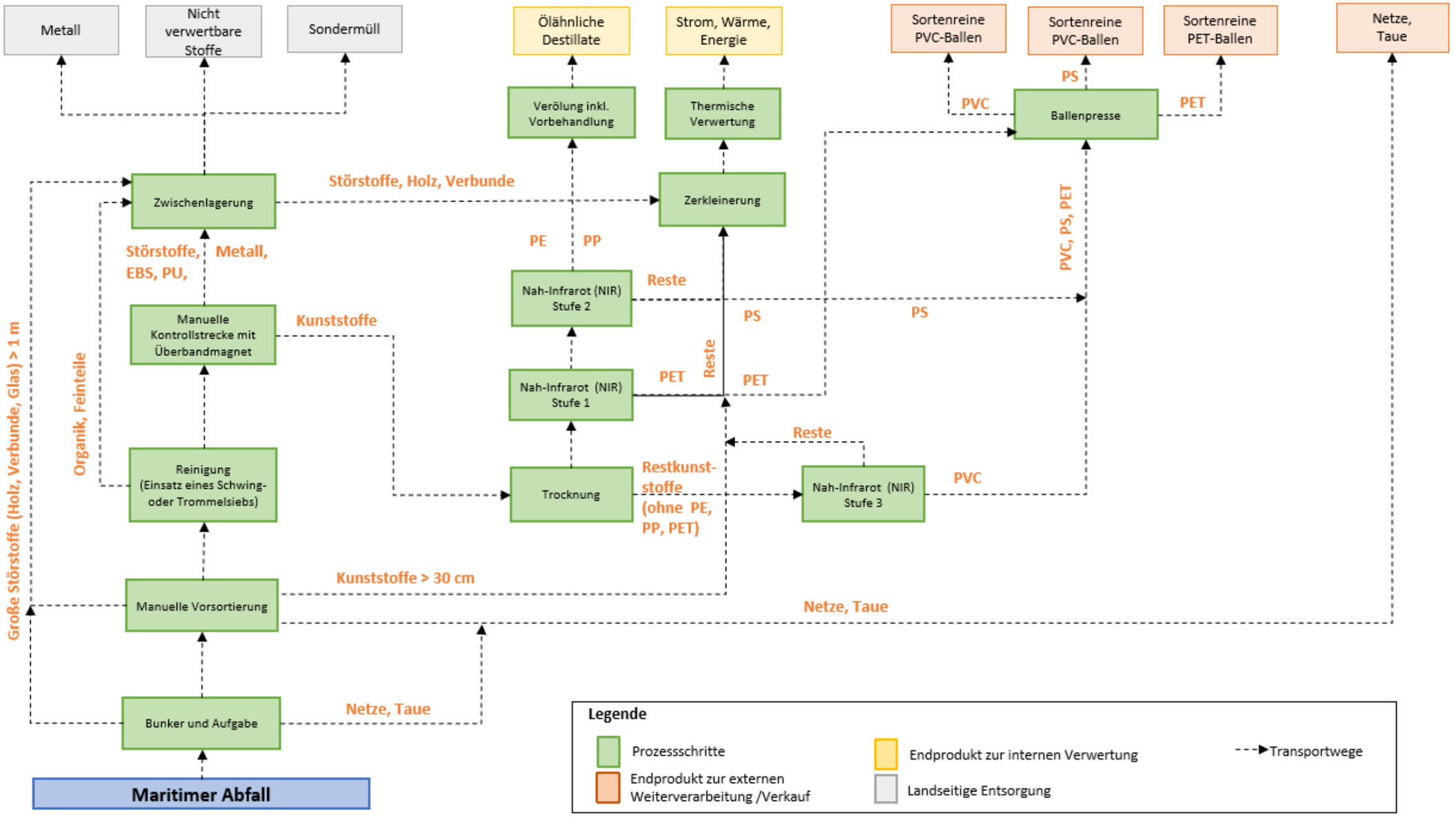


Abbildung 69 - Stoffstromdiagramm der geplanten Ausbaustufe des SeeElefanten

3.5.2. Alternative Nutzungs- und Verarbeitungsmöglichkeit von Meereskunststoffen

Auf dem Markt haben sich bereits Verarbeiter von Meeresmüll etabliert. Seit 2017 beispielsweise verarbeitet Adidas in der Parley-Kollektion Sekundärrohstoffe. Die Firma Aquafil stellt aus Meeresplastik das Bekleidungsgarn ECONYL® her, das unter anderem auch von Adidas für die Parley-Kollektion verwendet wird. Adidas hat seit 2017 Schuhe mit einem Anteil Meeresplastik im Angebot (41).

Gemäß Meilenstein 6 der Roadmap Maritime Müllabfuhr (siehe 3.7.1) prüft und validiert One Earth – One Ocean stetig neue Verarbeitungsverfahren für die gesammelten Kunststoffe. Dabei kooperiert die technische Abteilung von OEOO mit Forschungsinstituten und Industrieunternehmen bei Forschungs- und Entwicklungsthemen zu alternativen Verwertungsmöglichkeiten von Meereskunststoffen. OEOO unterstützt als Projektpartner technische Entwicklungen, die potenziell Anwendung bei der Maritimen Müllabfuhr finden können.

3.5.2.1. Verölung

Im Juni 2018 wurden von OEOO zusammen mit der Biofabrik Technologies GmbH in Dresden mit einer Kompaktraffinerie weltweit die ersten Verölungsversuche von Kunststoff aus dem Meer erfolgreich durchgeführt.

Die Rückverölung von Kunststoffen basiert auf der Kunststoff-Pyrolyse, bei der die Kunststoffe bei Temperaturen zwischen 400°C und 800°C unter Sauerstoffausschluss (Luftausschluss) zersetzt werden. Dabei wird der Kunststoff nicht verbrannt, sondern in petrochemische Stoffe zerlegt, wie sie auch aus Rohöl gewonnen werden können. Es entsteht ein hoch reines Heizgas, das, mit Erdgas verschnitten, im Haushalt verwendet werden kann, sowie ein Pyrolyseöl. (42)

Die Technologie zur Verölung von Plastikmüll soll in einer weiteren Ausbaustufe des SeeElefanten zum Einsatz kommen (siehe 3.6). Dadurch wäre das SE-System in der Lage, aus Meeresmüll Kraftstoff zu gewinnen und diesen entweder an Anrainerstaaten zu verkaufen, oder über den SeeElefanten als mobile Tankstelle anzubieten. In küstennahen Megacitys wie z.B. Hongkong oder Rio de Janeiro könnte ein SeeElefant dafür sorgen, die Haus- und Industrieabfälle aus Kunststoff sowie die gesammelten Kunststoffabfälle aus dem Meer in wertvollen Kraftstoff zu verölen.

Anmerkung: Die Problematik von Kraftstoffsteuern/Zöllen für Verkaufsaktivitäten ist aktuell noch ungeklärt = Einstufung der Destillate /Kraftstoffe als regenerative Energie?

Ein aktueller Bericht zum Stand der Verölungstechnik ist im Folgenden beschrieben:

Chemismus der katalytischen Depolymerisation

- Grundlegende Versuche zur katalytischen drucklosen Verölung als gesteuerte thermische Deploymerisation wurden bereits in den 1970/80er Jahren an der Universität Tübingen durchgeführt. Das Verfahren selbst ist seit der Nachkriegszeit bekannt. Die angestrebte Depolymerisation bzw. Aufspaltung der Kohlenwasserstoffketten erfordert ein Energiepotential, das durch Erhitzung auf 380 - 420°C erreicht werden kann. Dabei bilden sich freie KW-Stoffradikale, die den anderen vorhandenen Stoffketten einzelne Wasserstoffatome entziehen und diese dadurch zerlegen, was über die Bildung von Propan/Methan hinaus bis zum Koks (n-CH2-Ketten = n-x CH4 + n-y C) führen kann.
- Leider bestehen die marktüblichen Kunststoffe nicht nur aus einfachen Ketten, sondern sind vielfach polymerisiert oder vernetzt. Dies macht die verfügbare Abfallkunststoffmischung schwer beherrschbar, da jedes Kunststoffmaterial seine spezifischen physikalischen Parameter hat. Sie sieden unterschiedlich und bilden diffuse Bruchstücke im Zerfallsprozess. Die nachfolgende Destillation und Raffination zu Öl- und Gasfraktionen von Naphta, Heizöl, Paraffin (somit die Ausbeute) wird hiervon stark beeinflusst.

Problematik in der Technologie

- Der ganze Zerlegungsprozess findet oberhalb der Zündtemperaturen der eingesetzten und entstehenden Stoffe statt. Daher muss unter absolutem Luftabschluss – meist unter Stickstoffatmosphäre – gearbeitet werden. Die Stoffzufuhr größerer Mengen wird hierdurch erschwert.
- Das Wärmeleitvermögen der Kunststoffe ist sehr gering, somit auch der Wärmeübergang, die effektive Erhitzung der Einsatzstoffe. Daher sind viele Probleme der in Erprobung befindlichen Verfahren im Übertragen der zugeführten Energie in die Kunststoffmischung begründet (Anbackungen, Koksbildung, Energieverluste u.ä.)
- Das Temperaturspektrum von Schmelz- und Siedepunkten ist bedingt durch die Varianz an Kunststoffen sehr breit, dadurch eine gesteuerte Verfahrensführung kompliziert. Mehrere tausend verschiedenartige Kunststoffe sind aktuell auf dem Markt. Einsatz und Entwicklung von Kunststoffen sind rein anwendungsgesteuert und erfolgt nicht unter Verwertungsaspekten.
- Verunreinigungen in den Kunststoffen als anhaftende Verschmutzungen, aber auch als Beschichtungen oder Verbunde (z.B. in Form von Sand, Speiseresten, Aluminium, Labeln, auch Wasser) machen eine Aufbereitung der Abfallkunststoffe zur Effizienzsteigerung erforderlich.

Stand der Technologie

- Weltweit sind eine Vielzahl von Klein- und Kleinstversuchen kleiner 10 kg/h wissenschaftlich und auch im Internet dokumentiert. Nahezu alle diese Ansätze zeigen diskontinuierliche Verfahrensschritte ohne Bilanzierungen von Stoffen und Energie.
- Im Bereich der Versuchsanlagen zwischen 20 und 50 kg/h Durchsatz sind in den letzten 15 Jahren bis heute ca. 30 Unternehmen als Entwickler, Hersteller, Anwender aufgetreten, davon haben mind. 16 Unternehmen meist aus technologischen oder finanziellen Gründen aufgegeben und die Projekte nicht weiterverfolgt:

Tabelle 19: Aufgegebene Projekte zur Verölungstechnik

Firmenname	Status
Agrob EKO	unklar seit 2009
second fuel	unklar seit 2009
Global Finest Technologies	nicht mehr am Markt
Hamos GmbH	Einstellung der Technologie
ISKA GmbH	Insolvenz 2009
Ozmo Energy Ltd	keine Aktivitäten mehr=> siehe Cynar
RecFuel Inc.	nicht mehr am Markt
DAV GmbH	keine Aktivität mehr
Changing world technologies Inc. CWT, USA	Insolvenz 2009
Renewable Environmental Solutions in Carthage, Missouri	keine Aktivität mehr => siehe Rigdeline Energyservices, Calgary, Can.
Clyvia Technology GmbH	Insolvenz 2009
Gossler Envitec GmbH Versuchsanlage	Insolvenz 2013
Powercraft Construction GmbH (Schraufstetter) Versuchsanlage Eitting, D	Betrieb beendet 2012
Diesel West GmbH Versuchsanlage Ennigerloh, D	Betrieb beendet 2013, Update der Technik angekündigt
Nill-Tech GmbH	Betrieb bei RISI, Sihlbrugg beendet, Anlage liegt bei Petrogas, NL
Alphakat GmbH	firmiert seit 2014 als RECENSO GmbH, Remscheid
Pinter&Tokarz, Budapest, H	Partner getrennt seit 2016

- Aktuell im Vertrieb resp. Versuchsbetrieb sind folgende Unternehmen, die lt. Internetrecherche oder auch durch persönliche Besuche belegt sind:

Tabelle 20: Aktive Projekte zur Verölungstechnik

Firmenname	Status
Cynar PLC, Spanien / Plastic Energy Ltd. London:	Firmengründung 2010 in Spanien, Anlage in Almeria mit 500 l/h und neue Anlage in Sevilla geplant ➔ Pyrolyseverfahren, keine reine KDV
CWT Ridgeline Energy Services, Anlage in Calgary, Canada	Anlage existiert, keine Betriebsangaben
Pinter, agiert als CWT Technology, Kecel, Ungarn	Anlage existiert, keine Betriebsangaben
Tokarz, agiert als T-Tech und Eurex durch Vertriebspartner z.B. PCP Invest, Sered, SK;	Anlagen im Bau z.B. in Kattowitz, PL; Sered, SK, mit geplant 500 - 750 l/h
RECENSO / DieselWest GmbH, Remscheid, D	Versuchsanlage Ennigerloh, steht still - UBA Versuch beendet; Aktuelle Weiterentwicklung als OWD-organic waste depolymerisation
Plastic2Oil, Niagara Falls, Canada	Anlage in Kanada mit Technologie ähnlich CWT-Ridgeline mit 500 l/h
PK Clean, Salt Lake City, Utah, USA, CEO: Frau Priyanka Bakaya	mehrere Preise als erfolgreiches Start-up aus MIT (Massachusetts Institute of Technology) Anlage (keine Angabe zur Technologie) in Betrieb mit 500 l/h
Plastic Advanced Recycling Corporation (PARC-Technologies)	Anlage in Shanghai steht seit einem Jahr stillwegen Abwasserproblematik, keine weiteren Angaben
PLASTIC2X, Willowbrook, Illinois	Huaian, Jiangsu, China in Bau mit 2.000 l/h
KLEAN Industries	Anlage mit 2.000 kg/h bei Sapporo Plastic Recycle Company benannt, Praxisbelege sind nicht vorhanden
ENESPA AG. St. Gallen, CEO: Cyril Hügi	Neu am Markt, eher Pyrolyseverfahren, noch im Stadium der Investorensuche
Biofabrik – White Refinery, Dresden	Versuchsanlage mit 20 kg/h, hier sind bereits eigene Verölungsversuche von OEOO erfolgt

Logoil / Logmed Corporation GmbH	gefördert durch DBU, Betrieb ist verlagert nach Kaufbeuren, hier jetzt als Depolyplast GmbH im Versuchsbetrieb, dort DBU-Langzeittest in Bearbeitung
OMV GmbH, Wien Schwechat	lt. Veröffentlichungen eine Versuchsanlage: ReOil 100 im Raffinieriegelände in Betrieb
GRT-Group AG, Lausanne	Versuchsanlage in Cremona (I), Planungen für Anlage in Pulversheim (F), mit 500 l/h
Nill-Tech GmbH	Planungen für Syntrol, ECONTEC AG, DIESOIL AG, aber keine aktuellen Funktionsnachweise / keine Anlage in Betrieb

Technik-Adaptionen, aber keine aktuellen Funktionsnachweise und/oder Anlagen in Betrieb finden sich zu folgenden Anbietern:

- EVP GroupR-one, Hongkong; VENTANA Cleantech;
- SYNGAS North America Inc.; ECO Creation, New Jersey, USA;
- SWAM Vessels PVT Inc, Maharashtra, Indien;
- Nill-Tech GmbH, Planungen für Syntrol, ECONTEC AG, PLASTOIL;

Fazit:

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass alle angeblich im Industriemaßstab funktionierenden Anlagen entweder in Asien oder in Übersee stehen. Besuche dort sind bisher nicht möglich gewesen oder betriebsseitig verweigert worden. Eine Aussage über mögliche Verfügbarkeiten dieser Technologie können daher nicht gemacht werden.

Alle in Europa befindlichen Anlagen arbeiten derzeit noch nicht kontinuierlich über mehrere Tage und wenn, dann mit zu geringen Durchsätzen. Das Umweltbundesamt fördert in Deutschland aktuell nur das Verfahren LOGOIL/Depolyplast bei der Durchführung von Langzeitversuchen zur Stoff- und Energiebilanzermittlung.

Der Technologie-Readiness-Level TRL oder Technologiereifegrad gemäß den Definitionen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie ist nach den folgenden Stufen beschrieben:

Tabelle 21: Technologie-Readiness-Level (TRL) gemäß Bundesministerium für Wirtschaft

TRL 1	Beobachtung und Beschreibung des Funktionsprinzips
TRL 2	Beschreibung der Anwendung der Technologie
TRL 3	Nachweis der Funktionsfähigkeit der Technologie
TRL 4	Versuchsaufbau im Labor
TRL 5	Versuchsaufbau in (simulierter/ vereinfachter) Einsatzumgebung
TRL 6	Prototyp in (simulierter/vereinfachter) Einsatzumgebung
TRL 7	Prototyp im (realen) Einsatz
TRL 8	Nachweis der Funktionsfähigkeit im Einsatzbereich (Zulassungsprozess abgeschlossen)
TRL 9	Technologie im Markt

In den TRL-Stufen 5 spätestens 6 enden zumeist die staatlichen Förderungen und der schwierige Schritt zur Markteinführung muss i.d.R. durch private Investoren gestützt werden. Alle aktuell von OEOO ausgewählten Verfahren befinden sich im Stadium TRL 6/7.

Die jetzt wichtigen Entwicklungsschritte als „Scale up“ zu industriellen und wirtschaftlichen Verarbeitungsmengen von rd. 500 bis 1.000 kg/h werden neben den erforderlichen Investitionen noch einige technologische Herausforderungen zu meistern haben.

Bis zum Erreichen des TRL 6 sind in der Entwicklung der Kunststoffverölungstechnologie rd. 15 Jahre vergangen. Einfach hochgerechnet könnte also die Marktreife in 5 - 8 Jahren erreicht sein. Jedoch fehlt – abgesehen von der Plastikproblematik in den Weltmeeren – aktuell der sogenannte „Entwicklungsdruck“, weil die Rohölpreise und damit die neuen Kunststoffrohprodukte auf dem Weltmarkt noch immer sehr günstig gehandelt werden. Schätzungsweise bei einer Verdoppelung des Rohölpreises kann aus heutiger Sicht eine Kunststoffverölungsanlage unter wirtschaftlichen Aspekten betrieben werden.

3.5.2.2. Herstellung von 3D-Druck-Filament

In Kooperation mit der Universität Essen Duisburg läuft seit Ende 2018 ein Forschungsprojekt zur Herstellung eines hochwertigen 3D-Druck-Filaments aus Meereskunststoff. Zusammen mit einem Netzwerk aus Firmen und wissenschaftlichen Einrichtungen sollen Techniken entwickelt werden, die Kunststoffe aus dem Meer aufbereiten, und mit Hilfe eines Extruders in ein hochwertiges 3D-Druck-Filament umwandeln. Aus dem 3D-Druck-Filament sollen anschließend Teile für ein autonomes Müllsammelfahrzeug (Wasserdrohne) hergestellt werden.

Zu dem sich bildenden Netzwerk gehören:

- Universität Essen Duisburg
- Fachhochschule Kiel
- RUHRSOURCE GmbH

3.6. Rechtliche Machbarkeit: Genehmigungssituation und internationale Normen

Abgesehen von den technischen, ökonomischen und ökologischen Herausforderungen wird sich die Maritime Müllabfuhr auch vielen rechtlichen Fragen stellen müssen. Im Folgenden sind die für einen erfolgreichen Betrieb der Maritimen Müllabfuhr wichtigsten rechtlichen Fragen beschrieben.

3.6.1. Rechtliche Grundlagen für lokale Reinigungsprojekte

Das Internationale Seerecht oder Seevölkerrecht (International Law of the Sea) fasst alle auf das Meer bezogenen Rechtsnormen zusammen, die zwischen den Staaten gelten. Es beinhaltet nicht nur Regelungen zur Abgrenzung oder Nutzung der Meeresgebiete, sondern auch Vorgaben zum Schutz und zur Erforschung der Ozeane.

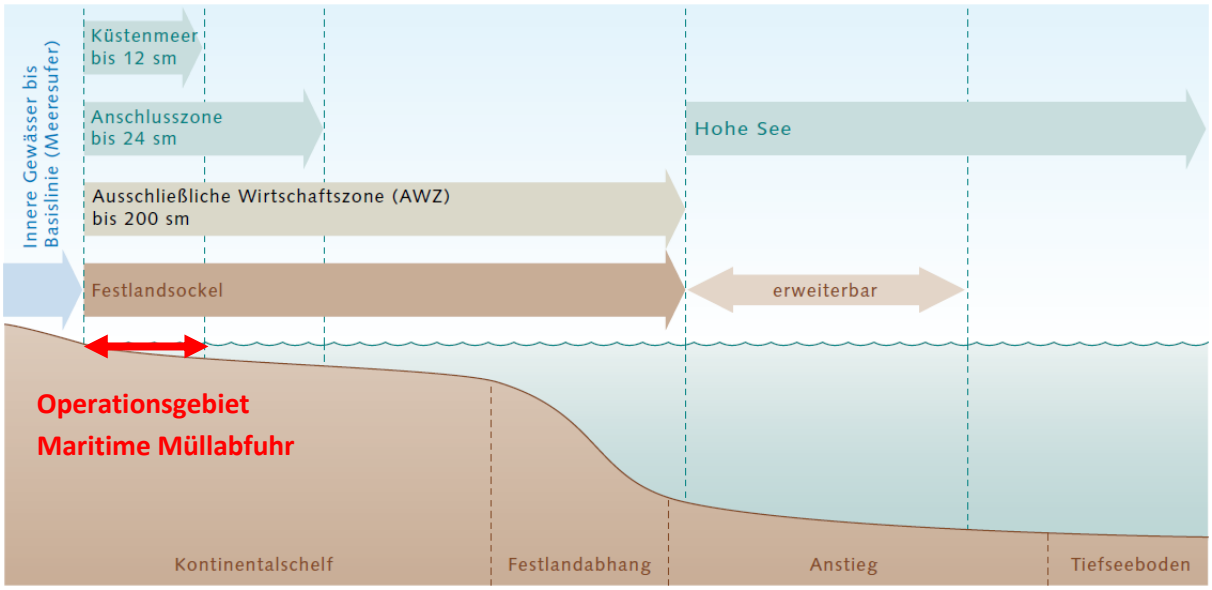


Abbildung 70 - Einteilung der Meereszonen in Abhängigkeit zum Abstand zur Küste (43)

Das Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen teilt das Meer in verschiedene Rechtszonen auf. Die Souveränität eines Staates nimmt dabei mit zunehmender Entfernung von der Küste ab. An die sogenannten Inneren Gewässer schließt sich die 12-Seemeilen-Zone an. Hier ist die Souveränität des Küstenstaats bereits eingeschränkt, weil es Schiffen aller Länder erlaubt ist, diese Gewässer zu durchfahren. In der 24 Seemeilen weit reichenden Anschlusszone besitzt ein Staat lediglich Kontrollrechte. Er darf hier z.B. etwa die Einhaltung von Zollvorschriften überprüfen In der 200 Seemeilen breiten AWZ (Ausschließlichen Wirtschaftszone) hat ein Küstenstaat das alleinige Recht, lebende und nicht lebende Ressourcen zu explorieren und zu ernten (43).

Das Operationsgebiet der Maritimen Müllabfuhr sind Küstengebiete und Flussmündungen. Somit operiert das System im Küstenmeer bis 12sm von der Küste entfernt und befindet sich innerhalb der Ausschließlichen Wirtschaftszone des Küstenstaates; dort gilt nationales Recht.

Für das Sammeln und Verarbeiten von Meeresmüll muss deshalb eine Genehmigung beim jeweiligen Küstenstaat eingeholt, und entsprechende Verträge müssen geschlossen werden.

Da gerade die Küstenstaaten von den positiven Auswirkungen durch den Einsatz der Maritimen Müllabfuhr profitieren, werden keine größeren Schwierigkeiten bezüglich einer Betriebsgenehmigung der MM im jeweiligen Hoheitsgebiet erwartet.

Bezüglich der rechtlichen Grundlagen wurde am 17.07.2018 ein Experteninterview[21] im Kieler Walther-Schücking-Institut für Internationales Recht (WSI) geführt. Im Folgenden sind die Stichpunkte des Interviews aufgeführt:

- in AWZ (bis 200 Seemeilen) ist nationales Recht anwendbar

- in AWZ haben die Staaten lediglich Hoheit über natürliche Ressourcen, Plastik ist keine natürliche Ressource

- Regierungen verwalten die AWZ; es ist ratsam, jeweils die Genehmigung für die eigenen Zwecke einzuholen

- relevant für MM-Projekt ist das See-Völkerrecht, nicht das See-Handelsrecht

- der Festlandssockel hat für die MM keine Relevanz, weil er nur hinsichtlich der Ausbeutung von Bodenschätzen wichtig ist

- es gibt auch Küstenstaaten ohne AWZ; d.h. dort beginnt die „Hohe See" ab Küste.

Nach Festlegung des Operationsgebietes für das Pilotsystem, beabsichtigt das WSI One Earth – One Ocean bei der Abklärung der rechtlichen Fragen zu unterstützen und zudem internationale Kontakte zur Verfügung zu stellen (44).

[21] Interviewte Person: Erick van Doorn

3.6.2. Bau und Betrieb von Sammelfahrzeugen

Alle Sammelfahrzeuge sollen nach Deutscher Flagge zertifiziert werden und eine internationale Zulassung bekommen.

Vorgaben für eine internationale Zulassung:

Für den Bau und Betrieb eines Schiffes, das weltweit eingesetzt werden soll, gelten mehrere internationale Regelwerke. Diese Regelwerke legen Anforderungen für bestimmte Schiffstypen (wie Fähre, Kreuzfahrtschiff, Containerschiff) in internationalen Gewässern fest. Neben Anforderungen an die Schiffe werden unter anderem Anforderungen an die Schiffsausrüstung gestellt.

Die Bewertung, ob die Schiffe oder die Schiffsausrüstung die Anforderungen der internationalen Regelwerke tatsächlich erfüllt, erfolgt durch die jeweiligen Flaggenstaaten. Wenn etwa ein Schiff unter einer europäischen Flagge (Deutschland, Frankreich, Italien oder andere) fahren soll, muss dieser Flaggenstaat überprüfen, ob die in den Regelwerken festgelegten Anforderungen von dem Schiff und seiner Ausrüstung erfüllt werden.

Internationale Regelwerke

Die internationale Seeschifffahrts-Organisation International Maritime Organisation (IMO) und andere internationale Organisationen legen in ihren Regelwerken unter anderem die Art und den Umfang der notwendigen Ausrüstung auf Seeschiffen fest:

- **SOLAS-Übereinkommen**

Das Internationale Übereinkommen zum Schutz des menschlichen Lebens auf See (International Convention for the Safety of Life at Sea) gibt einen internationalen Mindeststandard für die Sicherheit auf Handelsschiffen vor.

- **MARPOL-Übereinkommen**

Das Internationale Übereinkommen zur Verhütung der Verschmutzung durch Schiffe (International Convention for the Prevention of Polution from Ships) enthält unter anderem Vorgaben zur Ausrüstung von Schiffen mit entsprechenden Anlagen.

- **Ballastwasser-Übereinkommen**

Das Internationale Übereinkommen zur Kontrolle und Behandlung von Ballastwasser und Sedimenten von Schiffen (International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments) regelt unter anderem den Umgang mit Ballastwasser und die Zulassung von Ballastwasser-Behandlungssystemen.

- **Kollisionsverhütungsregeln: COLREG**

Die internationalen Regeln zur Verhütung von Zusammenstößen auf See (Conventions on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea) dienen der Vermeidung von Schiffszusammenstößen. Sie gelten für alle Schiffe, auch für Sportboote.

- **Radio Regulations**

Die Radio Regulations der Internationalen Fernmeldeunion International Telecommunication Union (ITU) regeln auf internationaler Ebene Funkdienste und Funkfrequenznutzung. (45)

- **Europäische Schiffsausrüstungsrichtlinie**

Die Schiffsausrüstungsrichtlinie MED legt unter anderem die Anforderungen an Schiffsausrüstung auf dem europäischen Markt fest. Die anzuwendenden Prüfnormen sind im entsprechenden Durchführungsrechtsakt genannt.

Vorteil einer internationalen Zulassung

Mit der internationalen Zulassung sind die Sammelfahrzeuge berechtigt, die Hoheitsgewässer aller Meeresanrainerstaaten, welche die entsprechende IMO-Vorordnung unterzeichnet bzw. ratifiziert haben, anzulaufen.

3.6.3. Betrieb des Verarbeitungsschiffes SeeElefant

Als Verarbeitungsschiff (SeeElefant) wird ein bereits bestehendes, international zugelassenes und zertifiziertes Schiff umgebaut und mit der Anlagentechnik aus 3.3 ausgestattet. Das von der Deutschen Flagge bestätigte Umbaukonzept zieht, unter Berücksichtigung bestimmter Kriterien, keine Änderung der Zertifizierung mit sich und das Schiff behält somit auch seine internationale Zulassung (40).

Aus diesem Grund ist der generelle Betrieb des Schiffes in den Hoheitsgewässern aller Meeresanrainerstaaten, welche die entsprechende IMO-Vorordnung unterzeichnet bzw. ratifiziert haben, zulässig.

Bezüglich des Betriebes der thermischen Anlage sind die geltenden Emissionsgrenzwerte des jeweiligen Landes einzuhalten. Über die Integration der Abgasbehandlung der thermischen Anlage in das Schornsteinsystems des Schiffes (siehe 3.3.4.9) wird die Einhaltung der Abgasgrenzwerte gewährleistet.

Der Einsatz von externem Personal z.B. für die manuellen Sortierarbeiten und dessen Transfer über Mannkörbe (siehe 3.4.1.2) sind mit der Klassifikationsgesellschaft (DNV/GL) und der Zulassungsbehörde (Deutsche Flagge) abzustimmen.

3.6.4. Beifang

In Abschnitt 3.2.3 wird beschrieben, wie die Minimierung von tierischem Beifang realisiert wird. Wider Erwarten aufgesammelte Meerestiere werden manuell direkt wieder in das Gewässer gesetzt.

Da die Maritime Müllabfuhr keinen Fischfang betreibt, findet die EU-Beifang-Verordnung hier keine Anwendung. In der EU Verordnung zur Festsetzung der Fangmöglichkeiten für 2018 heißt es im Abschnitt 45: „…dass *ungewollt gefangenen Exemplaren kein Leid zugefügt werden darf und die Fische umgehend freizusetzen sind".* Diese Praxis findet bei den Sammelfahrzeugen der Maritimen Müllabfuhr strikte Anwendung. (46)

3.6.5. Zollfragen zum Handel mit sortenreinen Plastikballen

Zollfragen für die Ein- und Ausfuhr von Kunststoffabfällen regelt die Abfallverbringungsverordnung EU 1013/2006 und das Basler Übereinkommen:

Dort sind sowohl die Einfuhr in die EU als auch die Ausfuhr aus den Mitgliedsstaaten geregelt. Grundsätzlich wird ein sogenanntes Notifizierungsverfahren durchgeführt. Zuständig ist hierbei in der Regel die Ausfuhrbehörde (Erzeugerstaat), zustimmen müssen dann das Abnehmerland und die „Durchfuhrstaaten" innerhalb festgelegter Fristen. Antragsteller ist immer der Besitzer der Abfälle, d.h. der Erzeuger im Versendeland oder ein Händler/Makler. Hierzu müssen die Entsorgungsverträge vorgelegt, sowie die Sicherheitsleistungen für mögliche Rücktransporte im Falle unzulässiger Verbringungen hinterlegt werden.

Nach Zustimmung darf dann ein Transport – sowohl Ein- als auch Ausfuhr – mit verbindlicher Terminanzeige stattfinden.

Zu beachten sind Ausschlüsse und Ausnahmen wie z.B. OECD-Vereinbarungen, Kriegsgebiete, Verbote für bestimmte Abfälle/Stoffe etc.

Meeresmüll als gemischte Kunststoffe (vorsortiert) zur Verwertung würde nach Einschätzung aus einem Expertengespräch[22] gemäß EU-Verordnung 1013/2006 entsprechend Anhang IX Liste „B" = „Grüne Liste" Kunststoffe als Schlüsselnummer B3010 eingestuft werden.

[22] Interviewte Person: Erich Groever, Groever Umwelttechnik - 14.02.2019

3.6.6. Fazit

Die rechtlichen Rahmenbedingungen werden als unkritisch eingestuft.

Das Umbaukonzept und Betriebskonzept des SeeElefanten und der dazugehörigen Subsysteme wurden von der Deutschen Flagge, unter Berücksichtigung der genannten Vorschriften als umsetzbar bestätigt.

Da die Maritimen Müllabfuhr bis zu einer Küstenentfernung von 12sm operiert, muss für das Sammeln und Verarbeiten von Meeresmüll die Genehmigung des jeweiligen Küstenstaats eingeholt werden. Hierbei wurde One Earth – One Ocean die Unterstützung vom Walther-Schücking-Institut für internationales Recht zugesagt.

Die Tatsache, dass die Küstenstaaten durch den Einsatz der Maritimen Müllabfuhr nicht unerheblich profitieren (Vermeidung von Schäden durch Meeresmüll, Erhöhung des touristischen Potenzials und nicht zuletzt zusätzliche Arbeitsplätze) legt den Schluss nahe, dass es möglich sein wird, geeignete Operationsgebiete zu finden.

Für den Transport von sortenreiner Kunststoff-Ballen in andere Länder müssen die jeweiligen Zollvorschriften eingehalten werden.

3.7. Organisatorische Machbarkeit: Zeit- und Umsetzungsplanung

3.7.1. Roadmap

Im Rahmen der OEOO Projekt-Roadmap sind Meilensteine in einem groben jährlichen Zeitraster definiert. Diese Meilensteine bauen aufeinander auf, so dass sie sukzessive abzuarbeiten sind, um das Gesamtsystem Maritime Müllabfuhr zu realisieren.

Bei Roadmap und Erstellung des Business-Models wurde unterstellt, dass nach Abschluss dieser Machbarkeitsstudie eine Gesamtfinanzierung vorliegt, die eine unmittelbare Umsetzung des Projekts „Pilotsystem" erlaubt. Bei zeitlichen Verschiebungen hinsichtlich des Aufbaus der Finanzierung verschieben sich auch die Meilensteine der Roadmap und der Planungszeitraum des Business-Modells entsprechend. Insofern haben Verzögerungen keinen Einfluss auf die Machbarkeit des Projekts.

Die vorliegende Machbarkeitsstudie entspricht dem Meilenstein 4 der Roadmap. Der sich anschließende Meilenstein 5 beinhaltet die vorbereitenden Tests für den Aufbau des Pilotsystems (vgl. 3.7.2.1).

Der operative Aufbau des in dieser Studie beschriebenen Pilotsystems erfolgt im Rahmen der Meilensteine 6 bis 10, der System-Betrieb ist im Meilenstein 11 abgebildet.

Der weitere Auf- und Ausbau der Maritimen Müllabfuhr mit bis zu 30 Systemen für unterschiedliche Einsatzbedingungen wird in den Meilensteinen 11 bis 22 bzw. bis zum Jahr 2028 beschrieben.

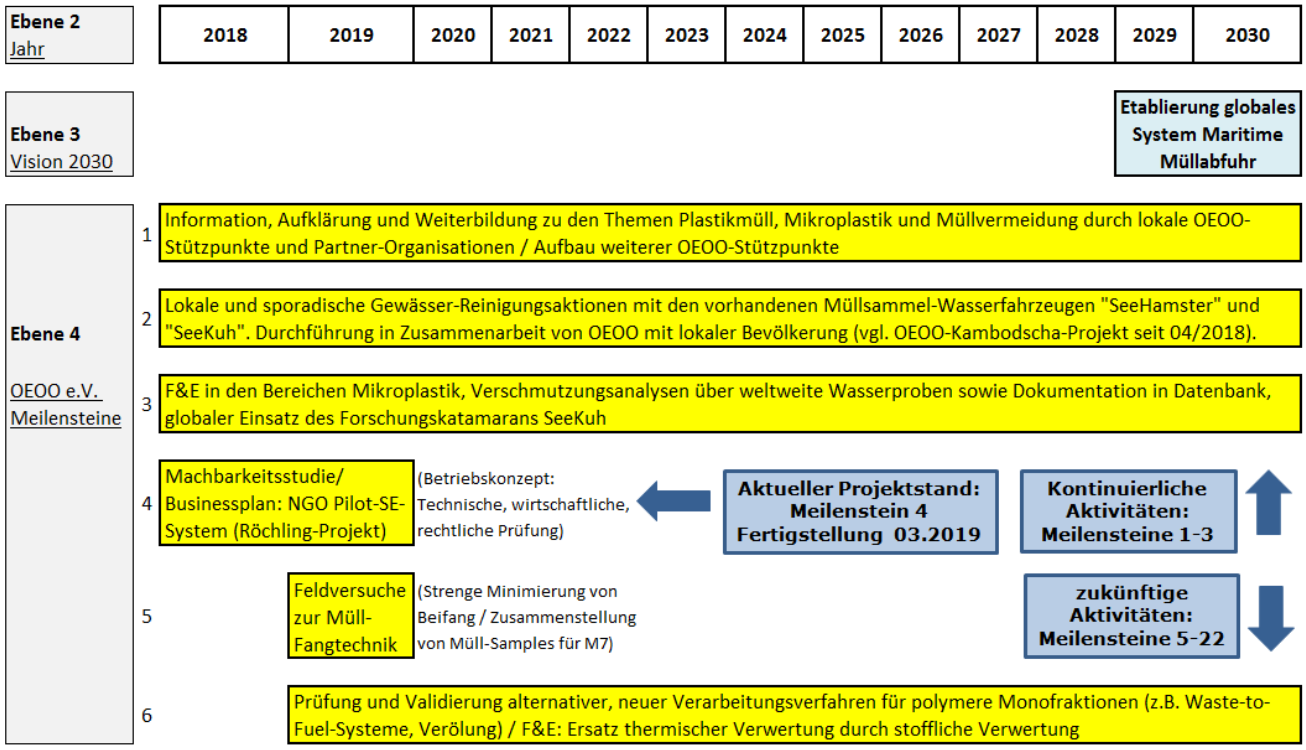
Die Ebene 1 der Roadmap beschreibt die Rahmenbedingungen mit Stichpunkten zur Situation, zum Markt und den aus der Projektdurchführung erwachsenen Chancen.

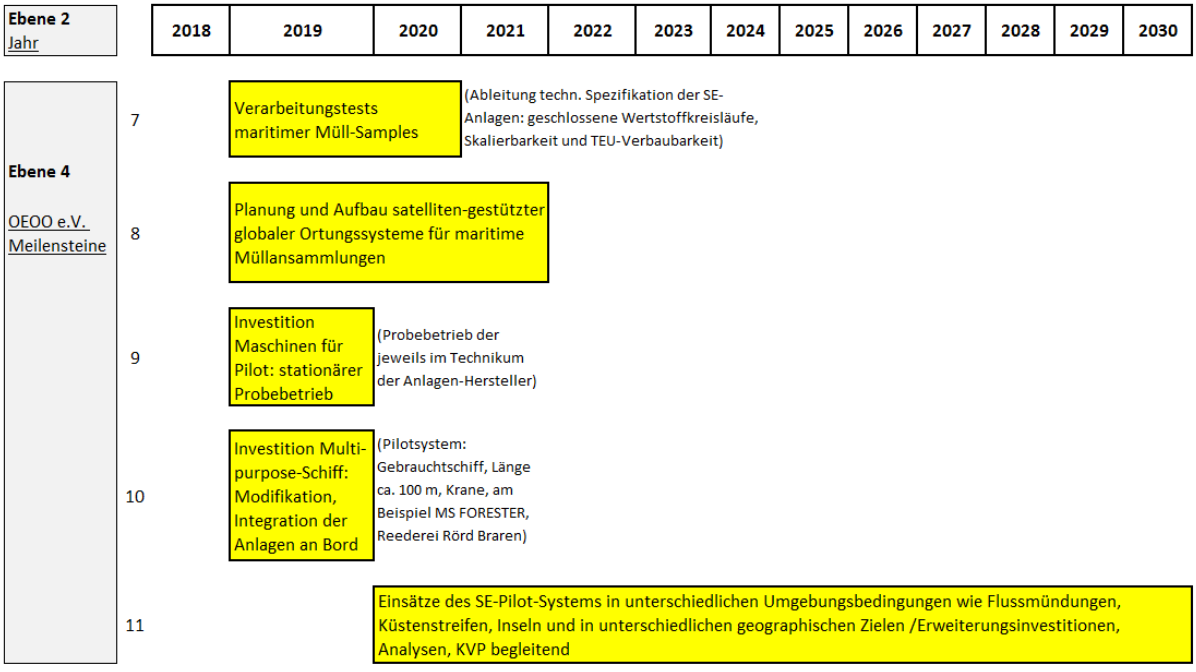
Tabelle 22: Roadmap, Rahmenbedingungen

Roadmap OEOO Vision 2030: Maritime Müllabfuhr			
Ebene 1	Rahmenbedingungen		
	Situation	1	Hotspots der Verschmutzung sind in Asien, Afrika und Südamerika: Flüßmündungen, Megacities, Küstenstreifen, Hochsee-Müllteppiche
		2	Aktuelle Schätzungen gehen heute von ca. 150 Mio. Tonnen Plastikmüll in den globalen Gewässern aus; hinzu kommen jährlich weitere 15 Mio. Tonnen
		3	Keine funktionierenden Pfandsysteme, kein bzw. wenig Problembewußtsein, keine bzw. unzureichende Aufklärung, z.T. erschöpfte Deponiekapazitäten
		4	Akute Bedrohung von maritimer Tierwelt und Menschen durch vermüllte Gewässer und Mikroplastik
		5	Viele lokale u. regionale Initiativen mit unterschiedlichsten Technologien und Projekten leisten kleine Beiträge zur Reduzierung/Vermeidung maritimen Mülls
	Markt	1	Aktuell keine nachhaltigen Reinigungssysteme und -technologien verfügbar, jeweils wiederkehrende lokale manuelle Reinigungsaktionen als "Tropfen auf dem heißen Stein"
		2	Die maritime Müllabfuhr wird in der Zukunft einen Multi-Millarden-Markt entwickeln
	Chancen	1	(Plastik) Müll ist Rohstoff: Weiterentwicklung der Waste-to-Energy-Konzepte sowie neue Techniken zur werkstofflichen und rohstofflichen Verwertung des Mülls
		2	Gewässerreinigung schützt langfristig Menschen und Tiere
		3	Schaffung von Arbeitsplätzen und Einkommen in den Zielgebieten sowie Verbesserung des touristischen Potenzials
		4	Bündelung von Know-how und Ressourcen aus lokalen und regionalen Initiativen zur Beschleunigung der Projektentwicklung
	One Earth - One Ocean e.V.	1	Marktführer hinsichtlich des globalen konzeptionellen Lösungsansatzes zur Marine Litter Removal, Mikroplastik-F&E, Aufklärung und Bildung, ökonomische Studien und technische Entwicklungen im Segment Gewässerreinigung

Auf der Ebene 2 ist der Zeitstrahl abgebildet, auf Ebene 3 die langfristige Vision 2030 und Ebene 4 enthält die abzuarbeitenden Meilensteine auf dem Weg zur Vision:

Tabelle 23: Roadmap, Vision und Meilensteine 1-11

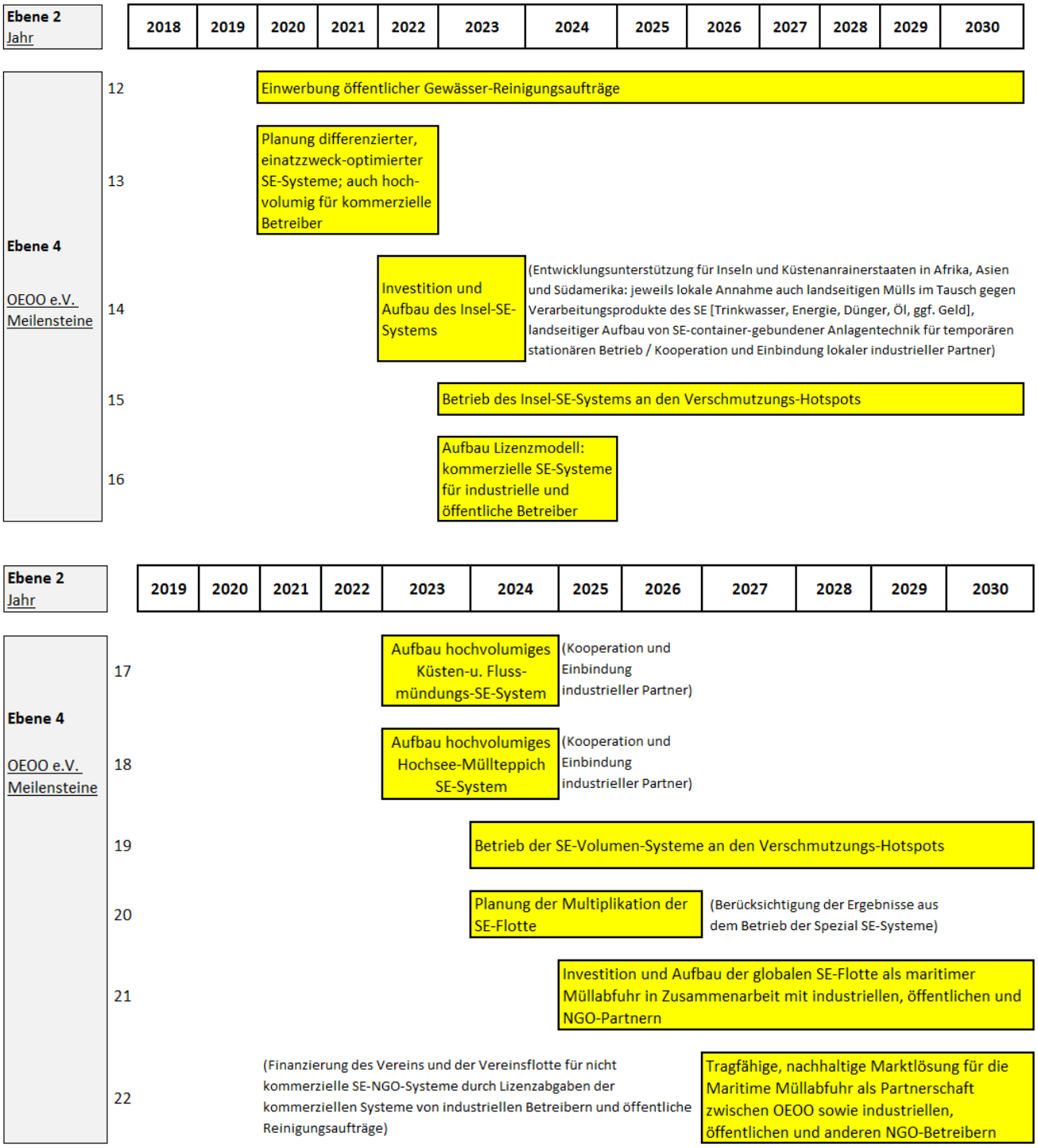




An dieser Stelle enden die Meilensteine für das im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie beschriebene Pilotsystem mit dem entsprechenden Dauerbetrieb bis zum Ende des 1. Lebenszyklus nach ca. 10 Jahren.

Die in den folgenden Charts beschriebenen Meilensteine zeigen die Schritte bis hin zu einer diversifizierten Maritimen Müllabfuhr 2030 mit unterschiedlichen Systemen für unterschiedliche Einsatzzwecke, Regionen und Verarbeitungsmengen.

Tabelle 24: Roadmap, Meilensteine 12-22



Wesentlich ist, dass am Ende jeweils ein funktionierendes Marktmodell zu etablieren ist, damit privatwirtschaftliche Lösungen entstehen können.

3.7.2. Nächste Schritte: Meilensteine 5 bis 7

Während sich Meilenstein 6, wie in Tabelle 23 beschrieben, insbesondere mit der mittelfristigen Validierung der Depolymerisationstechnik von Meeresplastik-Fraktionen beschäftigt, dienen die Meilensteine 5 und 7 der exakten Festlegung von:

- effizienter maritimer Müll-Sammel-Systematik: Sammelfahrzeuge, Fanggeschirr- und Fangtechnik und dem Zusammenspiel der Fangschiffe, sowie der
- Generierung von ca. 40 Tonnen maritimen Beispielmülls zur detaillierten Spezifikation der benötigten Maschinen und Anlagentechnik. Hierzu werden entsprechende Test- und Probeläufe bei potenziellen Herstellern durchzuführen sein.

3.7.2.1. Feldversuche zum großflächigen Sammeln von Meeresmüll und Verarbeitungstests

Das technische Konzept der Maritimen Müllabfuhr basiert zum großen Teil auf den in 2.2 vorgestellten wissenschaftlichen Daten, eigenen Erfahrungen, sowie darauf aufbauenden Annahmen. Wie in verschiedenen Absätzen dieser Machbarkeitsstudie deutlich wird, bedarf es jedoch genauerer Untersuchungen zu Mengen, Zusammensetzungen und Qualitäten von Meeresmüll.

Aus diesem Grund sind Feldversuche in potenziellen Operationsgebieten für das Sammeln repräsentativer Mengen (ca. 40 Tonnen) von Meeresmüll geplant.

Ziele der Feldversuche sind die empirische Überprüfung der theoretisch-wissenschaftlichen Ausarbeitungen sowie die Erarbeitung exakter technischer Spezifikationen der Müllsammelfahrzeuge für Flussmündungen und Küstenstreifen bei Minimierung von tierischem Beifang.

Für das gesammelte Material werden Daten zu Gewicht, Volumen, Zusammensetzung, Feuchte, Verwitterung, maritimer Bewuchs und Besonderheiten aufgenommen und dokumentiert.

Anschließend wird eine repräsentative Menge des Materials zu einem Testzentrum (z.B. Technikum von TOMRA Sorting GmbH in Koblenz) gebracht, um belastbare Pflichtenhefte bezüglich der einzusetzenden Sortier- und Verarbeitungsanlagen erstellen zu können.

Über die Fangversuche sollen außerdem Daten zu maritimen Reinigungskosten erhoben, sowie Aussagen zur Skalierbarkeit der getesteten Sammeltechnik gemacht werden.

3.7.2.2. Durchführungsplanung bei unmittelbarem Beginn

Der Zeitplan für Meilenstein 5 / Pilotsystem umfasst die Monate 03/2019 bis 07/2019. Weitere Meeresmüll-Sammel-Feldversuche für die Ausbaustufe (komplexere Sortier- und Verarbeitungstechnik auf dem Prozessschiff „SeeElefant“) sollen in den Jahren 2020-2021 folgen, sind im Zusammenhang mit dem jetzt geplanten Pilotsystem allerdings nicht relevant.

Die vorbereitenden Tätigkeiten und Prozesse finden in den Monaten 03/2019 und 04/2019 statt. Diese umfassen insbesondere die Bewertung und Auswahl des Operationsgebiets; ggf. unter Einbindung des Departments Hydrogeologie des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung, Leipzig.

1. Entwicklung einer Bewertungsmatrix für jeweils europäische und ostasiatische potenzielle maritime Sammelgebiete:

- Europa-Küste: z.B. Griechenland
- Europa-Flussmündung: z.B. Donaudelta
- Südamerika-Küste/Mündung: z.B. Rio de Janeiro
- Ostasien-Küste: z.B. Kambodscha, Bali, Indosesien/Jakarta
- Ostasien-Flussmündung: z.B. Ganges, Brantas, Mekong, Citarum

2. Auswahl des Operationsgebiets unter Berücksichtigung:
   - Rechtlicher Rahmenbedingungen, Abstimmungen für lokale behördliche Genehmigungen
   - Persönlicher Vor-Ort-Sichtungen an potenziellen Sammelorten durch OEOO-Supervisor
   - Abstimmungen mit lokalen NGO-Partnern u./o. Organisationen für Bereitstellung operativen Sammelpersonals

Die Durchführung der Feldversuche und das operative Sammeln des Meeresmülls finden findet nach Auswahl des Operationsgebiets gemäß Punkt 2. in den Monaten 05/2019 bis Anfang 07/2019 statt. Für die Durchführung der anschließenden Sortier- und Verarbeitungstests bei den Maschinenbau-Partnern von OEOO ist geplant, eine Meeresmüll-Menge in der Größenordnung von min. 20 bis max. 40 Tonnen zu sammeln und zur Verfügung zu stellen.

Die Sortier- und Verarbeitungstests könnten bei gesicherter Finanzierung ab Ende 07/2019 beginnen.

Tabelle 25: Kostenplan Meilenstein 5

Kostenplanung Marine Litter Removal Roadmap Meilenstein 5: Sammeln von repräsentativen Meeresmüll-Samples für Sortier- und Verarbeitungstests						
Jahr/gesamt bzw. monatliche Verteilung / in TEUR	**2019**	**Mrz**	**Apr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**
1. Betrieb und Administration	**133,5**	**5,0**	**27,0**	**33,0**	**25,0**	**43,5**
Definition, Auswahl, Vorbereitung Operationsgebiet für Müll-Fangversuche	15,0	5,0	10,0	0,0	0,0	0,0
Verschiffung, Verzollung, Landtransport: SeeKuh, SeeHamster, Arbeitsboote zum Zielgebiet und Retour	35,0	0,0	15,0	5,0	0,0	15,0
Reisekosten / Unterkunft und Flug / 3 OEOO-Supervisor	10,0	0,0	0,0	6,0	3,0	1,0
Treibstoffkosten / 10-wöchiger Sammelbetrieb	4,5	0,0	0,0	2,0	2,0	0,5
Personalkosten all-in / 10-wöchiger Sammelbetrieb / 3 OEOO-Supervisor inkl. lokales Sammelpersonal	30,0	0,0	0,0	13,0	13,0	4,0
Anmietung lokaler Fischereifahrzeuge für Sammelbetrieb	10,0	0,0	0,0	4,0	4,0	2,0
Verschiffung Container mit Müll-Samples nach Hamburg und Weitertransport zu Verarbeitungs- u. Recyclingspezialisten	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0
Chemische Analysen und Fangmengenanalysen Plastikmüll	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0
Administration & Steuerung Meilenstein, Dokumentation, Planungsreserve	10,0	0,0	2,0	3,0	3,0	2,0
2. Investitionen	**74,6**	**27,0**	**44,6**	**1,0**	**1,0**	**1,0**
Drohnen / DJI Phantom o.ä. mit Kameras, Übertragungs- und PC-technik (2 Systeme à 2.800 €)	5,6	3,0	2,6	0,0	0,0	0,0
Aufrüst-Bausatz für die SeeKuh: Litter-Fishing mit Fördertechnik in Ergänzung der Netztechnik / bereits konstruiert	38,0	20,0	18,0	0,0	0,0	0,0
Diverse Spezial-Zugnetze für Fischereifahrzeuge und Arbeitsboote im Tandembetrieb sowie Senknetzsysteme zum Heben des Meeresmülls inkl. Reparaturen/Anpassungen vor Ort	11,0	4,0	4,0	1,0	1,0	1,0
Motorboote / Pischel Arbeitsboote o.ä. ggf. gebraucht (2 Boote à 10.000 €)	20,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0
3. SUMME GESAMT	**208,1**	**32,0**	**71,6**	**34,0**	**26,0**	**44,5**

Die Maschinentests auf den jeweiligen Technikum-Anlagen der Hersteller sind nicht bepreist. Nach heutigem Sachstand werden diese Versuche von den Partnerunternehmen für OEOO kostenfrei durchgeführt.

3.7.3. Projektorganisation und Betreibermodell

Organisatorische Machbarkeit und Verbundstruktur

OEOO hat bis jetzt bewusst auf eine organisatorische Einbindung potenzieller Partner aus Industrie und Wissenschaft verzichtet, um die Projektentwicklung möglichst unabhängig voranzutreiben und nicht durch administrative Tätigkeiten und Abstimmungen „in der Breite“ an Geschwindigkeit zu verlieren.

Für die nun anstehende Umsetzung und die operative Durchführung des Projekts ist der Aufbau einer Projekt-Verbundstruktur oder einer Projektgesellschaft zwingend erforderlich. Der Verein OEOO wird Aufbau und Betrieb nicht im Rahmen der Vereinsstruktur anstreben; die Durchführung einzelner vorbereitender Meilensteine ist jedoch für den Verein sinnvoll und möglich.

Bei der Auswahl potenzieller Verbundpartner wird neben der fachlichen Expertise darauf geachtet, dass im Interesse einer vertrauensvollen Zusammenarbeit keine Konkurrenzsituationen in späteren Wertschöpfungsketten entstehen.

Das folgende Organigramm beschreibt insoweit eine Plan-Projektorganisation unter Einbindung potenzieller Partnerunternehmen. Grundsätzlich hat OEOO weitreichende Kontakte zu geeigneten Unternehmen, wissenschaftlichen Einrichtungen und NGOs, so dass nach Abschluss der Machbarkeitsstudie bedarfsorientiert Partner in das Projekt aufgenommen werden können.

Denkbar sind jeweils vom gemeinnützigen Verein "abgekoppelte" Projektorganisationen wie Projektgesellschaft, Arbeitsgemeinschaft oder Konsortium.

Die folgende Projektorganisation dient lediglich als Beispiel und kann analog in ein entsprechendes Organisationschart für eine rechtlich selbständige Struktur verändert werden:

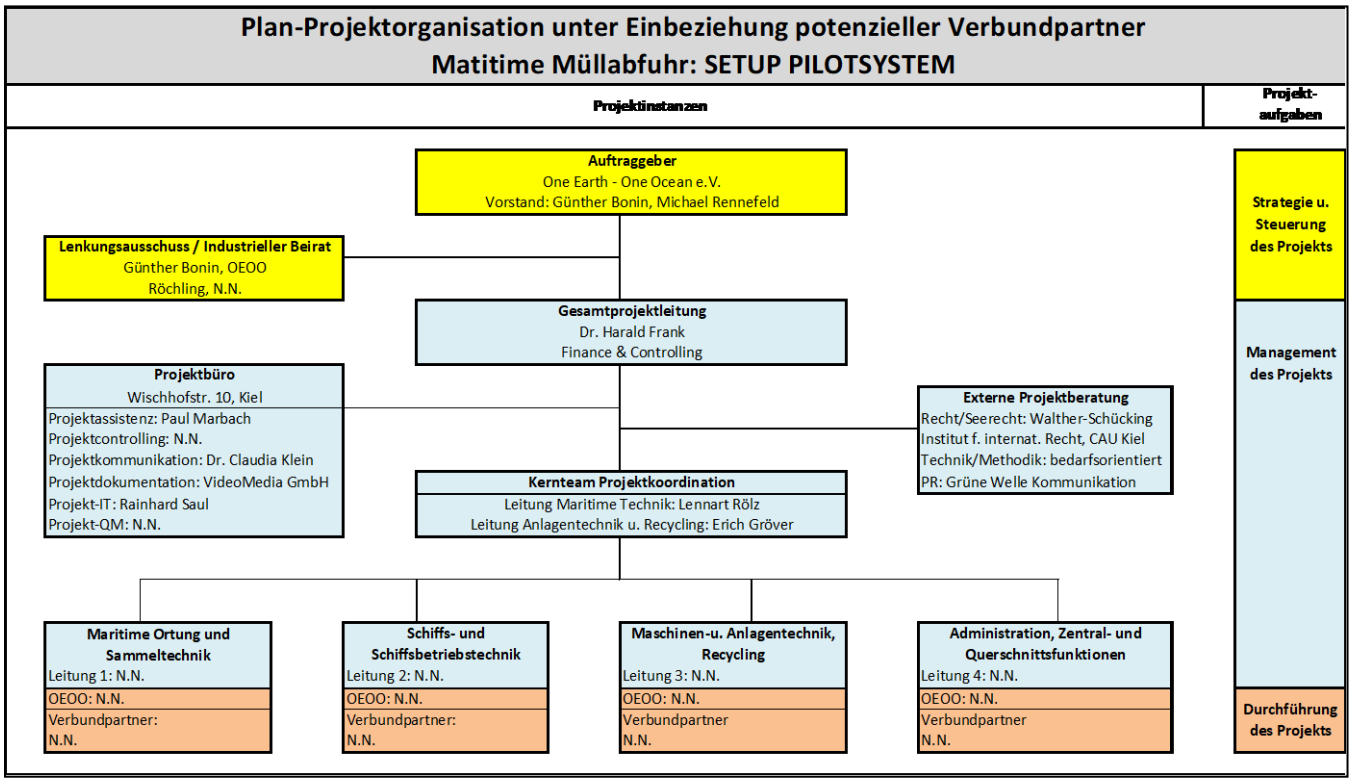


Abbildung 71 - Projektorganisation, Beispiel

N.B.: Im operativen Bereich 4 "Administration, Zentral- und Querschnittsfunktionen" geht es insbesondere um die Planung, Steuerung und Durchführung der kaufmännischen Aufgaben aus Finanzierung, Bilanzierung und Rechnungswesen, Controlling & Treasury und Reporting sowie um Logistik, Beschaffung, Recht und Personal.

Die Ausgliederung und rechtliche Verselbständigung der Projektorganisation werden in der Regel bei großvolumigen und komplexen Projekten mit langer Dauer in Betracht gezogen. Insbesondere für das

beschriebene Thema SeeElefant/Pilotsystem Maritime Müllabfuhr treffen diese Kriterien zu; Es bieten sich bei Aufbau einer eigenständigen Projekt- und ggf. Betriebsgesellschaft folgende Vorteile:

a. Vermeidung möglicher Zielkonflikte zwischen der gemeinnützigen Basisorganisation OEOO und einer den Kriterien der Wirtschaftlichkeit verpflichteten Projektorganisation. Projekt und Projektaufgaben unterliegen höheren Risiken als die Standard-Arbeiten des Vereins. Misserfolge im Projekt bzw. in der Projektgesellschaft können dann den Bestand des Vereins nicht gefährden.
b. Hohe Komplexitäten und ein hoher Ressourcenbedarf - Personal und Finanzmittel - erfordern die Aufnahme spezialisierter, leistungsfähiger Partner aus dem jeweiligen Branchenumfeld, da die Basisorganisation die notwendigen Ressourcen nicht bereitstellen kann.
c. Auch wenn der Verein mittels seiner jährlichen Prüfberichte jeweils einwandfreie rechtliche und finanzielle Verhältnisse nachweisen kann, so wird ihm allein der Zugang zu den benötigten Finanzmitteln voraussichtlich nicht gelingen können.
   Eine strukturierte Projektfinanzierung belastet nicht das Tagesgeschäft von Projektträger und Partnern. Sie wird ausschließlich abgestellt auf das Gewinnpotenzial und die zukünftige Liquidität aus dem Projekterfolg.
d. Projektgesellschaften erzeugen oft eine ausgeprägte Identifikation der Beteiligten und des Personals mit den Projektinhalten.

In der Praxis wird für Projektgesellschaften oftmals die Rechtsform einer Kapitalgesellschaft und speziell einer GmbH gewählt. Insoweit könnte beispielsweise eine "Projektgesellschaft SeeElefant mbH" für den Aufbau und Betrieb des Pilotsystems gegründet werden. Die wesentlichen Projektpartner aus der Industrie - und ggf. aus der Wissenschaft - werden an der Kapitalstruktur der GmbH beteiligt; als Initiator und Projektträger behält OEOO jedoch mit mindestens 50 % die Mehrheit der Anteile.

Bei Fortführung der Organisation/Projektgesellschaft nach Fertigstellung des Pilotsystem-Aufbaus kann ihr neben der Entwicklung weiterer SeeElefant-Systeme gemäß Roadmap (Meilensteine 12 - 22) auch der operative Betrieb des Pilotsystems übertragen werden. Für eine solche Erweiterung des Aufgabenspektrums ist die Organisationsstruktur entsprechend anzupassen und mit den nötigen Kompetenzen auszustatten.

Bei operativem Betrieb des Pilotsystems bzw. später der Maritimen Müllabfuhr durch eine Projekt- und Betriebsgesellschaft würde der Verein One Earth – One Ocean e.V. eine angemessene Lizenzgebühr erheben, um sich der Entwicklung und dem Betrieb von „SeeElefant“-Systemen für nicht-kommerzielle Einsatzzwecke und -gebiete widmen zu können.

Nicht-kommerzielle Systeme beziehen sich auf die Hochsee oder andere vermüllte Gewässer mit deutlich niedrigeren Müllkonzentrationen, die nach Maßgabe betriebswirtschaftlicher Kriterien nicht "lohnend" sind, d.h. keine Gewinne liefern können.

N.B.: Eine Alternative für die o.g. weiteren SeeElefant-Systeme der Meilensteine 12 - 22 ist die Herstellung und der Betrieb durch Dritte oder als Public-Private-Partnership jeweils in eigener Regie; ebenfalls bei Abgabe einer Lizenzgebühr an den Verein One Earth – One Ocean. Diese Option kann insbesondere für hochvolumige Systeme immer dann sinnvoll sein, wenn neben Meeresmüll zusätzlich landseitiger Plastikmüll aus Industrie und Haushalten zu verarbeiten ist.

3.8. Wirtschaftliche Machbarkeit: Businessmodell und Finanzplanung

3.8.1. Präambel und wirtschaftswissenschaftliche Einordnung

Die Eindämmung der weltweiten maritimen Verschmutzung ist in der ökonomischen Theorie ein typisches Beispiel für ein sogenanntes globales öffentliches Gut.

Bei der Bereitstellung dieser Güter durch die individuellen Regierungen kommt es häufig aufgrund der latenten Problematik des Trittbrettfahrens zu fehlenden Versorgungen bzw. suboptimaler Unterversorgung.

Zur Theorie der globalen öffentlichen Güter:

Für gewöhnlich wird die Nicht- oder Unterbereitstellung dieser Güter mit grenzüberschreitendem Schaden oder Nutzen zurückgeführt auf ihre nachfrageseitigen Eigenschaften der Nicht-Rivalität im Konsum (die individuelle Nutzung des Guts mindert nicht dessen Verfügbarkeit für andere) und der Nicht-Ausschließbarkeit vom Konsum (niemand kann von der Nutzung des Guts ausgeschlossen werden).

Gerade aufgrund der o.g. Eigenschaften entsteht das Problem des Trittbrettfahrens und daher erfolgt die Bereitstellung lediglich suboptimal: Warum sollen rational handelnde Regierungen z.B. einen Beitrag zur Eindämmung der Verschmutzungen auf den Weltmeeren leisten, wenn sie auch ohne Unterstützungsleistung in den Genuss saubererer Meere kommen? Die Theorie geht davon aus, dass die Regierungen ihre wahre Präferenz für dieses globale öffentliche Gut nicht bekunden und warten, bis andere sie möglicherweise bereitstellen. Dies hat regelmäßig zur Folge, dass entweder keine Regierung bereit ist, zur Bereitstellung des Guts - bzw. in unserem Fall zur Eindämmung der maritimen Verschmutzung - beizutragen, oder dass deutlich geringere Beiträge geleistet werden, als notwendig wären, um eine kollektiv rationale Lösung zu realisieren.

(in Anlehnung an: A. Kocks, Die Theorie der globalen öffentlichen Güter, Zeitschrift für internationale Beziehungen, 17. Jg. 2010, Heft 2, S. 235 ff)

Neben dem o.g. Problem der Bereitstellung durch einzelne Regierungen waren in der Vergangenheit keine Marktlösungen zur globalen Gewässerreinigung tragfähig, weil das ökonomische Potenzial der Abfälle - Plastikmüll und Meeresplastik - als Wertstoffe noch nicht erkennbar war.

Durch die Entwicklungen im Bereich der Recyclingtechnik und Kreislaufwirtschaft, der entsprechenden Anlagentechnik und der Märkte für Sekundärrohstoffe wird sich die Situation auch in Bezug auf den Meeresmüll verändern.

Insoweit werden in naher Zukunft auch privatwirtschaftliche Lösungen attraktiv sein, soweit die Reinigungssysteme mindestens Kostendeckung erzielen können.

Bei dieser theoretischen Dilemmasituation mit drohendem Staats- und Marktversagen kann eine staatliche Förderung über eine NGO eine überaus praktikable Alternative zur Lösung des Problems sein. Wesentlich ist, dass eine Anschubfinanzierung für den Projektstart nötig ist, die seitens des Vereins nicht allein geleistet werden kann.

Das Marktpotenzial ist heute noch nicht abschließend zu quantifizieren. Sicher ist, dass mit einer globale Maritimen Müllabfuhr ein neuer Milliarden-Markt erschließbar ist. Gehen wir der Einfachheit halber von jährlichen Plastikeintragsmenden – ohne Mikroplastik – i.H.v. 10 Mio. Tonnen aus, und

bewerten die Tonne – unaufbereitet – konservativ mit 100 EUR, so gelangen wir bereits heute zu einer potenziellen Marktgröße von 1,0 Mrd. EUR. Die prognostizierten deutlichen Wachstumsraten bei Kunststoffproduktion und entstehendem Kunststoffmüll werden das Angebot von Meeresmüll kurzfristig deutlich erhöhen.

Hinzu kommt zu späteren Zeitpunkten auch die sukzessive Abfischung des zugänglichen maritimen Bestandsmülls, weitere Wertschöpfungsschritte durch die Aufbereitung sowie die Vermarktung/Verwertung des gefischten Bestandsmülls.

Aufgrund der in der Vergangenheit fehlenden ökonomischen Attraktivität des Themas Gewässerreinigung sowohl für Regierungen als auch für Unternehmen, gibt es bislang keinen Markt für maritime Reinigungsleistungen.
Die langfristige Verknappung und damit Verteuerung von Ressourcen wie z.B. Rohöl, aber auch die global zwar langsam, aber immer stärker in das Bewusstsein tretende Idee einer nachhaltigen Ökonomie, die steigende Weltbevölkerung und nicht zuletzt die massiven globalen Schäden durch die Vermüllung der Ozeane werden helfen, mittelfristig diesen Markt zu etablieren und zu entwickeln.

3.8.2. Modell und Ergebnis

Die wirtschaftliche Machbarkeit des Pilot-Systems wurde überprüft im Rahmen eines über einen 10-jährigen Planungszeitraum laufenden Business-Modells. Der Vorteil eines derartigen Modells ist die Parametrisierung und damit die Erzeugung von Ergebnissen für unterschiedliche Annahmen, Settings und Konfigurationen.

Die Simulationen zeigen, dass insbesondere bei

- hohen Volumen von täglich 30 - 40 Tonnen gesammelten und verarbeiteten Meeresmüll
- einer Erlössituation von ca. 250 bis 325 EUR für je Tonne sortenreine Meeresplastik-Ballenware und
- einer Zahlungsbereitschaft der Küstenanrainer für Reinigungsleistungen zwischen Mio. EUR 1,4 und 2,0 p.a.

Break-Even erreicht werden kann und eine gute Ertragssituation am Ende des Planungszeitraums wahrscheinlich ist.

Die o.g. Punkte beziehen sich auf die Leistungsseite: Die Einzahlungen aus Umsatztätigkeit sind zum jetzigen Zeitpunkt jedoch mit Unsicherheiten behaftet. Die Kosten- und Auszahlungsseite konnte durch Expertengespräche, entsprechende Ausarbeitungen der Reederei Rörd Braren, der

Genehmigungsbehörden, der Maschinen- und Anlagenhersteller sowie eigene Planungen und Recherchen recht präzise abgebildet werden.

Das Modell betrachtet nicht nur die betriebswirtschaftliche Situation des Prozessschiffs SeeElefant, sondern fokussiert auf das gesamte Pilotsystem zur Maritimen Müllabfuhr. Dieses System besteht – wie beschrieben – aus den Sammelschiffen für den Meeresmüll und deren Betrieb, sowie der Maschinen- und Anlagentechnik an Bord und dem Mehrzweckfrachter mit den nötigen Anpassungen und Umbauten.

Nur bei umfassender Betrachtung aller Systemkomponenten und der entsprechenden Bewertung von Mengen und Preisen, Kosten und Leistungen, sowie Einzahlungen und Auszahlungen lassen sich aus ökonomischer Sicht schlüssige Aussagen ableiten.

Um der ökonomischen "Wahrheit" möglichst nahe zu kommen, wurde auf über 50 Excel-Arbeitsblättern die 10-Jahresplanung [vgl. CD Datenpaket] für das Pilotsystem modelliert. Dabei bedeutet "Wahrheit" zum jetzigen Zeitpunkt und in diesem Zusammenhang nicht das exakte Eintreten der gezeigten Ergebnisse, sondern die logisch korrekte "Verdrahtung" der Planungen und Annahmen sowie der schlussendlichen Zusammenführung in der Gewinn- und Verlustrechnung sowie der Cash-Betrachtung.

Insoweit liefert das Modell die Basis für die weitere Verifizierung der Modellannahmen. In den kommenden Monaten werden wir uns daher - neben der Planung der nächsten Meilensteine gemäß Roadmap - insbesondere mit der Präzisierung der o.g. Leistungsseite des Systems beschäftigen.

Aber auch in der jetzt vorliegenden Form kann die Leistungsseite komplett ausgeblendet werden, um – als sogenannter Worst-Case – ausschließlich mit Kostengrößen zu arbeiten. Bei einer solchen Betrachtung entsteht natürlich kein betriebswirtschaftlich attraktives Geschäftsmodell, sondern es können die ermittelten All-In-Reinigungskosten je Tonne beispielsweise ins Verhältnis gesetzt werden mit den Vermüllungsschäden. Derartige Kennzahlen können Aufschluss geben über eine volkswirtschaftliche Sinnhaftigkeit maritimer Reinigungen.

Das Modell wird auf den folgenden Seiten mit seinen wesentlichen Charts, den Tabellen 26 - 38 und Abbildungen 73 - 81, erläutert. Als Datei ist es der Studie in elektronischer Form beigefügt.

Abbildung 72 - Bedienoberfläche Business Modell

Die ökonomische Machbarkeit, soviel sei vorab gesagt, kann unter den Modellannahmen bejaht werden. Dies erscheint nicht überraschend, kombiniert das Pilotsystem doch jeweils bestehende Systeme der maritimen Wirtschaft und Schiffstechnik mit modernen Recyclingansätzen und versucht nicht, mit neuen Systemen in die neuen Märkte zu gehen.

Insoweit bestehen an der technischen Machbarkeit keine Zweifel; ob die modellierten Ergebnisse und die zugrunde liegenden Annahmen eintreffen werden, oder ob eine Finanzierung analog der Beispielfinanzierung des Modells umsetzbar ist, werden - wie beschrieben - die Überprüfungen der Annahmen in den kommenden Monate zeigen.

Wir kommen zu dem Schluss, dass das System nach 3 Betriebsjahren im Jahr 2023 Break-Even erreichen kann und danach bis zum Ende des Planungszeitraums 2028 Cash generiert, damit die nötigen Ersatzinvestitionen getätigt und auch jeweils der Kapitaldienst vollständig geleistet werden kann.

Die wesentlichen Anmerkungen und Hinweise zum Modell können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Die Implementierung des Systems ist geplant ab Mitte 2019 mit dem Erwerb des Mutterschiffs. Der funktionsgerechte Umbau soll ab Q3/2019 erfolgen; danach Transfer in ein Müll-Hotspot-Zielgebiet in Südost-Asien. Operativer Start der Fang- und Verarbeitungsaktivitäten im Zielgebiet ist 12/2019.

   N.B.: Eine Verschiebung von Zeitplan und modelliertem Zeitraum ist jederzeit ohne wesentliche inhaltliche Änderungen möglich.

2. Die geplanten Gesamtinvestitionen im 10-Jahres-Zeitraum belaufen sich kumuliert auf 11,2 Mio. EUR hinsichtlich der unmittelbar umsetzbaren Variante ohne Verölungsaggregate. Aufgrund der noch fehlenden Marktreife dieser Technologie sind die Aussagen bei Modellierung dieser Waste-To-Fuel-Technologie risikobehaftet.
3. Die hinterlegte CapEx-Finanzierung besteht aus einem Investitionskredit in Höhe von 5,0 Mio. EUR (z.B. KfW-UBA Nr. 230) mit 30 % Investitionskostenzuschuss, sowie 30% Eigenmitteln.
4. Zur Deckung der Anlaufverluste wird ein Betriebsmittelkredit eingeplant in Höhe von 1,7 Mio. EUR.
5. Zusätzlich ist ein KK-Rahmen in Höhe von TEUR 350 sinnvoll. Gemäß den Planungen müssen keine Mittel aus diesem Rahmen genutzt werden.
6. Die Kapitaldienstfähigkeit, definiert als Fähigkeit, den Kapitaldienst der Projektfinanzierung jederzeit fristgerecht aus operativer Liquidität vollständig leisten zu können, ist nach Hochfahren der Volumina ab 2022 sichergestellt.
7. Die Liquidität am Ende des 10-Jahres-Zeitraums liegt bei 10,0 Mio. EUR.
8. Diese Liquidität ist ausreichend, um sukzessive die nötigen Ersatzinvestitionen zu tätigen.
9. Die Gewinn- und Verlustrechnung zeigt Break-Even im Jahr 2023. Die Umsatzrendite am Ende des Zeitraums 2028 liegt bei 25 %.
10. Die Anlaufverluste sind insbesondere bedingt durch die langsam hochfahrenden Volumina im Umsatz bei von Beginn an hohen Fixkostenanteilen.
11. Bei einer Ausweitung des Planungszeitraums über 2028 könnte die gute Ergebnissituation fortgeschrieben werden.
12. Die Kapazitätsgrenze dieses Pilot-Gesamtsystems liegt bei 40 t/Tag. Größere Mutterschiffe erlauben höhere Kapazitäten mit entsprechenden Economies of Scale.
13. Nach der Erstausrüstung des Mutterschiffs mit Anlagentechnik wird mengenbedingt ein zweiter Investitionsschritt zur Kapazitätsausweitung 2022 nötig.
14. Es wird angenommen, dass die Umsätze aus Reinigungsdienstleistungen aus Aufträgen von denjenigen Anrainerregierungen stammen, in deren Hoheitsgewässern das Pilotsystem operiert.
15. Die gesamte Reinigungsleistung des Systems aus Prozess-Mutterschiff und Müll-Sammelschiffen liegt im 10-Jahres-Betrachtungszeitraum bei ca. 86.000 Tonnen.
16. Die gesamten Auszahlungen für maritime Reinigungsleistungen liegen im 10-Jahreszeitraum kumuliert bei 38,8 Mio. EUR, die kumulierten Einzahlungen bei 48,9 Mio. EUR.
17. Ohne Berücksichtigung der Umsatztätigkeit liegen die Kosten je Tonne dem Meer entnommenen Plastikmülls – inklusive Sortierung und Verarbeitung – bei gut 320 EUR, ohne Sortierung und Verarbeitung unter 200 EUR.

18. Die gesamten Einzahlungen aus maritimen Reinigungsleistungen liegen im 10-Jahreszeitraum kumuliert bei 48,9 Mio. EUR.
19. Mit Berücksichtigung von der Umsatztätigkeit liegen die Ergebnisse je Tonne dem Meer entnommenen Plastikmülls zum Ende des Planungszeitraums saldiert bei gut 100 EUR.
20. Nach Abwägung aller Details halten wir es für wahrscheinlich, dass aus der Reinigung der Ozeane ein profitables, skalierbares Marktmodell entsteht mit einem zukünftigen Marktvolumen im Milliarden-EUR-Bereich.

Alle getroffenen Annahmen sind transparent im System hinterlegt. Schritt für Schritt werden – auch in Zukunft – die Annahmen durch "valide Realität" ersetzt, sobald neue Informationen verfügbar sind. Insoweit lebt das Modell und tastet sich sukzessive an die Realität heran.

Bereits heute bitten wir um einen offenen und kritischen Dialog hinsichtlich unserer Modellannahmen. Auch wenn – wider Erwarten – sich die Dinge anders als geplant entwickeln sollten, zeigt der Worst-Case, das ist eine ausschließliche Betrachtung der Reinigungskosten ohne Berücksichtigung von Erlösen (Verkauf von Meeresplastik-Ballenware und Reinigungsdienstleistungen), einen Wert von 325 EUR je Tonne als Reinigungskosten in 2028.

Diese Kosten stellen einen Wert dar, der aus dem Verkauf der Meeresplastik-Ballenware in Zukunft realisierbar scheint. Insoweit kann Break-Even auch - jedoch erst gegen Ende des Planungszeitraums - erreicht werden, wenn keine Reinigungs-Services an öffentliche Gebietskörperschaften verkaufbar sind.

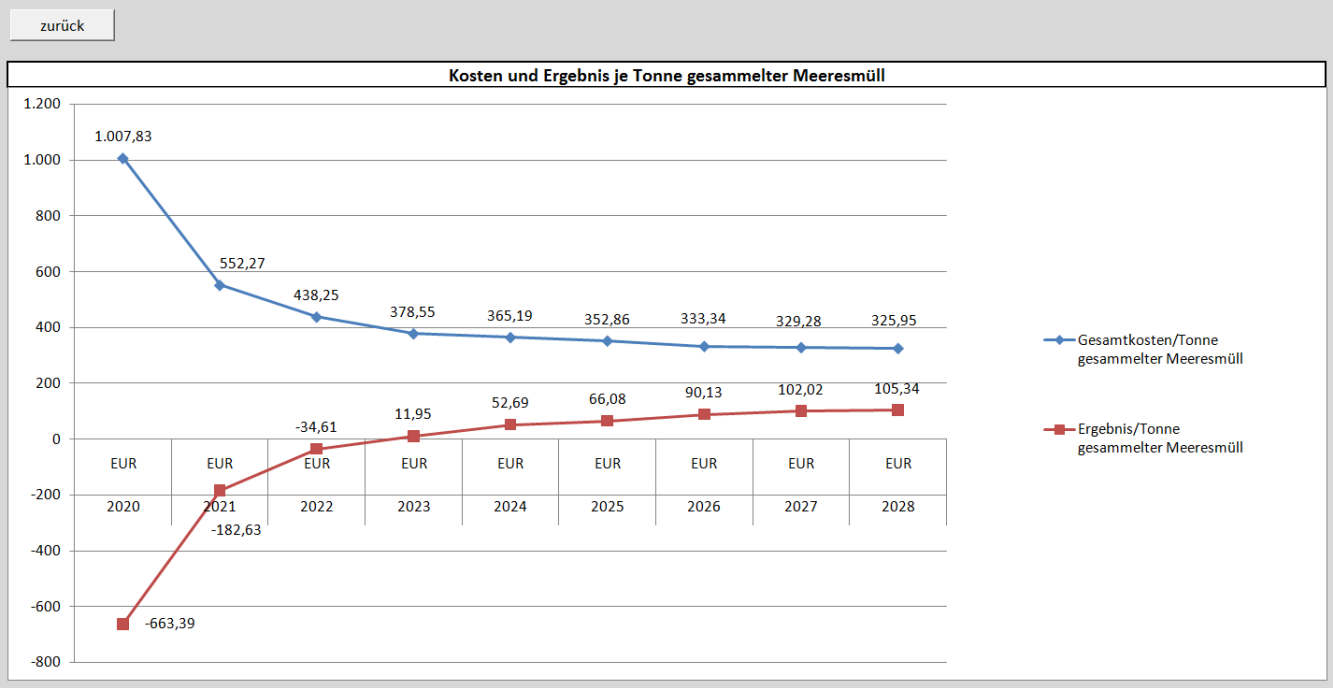


Abbildung 73 - Kosten und Ergebnis je Tonne Meeresmüll

Gemessen an den weltweiten jährlichen Verlusten durch die Verschmutzung der Weltmeere ist selbst der hier ermittelte Worst-Case ein vertretbarer Reinigungsaufwand:

Unterstellen wir die Gültigkeit der UN-Schätzung für jährliche Schäden durch die maritime Vermüllung i.H.v. 13 Mrd. USD. Diese Quantifizierung bezieht sich insbesondere auf ökonomische Schäden für Fischerei und Tourismus und bezieht keine Folgeprobleme wie Langzeitschäden durch Mikroplastik in der Nahrungskette o.ä. ein. Insoweit ist das hier berücksichtigte schädigende Meeresplastik im jeweiligen jährlichen Neueintrag in die Weltmeere sowie den floatenden und treibenden Anteilen des maritimen Plastik-Bestandsmülls zu sehen.

Ausgehend von Jambecks Zahlen hinsichtlich des Neueintrags von max. 12,7 Mio. t p.a. und floatenden Anteilen des Bestandsmülls (ca. 150 Mio. t) in den Ozeanen von maximal 4 % gemäß EUNOMIA, kommt man insgesamt auf ca. 20 Mio. t Plastikmüll, der die o.g. Primärschäden verursacht.

Setzen wir die Primärschäden von 13 Mrd. USD in das Verhältnis zur verursachenden Tonnage Plastikmüll, so ergibt sich der jährliche Schaden je Tonne von 650 USD.

Das bedeutet - bezogen auf das Pilotsystem - dass die Worst-Case Reinigungskosten je Tonne Meeresplastik nach Hochfahren der Sammelmengen ab 2022/2023 deutlich niedriger sind als die Primärschäden, die eine Tonne Meeresplastik verursacht. Insoweit kann auch für dieses Worst-Case-Szenario des Pilotsystems die volkswirtschaftliche Sinnhaftigkeit konstatiert werden.

Eine betriebswirtschaftliche Sinnhaftigkeit entsteht jedoch erst bei Nachweis von nachhaltigen potenziellen zukünftigen Gewinnen aus maritimen Reinigungsaktivitäten. Diesen Nachweis, oder weniger rigide ausgedrückt, diesen Hinweis wollen wir anhand der Daten unseres Modells geben und insoweit zeigen, dass es bei langfristiger Perspektive und gewisser Risikoaffinität auch eine richtige unternehmerische Entscheidung ist, in das vorgestellte Pilotsystem zu investieren.

Während die Kostendaten bereits heute auf recht präzisen Angaben beruhen, liegen größere Risiken – wie beschrieben – in der Realisierung der Umsatzseite. Bei niedrigeren Preisen und Mengen bzw. langsamerem Hochfahren der Volumina würde entsprechend später Break-Even erreicht, einen sog. Show-Stopper für privatwirtschaftliches Engagement erwarten wir jedoch auch in einem solchen Setting nicht; insbesondere weil das Pilotsystem skalierbar ist.

Unser Real-Case geht demgegenüber von Erträgen in der Größenordnung von gut 100 EUR je Tonne aus. Dieser Wert kommt zustande durch die Berücksichtigung der unten vorgestellten Umsätze. Erträge in dieser Größenordnung führen zu Renditen, die zeigen, dass eine Maritime Müllabfuhr auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht attraktiv sein wird.

3.8.3. Investitionen und Finanzierung

Der Aufbau des Pilotsystems erfordert Investitionen in Höhe von 11,2 Mio. EUR. Diese Gesamtsumme teilt sich auf in die in der folgenden Tabelle genannten Investitionsbereiche und die entsprechenden Jahre zur Bereitstellung der benötigten Kapazitäten:

Tabelle 26: Investitionen

zurück

Investitionen*										
Jahr / TEUR	**2019****	**2020**	**2021**	**2022*****	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**
Multipurpose Prozessschiff Typ SeeElefant	2.800	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schiffsanpassung, Abgasentschwefelung, Anbindung WTE / Installation & Integration Maschinen- u. Anlagentechnik	1.250	0	0	150	0	0	0	0	0	0
NIR Sortier-Systeme inkl. Peripherie	400	0	0	300	0	0	0	0	0	0
Schredder, Ballenpresse, Fördertechnik u. Peripherie	800	0	0	400	0	0	0	0	0	0
Energieerzeugungsanlagen [WTE/Thermische Verwertung, Solar, Wind] inkl. Energiezwischenspeicher und Ladestationen Müll-Sammelschiffe	1.200	0	0	700	0	0	0	0	0	0
Container/Containerrahmen für Anlagen, Produkte und Meeresmüll	218	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Müll-Sammelschiffe / Typ SeeKuh, SeeHamster	340	340	596	596	536	268	268	0	0	0
Summe Investitionen	**7.008**	**340**	**596**	**2.146**	**536**	**268**	**268**	**0**	**0**	**0**

* Planung von Stückzahl und Preisen: Plan

** Gemäß Stadler GmbH Kalkulation 22.01.2019 / Sortierung, Fördertechnik, Schredder, Ballenpresse, Perforator, Peripherie inkl. Sortierkabine, Druckluft, Belüftung, Stahlbau, Steuerungs- u. E-Technik

*** Investition Kapazitätserweiterung: 2. NIR zur Erhöhung von Kapazität u. Produktivität; selektive Verdoppelung der übrigen Technik: Ballenpresse, Schredder geeignet bis Kap.-Grenze 40 t/Tag

Die entsprechende Detailplanung zu Stückzahlen und Preisen der benötigten Ausrüstungen ist im beigefügten Excel-Modell hinterlegt.

Gemäß Auskunft der Reederei Braren kann der Mehrzweckfrachter MS-Forester für 2,8 Mio. EUR erworben werden Die Schiffsanpassung in Verbindung mit einer Abgasentschwefelungsanlage und einer Anlage zur thermischen Verwertung wurde zusätzlich mit 1,25 Mio. EUR quantifiziert.

Die Sortier-Anlagentechnik inkl. dem Herzstück – der NIR-Technik – wurde inkl. Steuerung, Belüftung, Druckluft und Sortierkabine von der Stadler GmbH als potenziellem Lieferanten mit 1,2 Mio. EUR für die erste Ausbaustufe in 2019 angegeben, die nötige Kapazitätserweiterung 2022 mit 0,7 Mio. EUR.

Hinsichtlich der Energieerzeugung sind 3 Anlagentypen eingeplant: Die thermische Verwertung (WTE), die über die nicht sinnvoll zu Ballen pressbaren Restmüllanteile befeuert wird, sowie Windanlagen und Fotovoltaik. Ergänzt wird diese Konfiguration durch einen Energiezwischenspeicher sowie Docking-Stationen für die mit E-Drive ausgerüsteten Müll-Sammelkatamarane. Mit TEUR 800 hat die WTE-Anlage (geplant ist die containerbasierte ClinX der B+K GmbH) in diesem Bereich den größten Anteil. Aufgrund der potenziell ansteigenden Sammel- und Verarbeitungsmengen ist auch hier eine Kapazitätsergänzung im Jahr 2022 nötig. Die Investitionskosten liegen dann aufgrund der bereits vorhandenen Infrastruktur mit TEUR 700 etwas niedriger.

Die nötigen Container- und Containerrahmen wurden mit TEUR 2,0 je Stück kalkuliert. Die Container dienen der Aufnahme von Meeresmüll und Produkten; die Rahmen dienen dem Einbau der Anlagentechnik.

Kontinuierliche zusätzliche Beschaffungen der zum Pilot-SeeElefanten gehörigen Müll-Sammelkatamarane SeeKuh und SeeHamster auf jeweils 10 Stück sind nötig, um die Sammel- und Verarbeitungsvolumen von Plastikmüll sicherzustellen. Im 3. vollen Betriebsjahr 2022 ist ein kapazitätsbedingter Erweiterungsschritt hinsichtlich der on-board-Anlagentechnik geplant.

Zur Verölungstechnik sind noch keine validen Daten verfügbar. Vorläufige Daten aus aktuellen Versuchsprojekten werden zusammenfassend unter Punkt 3.5.2.1 erläutert in Verbindung mit den Auswirkungen auf die Gewinn- und Verlustrechnung des SeeElefant-Pilotsystems. Dabei wird die Verfügbarkeit dieser Technologie ab 2024 unterstellt, so dass dann der Großteil der PP- und PE-Meeresmüll-Fraktionen mit entsprechenden Depolymerisationsverfahren rohstofflich verwertet werden.

Das beispielhaft hinterlegte vereinfachte Finanzierungsmodell geht von einem KfW-basierten Investitionskredit, einem Investitionskostenzuschuss und einem Eigenmittelanteil aus. Unter diesen Prämissen stellt sich der Finanzierungsansatz folgendermaßen dar:

Tabelle 27: Beispiel zu möglicher Finanzierung

zurück

Beispiel: Finanzierung / vereinfachtes Modell				
A. INVESTITIONSKREDIT		**Details**	**B. BETRIEBSMITTELKREDIT**	**Details**
BMU Umweltinnovationsprogramm 230 "Als Umweltschutzpionier besonders profitieren" *			**Gesamt-Kapitalbedarf für Betriebsmittel (TEUR)**	**1.700**
Kapitalbedarf für Investitionen (TEUR)		11.162	Zinssatz	4,0%
Zinssatz Investitionskredit		6,0%	Laufzeit in Monaten	102
Zinsen Umbau- und Installationsphase, Bereitstellungen Q3+Q4 2019 (TEUR)		150	Tilgung (%)	10,0%
Sicherheitsaufschlag %		3,0%	Jahresrate / Annuität (Start 2020) TEUR	238
Gesamt-Kapitalbedarf inkl. Sicherheit TEUR		**11.651**		
*Eigenkapital OEOO / Spenden und Zuschüsse %		30%	**C. KONTOKORRENTKREDIT***	
Nicht rückzahlbare Förderungen, Spenden und Zuschüsse (TEUR)		**3.495**	Kontokorrentrahmen TEUR	**350**
****Finanzierung KfW (TEUR)**			Finanzierungsbetrag TEUR	0
Förderfähige Investitionen		11.162	Zinssatz	10%
Investitionszulage (%)		30%	* keine Inanspruchnahme geplant	
Investitionszulage (TEUR)		**3.349**		
Finanzierungsbetrag netto (TEUR)		**4.807**		
Finanzierungsbetrag (TEUR) inkl. Disagio (%)	4,0%	**5.008**		
Finanzierungsbetrag (TEUR) gemäß Arbeitsblatt "AnnuitätInvK"		**5.008**		
Laufzeit in Monaten		221		
Tilgung (%)		3,0%		
Jahresrate / Annuität (Start 2020) TEUR		451		

Der Eigenkapitalanteil und der Investitionskostenzuschuss aus dem Umweltinnovationsprogramm aus dem KfW-Umweltinnovationsprogramm 230 sind mit jeweils 30% geplant und werden nicht verzinst.

Der Investitionskredit über 5,0 Mio. EUR ist mit einem Disagio von 4 % als Annuitätendarlehen über knapp 20 Jahre gerechnet bei 3%iger Tilgung ab 2020. Dem erhöhten Risiko trägt der mit 6 % hinterlegte Zinssatz Rechnung.

Unterstellt wird eine Auszahlung in Tranchen entsprechend den tatsächlich erfolgten Investitionen.

Das Betriebsmitteldarlehen über 1,7 Mio. EUR ist ebenfalls ein Annuitätendarlehen. Hinterlegt ist eine gut 8-jährige Laufzeit bei 4 % Zinsen und einer ab 2020 einsetzenden Tilgung von 10%.

Dieses Darlehen wird insbesondere in der Startphase des Projekts beim Hochfahren der Volumina zur Überbrückung benötigt.

Hinsichtlich der Eigenmittel wird unterstellt, dass diese aus allgemeinen und projektbezogenen Spenden und Zuwendungen bestritten werden können.

N.B. Bei Projektdurchführung und Finanzierung über eine Projektgesellschaft sind entsprechende Mittel ggf. auch über die Projektpartner zu generieren.

Die folgende Abbildung zeigt im Planungszeitraum die Cash-Situation über den EBITDA und den entstehenden Kapitaldienst. Auf der rechten Y-Achse ist der Kapitaldienstdeckungsgrad abgetragen:

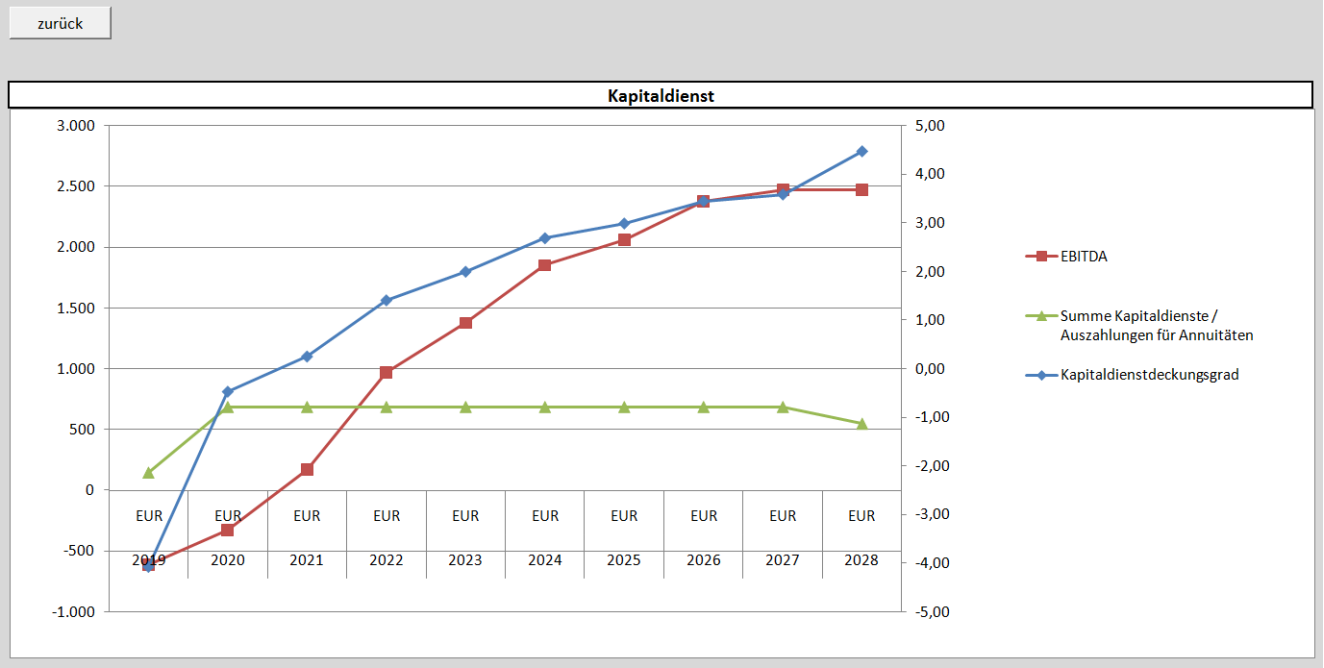


Abbildung 74 - EBITDA und Kapitaldienst

Im Modell wird der Kapitaldienstdeckungsgrad von ca. 1,5 im Jahr 2022 überschritten; durch die Vereinbarung von tilgungsfreien Anfangsjahren würde diese Kennzahl früher den Wert von >1,5 erreichen.

3.8.4. Leistungen und Kosten

Die Leistungsseite wird in dem Modell über 2 Umsatzbereiche abgebildet.

Zum einen werden Umsätze generiert aus dem abgesammelten, sortierten und in Ballen gepressten Meeresplastik, zum anderen erwarten wir Umsätze aus dem Verkauf von maritimen Reinigungs-Dienstleistungen in Küstengebieten. Die entsprechenden Umsätze sind wie folgt geplant:

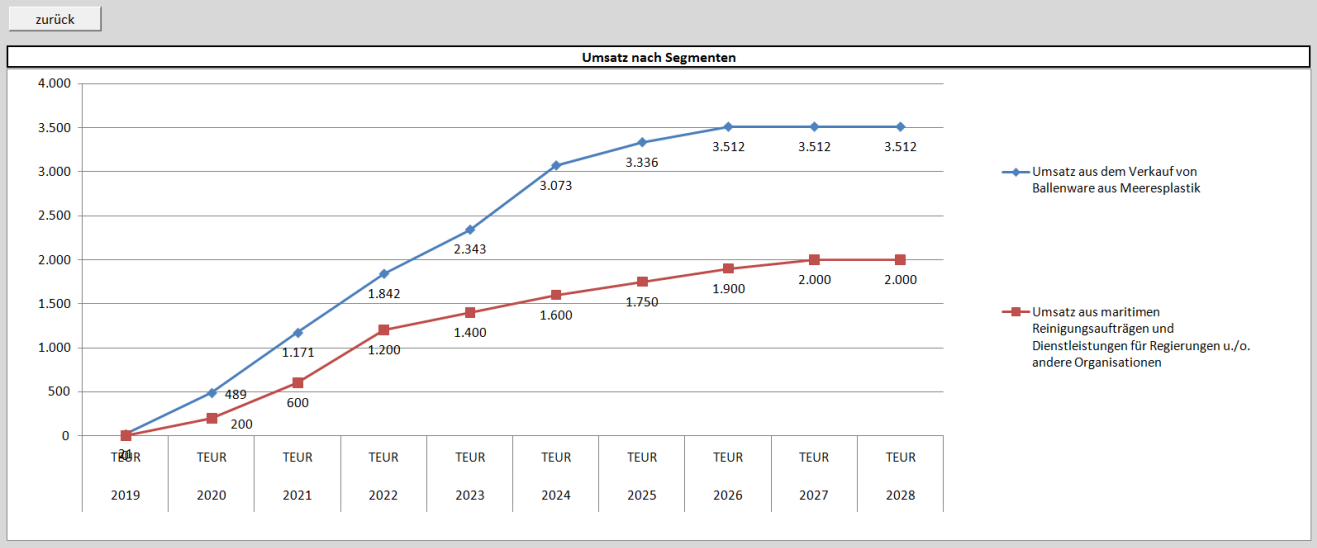


Abbildung 75 - Umsatzplanung

Verkauf Ballenware

Die Umsätze aus dem Verkauf von sortenreiner Meeresplastik-Ballenware laufen bis 2028 auf ca. 3,5 Mio. EUR hoch.

Die erwartete Zusammensetzung des Meeresplastiks ergibt sich nach den entsprechenden Analysen aus Abschnitt 2.2.5.

Qualität 1: PP	31%	Qualität 2: PE	42%	Qualität 3: PET	10%	Qualität 4: PVC	4%	Qualität 5: PS, EPS	2%	Restplastik:	11%

Während die Qualitäten 1 bis 5 zu sortenreinen Ballen gepresst werden, geht die Fraktion "Restplastik" in die thermische Verwertung und dient der Energieerzeugung an Bord.

Die zugrunde liegenden Mengen und Preise finden sich in der folgenden Tabelle. Dabei wurde auf entsprechende im Fachmagazin "plasticker" (https://plasticker.de/) veröffentlichte Preise für Sekundärrohstoffe und Ballen hinsichtlich der Materialien PE (HDPE/LDPE), PP, PET, PVC und PS bzw. EPS zurückgegriffen.

Diese Preise wurden nach einem Expertengespräch mit TOMRA-Sorting Systems um 20% angehoben, da insbesondere in Deutschland, aber verstärkt auch EU-weit, Meeresplastik als sog. "social plastic" auf eine spezielle Nachfrage bei großen Markenherstellern stößt, die ihre Produktverpackungen in den

kommenden Jahren entweder vollständig oder teilweise umstellen wollen, indem sie Meeresplastik-Rezyklat beimischen. Eines unter vielen anderen Beispielen ist der Adidas-Konzern mit seiner Produktreihe Parley (41).

Für Deutschland wird es als möglich angesehen, Preise je Tonne sortenreiner Meeresplastik-Ballenware zu realisieren, die im Bereich von 400 EUR liegen. Selbst mit dem 20%-Aufschlag auf die plasticker-Marktpreise liegen die modellierten Preise deutlich unter dieser Marke:

Tabelle 28: Verarbeitungsmengen und Preise

zurück

Jahres-Verarbeitungsmengen und Preise* / Sortierte Plastik-Ballenware																				
Jahr	2019**		2020		2021		2022		2023		2024		2025		2026		2027		2028	
kg / EUR je kg	kg	EUR/kg	kg	EUR/kg	kg	EUR/kg	kg	EUR/kg	kg	EUR/kg	kg	EUR/kg	kg	EUR/kg	kg	EUR/kg	kg	EUR/kg	kg	EUR/kg
Verarbeitungsmengen p.a. / Preise	105.000		2.000.000		4.792.500		7.537.500		9.585.000		11.182.500		12.141.000		12.780.000		12.780.000		12.780.000	
Ballenware Plastik / Sortierte Qualität 1: PP	32.550	0,230	620.000	0,276	1.485.675	0,276	2.336.625	0,276	2.971.350	0,276	3.466.575	0,312	3.763.710	0,312	3.961.800	0,312	3.961.800	0,312	3.961.800	0,312
Ballenware Plastik / Sortierte Qualität 2: PE	44.100	0,240	840.000	0,288	2.012.850	0,288	3.165.750	0,288	4.025.700	0,288	4.696.650	0,324	5.099.220	0,324	5.367.600	0,324	5.367.600	0,324	5.367.600	0,324
Ballenware Plastik / Sortierte Qualität 3: PET	10.500	0,200	200.000	0,240	479.250	0,240	753.750	0,240	958.500	0,240	1.118.250	0,264	1.214.100	0,264	1.278.000	0,264	1.278.000	0,264	1.278.000	0,264
Ballenware Plastik / Sortierte Qualität 4: PVC	4.200	0,180	80.000	0,216	191.700	0,216	301.500	0,216	383.400	0,216	447.300	0,240	485.640	0,240	511.200	0,240	511.200	0,240	511.200	0,240
Ballenware Plastik / Sortierte Qualität 5: PS, EPS	2.100	0,220	40.000	0,264	95.850	0,264	150.750	0,264	191.700	0,264	223.650	0,300	242.820	0,300	255.600	0,300	255.600	0,300	255.600	0,300

* Peter Borkey, OECD, in: Polyproblem - Kunststoff und Umwelt, Hrsg. Röchling Stiftung, S.58ff.: Entwicklung Nischenmärkte für Meeresplastik denkbar mit deutlich höheren Verkaufspreisen
Beispiel: Adidas-Parley: https://enorm-magazin.de/andersrum-wird-ein-schuh-daraus
Aufschlag für Social Plastic / Meeresplastik: 20%
Expertengespräch mit TOMRA Sorting Systems vermutet Preise von EUR 400 je Tonne verballtem Meeresmüll, genannte Fraktionen
**2019: Marktpreise; Entwicklung Nischenmärkte mit Preisaufschlag ab 2020

EBS aus Restplastik (Verbünde, Netze, Folien etc) für thermische Verwertung / Stromerzeugung an Bord	11.550		220.000		527.175		829.125		1.054.350		1.230.075		1.335.510		1.405.800		1.405.800		1.405.800	

Die konkrete Vermarktung der Ballenware – regional und/oder national bzw. international – und der Aufbau von entsprechend optimierten Supply Chains ist nicht Inhalt dieser Machbarkeitsstudie.

Cleaning-Service

Wir gehen davon aus, dass die Anrainerstaaten hinsichtlich des Operationsgebietes des SE-Pilotsystems die Bereitschaft haben, für die Reinigung der Küstengewässer zu bezahlen. Die Motivation dazu kommt aus einem pragmatischen Kosten-Nutzen-Kalkül: Vermeidung von Schäden für die lokale Fischereiindustrie bei gleichzeitiger Erschließung zusätzlicher Tourismus-Umsätze durch sauberere Strände. Insoweit sollten bereits bei der Auswahl des Einsatzgebietes nicht nur die entsprechenden maritimen Müllmengen quantifiziert werden, sondern ebenfalls die Zahlungsbereitschaft der Regionalregierungen mit bewertet werden.

In der Spitze sind bis 2028 in diesem Segment "Cleaning-Service" Fakturierungen von 2,0 Mio. EUR eingeplant.

Recherchen belegen, dass die Zahlungsbereitschaft von Regierungen und Regionalregierungen für Strand- und Küstenreinigungen steigt, insbesondere weil Tourismus-Umsätze durch Vermüllung der Strände durch angespültes Meeresplastik bedroht sind. Leider gibt es nur vereinzelte Daten zu diesem

Thema; insoweit ist unser Planwert heute noch nicht validierbar; insbesondere nicht für die Küsten und Flussmündungs-Vermüllungs-Hotspots in Asien.

Die EU-Kommission schätzt die potentiellen Kosten für Strand und Küstenreinigung EU-weit auf 630 Mio. EUR p.a. Sicherlich spiegeln diese potenziellen Kosten keine entsprechende Zahlungsbereitschaft wider; aber dieser Wert zeigt das Ausmaß der Vermüllung allein in Europa.

Als Beispiel für ein konkret bepreistes Reinigungsprojekt kann Mallorca genannt werden.

Der Aufwand für die Reinigung der Küstengewässer und Strände der Balearen lag im Sommer 2015 allein bei 1,1 Mio. EUR.

(Quelle: Mallorca-Zeitung 20.08.2018: In 07/2017 ca. 9 Tonnen Müll abgefischt mit 15 Booten

https://www.mallorcazeitung.es/lokales/2018/08/20/mullboote-fischen-tonnenweise-plastik-meer/62012.html)

Insbesondere in dem Plan-Startjahr 2019 stehen der Kostenseite keine Umsätze gegenüber; insoweit zeigt die GuV zu Beginn den größten Verlust. Wir gehen jedoch davon aus, dass die Überführungsfahrt des SeeElefanten an den gewählten küstennahen asiatischen Müll-Hotspot keine Leerfahrt sein wird, sondern der verfügbare Raum regulär zur Verschiffung von Containern zur Destination genutzt werden wird. Insoweit sind die hohen Verluste zum Projektstart eine konservative Annahme.

Die Kostenseite besteht im Planungstool aus den folgenden wesentlichen Kostenarten:

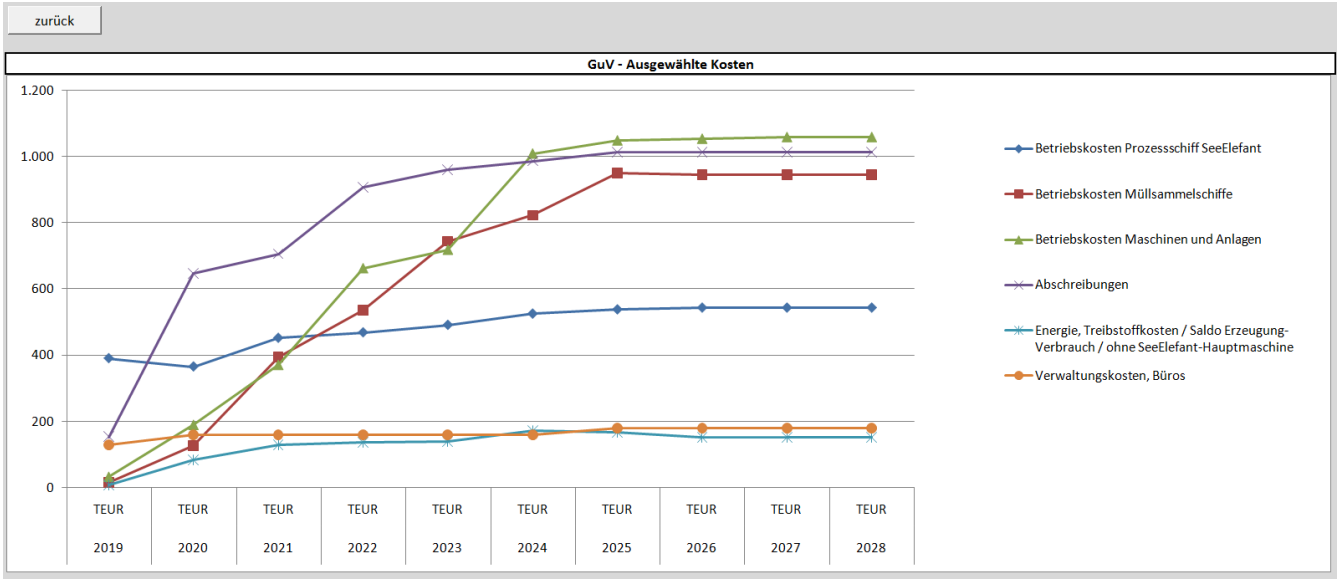


Abbildung 76 - GuV - ausgewählte Kostenarten

Hinzu kommen noch die Zinskosten, die im Finanzergebnis der GuV dargestellt werden, sowie Gebühren für Häfen und Reede und sonstiger betrieblicher Aufwand.

Die wesentlichen Kostentreiber sind mit Werten um ca. 1,0 Mio. EUR p.a. ab 2025 die Betriebskosten für die Müll-Sammelschiffe und die on-board-Anlagentechnik, sowie die Abschreibungen.

Während sich die genannten Betriebskosten jeweils proportional zu den Sammel- und Verarbeitungsmengen entwickeln, steigen die Abschreibungen unmittelbar nach den beiden großen Investitionsschritten 2019 und 2022 mengenunabhängig:

Tabelle 29: Betriebskosten Müllsammelschiffe

zurück

Betriebskosten Müllsammelschiffe SeeKuh und SeeHamster																				
Jahr	**2019**		**2020**		**2021**		**2022**		**2023**		**2024**		**2025**		**2026**		**2027**		**2028**	
TEUR / %	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**
Verarbeitungsmengen Marine Litter (t)	105		2.000		4.793		7.538		9.585		11.183		12.141		12.780		12.780		12.780	
Fangmengen max. Kapazität SeeKühe (t)	89		1.640		5.255		7.177		10.028		11.100		12.213		12.133		12.133		12.133	
Fangmengen max. Kapazität SeeHamster (t)	21		381		1.222		1.669		2.332		2.582		2.840		2.822		2.822		2.822	
Summe max. Fangmengen f. Verarbeitung (t)	109		2.021		6.477		8.846		12.360		13.682		15.054		14.955		14.955		14.955	
Differenz Fangmenge ./. Verarbeitungsmenge (t)	4		21		1.684		1.308		2.775		2.499		2.913		2.175		2.175		2.175	
Anzahl SeeKuh-Katamarane	1		2		4		6		8		9		10		10		10		10	
Anzahl SeeHamster Katamarane	1		2		4		6		8		9		10		10		10		10	
Anzahl Tage für Stationären Betrieb	21		191		306		278		292		287		284		282		282		282	
Crew SeeKuh Besatzungen	4	25	68	54	230	58	314	59	438	59	485	59	559	59	556	59	556	59	556	59
Crew SeeHamster Besatzungen	2	15	41	32	138	35	188	35	263	35	291	35	336	35	333	35	333	35	333	35
Reparatur & Instandhaltung	2	13	4	3	8	2	12	2	16	2	18	2	20	2	20	2	20	2	20	2
Treibstoff / Energie *	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Versicherungenen	2	13	4	3	8	2	12	2	16	2	18	2	20	2	20	2	20	2	20	2
Sonstige Kosten	5	34	10	8	10	3	10	2	10	1	10	1	15	2	15	2	15	2	15	2
Kosten gesamt OPEX und Verwaltung	**15**	100	**127**	100	**394**	100	**536**	100	**743**	100	**822**	100	**950**	100	**944**	100	**944**	100	**944**	100

* E-Drive / brennstofffrei / Separat geplant über Arbeitsblatt "ENERGIE"

Crew SeeKuh	5	Anzahl Blue Collar
Crew SeeHamster	3	Anzahl Blue Collar
Anzahl Arbeitsschichten	1	je Tag
Std./Schicht	8	Std.
Fangkapazität SeeKuh	4,3	Tonnen/Tag
Fangkapazität SeeHamster	1,0	Tonnen/Tag

Tabelle 30: Aufwendungen Sortieren und Pressen

zurück

Betriebsaufwand Sortieren und Pressen																				
Jahr	**2019**		**2020**		**2021**		**2022**		**2023**		**2024**		**2025**		**2026**		**2027**		**2028**	
TEUR / %	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**
Lohnkosten Sortierer, Logistiker, Springer, Overhead PLAN	7	27	126	78	281	88	531	88	562	87	843	90	883	91	883	90	883	90	883	90
Wartung und Ersatzteile	3	12	15	9	20	6	40	7	45	7	45	5	45	5	50	5	50	5	50	5
Schulung	5	20	5	3	2	1	5	1	2	0	5	1	3	0	3	0	3	0	3	0
Energie*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Kosten, Administration-Steuerung, Anlagen-Layout, Betriebstechnik etc.	10	41	15	9	15	5	30	5	35	5	40	4	40	4	40	4	40	4	40	4
GESAMTKOSTEN SORTIEREN UND PRESSEN	25	100	161	100	318	100	606	100	644	100	933	100	971	100	976	100	976	100	976	100

* Separat geplant über Arbeitsblatt "ENERGIE & TREIBSTOFF - SALDO"

Tabelle 31: Aufwendungen thermische Verwertung, Energieerzeugung

zurück

Betriebskosten Thermische Verwertungsanlage* und Energieerzeugungsanlagen																				
Jahr	**2019**		**2020**		**2021**		**2022**		**2023**		**2024**		**2025**		**2026**		**2027**		**2028**	
TEUR / %	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**
Lohnkosten Operator	1	6	5	18	24	44	23	39	36	47	36	47	38	48	38	48	38	45	38	45
Wartung und Ersatzteile	2	21	10	33	15	28	20	34	25	33	25	32	25	32	25	32	30	36	30	36
Schulung	2	21	0	0	0	0	1	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Energie**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Kosten, Administration-Steuerung, Anlagen-Layout, Betriebstechnik etc.	5	52	15	49	15	28	15	26	15	20	15	19	15	19	15	19	15	18	15	18
Beriebskosten gesamt Thermische WTE-Anlage	10	100	30	100	54	100	59	100	76	100	77	100	79	100	79	100	84	100	84	100

* Waste-to-Energy Plant / Beispiel B+K ClinX / Thermische Verwertung von Restkunststoffen: Multilayer, Verbünde, Netze / Output: Strom, Wärme

** Eigenverbrauch aus Erzeugung

Tabelle 32: Abschreibungen

zurück

Abschreibung																						
Jahr		**2019***		**2020**		**2021**		**2022**		**2023**		**2024**		**2025**		**2026**		**2027**		**2028**	
TEUR / %		**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**
Investitionen gesamt (TEUR)		**7.008**		**340**		**596**		**2.146**		**536**		**268**		**268**		**0**		**0**		**0**	
Multipurpose Schiff / Typ SeeElefant**		58	38	233	36	233	33	233	26	233	24	233	24	233	23	233	23	233	23	233	23
Modifikationen, An- und Umbauten SeeElefant**	Plan	26	17	104	16	104	15	117	13	117	12	117	12	117	11	117	11	117	11	117	11
Sortiersystem***	Plan	10	7	40	6	40	6	70	8	70	7	70	7	70	7	70	7	70	7	70	7
Schredder, Ballenpresse, Fördersysteme, andere Ausrüstung, Peripherie***	Plan	20	13	80	12	80	11	120	13	120	12	120	12	120	12	120	12	120	12	120	12
Thermische Verwertungsanlage /Energieerzeugungsanlagen****	Plan	25	16	100	15	100	14	158	17	158	16	158	16	158	16	158	16	158	16	158	16
Container/Containergerüste zur Aufnahme von Maschinen, Produkten und Meeresplastik***	Plan	5	4	22	3	22	3	22	2	22	2	22	2	22	2	22	2	22	2	22	2
Müll-Sammelschiffe / Typ Seekuh, SeeHamster***	Plan	9	6	68	11	128	18	187	21	241	25	268	27	294	29	294	29	294	29	294	29
Abschreibung gesamt****		**153**	**100**	**647**	**100**	**707**	**100**	**907**	**100**	**961**	**100**	**988**	**100**	**1.015**	**100**	**1.015**	**100**	**1.015**	**100**	**1.015**	**100**

* Abschreibung 2019	3	Monate
** Abschreibung Multipurpose Schiff Typ SeeElefant	12	Jahre
*** Abschreibung Maschinen, Container, Sammelschiffe	10	Jahre
****Abschreibung WTE, Solar, Wind in Jahren	12	Jahre (Photovoltaik- und Windanlagen bis zu 20 Jahren Nutzungsdauer)
***** Erwartete Nutzungssdauer: Abschreibungszeit plus 30%		

Insbesondere die Betriebskosten für die Maschinen- und Anlagentechnik enthalten bei den steigenden und hohen Mengen nach der Startphase deutliches Rationalisierungspotenzial: Im Modell ist die Vorsortierung an Deck des Prozessschiffes vollständig manuell und mit lokalem Personal eingeplant. Die hinterlegten Personalkosten orientieren sich an den Mindestlöhnen in Hongkong.

Diese manuell geplante Vorsortierung mit 48 Personen im 3-Schichtbetrieb ab 2026 verursacht mit 90% den Großteil dieser Betriebskosten und trägt dem Umstand Rechnung, dass erst Erfahrungen gesammelt werden müssen mit dem Handling des Meeresmülls, seiner jeweiligen stofflichen Zusammensetzung sowie der Größe und Form der aufgefischten Teile.

Nach unserer Einschätzung könnte in diesem Bereich über die Investition in Pick & Place-Systeme bei hohen Mengen Produktivität generiert werden bei gleichzeitiger deutlicher Kostensenkung. Die "Picks" dieser Systeme liegen deutlich höher als bei der unterstellten manuellen Vorsortierung.

Die Anlaufverluste des Projekts resultieren vornehmlich aus den – nach Überführung des Prozessschiffes SeeElefant zu einem Hotspot – überwiegend fixen Schiffsbetriebskosten, sowie den bereits genannten Abschreibungen.

Die nötigen Energiekosten für den Betrieb aller Subsysteme - ausgenommen ist die Hauptmaschine der MS Forester - wurden separat geplant und nach Saldierung mit der erzeugten Energie bepreist. Die nachstehende Tabelle zeigt die entsprechenden Bereiche von Verbrauch und Erzeugung. Mit 65 % Abdeckung des Bedarfs durch die on-board-Erzeugung mit WTE, sowie Solar- und Windkraftanlagen bleiben am Ende des Zeitraums lediglich 35 %, die über Wellen- und Schiffsgeneratoren zu erzeugen sind:

Tabelle 33: Energie und Treibstoff / ohne SE-Hauptmaschine

zurück

Energie und Treibstoff / Saldo Bedarf und Erzeugung (kWh und TEUR)										
Energie Saldo Elektrisch gesamt / Jahr	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**
Gesamt Energiebedarf ohne Hauptmaschine (kWh) Plan	**88.482**	**1.076.267**	**1.883.600**	**2.518.840**	**2.754.080**	**3.263.860**	**3.372.371**	**3.360.573**	**3.360.573**	**3.360.573**
1. SeeKuh / Leistung gesamt (kWh)	8.244	152.533	488.800	710.800	932.800	1.032.600	1.136.133	1.128.667	1.128.667	1.128.667
2. SeeHamster / Leistung gesamt (kWh)	824	15.253	48.880	71.080	93.280	103.260	113.613	112.867	112.867	112.867
3. Hotel- und Kranbetrieb SeeElefant (kWh)	69.333	716.480	936.960	919.040	910.080	901.120	895.744	892.160	892.160	892.160
4. Sortier-und Verarbeitungsanlagen (kWh)	10.080	192.000	408.960	817.920	817.920	1.226.880	1.226.880	1.226.880	1.226.880	1.226.880
5. WTF und WTE-Anlagen / Eigene Versorgung (kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt Energieerzeugung (kWh) Plan	**26.580**	**433.617**	**889.991**	**1.412.146**	**1.673.223**	**1.934.300**	**2.090.946**	**2.195.377**	**2.195.377**	**2.195.377**
1. WTE-Anlagen / B+K ClinX (kWh)	17.160	326.857	783.231	1.305.386	1.566.463	1.827.540	1.984.186	2.088.617	2.088.617	2.088.617
2. Solartechnik* (kWh)	3.300	37.400	37.400	37.400	37.400	37.400	37.400	37.400	37.400	37.400
2. Windtechnik* (kWh)	6.120	69.360	69.360	69.360	69.360	69.360	69.360	69.360	69.360	69.360
Gesamt Saldo: Notwendige Zufuhr/Produktion Energie über bordeigene Generatoren (kWh)	**61.902**	**642.650**	**993.609**	**1.106.694**	**1.080.857**	**1.329.560**	**1.281.424**	**1.165.196**	**1.165.196**	**1.165.196**
Abdeckung über selbst erzeugte Energie (%)	30%	40%	47%	56%	61%	59%	62%	65%	65%	65%
Abdeckung über zusätzlich benötigte Energie (%)	70%	60%	53%	44%	39%	41%	38%	35%	35%	35%
Benötigte machanische Energie für Generator** (kWh)	63.166	655.765	1.013.886	1.129.280	1.102.915	1.356.694	1.307.576	1.188.976	1.188.976	1.188.976
Benötigter Kraftstoff [t / Jahr]	13	131	203	226	221	271	262	238	238	238
Benötigter Kraftstoff [TEUR / Jahr]	**8**	**83**	**129**	**143**	**140**	**172**	**166**	**151**	**151**	**151**

*Mittelwert (vgl. DIN 18230-3; Beilicke, Baurechnischer Brandschutz)

**Generatorwirkungsgrad	0,98
Spezifischer Kraftstoffverbrauch (g/kWh)	200
Schiffdiesel für Generatorbetrieb MDO (EUR/t)	635,00

Damit spielen die Energiekosten in der GuV eine lediglich untergeordnete Rolle.

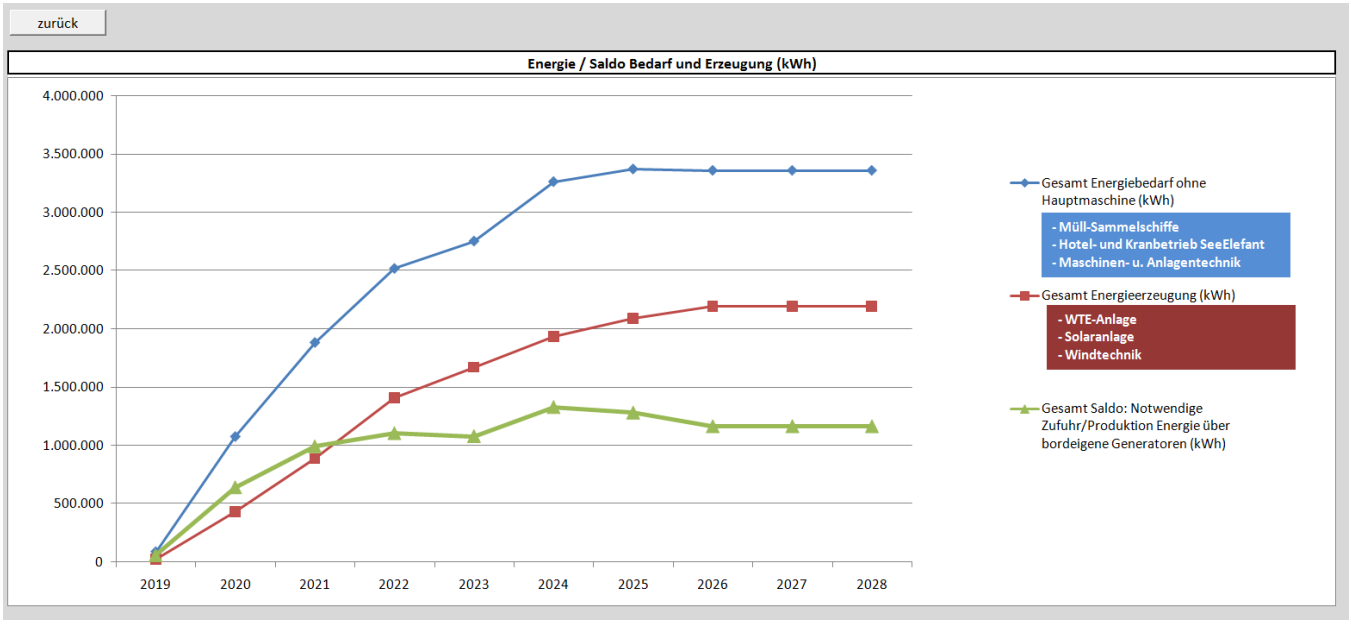


Abbildung 77 - Energiebedarf und Energieerzeugung / ohne Hauptmaschine

Da diese Studie eine sogenannte Positivsortierung unterstellt, wurde keine Aufnahme von Treibholz quantifiziert. Eine zusätzliche Option zur Energieerzeugung ist die thermische Verwertung des Treibholzes in den vorhandenen WTE-Anlagen.

Gemäß den Angaben der Reederei Rörd Braren wurden die Betriebskosten für den SeeElefanten analog zu den Kosten der MS Forester eingeplant:

Tabelle 34: Betriebskosten Prozessschiff SeeElefant

zurück

Betriebskosten Prozessschiff SeeElefant / Multipurpose-Ship / Am Beispiel MS FORESTER*																				
Jahr		**2019****		**2020**		**2021**		**2022**		**2023**		**2024**		**2025**		**2026**		**2027**		**2028**	
TEUR / %		**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**
Crew und Verpflegung	Plan	94	24	117	32	191	42	192	41	207	42	215	41	218	40	220	40	220	40	220	40
Reparatur und Instandhaltung***		22	6	22	6	22	5	22	5	22	4	22	4	22	4	22	4	22	4	22	4
Treibstoff und Öl	Plan	160	41	16	4	24	5	40	8	47	10	55	11	60	11	63	12	63	12	63	12
Ausrüstung Hauptmaschine		18	4	30	8	30	7	30	6	30	6	30	6	35	6	35	6	35	6	35	6
Klassifikationsgesellschaft		7	2	14	4	14	3	14	3	14	3	17	3	17	3	17	3	17	3	17	3
Versicherungen		33	8	65	18	65	14	65	14	65	13	70	13	70	13	70	13	70	13	70	13
Sonstige Kosten		23	6	45	12	50	11	50	11	50	10	50	10	50	9	50	9	50	9	50	9
Zwischensumme OPEX		355	91	309	84	395	87	412	88	435	88	459	87	472	88	477	88	477	88	477	88
Flottenmanagement		30	8	50	14	50	11	50	11	50	10	60	11	60	11	60	11	60	11	60	11
Nebenkosten Gelsverkehr		1	0	2	1	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0
Jahresabschluss		5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
Zwischensumme Verwaltung		36	9	57	16	57	13	57	12	57	12	67	13	67	12	67	12	67	12	67	12
Kosten gesamt OPEX & Verwaltung		**391**	**100**	**366**	**100**	**452**	**100**	**469**	**100**	**492**	**100**	**526**	**100**	**539**	**100**	**544**	**100**	**544**	**100**	**544**	**100**

*Quelle: Eigner Reederei Rörd Braren 10/2017; Annahmen und Planung: Plan
**Aufgrund des Projektstarts ca. Mitte 2019: Ansatz von 50% der Standard Jahres OPEX
***Aufgrund des stationären Betriebs: Ansatz von 50% der regulären Kosten ab 2020

Zu den wesentlichen Kostenpositionen "Crew und Verpflegung" sowie "Treibstoff und Öl" wurde Detailpläne aufgebaut, um der jeweiligen Situation Rechnung zu tragen: In 2019 durch die Schiffsüberführung hohe Treibstoff- und Crewkosten, dann in 2020 (volles Geschäftsjahr) deutlich abgesunkene Kosten, die aufgrund der steigenden Verarbeitungsmengen und häufigeren Löschvorgängen bis 2028 wieder ansteigen.

Beim Treibstoffverbrauch ist wesentlich, dass der SeeElefant in dem gewählten Hotspot überwiegend stationär arbeitet und lediglich für Löschvorgänge den Hafen ansteuert bzw. gewisse Relokalisationen im Hotspotgebiet vornehmen wird. Damit sind nicht nur die Treibstoffkosten niedrig, sondern es kann bei stationärem Betrieb auch lediglich mit 30 % der eigentlich geplanten Crew operiert werden.

3.8.5. Gewinn- und Verlustrechnung, Break-Even Betrachtung

Die Zusammenstellung der Leistungen und Kosten zeigt die folgende Gewinn- und Verlustrechnung:

Tabelle 35: Gewinn- und Verlustrechnung

zurück

Gewinn- und Verlustrechnung																				
Jahr	**2019**		**2020**		**2021**		**2022**		**2023**		**2024**		**2025**		**2026**		**2027**		**2028**	
TEUR / %	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**	**TEUR**	**%**
Umsatz	**21**	100	**689**	100	**1.771**	100	**3.042**	100	**3.743**	100	**4.673**	100	**5.086**	100	**5.412**	100	**5.512**	100	**5.512**	100
Betriebskosten Prozessschiff SeeElefant	391	1819	366	53	452	26	469	15	492	13	526	11	539	11	544	10	544	10	544	10
Betriebskosten Müllsammelschiffe	15	69	127	18	394	22	536	18	743	20	822	18	950	19	944	17	944	17	944	17
Betriebskosten Maschinen und Anlagen	34	159	191	28	372	21	664	22	720	19	1.010	22	1.050	21	1.055	19	1.060	19	1.060	19
Abschreibungen	153	714	647	94	707	40	907	30	961	26	988	21	1.015	20	1.015	19	1.015	18	1.015	18
Energie, Treibstoffkosten / Saldo Erzeugung-Verbrauch / ohne SeeElefant-Hauptmaschine	8	37	83	12	129	7	136	4	140	4	172	4	166	3	151	3	151	3	151	3
Verwaltungskosten, Büros	130	605	160	23	160	9	160	5	160	4	160	3	180	4	180	3	180	3	180	3
Gebühren für Liegeplätze Hafen und Reede	15	70	25	4	30	2	35	1	40	1	50	1	50	1	60	1	60	1	60	1
Sonstige Kosten	40	186	60	9	60	3	70	2	70	2	80	2	90	2	100	2	100	2	100	2
Summe Kosten	**786**	3659	**1.659**	241	**2.304**	130	**2.978**	98	**3.326**	89	**3.809**	82	**4.039**	79	**4.049**	75	**4.054**	74	**4.054**	74
EBITDA	**-611**	-2845	**-323**	-47	**175**	10	**972**	32	**1.378**	37	**1.852**	40	**2.061**	41	**2.378**	44	**2.473**	45	**2.473**	45
EBIT / Operating Profit	**-765**	-3559	**-971**	-141	**-532**	-30	**65**	2	**417**	11	**864**	18	**1.047**	21	**1.363**	25	**1.458**	26	**1.458**	26
Finanzergebnis	-149	-695	-356	-52	-343	-19	-325	-11	-302	-8	-275	-6	-245	-5	-211	-4	-154	-3	-112	-2
EBT / Gewinn vor Ertragsteuern	**-914**	-4254	**-1.327**	-193	**-875**	-49	**-261**	-9	**115**	3	**589**	13	**802**	16	**1.152**	21	**1.304**	24	**1.346**	24

Sehr deutlich zeigen sich die Anlaufverluste mit ca. 1,0 Mio EUR p.a. bei Projektstart und den folgenden 2 vollen Geschäftsjahren. Nach Anstieg der Sammel- und Verarbeitungsmengen in 2022 auf 25 Tonnen je Tag zeigt sich mit TEUR 65 oder 2 % der Betriebsleistung bereits ein positiver EBIT.

Mit dem weiteren Anwachsen der Verarbeitungsmengen auf den Maximalwert von täglich 40 Tonnen sorgen die Skaleneffekte gemeinsam mit den ebenfalls steigend geplanten Umsätzen aus Reinigungs-Services für einen überproportionalen Ergebnisanstieg auf ca. 25 % zum Ende des Planungszeitraums.

Die entsprechenden Ergebniswerte sind der Abbildung zu entnehmen:

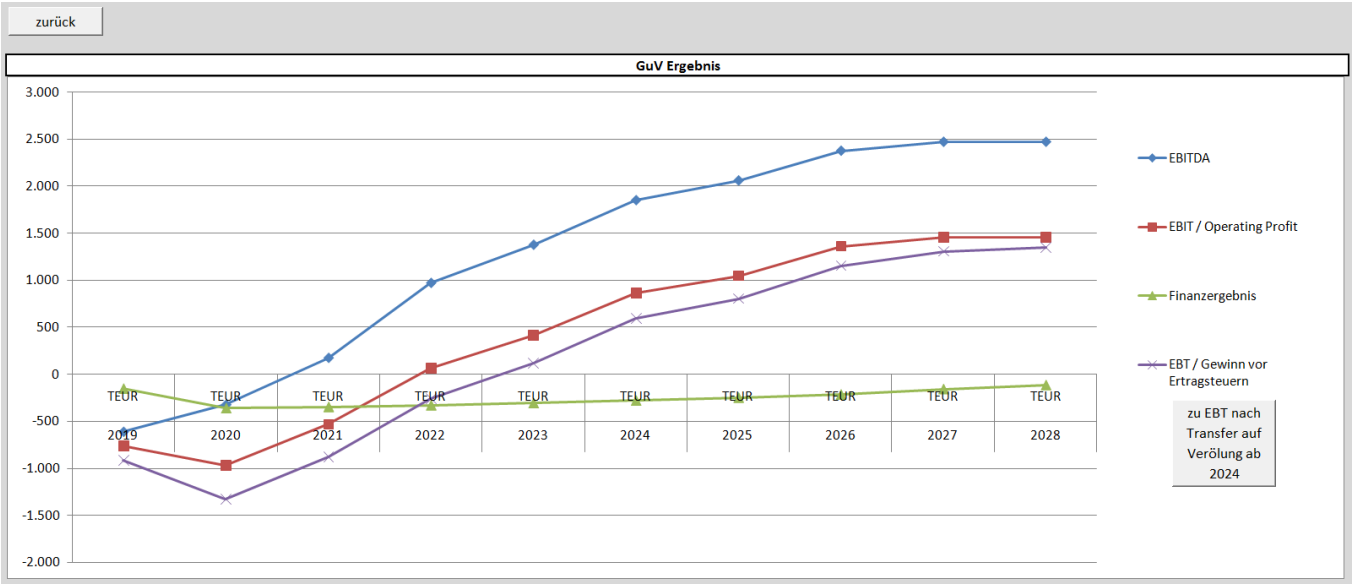


Abbildung 78 - Ergebnis Pilotsystem

Während das Finanzergebnis aufgrund der hohen Zinskosten negativ bleibt, zeigen die unterschiedlichen Ergebnisgraphen sehr gut die Skalierbarkeit des Systems. Während das EBITDA

bereits nach einem Betriebsjahr positiv wird, kann hinsichtlich des EBT erst 2022 Break-Even erreicht werden.

3.8.6. Einzahlungen und Auszahlungen

Abweichend von den Leistungen und Kosten werden die Einzahlungen und Auszahlungen insbesondere in der Anlaufphase des Projekts geprägt durch die Investitionstätigkeit und die hinterlegten Finanzierungen. Über den Zeitraum ergeben sich die folgenden Zahlungsströme:

Tabelle 36: Einzahlungen

zurück

Einzahlungen										
Jahr / TEUR	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**
Summe Einzahlungen	9.219	1.029	2.367	5.188	4.279	4.941	5.354	5.412	5.512	5.512
Umsatz	21	689	1.771	3.042	3.743	4.673	5.086	5.412	5.512	5.512
Investition Eigenkapital*	2.102	102	179	644	161	80	80	0	0	0
Investitionskredit**	2.803	136	238	858	214	107	107	0	0	0
Investitionszulage KfW / Auszahlung Tranchen***	2.102	102	179	644	161	80	80	0	0	0
Zins- und Sicherheitenanteil Eigenkapital 2019	147	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zins- und Sicherheitenanteil Investitionskredit 2019	343	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Betriebsmittelkredit	1.700	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* 30% gemaß Finanzierungsbeispiel
**40% gemäß Finanzierungsbeispiel
***30% gemäß Finanzierungsbeispiel

Tabelle 37: Auszahlungen

zurück

Auszahlungen										
Jahr / TEUR	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**
Summe Auszahlungen	7.783	1.958	2.753	4.844	3.450	3.605	3.816	3.572	3.577	3.440
Investitionen	7.008	340	596	2.146	536	268	268	0	0	0
Betriebskosten SeeElefant Prozessschiff	391	366	452	479	492	526	539	544	544	544
Betriebskosten Sammelschiffe SK und SH	15	127	394	568	743	822	950	944	944	944
Betriebskosten Anlagen	34	191	372	697	720	1.010	1.050	1.055	1.060	1.060
Verwaltung und Büro	130	160	160	160	160	160	180	180	180	180
Gebühren Hafen und Reede	15	25	30	35	40	50	50	60	60	60
Sonstige Auszahlungen/Kosten	40	60	60	70	70	80	90	100	100	100
Auszahlungen für Investitionsfinanzierung / Annuität	150	451	451	451	451	451	451	451	451	451
Auszahlungen für Betriebsmittelkredit / Annuität	0	238	238	238	238	238	238	238	238	101

Dabei wurde die Finanzierung über Investitions- und Betriebsmitteldarlehen in einer Höhe geplant, die die Inanspruchnahme eines Kontokorrentrahmens nicht erforderlich macht.

Dennoch ist zur Sicherheit ein KK-Rahmen von TEUR 350 unterlegt. Dies ist insbesondere wichtig, weil Nachfinanzierungen in aller Regel eine hohe Komplexität aufweisen und möglichst zu vermeiden sind.

Hinsichtlich der Auszahlungen für Annuitäten sind im Startjahr 2019 ausschließlich Zinskosten angesetzt; die Tilgungen beginnen ab 2020. In 2028 ist das Betriebsmitteldarlehen zurückgeführt; insoweit ist die entsprechende Annuität deutlich niedriger als in den Vorjahren.

3.8.7. Liquidität

Die Gesamtliquidität als Differenz zwischen Ein- und Auszahlungen, sowie in der Kumulation der Betrachtungsjahre ergibt sich nach dem folgenden Schaubild. Dabei zeigt die Cash-Kurve den jeweiligen Gesamt-Kontostand am Periodenende:

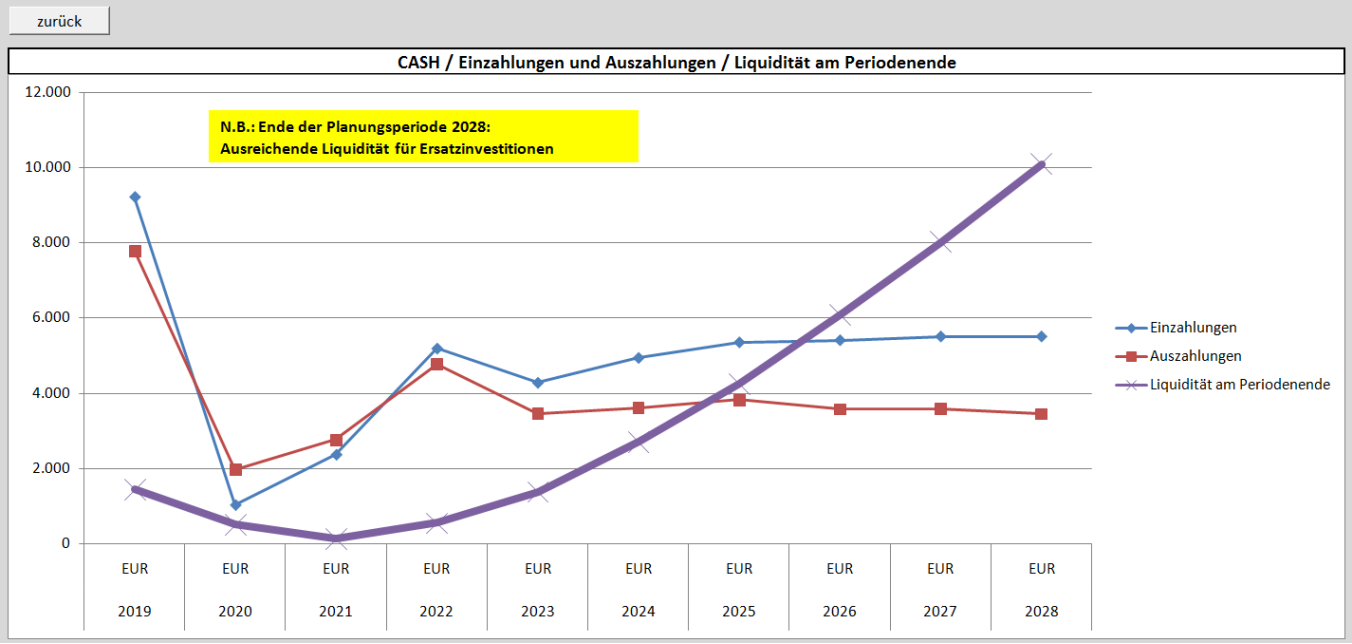


Abbildung 79 - Liquiditätsentwicklung

Wesentliche Ergebnisse sind zum einen, dass jeweils ausreichend Liquidität vorhanden ist. Dabei sinkt die Cash-Kurve in 2021 auf ihren – weiterhin jedoch positiven – tiefsten Punkt. Sollten in diesem Jahr durch Verschiebungen bei den Einzahlungen oder zusätzliche ungeplante Kosten/Auszahlungen auftreten, so würde dann der Kontokorrentrahmen in Anspruch zu nehmen sein.

Zum anderen wird am Ende des Planungszeitraums ein Cash-Bestand in Höhe von gut 10 Mio. EUR erreicht. Dieser Wert ermöglicht nachfolgend die sukzessive erforderlichen Reinvestitionen in neue Anlagen- und Schiffstechnik.

Da wir davon ausgehen, dass die tatsächliche Nutzungsdauer der Investitionsgüter ca. 30 % höher liegt als die zugrunde gelegten Afa-Zeiträume, entstehen auch in diesem Bereich weitere finanzielle Reserven.

3.8.8. Exkurs: Integration der Verölungstechnologie

Diese Studie ist eine Machbarkeitsstudie. Insofern muss das Hauptaugenmerk auf der Prüfung vorhandener anlagentechnischer Systeme und maritimer Systeme auf ihre Tauglichkeit im Hinblick auf den beschriebenen Einsatzzweck eines Prozessschiffes bzw. einer Maritimen Müllabfuhr liegen.

Die Verölung bzw. Waste-to-Fuel-Technologien von Kunststofffraktionen gilt als "Krönung" der stofflichen Verwertung und ist insoweit auch für das Projekt der Maritimen Müllabfuhr wesentlicher zukünftiger Bestandteil. Die Technologie ist nicht neu und hat bereits einen Reifegrad, der es erlaubt, Pilot- und Versuchsanlagen zu betreiben.

Große Player wie BASF (Projekt: ChemCycling) und OMV (Projekt: Re Oil) beschäftigen sich mit der Entwicklung industrietauglicher Anlagen, aber auch Start-Ups und Projektgesellschaften versuchen, Marktfähigkeit und Prozesssicherheit zu erreichen.

Jüngst hat das Umweltbundesamt in 2018 mit der umfassenden Studie „Evaluation neuer Entwicklungen bei alternativen thermischen Abfallbehandlungsanlagen mit dem Schwerpunkt Verölungsverfahren“ beispielhaft durch die Beschreibung der zwei Pilotprojekte Dieselwest und Logoil den Stand der Technik und die bisher ungelösten Aufgaben veröffentlicht. Offene Fragen bestehen nach Ansicht des UBA insbesondere noch zu folgenden Punkten:

- Ausbeuten
- Massen- und Energiebilanzen
- Aufbereitung des Einsatzstoffes
- Nachbehandlungs- bzw. Raffinerie-Prozess hinsichtlich des Produktöls, um in Motoren eingesetzt werden zu können
- Unklare Reaktionsgeschwindigkeiten bei der Umwandlung der Einsatzstoffe führen zu offenen Fragen bei Skalierbarkeit der Technik
- Einfluss von Katalysatoren
- Verbleib der Schadstoffe wie Chlor, Schwermetalle, Schwefel
- Investitions- und Instandhaltungsaufwendungen
- Wirtschaftlichkeit der Anlagen

Alle bisherigen – auch durchaus erfolgreichen – Verölungsversuche zeigten, dass insbesondere im Labormaßstab und insbesondere bei Zuführung hochreinen PP- und PE-Materials heizölähnliche Destillate erzeugbar sind. So auch der weltweit erste erfolgreiche Verölungstest von Meeresplastik bei dem Dresdner Entwickler BIOFABRIK durch OEOO.

Wesentlich ist in diesem Zusammenhang, dass eine Übertragung auf großtechnische Aggregate bisher nicht erfolgreich war und ein Dauerbetrieb der Anlagen aufgrund fehlender technischer Verfügbarkeit und Störungsanfälligkeit ebenfalls noch nicht nachgewiesen werden konnte.

Aufgrund der seit Jahren niedrigen Ölpreise ist der Entwicklungsdruck bei dieser Technologie sicherlich nicht besonders hoch. Aber mittel- und langfristig wird durch die Verknappung der fossilen Brennstoffe das Preisgefüge steigen, so dass die Rückverölung von Kunststoffen zunehmend auch ökonomisch interessant werden wird.

Die beschriebene aktuelle Situation hinsichtlich der Waste-To-Fuel-Technologie legt nahe, dass sie im Rahmen dieser Studie nicht als verfügbar, bepreisbar und parametrisierbar in das Modell eingebaut werden darf. Dies insbesondere deshalb nicht, weil ansonsten die Gesamtaussagen dieser Machbarkeitsstudie berechtigterweise in Zweifel zu ziehen wären. Zudem ist die (aktuelle) Nichtverfügbarkeit der Verölungsanlagen für das Gesamtsystem der Maritimen Müllabfuhr in keiner Weise ein sogenannter Show-Stopper, denn mit der Herstellung marktfähiger Meeresplastik-Ballenware steht eine gute Alternative im stofflichen Recycling zur Verfügung.

Das primäre Ziel der Maritimen Müllabfuhr – die Reinigung der Meere - ist unabhängig von der Verwertungsmethodik. Ein möglichst hochwertiges Recycling bei einer möglichst guten System-Ökobilanz sind jedoch wesentliche Nebenziele.

Insoweit wird vorstehend das System ohne Verölung als heute realisierbare Variante der Maritimen Müllabfuhr vorgestellt und über den 10-Jahreszeitraum modelliert.

Dennoch gehen wir davon aus, dass es gelingt, in den nächsten 2 Jahren eine WTF-Pilotanlage zu installieren und in etwa 5 Jahren über industrietaugliche Großanlagentechnik zu verfügen.

Bei Einarbeitung von heute verfügbaren Plandaten zur Verölungstechnik würde sich das vorgestellte Business-Modell positiv verändern.

Die Veränderungen im Hinblick auf die Gewinn- und Verlustrechnung werden anhand der nachfolgenden Tabelle gezeigt. Dabei wird davon ausgegangen, dass ab 2024 industrietaugliche, hochverfügbare Aggregate eingesetzt werden und die PP- und PE-Meeresmüll-Fraktionen ab diesem Zeitpunkt verölt und nicht weiter in sortenreine Ballenware gepresst werden.

Die Investitionskosten für die Anlagentechnik mit der Kapazität von 10.000 t (2 Linien à 5.000 t) p.a. wird auf 7,1 Mio. EUR geschätzt. Die Ölerzeugung wird mit einer Ausbeute von 80 % angenommen und der Verkaufspreis je Tonne Öl-Destillat mit EUR 580 geplant.

Nach Ermittlung der jeweils jährlichen Zusatzkosten durch die Verölungstechnik und den Zusatzumsätzen aus dem Verkauf der Öl-Destillate ergeben sich zusätzliche Ergebnisse von bis zu knapp TEUR 400 in 2028.

Damit erscheint - unter den dargestellten Annahmen - ein späterer Wechsel zur Verölungstechnologie auch ökonomisch vorteilhaft.

Tabelle 38: Draft: Plan-Ergebnisveränderung durch Verölungstechnik ab 2024

zurück

Kosten Verölungstechnik* / marktreife, industrietaugliche Ausrüstungen ab 2024 geplant / Kapazität je Linie und Jahr: 5.000 t					
Jahr	**2024***	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**
TEUR	**TEUR**	**TEUR**	**TEUR**	**TEUR**	**TEUR**
Einsatz Meeresmüll (PP/PE in t)	**8.163**	**8.863**	**9.329**	**9.329**	**9.329**
Output Öl/Destillat (in t)**	**6.531**	**7.090**	**7.464**	**7.464**	**7.464**
Investitionskosten	**7.100**	**0**	**0**	**0**	**0**
Energie***	0	0	0	0	0
Personalkosten für Betrieb (8 Blu Collar)	96	101	101	101	101
Techniker Wartung/Steuerung (1 Overhead)	17	18	18	18	18
Abschreibungen (10 Jahre)	710	710	710	710	710
Zinskosten (6,0% auf Finanzierungsanteil von 40%)****	170	153	136	119	102
Sonstige Kosten für Katalysatoren, Wartung, Reparaturen, Entsorgung Reststoffe	30	35	40	40	40
Zusätzliche Kosten Verölung	**1.023**	**1.017**	**1.005**	**988**	**971**
Umsätze aus Verkauf Öl-Destillat*****	3.788	4.112	4.329	4.329	4.329
Fehlende Umsätze Ballenware PE, PP	2.603	2.826	2.975	2.975	2.975
Zusätzliche Umsätze Verölung	**1.184**	**1.286**	**1.354**	**1.354**	**1.354**
Zusätzliches Ergebnis EBT	**161**	**269**	**349**	**366**	**383**
EBT / Gewinn vor Ertragsteuern bei Transfer 2024 von PE-PP-Ballenverkauf auf Verölungsprodukte	**750**	**1.072**	**1.501**	**1.670**	**1.729**

* Investitionskosten Linie 1 (TEUR)	5.300	(inkl. Engineering, F&E, Infrastruktur)
Investitionskosten Erweiterungslinie 2 (TEUR)	1.800	
**Ausbeute	80%	

***Keine zusätzlichen Kosten: Gesamt-Anlagen-Energieverbrauch wird gespeist aus der bei der Verölung entstehenden Gasoline-Leichtfraktion / ca. 17% vom PE, PP-Einsatz

****Investitionszuschuß 30% und Eigenmittel 30%; Laufzeit 10 Jahre; Annahme: Liquidität für Kapitaldienst ist ab 2024 ausreichend vorhanden.

*****Verkaufspreis Öl-Destillat (EUR/t)	580

Die entsprechende Ergebnisveränderung (ab 2024) bei Einpreisung des Verölungs-Szenarios zeigt das folgende Schaubild:

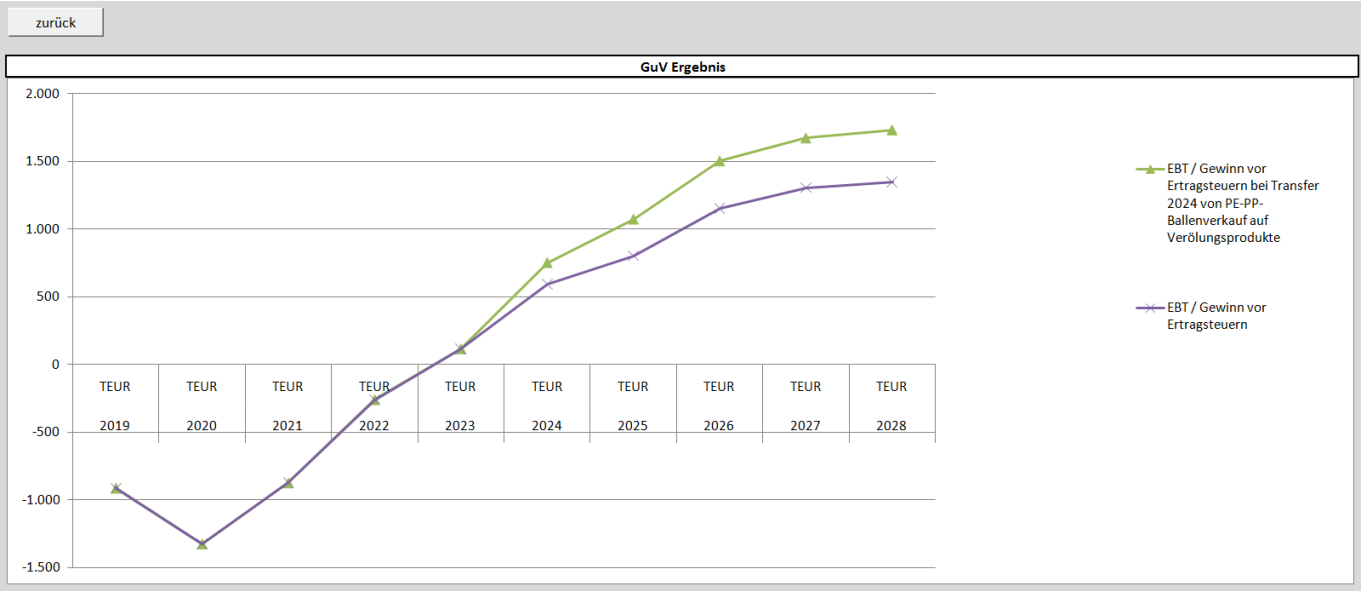


Abbildung 80 - Plan-Ergebnisentwicklung bei Einsatz von Verölungstechnik

Fazit

Es ist davon auszugehen, dass es nicht nur aufgrund makroökonomischer Überlegungen sinnvoll ist, mit den beschriebenen maritimen Reinigungsaktivitäten zu beginnen, sondern sogar betriebswirtschaftlich ein attraktives Business-Modell entsteht. Aufgrund der noch bestehenden Unsicherheiten insbesondere bei der Abbildung der Leistungsseite ist jedoch heute kein exakter Zeitpunkt für die Profitabilität des Pilotsystems festlegbar. Unsere Analysen zeigen jedoch, dass bei Erreichen der geplanten Mengen spätestens in mittelfristiger Perspektive (bis zu 5 Jahren) positive Ergebnisse realisierbar sind.

Damit werden die Aktivitäten der Maritimen Müllabfuhr für Unternehmen mit Kernkompetenzen im maritimen und/oder Recycling-Sektor interessant, zumal die Erfahrungen des Pilotsystems in die "Blaupausen" einfließen können und auch weitere Ergebnistreiber wie Skalierung und Automatisierung des Sortierbetriebs bei zukünftigen SeeElefant-Systemen realisierbar sind.

4. Analyse der Risiken und Risikosteuerung

Die technischen, genehmigungsrechtlichen und wirtschaftlichen Risiken halten wir für grundsätzlich steuerbar und beherrschbar. Kein einzelnes Risiko kann sich zum sogenannten "Show-Stopper" entwickeln.

4.1. Technische Risiken

Im technischen Bereich greift das Pilotsystem auf Ausrüstungen, Maschinen und Anlagen zurück, deren Hochverfügbarkeit einzeln und im gewählten Systemverbund in der Recyclingindustrie seit Jahren nachgewiesen ist. Insoweit liegt für den gewählten Maschinenverbund bereits ein Pre-Proof of Concept vor.

Eine seewasserfeste Ausführung der grundsätzlich für den Landbetrieb konzipierten Anlagen, die den Anforderungen an einen Offshore-Betrieb gerecht wird, kann durch die Auswahl geeigneter Materialien - z.B. V4A und auch geeignete Beschichtungen/Anstriche sichergestellt werden.

Die Funktionalität des Anlagenbetriebs auf See wird sichergestellt, indem lediglich im küstennahen Glattwasser operiert wird. Ähnlich anderen Offshore-Aktivitäten ist der Betrieb ab einer Wellenhöhe > 1 m einzustellen. Durch die Begrenzung der Betriebstage auf 320 p.a. haben wir dieser Situation Rechnung getragen.

Die Verbauung der Maschinen-Aggregate in Containerrahmen ist für die ausgewählten Anlagen nicht unüblich. Bei der Auswahl der Anlagen wurden jeweils originär-containerbasierte Systeme bevorzugt. Schwierigkeiten sind nicht zu erwarten, zumal für das in der ersten Ausbaustufe auf 15 Tonnen Meeresplastik ausgelegte Pilotsystem mit gut 1.500 m² auf 3 Decks erhebliche Installationsfläche zur Verfügung steht.

Der Transfer dieser Anlagentechnik auf das Prozessschiff und der Betrieb in dem zum Arbeitsraum umfunktionierten Laderaum wurde mit der Genehmigungsbehörde Deutsche Flagge, Hamburg, abgestimmt. Grundsätzlich gibt es hinsichtlich des Beispiel-Mehrzweckfrachters MS Forester keine genehmigungsrechtlichen Bedenken. Anpassungen müssen allerdings in den beschriebenen Bereichen wie Arbeitsschutz, Arbeitssicherheit, Brandschutz und Sanitärausstattung vorgenommen und eng mit der Deutschen Flagge und der Klassifikationsgesellschaft abgestimmt werden.
Da sich die Anlagentechnik sich unter Deck befindet, sind bei diesen Anpassungsarbeiten auch Durchbrüche und Veränderungen im Bereich der Lukendeckel nötig und möglich. Hier ist lediglich auf

Wetterdichtigkeit zu achten, nicht auf Wasserdichtigkeit. Eine sog. "Major Conversion", die aufwändige und langwierige Genehmigungsthemen nach sich ziehen würde, wird in den geplanten Umbaumaßnahmen nicht gesehen.

Für das Absammeln des maritimen Mülls in den küstennahen Hotspots vor Megacities und Flussmündungen stehen im Grundsatz erprobte Sammeltechniken zur Verfügung: Die Müll-Sammelkatamarane der Typen SeeKuh und SeeHamster sind seit Jahren im operativen Einsatz. Im Meilenstein 5 der Roadmap zum Projekt werden mittels Fangversuchen die entsprechend produktivsten Settings für die Schiffe getestet und ausgewählt: Mit der Netztechnik, der Förderbandtechnik und der Rampentechnik stehen unterschiedliche Müll-Sammelausrüstungen für die Katamarane bereit.

Zudem kann ergänzend mit Hilfe von Arbeitsbooten und lokalen Fischereifahrzeugen, die jeweils mit Spezial-Zugnetzen auszurüsten sind, gearbeitet werden, um die Fangmengen zu steigern.
Angesichts der unterschiedlichen Sammeltechniken und der sorgfältigen Auswahl der Hotspots ist das erkennbare Risikopotenzial gering.

Das Thema der Satellitenortung von Verschmutzungs-Hotspots stellt ebenfalls kein kritisches Projektrisiko dar. Bei entsprechenden Entwicklungsverzögerungen im Bereich des Meilensteins 8 können die zu reinigenden Küsten- und Flussmündungsareale auch durch entsprechende Begutachtung vor Ort ausgewählt werden. Diese vor-Ort-Sichtung und Prüfung ist in Verbindung mit Drohnenflügen zur "Aufklärung" zu Beginn der Aktivitäten – also insbesondere für den Einsatz des Pilotsystems – ohnehin unerlässlich, um Informationen und Erfahrungen zu sammeln.

Wie bereits dargestellt, gibt es noch keine prozesssicheren Verölungsanlagen am Markt. Verschiedene Pilotsysteme versuchen, die Serienreife zu erlangen. Stand heute muss jedoch konstatiert werden, dass die Industrietauglichkeit dieser vielversprechenden rohstofflichen Recyclingvariante noch nicht vorliegt und insoweit auch nicht im Rahmen dieser Studie konkret geplant werden kann.
Die heutige Nichtverfügbarkeit geeigneter Verölungsanlagen ist nicht als Risiko zu klassifizieren, da das Pilotsystem SeeElefant mit der Ballierung des sortierten Meeresplastiks ebenfalls das Reinigungsziel unter betriebswirtschaftlichen Aspekten abbilden kann.

4.2. Genehmigungsrechtliche Risiken

Hinsichtlich der möglichen genehmigungsrechtlichen Risiken haben die o.g. Vorgespräche mit der Deutschen Flagge insoweit Sicherheit gebracht, als das der durchzuführende Umbau eines Mehrzweckfrachters wie der MS Forester nicht als "Major Conversion" betrachtet werden wird. Insofern werden lediglich einzelne Dokumente und Prüfzeugnisse nach dem Umbau neu zu erstellen sein und die Kosten vertretbar bleiben.

Genehmigungsrechtliche Risiken, die nicht im Rahmen dieser Studie abprüfbar waren, beziehen sich auf den späteren Einsatzort des Pilotsystems. Wir haben dargestellt, dass das System an Hotspots südostasiatischen Küstengewässer und Flussmündungen operieren soll.

Dabei befindet sich das System jeweils im Bereich der 12-Seemeilen-Zone – also in den Hoheitsgewässern des einzelnen Küstenstaates, so dass jeweils nationales Recht zur Anwendung kommt.

In der 200-Seemeilen-Zone, der sog. AWZ (Ausschließliche Wirtschaftszone) haben die Staaten lediglich die Hoheit über die natürlichen Ressourcen; nach Ansicht von E. van Doorn, Walter-Schücking-Institut für Internationales Recht der Universität Kiel, gehört Plastikmüll nicht zu den natürlichen Ressourcen.

So sind in jedem Fall bei der Festlegung des Operationsgebietes intensive Abstimmungen und Abkommen mit den jeweiligen Regional- und Landesregierungen vorzunehmen und abzuschließen, um eine klare Rechtsgrundlage für die Sammlung und Verwertung des Meeresmülls herbeizuführen.

Relevant ist für die Aufgabenstellung der Maritimen Müllabfuhr das See-Völkerrecht. Das Walter-Schücking-Institut hat zugesagt, bei Auswahl des Operationsgebietes mit internationalen Kontakten und eigener Expertise zu helfen, um die nötige Rechtssicherheit herzustellen.

Aufgrund der vielfältigen potenziellen Operationsgebiete resp. betroffener Staaten halten wir das Risiko, keinen geeigneten Einsatzort zu finden, für gering; zumal klare, argumentierbare und schnell sichtbare ökonomische Vorteile für die Anrainerstaaten entstehen: Die lokalen Strände sollten unmittelbar sauberer werden und auf diese Weise zusätzliches touristisches Potenzial erschließen.

4.3. Wirtschaftliche Risiken

Alle Veränderungen in den Annahmen und Plandaten haben Auswirkungen auf die Gewinn- und Verlustrechnung sowie die Cash-Planung.
Negative Abweichungen von der Planung führen zu einem später erreichten Break-Even; insoweit würde sich die Attraktivität der SE-Systeme für private Betreiber weiter in die Zukunft verschieben.

Aufgrund der jedoch heute schon recht präzise prognostizierbaren in Zukunft deutlich ansteigenden maritimen Müllmengen und der hohen Sensitivität des Business-Modells auf Mengenveränderungen, halten wir die mengenbezogenen Kompensationsmöglichkeiten über die Skalierung und Automatisierung der Systeme für geeignet, um negative Abweichungen aus dem Kostenbereich und/oder Leistungsbereich auszugleichen.
Auf lange Sicht greift aufgrund der Verknappung der natürlichen fossilen Ressourcen der Preismechanismus mit Teuerungen. Gleichzeitig wird der Sekundärrohstoff aus Meeresplastik damit attraktiver und ebenfalls wertvoller.

Diese Preisentwicklung wird den Betrieb einer Maritimen Müllabfuhr befördern und betriebswirtschaftlich attraktiver machen als heute. Wir glauben, dass der Zeitpunkt zum Einstieg in diesen Markt für Unternehmen mit Weitblick bereits jetzt lohnend sein wird.

4.4. Risikosteuerung

Zur Risikosteuerung wird ein Risikomanagement-System aufgebaut. Einzelne Risiken und kritische Systemrisiken werden im Vorfeld mit möglichen Auswirkungen erfasst, beschrieben und möglichst quantifiziert.

Über das Controlling werden auf Monatsbasis heruntergebrochene – insbesondere negative – Abweichungen zu den Plangrößen schnell erkannt.

Risikomanagement und Controlling ermöglichen damit bei der Projektumsetzung ein unmittelbares Gegensteuern sowie Eingriffsmöglichkeiten bei entstehenden Abweichungen. Eine insoweit professionelle Organisation wie die beschriebene Projektgesellschaft minimiert durch die Antizipation möglicher Probleme finanzielle Schäden.

5. Ökologische Aspekte

Ziel der Maritimen Müllabfuhr von One Earth – One Ocean muss sein, eine nachhaltige und positive Ökobilanz zu erreichen. Einfach gesprochen müssen also die positiven Effekte des Betriebs einer Maritimen Müllabfuhr auf Natur und Umwelt die negativen (Neben)-Effekte überwiegen. Im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie kann keine umfassende Ökobilanz erstellt werden. Dennoch quantifizieren wir nachfolgend wesentliche ökologische Effekte.

5.1. Vergleich ökologisch wesentlicher Effekte

Im Rahmen dieses Abschnitts vergleichen wir anhand des Beispieljahres 2021 mit den täglichen Meeresplastik-Sammel- und Sortiermengen in Höhe von 15 Tonnen die Situationen "Betrieb Pilotsystem" mit "Status Quo".

Dabei fokussieren wir auf die Parameter

- Rohstoffverbrauch
- Energieverbrauch

Zur Vereinfachung abstrahieren wir hinsichtlich der o.g. Parameter auf die Auswirkungen durch den Bau der benötigten Müllsammelschiffe und Anlagen. Wir halten diesen Schritt für vertretbar, da es sich um langlebige Investitionsgüter handelt.

Die folgende Tabelle zeigt überschlägig die Ergebnisse des Vergleichs hinsichtlich der gewählten Parameter (Erläuterungen zur Rechnung siehe Anhang 13).

Tabelle 39: Vergleich ökologisch wesentlicher Effekte

Vergleich ökologisch wesentlicher Effekte				
Die "Bilanzierung" erfolgt als Vergleich der beiden Situationen: Variante 1: Status Quo / Ohne OEOO-Pilotsystem Maritime Müllabfuhr Variante 2: Mit OEOO-Pilotsystem Maritime Müllabfuhr: Reinigungsleistung 15 t/Tag; 4.265 t/a Meeresplastik-Ballenware				
Betrachtete Parameter	**Erläuterung (Beispiel PE)**	**Variante 1 Status Quo**	**Variante 2 Betrieb MM Pilotsystem**	**Ergebnis**
Rohstoffeinsatz	Rohöl für Herstellung von 4265 t Kunststoff** (in t)	8.160	0	
	Treibstoff für SeeElefant-Hauptmaschine (in t)	nicht relevant	57	
	Hotel- und Kranbetrieb; ohne Hauptmaschine) als Differenz zwischen Gesamtbedarf und Gesamterzeugung / Erzeugung über Schiffsgeneratoren (in t)	nicht relevant	203	
	SUMME	8.160	260	7.900
Energieeinsatz	Benötigte Energie für Herstellung von 4265 t Kunststoff (in MWh)	82.000	49.200	32.800

Im Ergebnis bleibt festzuhalten, dass pro Jahr durch den Betrieb des Pilotsystems und der einhergehenden Bereitstellung von 4265 t Kunststoff-Sekundärrohstoff knapp 8000 Tonnen Rohöl eingespart werden können. Zusätzlich wird Energie in Höhe von knapp 33.000 MWh eingespart durch eine potenzielle Herstellung neuer Kunststoffprodukte aus dem Meeresplastik.

Diese erhebliche Energieeinsparung ist unmittelbar mit einer signifikanten Reduzierung von CO2 verbunden.

5.2. Negative externe Effekte: Tierischer Beifang

Beim Sammelvorgang von Meeresmüll können Tiere mit aufgenommen und dadurch verletzt oder sogar getötet werden. Der tierische Beifang ist unbedingt zu vermeiden, da er sich sehr negativ auf eine Ökobilanz auswirkt. Erklärtes Ziel der Maritimen Müllabfuhr ist es, durch die Entfernung von Plastikmüll aus dem Meer, langfristig auch die Meeresbewohner und die Artenvielfalt zu erhalten. Wenn jedoch gleichzeitig durch die Entfernung von Plastikmüll auch Meeresbewohner getötet werden, ist der Erfolg des Projektes eingeschränkt oder sogar fragwürdig.

Die Meeresmüll-Sammeltechniken der Maritimen Müllanfuhr von OEOO, die im Abschnitt 3.2 beschrieben werden, wurden daher unter strikter Berücksichtigung der Minimierung von tierischem Beifang entwickelt.

5.3. Positive externe Effekte durch den Einsatz einer Maritimen Müllabfuhr

Neben den vorgestellten, oben berechneten positiven Primäreffekten in Form eines verminderten Rohstoff- und Energieverbrauchs, sowie deutlich niedrigerer CO2-Emissionen zieht der Betrieb der Maritimen Müllabfuhr eine Reihe weiterer, positiver Auswirkungen nach sich, die sich jedoch teilweise nicht mit konkreten Werten beschreiben lassen. Dennoch seien einige von ihnen hier aufgeführt.

5.3.1. Verminderung des maritimen Plastikeintrages - positive Umweltwirkungen

Durch den Einsatz der Maritimen Müllabfuhr wird der Plastikeintrag in die Meere vermindert. Gelangt weniger Plastikmüll ins Meer, wird auch die Entstehung von sekundären Mikroplastik verringert. Weniger Plastikeintrag heißt auch, dass weniger Gefahr durch Plastikmüll im Meer für die Meerestiere besteht und dadurch ein Beitrag zum Tierschutz und der Artenerhaltung geleistet wird.

Schwimmt weniger Plastik in unseren Meeren, ist auch die Gefahr geringer, dass Meerestiere diesen fressen und somit Kunststoff in die Nahrungskette gelangt. Dadurch wird nicht zuletzt auch der Mensch vor den noch nicht absehbaren negativen Auswirkungen von Mikroplastik auf die Gesundheit geschützt.

5.3.2. Erhöhung des touristischen Potenzials und geringere Strandreinigungskosten

Für viele potenzielle Einsatzgebiete der Maritimen Müllabfuhr ist der Tourismus eine der Haupteinnahmequellen. Vermüllte Flüsse, Strände, Küsten- und Tauchgebiete etc. schaden dem touristischen Potenzial und sorgen für signifikant weniger Einnahmen in diesem Sektor. Um dem Wegbleiben der Touristen entgegenzuwirken, werden beliebte Touristenstrände und Küstengebiete aufwendig und mit hohem finanziellen Aufwand oberflächlich gesäubert.

Durch den Einsatz der Maritimen Müllabfuhr werden die Flüsse, Strände, Küsten- und Tauchgebiete nachhaltig sauberer, wodurch das touristische Potenzial steigt und die Reinigungskosten für Strände und Küstengebiete sinken werden.

5.3.3. Schaffung von lokalen Arbeitsplätzen

Mit dem Betrieb der Maritimen Müllabfuhr entstehen lokale Arbeitsplätze. Nicht nur direkt in Folge des Sammel- und Sortierbetriebs der SE-Systeme, sondern insbesondere bei einem induzierten Aufbau und Wachstum einer lokalen Recyclingwirtschaft mit entsprechenden Wertstoffkreisläufen.

5.3.4. Gesteigertes Umweltbewusstsein

Ein gestärktes Bewusstsein für die Vermüllung der Meere führt zu mehr Achtsamkeit im Umgang mit Ressourcen im Allgemeinen und Plastik im Besonderen. Viele Menschen können zudem für umweltgerechte Technik begeistert werden, wenn der Beweis erbracht werden kann, dass negative bzw. sogar schon katastrophale Zustände umgekehrt werden können.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Die drei Säulen von One Earth – One Ocean e.V. 19
Abbildung 2 - Projekte von OEOO 20
Abbildung 3 - Die Schiffstypen der Maritimen Müllabfuhr 22
Abbildung 4 - Organigramm von OEOO 23
Abbildung 5 - Herkunft und Eintragsquellen von Plastik im Meer nach EUNOMIA (8) 25
Abbildung 6 - Auswirkungen von Makro- und Mikroplastik (5) 26
Abbildung 7 - Die drei Lokalisationsformen von Meeresplastik-Hotspots 29
Abbildung 8 - Karte der weltweiten Plastikeinträge über die Flüsse (16) 30
Abbildung 9 - Karte der weltweiten Plastikeinträge über die Küstengebiete (3) 31
Abbildung 10 - Geografische Lage der bekannten weltweit größten Müllstrudel (62) 33
Abbildung 11 - Abbauzeiten von Meeresmüll (19) 36
Abbildung 12 - Zusammensetzung des Meeresmülls in verschiedenen Zonen (4) 37
Abbildung 13 - Dichtebedingte Verteilung verschiedener Plastikarten in der Wassersäule (13) 41
Abbildung 14 - Vergleich der Schlagzähigkeit von unbewitterten und freibewitterten Kunststoffen .. 43
Abbildung 15 - Bruchspannung- und Dehnung in Abhängigkeit der Bewitterungsmonate 44
Abbildung 16 - Maritimer Bewuchs an Meereskunststoffen 45
Abbildung 17 - Saisonale Abhängigkeit zwischen dem Plastikeintrag und der Jahreszeit (16) 46
Abbildung 18 - Prognostizierte kumulierte Summe von Plastikmüll im Meer (3) 48
Abbildung 19 - Das Konzept der Maritimen Müllabfuhr von OEOO 50
Abbildung 20 - Das Pilotsystem von The Ocean Cleanup 53
Abbildung 21 - Funktionsweise von The Ocean Cleanup 53
Abbildung 22 - Cleanup-Aktionen von 4Ocean 55
Abbildung 23 - Funktionsweise des Trash Wheels 56
Abbildung 24 - Hotspot am Fluss Citarum River, Jakarta 59
Abbildung 25 - Das Müllsammelboot "SeeHamster" beim Einsatz in einem Fluss 63
Abbildung 26 - Das Müllsammelschiff "SeeKuh" im Einsatz vor Hong Kong (2018) 64
Abbildung 27 - Umbaukonzept: SeeKuh mit Förderbandtechnik 65
Abbildung 28 - Konzept der SeeKuh 2.0 66
Abbildung 29 - Motorboote ziehen "passive" SeeKuh 2.0 67
Abbildung 30 - SeeKuh 2.0 als stationäres Sammelsystem 68
Abbildung 31 - Fluchtmöglichkeiten von Meerestieren 69
Abbildung 32 - Typischer Aufbau einer Schwimmbarriere 70
Abbildung 33 - Anwendung der Schwimmbarriere bei Ölbekämpfung 70
Abbildung 34 - Stoffstromdiagramm Pilotsystem 73
Abbildung 35 - Anlagentechnik des Pilotsystems (Isometrische Ansicht) 74
Abbildung 36 - Big-Bag-Annahme, Aufgabe des Meeresmülls, Sonderbereich 75
Abbildung 37 - Meeresmüllvorrat für die 2. Schicht 76
Abbildung 38 - Manuelle Sortierstrecke 77
Abbildung 39 - Einbauweise von Perforator und Schredder im Containerraster 79
Abbildung 40 - Perforator - PF 1200-4 der HSM GmbH + Co. KG 80
Abbildung 41 - Schredder - Vecoplan AG V-ECO 1300 81
Abbildung 43 - Nah-Infrarot Sortiermaschine 82

Abbildung 42 - Das Prinzip einer NIR-Sortiermaschine 82
Abbildung 44 - NIR-System: Autosort,Tomra Systems GmbH 83
Abbildung 45 - Ballen/Brikettierpresse 84
Abbildung 46 - Beispielhafte Brikettiermaschine von HSM GmbH + Co. KG 85
Abbildung 47 - Beispielhafte Ballenpresse von HSM GmbH + Co. KG 86
Abbildung 48 - Anlagentechnik des Pilotsystems (Vorderansicht) 87
Abbildung 49 - Containerraster mit Anwendungsbeispiel 88
Abbildung 50 - Container mit Europaletten und Plastikdeklarierung 89
Abbildung 51 - Thermische Anlage, Professor Dr. Berg & Kießling GmbH 90
Abbildung 52 - Einbau der thermischen Anlage auf einem Beispielschiff 91
Abbildung 53 - Geeignete Schiffstypen für den SeeElefanten 95
Abbildung 54 - Beispielschiff des mobilen SeeElefanten: MS Forester 97
Abbildung 55 - Laderaum und Brücke der MS-Cellus 98
Abbildung 56 - Mobiler SeeElefant (Isometrische Ansicht) 99
Abbildung 57 - Mobiler SeeElefant (Seitenansicht, Draufsicht) 100
Abbildung 58 - Mobiler SeeElefant (Transparente Ansicht) 101
Abbildung 59 - Mobiler SeeElefant (Decksstruktur und Laderaum) 102
Abbildung 60 - Hängige Personenkorb-Systeme im Offshore-Sektor 104
Abbildung 61 - Personenkorb FROG-XT6 von Reflex Marine Ltd 105
Abbildung 62 - Betriebskonzept des Maritimen Müllabfuhr - Realdarstellung 107
Abbildung 63 - Betriebskonzept der Maritimen Müllabfuhr - schematisch 108
Abbildung 64 - Energie-Versorgungssystem 115
Abbildung 65 - Beispiel eines einfachen Pontons 118
Abbildung 66 - stationäre Version des SeeElefanten als Schwimmponton (Isometrische Ansicht) ... 119
Abbildung 67 - stationäre Version des SE als Schwimmponton (Seitenansicht, Draufsicht) 120
Abbildung 68 - Beispiel einer einfachen Gangway 121
Abbildung 69 - Stoffstromdiagramm der geplanten Ausbaustufe des SeeElefanten 124
Abbildung 70 - Einteilung der Meereszonen in Abhängigkeit zum Abstand zur Küste (43) 131
Abbildung 71 - Projektorganisation, Beispiel 143
Abbildung 72 - Bedienoberfläche Business Modell 149
Abbildung 73 - Kosten und Ergebnis je Tonne Meeresmüll 151
Abbildung 74 - EBITDA und Kapitaldienst 155
Abbildung 75 - Umsatzplanung 156
Abbildung 76 - GuV - ausgewählte Kostenarten 158
Abbildung 77 - Energiebedarf und Energieerzeugung / ohne Hauptmaschine 161
Abbildung 78 - Ergebnis Pilotsystem 163
Abbildung 79 - Liquiditätsentwicklung 165
Abbildung 80 - Plan-Ergebnisentwicklung bei Einsatz von Verölungstechnik 169

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Liste der Top 20 verschmutzenden Flüsse (16) 30
Tabelle 2: Liste der Top 20 Verschmutzer-Küstengebiete (3) 32
Tabelle 3: Konzentration, Art und Größe von Plastikteilen im GPGP (17) 34
Tabelle 4: Prozentuale Zusammensetzung des Meeresmülls an der Wasseroberfläche (4) 38
Tabelle 5: Potenzielle Meeresmüll-Zusammensetzung 39
Tabelle 6: Größen-Klassen und Anteile (17) 42
Tabelle 7: Sortiervorgaben 77
Tabelle 8: Ballengewichte und Lagerkapazität eines Containers 89
Tabelle 9: Energiebedarf der Anlagentechnik 92
Tabelle 10: Gewichtsbestimmung der Anlagentechnik 92
Tabelle 11: Investitionskosten der Anlagentechnik 93
Tabelle 12: Besatzungszeugnis der MS-Forester 103
Tabelle 13: Sicherheitsbewertung von Personenkorb-Systemen 104
Tabelle 14: Betriebsgrenzen der mobilen Maritimen Müllabfuhr 111
Tabelle 15: Massenstrom 112
Tabelle 16: Energiebedarf der Maritimen Müllabfuhr (ohne Hauptmaschine SeeElefant) 113
Tabelle 17: Energieerzeugung der Maritimen Müllabfuhr 114
Tabelle 18: Energiebilanz der mobilen Maritimen Müllabfuhr 114
Tabelle 19: Aufgegebene Projekte zur Verölungstechnik 127
Tabelle 20: Aktive Projekte zur Verölungstechnik 128
Tabelle 21: Technologie-Readiness-Level (TRL) gemäß Bundesministerium für Wirtschaft 130
Tabelle 22: Roadmap, Rahmenbedingungen 137
Tabelle 23: Roadmap, Vision und Meilensteine 1-11 138
Tabelle 24: Roadmap, Meilensteine 12-22 139
Tabelle 25: Kostenplan Meilenstein 5 142
Tabelle 26: Investitionen 153
Tabelle 27: Beispiel zu möglicher Finanzierung 154
Tabelle 28: Verarbeitungsmengen und Preise 157
Tabelle 29: Betriebskosten Müllsammelschiffe 159
Tabelle 30: Aufwendungen Sortieren und Pressen 159
Tabelle 31: Aufwendungen thermische Verwertung, Energieerzeugung 159
Tabelle 32: Abschreibungen 160
Tabelle 33: Energie und Treibstoff / ohne SE-Hauptmaschine 161
Tabelle 34: Betriebskosten Prozessschiff SeeElefant 162
Tabelle 35: Gewinn- und Verlustrechnung 163
Tabelle 36: Einzahlungen 164
Tabelle 37: Auszahlungen 164
Tabelle 38: Draft: Plan-Ergebnisveränderung durch Verölungstechnik ab 2024 168
Tabelle 39: Vergleich ökologisch wesentlicher Effekte 174

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
AWI	Alfred-Wegner-Institut
AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
DNV/GL	Det Norske Veritas / Germanischer Lloyd
EBS	Ersatzbrennstoff
EPS	Expandiertes Polystyrol
EPS	Expandiertes Polystyrol (Styropor)
FEU	Forty Foot Equivalent Unit (40 Fuß Container)
GPGP	Great pacific garbage patch
GuV	Gewinn-und-Verlust-Rechnung
HDPE	High Density Polyethylen
IKET	Institut für Kunststoff- und Entwicklungstechnik
LDPE	Low Density Polyethylen
MM	Maritime Müllabfuhr
MS	Motorschiff
OEOO	One Earth – One Ocean
PET	Polyethylenterephthalat
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PVC	Polyvinylchlorid
SE-System	SeeElefant-System
TEU	Twenty Foot Equivalent Unit (20 Fuß Container)
TRL	Technologie-Readiness-Level
UNEP	United Nations Environment Programme
WSI	Walther-Schücking-Institut für internationales Recht
WTE	Waste-To-Energy (Verbrennung)
WTF	Waste-To-Fuel (Verölung)

Literaturverzeichnis

1. **United Nations Environment Programme.** Valuing Plastic: The Business Case for Measuring, Managing and Disclosing Plastic Use in the Consumer Goods Industry. [Online] 2014. https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/16290/retrieve.

2. **Environmental Protection Department.** *Monitoring of Solid Waste in Hong Kong - Waste Statistics.* 2015.

3. **Jambeck, J.R., Geyer, R. und Wilcox, C.** Plastic waste inputs from land into the ocean. Marine Pollution. [Online] 2015. https://www.iswa.org/fileadmin/user_upload/Calendar_2011_03_AMERICANA/Science-2015-Jambeck-768-71__2_.pdf.

4. **Alfred-Wegner-Institut.** litterbase.awi.de. [Online] https://litterbase.awi.de/litter_graph#.

5. **biooekonomie.de.** biooekonomie.de. [Online] https://biooekonomie.de/studie-2017-plastikproduktion-und-verbrauch-weltweit.

6. **Röchling-Stiftung, Beyond Philantropy.** beyondphilanthropy.eu. [Online] 2019. https://de.beyondphilanthropy.eu/shared/ideas/publications/studies/Plastik/2019.01_Polyproblem_de.pdf.

7. **Frankfurter Allgemeine Zeitung.** Verbrauch von Plastiktüten in Deutschland geht zurück. [Online] 2018. https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/mehr-wirtschaft/verbrauch-von-plastiktueten-in-deutschland-geht-zurueck-15627196.html.

8. **Eunomia Research & Consulting Ltd.** Plastics in the Marine Environment. [Online] 2016. https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2016/06/Eunomia-Plastics-in-the-Marine-Environment-2016_06.pdf.

9. **Ellen Macarthur Foundation.** The new plastics economy – rethinking the future of plastics. [Online] 2016. http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf.

10. **Mouat, J., Lopez Lozano, R. and Bateson.** Economic Impacts of Marine Litter. [Online] 2010. http://www.kimointernational.org/wp/wp-content/uploads/2017/09/KIMO_Economic-Impacts-of-Marine-Litter.pdf.

11. **Ocean Conservancy.** https://oceanconservancy.org. [Online] 2017. https://oceanconservancy.org/blog/2018/06/27/2017-international-coastal-cleanup-results/.

12. **European Commission, Directorate General for Environment.** http://ec.europa.eu. [Online] http://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/index_en.htm.

13. **United Nations Environment Programme.** Marine Litter Vital Graphics. [Online] 2016. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9798/-Marine_litter_Vital_graphics-2016MarineLitterVG.pdf.pdf?isAllowed=y&sequence=3.

14. **Universität Wien.** www.meduniwien.ac.at. [Online] https://www.meduniwien.ac.at/web/ueber-uns/news/detailseite/2018/news-im-oktober-2018/erstmals-mikroplastik-im-menschen-nachgewiesen/.

15. **Werner Boote.** http://www.wernerboote.com. [Online] http://www.wernerboote.com/cms/wernerboote/index.php?idcatside=52.

16. **Lebreton, L., et al.** River plastic emissions to the world's oceans. [Online] 2017. https://www.nature.com/articles/ncomms15611.

17. **Lebreton, L. Slat, B. und Ferrari, F.** Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. [Online] 2018. https://www.nature.com/articles/s41598-018-22939-w.

18. **Fraunhofer Umsicht.** Fraunhofer Umsicht. *https://www.initiative-mikroplastik.de.* [Online] Januar 2019. https://www.initiative-mikroplastik.de/index.php/themen/zersetzungskinetik.

19. **World Ocean Review.** Living with the oceans. [Online] 2010. https://worldoceanreview.com/wor-1/.

20. **umweltbundesamt.** https://www.umweltbundesamt.de. [Online] 2015. [Zitat vom: 06. Dezember 2018.] https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/welche-abfallmengen-befinden-sich-in-den-meeren.

21. **Umweltbundesamt.** https://www.umweltbundesamt.de. *https://www.umweltbundesamt.de.* [Online] https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/meere/nutzung-belastungen/muell-im-meer.

22. **Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.** https://www.eskp.de. [Online] https://themenspezial.eskp.de/plastik-in-gewaessern/giftigkeit-und-verwitterung-im-meer/verwitterung/.

23. **The Ocean Clean Up.** www.theoceancleanup.com. [Online] 2018. [Zitat vom: 13. 09 2018.] https://www.theoceancleanup.com/.

24. **Tagesschau.** www.tagesschau.de. [Online] https://www.tagesschau.de/ausland/cleanup-aus-101.html.

25. **4Ocean.** www.4ocean.com. [Online] 2019. https://4ocean.com/pages/ocean-plastic-recovery.

26. **Baltimore Waterfront.** www.baltimorewaterfront.com. [Online] https://www.baltimorewaterfront.com/healthy-harbor/water-wheel/.

27. **RP Digital GmbH.** *https://rp-online.de.* [Online] 2018. https://rp-online.de/nrw/staedte/duesseldorf/buerger-koennen-schmutzecken-in-duesseldorf-jetzt-per-app-melden_aid-23379253.

28. **Conrad Electronic SE .** https://www.conrad.de. [Online] https://www.conrad.de/de/drohnen-vermessung-und-inspektion-f1839269.html.

29. **Earth System Knowledge Platform (ESKP).** https://themenspezial.eskp.de. [Online] 2018. https://themenspezial.eskp.de/plastik-in-gewaessern/beobachtung-aus-dem-all-und-im-labor/aus-dem-all/.

30. **DIE UMWELTBERATUNG.** www.umweltberatung.at. [Online] 2016. images.umweltberatung.at/htm/abfallumrechnungstabelle_wien.pdf.

31. **Thünen-Institut.** www.thuenen.de. [Online] https://www.thuenen.de/de/infothek/presse/pressearchiv/pressemitteilungen-2016/ultraschall-schuetzt-schweinswale-vor-stellnetzen/.

32. **HSM.** https://us.hsm.eu. [Online] Januar 2017. https://us.hsm.eu/medias/DE-HSM-PET-Entsorgungsloesungen.pdf?context=bWFzdGVyfHJvb3R8NjI1OTk1N3xhcHBsaWNhdGlvbi9wZGZ8aDgwL2hjMi84Nzk4NTI0OTY0ODk0LnBkZnxjMDQ3YzgzNDA3Mzk0OGY0ZjQ0YTZlNzcxOGRiZDRmMDdjOTAwMThkNzUxOGQ3Y2I1OWEwOTUxYTk0YWY3ZjU5.

33. **Vecoplan.** *https://vecoplan.com.* [Online] https://vecoplan.com/de/produkte/zerkleinern/ein-wellen-zerkleinerer/v-eco-900-1700/.

34. **TOMRA Sorting Systems.** https://www.tomra.com. [Online] https://www.tomra.com/-/media/.../product-sheet---autosort.ashx.

35. **Vecoplan AG.** vecoplan.com. [Online] 2017. https://vecoplan.com/fileadmin/pdf/Pressemitteilung/170809_Vecoplan_FB_Geisternetze.pdf.

36. **PROFESSOR DR. BERG & KIESSLING GMBH.** bergundkiessling.com. [Online] https://bergundkiessling.com/clinx-de/.

37. **Schiffslexikon.** https://www.schiffslexikon.com. [Online] https://www.schiffslexikon.com/multipurpose-carrier-38.html.

38. **Reederei Rörd Braren.** *Betrieb der MS-Forester.* Kiel : s.n., 2018.

39. **Reflex Marine Ltd.** https://www.reflexmarine.com. *https://www.reflexmarine.com.* [Online] https://www.reflexmarine.com/products/frog-xt-range/frog-xt-6.

40. **Hans-Joachim Wiegmann, Holger Steinbock, Alexander Dierichs.** *Genehmigungsfähigkeit SeeElefant.* Hamburg : Deutsche Flagge, 2018.

41. **Adidas AG.** www.adidas.de. [Online] https://www.adidas.de/parley.

42. **technikatlas.de.** www.technikatlas.de/~tb4/rohstofflich.htm. [Online] [Zitat vom: 10. Dezember 2018.] http://www.technikatlas.de/~tb4/rohstofflich.htm.

43. **Dr. Kirsten Schäfer, Dr. Emanuel Söding, Dr. Martina Zeller.** Das Internationale Seerecht. *World Ocean Review - ein potentes Regelwerk.* 2010.

44. **Doorn, Erich van.** *Rechtiliche Grundlagen des Betriebes einer Maritimen Müllabfuhr in Küstengebieten und Flussmündungen.* Kiel, 2018.

45. **Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrography.** www.bsh.de. [Online] https://www.bsh.de/DE/THEMEN/Schifffahrt/Schiffsausruestung_Marktueberwachung/International_Vorgaben/themaInternationale_Vorgaben_node.html.

46. **DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION.** *EU-Verordnung zur Festsetzung der Fangmöglichkeiten für 2018 für bestimmte Fischbestände.* 2018.

47. **One Earth-One Ocean e.V.** Der Verein - One Earth One Ocean. [Online] [Zitat vom: 13. 09 2018.] https://oneearth-oneocean.com/der-verein/.

48. **Waterfront Partnership of Baltimore.** TRASH WHEEL PROJECT. [Online] 2018. [Zitat vom: 13. 09 2018.] http://baltimorewaterfront.com/healthy-harbor/water-wheel/.

49. **Deutscher Tierschutzbund e.V.** Anmerkungen zur Meeresfischerei und ihren Alternativen aus. [Online] 2013. [Zitat vom: 14. 09 2018.] https://www.tierschutzbund.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Positionspapiere/Artenschutz/Meeresfischerei_aus_Tierschutzsicht.pdf.

50. **Brantner Österreich GmbH.** Sortierung. [Online] 2018. [Zitat vom: 14. 09 2018.] https://www.brantner.com/de/entsorgung/leistungen/sortierung.html.

51. **Deutsches Kunststoff Museum.** http://www.deutsches-kunststoff-museum.de. [Online] 2007.

52. **WWF.** www.wwf.de. [Online] https://www.wwf.de/themen-projekte/meere-kuesten/plastik/unsere-ozeane-versinken-im-plastikmuell/.

53. **NABU.** *www.nabu.de.* [Online] https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/meere/muellkippe-meer/muellkippemeer.html.

54. **Süddeutsche Zeitung.** www.sueddeutsche.de. [Online] https://www.sueddeutsche.de/gesundheit/mikroplastik-mensch-1.4181146.

55. **UNEP.** *Valuing Plastic - The Business Case for Measuring, Managing and Disclosing Plastic Use in theConsumer Goods Industry".* 2014.

56. **STEINERT GmbH.** https://steinertglobal.com. [Online] https://steinertglobal.com/fileadmin/user_upload/_steinert/_downloads/_magnete-sensorsortierer/_sensorsortierung/UniSort_PR/STE_UNI_PR_DE.pdf.

57. **Wissenschaftsjahr 2017.** *Meere und Ozeane.* s.l. : Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2017.

58. **Energiezukunft.eu.** https://www.energiezukunft.eu. [Online] https://www.energiezukunft.eu/umweltschutz/the-ocean-cleanup-startet-frueher-als-geplant-gn104747/.

59. **Hochschule Flensburg.** hs-flensburg.de. [Online] https://hs-flensburg.de/ct/Lehre/INU/Ökobilanz-Packstoffe-Plastik.pdf.

60. **Meyer-Bohe, Prof.** *Entwerfen von Schiffen.* Kiel : s.n., 2014.

61. **WDR.** www1.wdr.de. [Online] 2016. https://www1.wdr.de/wissen/technik/co2rechner/treibhausgase-viel-und-wenig-100.html.

62. **Cózar, A.** *Plastic debris in the open ocean.* 2014.

Anhangsverzeichnis

1. Anhang: Bandbreite jährlicher Eintrag und Bestands-Meeresmüll 186
2. Anhang: Zersetzungszeiten von Plastik 187
3. Anhang: Berechnungsmodell der Zusammensetzung 188
4. Anhang: Projekte gegen Plastikmüll im Meer 191
5. Anhang: Monatlicher Report Kambodscha Dezember 2018 193
6. Anhang: Heizwertberechnung Kunststoff 196
7. Anhang: Schiffsdatenblatt MS-Forester 198
8. Anhang: Sicherheitsstandards für SeeElefant als Spezialschiff 200
9. Anhang: Windstärken 202
10. Anhang: Definition: Signifikante Wellenhöhe 203
11. Anhang: Regenerative Energiegewinnung 204
12. Anhang: Protokoll BG-Verkehr 213
13. Anhang: Vergleich ökologisch wesentlicher Effekte 216

1. Anhang: Bandbreite jährlicher Eintrag und Bestands-Meeresmüll

Quantifizierungsversuch Plastik-Meeresmüll [in Mio. Metric Tons]	
A. Jährlicher Eintrag in die Weltmeere	
1. LSL: land-based sources of maritime Litter/ approx. 80% [Jambeck et.al. 2015]	
a. River-based inputs	
Lebreton et. al. (2017)	1,15 - 2,41
Schmidt et. al. (2017)	0,41 - 4,00
Eunomia (2016)	0,10 - 1,10
b. Coastal, direct Littering at/near Beaches, tidal & wind/storm transportation	
Eunomia (2016)	9,00
c. Additional Microplastic / rivers, sewage plants	
Eunomia (2016)	0,50 - 1,40
SUBTOTAL (1.)	
Eunomia (2016) [mid-point est.]	10,45
Jambeck et. al. (2015)	4,80 - 12,70
2. SSL: sea-based sources of maritime Litter/ approx. 20% [Jambeck et.al. 2015]	
a. Fishing Vessels	
Eunomia (2016)	1,15
b. Vessels, Shipping, Offshore Platforms	
Eunomia (2016)	0,60
SUBTOTAL (2.) [mid-point est.]	1,75
A. TOTAL (1.+2.)	
Eunomia (2016) [mid-point est.]	12,20
Jambeck et. al. (2015)	6,00 - 15,88
OEOO-Calc. (2018)	6,50 - 17,00

Quantifizierungsversuch Plastik-Meeresmüll [in Mio. Metric Tons]	
B. Bestand an Plastik-Meeresmüll in den Weltmeeren	
1. Sea	
a. Floating / Sea Surface *	
Ericsen et. al. (2014), Cózar et. al. (2014)	0,27
b. Sea Floor	
Pham et. al. (2014)	25,30 - 65,00
SUBTOTAL (1.)	25,57 - 65,27
2. Beach	
The Ocean Conservancy (2012), Ryan et. Al. (2014), Smith et.al. (2013) **	1,42
B. TOTAL (1.+2.)	
Eunomia (2016)	27,00 - 66,70
UNEP-Marine Litter (2016)	86,00
E. Mc. Arthur (2016)	150,00
* Höchste Konzentration North Pacific Gyre: 18 - 70 kg/km² (Eunomia, 2016 /Mc Arthur 2016)	
Durchschnittliche Konzentration Weltmeere Floating: 0,74 kg/km² (Eunomia 2016)	
** Konzentration Global Beaches: 2.000 kg/km² (Eunomia 2016)	

2. Anhang: Zersetzungszeiten von Plastik

(**Quelle:** https://www.careelite.de/plastikmuell-umwelt-meer/)

3. Anhang: Berechnungsmodell der Zusammensetzung

1.1 Wie setzt sich der Marine Litter an der Wasseroberfläche zusammen?

Zusammenfassung aus 105 Publikationen an 872 Orten auf der ganzen Welt

Art des Meeresmülls	Anteil [%] *
Biotic	1,3
Fisheries (other)	0,28
Glass/ceramics	0,68
Metal	0,36
Miscellaneous types (Sonstiges)	6,25
Paper/cardboard	0,98
Rope	0,08
Textiles/fabrics	0,3
Timber	3,52
Fisheries (plastic)	**3,05**
Plastic fibers	**0,12**
Plastic film	**0,2**
Plastic	**77,62**
Styrofoam	**3,68**
Other	1,57
Summe gesamt	**100,0%**
Summe Plastik	**84,67%**

2.2 Wie setzt sich der Plastikanteil des Marine Litter zusammen?

Anmerkung:

Da es keine verlässlichen Daten bezüglich der verschiedenen Plastiksorten im Marine Litter gibt, setzen wir unsere Beach-Cleanup Erfahrungen als Grundlage voraus.

Diese haben gezeigt, dass das meiste Plastik im Meer aus Verpackungen verschiedenster Arten (Annahme: 85%) und Fischernetzen (ca. 15%) besteht.

Auswertung Sylt (April 2018):

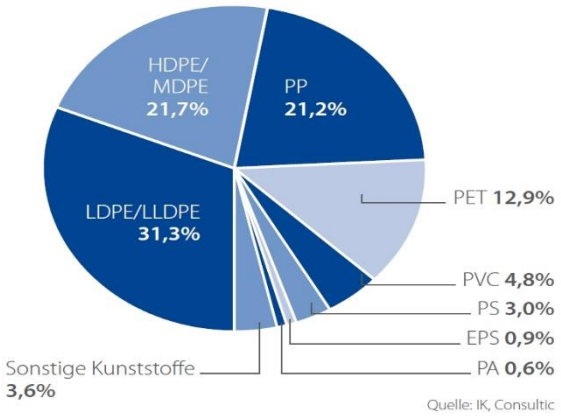
Kategorie	Material	Gewicht [kg]	Anteil vom Gesamtgewicht [%]
Flaschen, Verpackungen	PET	10	11%
Verpackungen, Behälter, Netze	PE/PP	80	89%
	Summe	**90**	**100%**

Auswertung Langeoog (Juli 2018):

Material	Gewicht [kg]	Anteil vom Gesamtgewicht [%]
PE	16,05	49%
PP	9,15	28%
PET	2,8	9%
EPS	2,9	9%
Andere (Inkl. PA6)	1,7	5%
Summe	32,6	100%

Im Folgenden wird deswegen auf die Zusammensetzung der Plastik-Verpackungsproduktion in Deutschland und Europa Bezug genommen sowie der Anteil und das Material von Fischernetzen berücksichtigt.

Verpackungsproduktion nach eingesetzten Kunststoffarten (2013)



Plastikzusammensetzung nach Verpackungen	
PE (HD/LD)	53
PP	21,2
PET	12,9
PS, EPS	3
PVC	4,8
Andere	5,1

Verhältnis: Verpackungen, Netze		
Anteil Netze	15%	
	Davon PP	67%
	Davon Andere (Inkl. PA6)	33%
Anteil Verpackungen	85%	

Anmerkung: Anteil PP und Andere (PA6) müssen erhöht werden, andere Fraktionen entsprechend verringert werden!

Material	Anteil [%]	Erhöhung/Verringerung	Neue Zusammensetzung
PE (HD/LD)	53,0%	-10,8%	**42,2%**
PP	21,2%	10%	**31,2%**
PET	12,9%	-2,6%	**10,3%**
PVC	4,8%	-1%	**3,8%**
PS, EPS	3,0%	-0,6%	**2,4%**
Andere (Inkl. PA6)	5,1%	5%	**10,1%**
Summe	100,0%	0	**100,0%**

Resultat:

	Teile	Material	Anteil	Masse [t]	
Meeresmüll	**Kunststoffe**		**85%**	**15,0**	**75,00%**
	z.B. Plastiktüten, Kisten und Boxen, Flaschen (Kosmetik), Nahrungsmittelbehälter	PE (HD/LD)	42%	6,3	
	z.B. Netze, Lebensmittelverpackung (Tüten), Becher, Deckel, Hartplastik	PP	31%	4,7	
	z.B. Behälter, Getränkeflaschen	PET	10%	1,5	
	z.B. Dichtungen, Schläuche, Folien, Luftmatratzen	PVC	4%	0,6	
	z.B. Verpackungen (Fastfood), Styropor, Schaumartikel	PS, EPS	2%	0,4	
	z.B. Verschiedenes (Luftballons, Textilien, Zigarettenfilter)	Andere	10%	1,5	
	Bioabfall	Organik	1%	0,2	
	Dosen, Sprühflaschen	Metall	1%	0,1	
	Behandeltes/Lackiertes Holz	Holz	4%	0,6	
	Verbunde, Reste, Verschmutzung,	Verschiedene Materialien	10%	1,8	
	Sammelmenge Meeresmüll			**17,7**	

4. Anhang: Projekte gegen Plastikmüll im Meer

Aktive Organisationen weltweit				
Name der Organisation	Organisationsform	Location	Projekte und Tätigkeiten	Website
One Earth-One Ocean	NGO	München und Kiel, Deutschland	Maritime Müllabfuhr, derzeit operiert das Projekt "Seekuh" in Hong Kong und fischt dort nach Müll, das Projekt "Seeelefant" befindet sich in der Konzipierung, diverse Vorträge z.B. Kieler Woche	http://oneearth-oneocean.com/
4 Ocean	NGO	Boca Raton, Deerfield Beach, in Florida Denpasar Bali, Indonesien	Fischen aktiv nach Plastik an Küsten und Strände, aus recycletem Material werden Armbänder hergestellt, Finanzierung von Aufräumarbeitgen und der Ausstattung, z.B. Boote und weitere Fahrzeuge, durch den Erlös der Armbänder	https://4ocean.com/
Bandasea	NGO	Banda-INseln, Molukken, Indonesien		https://www.bandasea.org/de/projects/mullprojekt-auf-den-banda-inseln/
Bundesverband Meeresmüll	NGO	Hamburg, Deutschland	Öffentlichkeitsarbeit; Projekte zur Erforschung deutscher Binnen-und Küstengewässer auf Verschmutzung durch Plastikmüll	https://bundesverband-meeresmuell.de/
Canarias Conservación	NGO	Las Palmas, Spanien	Unterstützung von Schildkröten, die mit Fischerei-Fanggeräten in Kontakt gekommen und verletzt sind, Unterstützung der Rehabilitation	http://www.canariasconservacion.org/
Deepwave	NGO	Hamburg, Deutschland		https://www.deepwave.org/
Dive against debris	NGO		Project "AWARE´s"	https://www.projectaware.org/fr/project/dive-against-debris
Divers Clean Action	NGO	Indonesien	Mikroplastikanalysen, Marine Debris Expedition	https://www.diverscleanaction.org/
EUCC-D	NGO	Warnemünde, Deutschland	Gründung der Plattform meeresmuell.de	http://www.eucc-d.de/aktuelle-projekte/articles/plattform-meeresmuell-de.html
Gesellschaft zur Rettung der Delphine e.V. (GRD)	NGO	München, Deutschland	setzen sich für den Schutz der Delphine ein, aktuelle Mission "Stone&Pots" in Irland, Geisternetze aus dem Meer fischen	https://www.delphinschutz.org/
Ghost Fishing	NGO	Diverse Standorte: Libanone, Griechenland, UK, Irland, Malta, NZ, Spanien, USA	entfernen die Geisternetze, sammeln diese auch und kooperieren mit dem Textilunternehmen Econyl; diese recyclen und stellen neue Textilien daraus her	http://www.ghostfishing.org/projects-all/south-west-ireland-project-2018/ http://www.econyl.com/apparel/
Global garbage	NGO	Rotterdam, Niederlande u.v.m.	In Zusammenarbeit mit dem Hafen von Rotterdam wurde ein Konzept entwickelt, den Fischerei-Beifang in Form von Müll zusammeln und zu entsorgen	http://www.globalgarbage.org/blog/index.php/net-without-litter/ http://www.globalgarbage.org/blog/index.php/2011/01/11/any-waste-any-time-waste-management-at-the-port-of-rotterdam/
Great Bubble Barrier	NGO	Amsterdam, Niederlande	entwickeltes System ist in der Lage durch einen künstlichen Luftstrom unter Wasser, Plastik an die Oberfläche zu bringen, das anschließend aufgesammelt werden kann	http://thegreatbubblebarrier.com/en/
Healthy Seas	NGO	Den Haag, Niederlande	Joint venture verschiedener NGOs,	http://healthyseas.org/about/
Luminocean	NGO	Banda-INseln, Molukken, Indonesien	Bildungsarbeit in Schulen, haben ein Müllentsorungssystem für die Insel entwickelt	https://www.luminocean.com/location

Aktive Organisationen weltweit

M-E-E-R	gemeinnütziger Verein, NGO	Headquarter: Berlin Projekte: La Gomera	Forschungstätigkeiten, bieten u.a. Meeresschutz-Touren vor La Gomera an, um aktiv auf dem Meer treibenden Müll zu sammeln	http://m-e-e-r.de/die-arbeit-von-m-e-e-r-e-v/aktivitaeten/meeresschutz-touren/
MeeresBürger	eingetragener Verein, NGO	Wieck, Rügen, Deutschland	Workshops zum Thema "Kein Plastik Meer"	http://www.meeresbuerger.de/meer-schuetzen/organisationen.htm
Mundo Azul	NGO	Lima, Peru	Setzen sichu.a. für die Reinigung der Strände ein, bzw. geben Tipps wie ein Beach Clean Up organisiert wird	http://mundoazul.org/
mundusmaris	NGO	Brüssel, Belgien	Organisation eines Wettbewerbs zum Welttag der Ozeane (8.Juni), zum Thema "A plastic free ocean"	https://www.mundusmaris.org/index.php/en/
Ocean Care	NGO	Bern, Schweiz	Meeresschutz u.a. im Zusammenhang mit der Verschmutzung der Meere durch Plastikmüll	https://www.oceancare.org/de/unsere-arbeit/meeresschutz/plastikverschmutzung/
One Island One Voice	NGO	Bali, Indonesien	Beach Clean Up´s mit anschließender Auswertung der Funde	https://www.oneislandonevoice.org/
Otro Modo Umweltschutzprojekt	NGO	Fuerteventura, Spanien	Strandsäuberungsaktionen, Aufklärungsarbeit für Gäste und Einwohner	https://www.otro-modo-surfschool.de/surfcamp-umweltschutz-projekt/
Ozeankind	NGO	Osnabrück, Deutschland	Starteteten ein Projekt mit dem Ziel bis 2022, 50.000kg Plastikmüll zu sammeln	https://www.facebook.com/ozeankind/
Parley for the Ocean	NGO	New York, Amerika		http://www.parley.tv/oceanplastic/#parley-air-strategy-1
Plastic Free Cambodia	NGO	Cambodia, Battambang	Bildungsarbeit in Form von Aufklärungs-Workshops, kooperationspartner von OEOO in Battambang	https://plasticfreecambodia.com/
Plastic Soup Foundation	NGO	Niederlande	Organisation von Cleanups	https://www.plasticsoupfoundation.org
Race for Water Foundation	NGO	Lausanne, Schweiz	Einsatz eines gebauten Müllsammelschiffs (The Collector), aufgefischtes Plastik soll in Öl zurückverwandelt werden	https://www.mod-thecollector.com/
Seabin Project	NGO	Frankreich, Produktion bereits in drei verschiedenen Ländern	Reinigen der Häfen mit dem Seeeimer (seabin), Produkt online erhältlich	http://seabinproject.com/
Surfrider Foundation	NGO	weltweit	Diverse Projekte zum Schutz der Ozeane vor Meeresabfall, Forschungsarbeit	https://www.surfrider.org/
The Ocean Cleanup	NGO	Niederlande	Barriere für GPGP	https://www.theoceancleanup.com/

5. Anhang: Monatlicher Report Kambodscha Dezember 2018

Monthly Report in December

Project Name : **Seehamster_Clean up Sangke River** **Reporting Period: 01.112.18**

Project Manager : **Chek John (COMPED)** **End Date: 25.12.18**

Project Sponsor : **OEOO**

Project Description : Clean up the river for a better world. The project is identified as following objectives:

1) Preventing the flow of waste into the ocean
2) Saving water and aquatic biodiversity
3) Improving aesthetic and environment of the city

Summary Activities

Beside waste collection along Sangke River, COMPED-WM and Battambang Municipality have jointly organized public hearing event at Sangkat Slaket and University of Battambang in order to disseminate and promote about waste management and impact of improper solid waste. This event aims to avoid waste littering in and along Sangke River. On 03rd December, There were around 25 students of University of Battambang join the event at the Hall of University of Battambang which presented by Mr. Phalla. On 14th December, Mr. Phalla presented about waste management at Slaket Sangkat Council within 30 citizens, Sangkat Council/Chief and Village Chief from Chrey Kaong Village/ Sangkat Slaket (along Sangke River).

No.	Date	Time	Location	Participants	Waste Amount	Remark
1	08.12.18	Evening	King Fy Hotel to Wat Leap	4	80	**Participants:** A man who wear black shirt is French, Boat driver and his wife and John) **Type of waste**: Banner, Styrofoam box, Plastic bag, Pagoda waste
2	12.12.18	Evening	Provincial Museum to Phum Chen Market	4	30	**Participants:** Two girl are from Chrey Kaong Commune, Boat driver and John) **Type of waste**: Plastic cups, Plastic bags, straws, Styrofoam box
3	13.12.18	Evening	Eden Cafe to Chrey Kaong Bridge	5	15	**Participants:** Three from GRET org., Boat driver and John **Type of waste**: Styrofoam, cans, Plastic bags
4	14.12.18	Evening	Provincial Museum to Heng Chhay Ly Mart	5	84	**Participants:** A student from Monivong High School, a nurse from Keo Sinoun Hospital, a man and a girl from Chrey Kaong commune, Boat driver and John **Type of waste**: Plastic cups, Plastic bags, Cloths
5	19.12.18	Evening	Sangke Pagoda to Psar Leu Market	3	52	**Participants:** A girl from Chrey Kaong commune, boat driver and John **Type of waste**: Drypers, Plastic bottles, Styrofoam box, Cloth
6	20.12.18	Evening	Provincial Museum to Wat Romdul	5	77	**Participants:** A nurse from Keo Sinoun Hospital and two of her friends, Boat driver and John **Type of waste**: Plastic cubs, Plastic bags, Straws, Styrofoam box, can, Beer banners
7	21.12.18	Evening	Classy Hotel to Maisons Wat Kor	4	32	**Participants:** Two girls from Chrey Kaong commune, Boat driver and John **Type of waste**: Plastic bags and Plastic Bottles
8	22.12.18	Morning	La Villa to Wat Kan Doeng	3	102	**Participants:** A girl from Chrey Kaong commune, Boat driver and John **Type of waste**: Styrofoam box, Cans, Cloths, Plastic bags and Bottles, Sacks
9	24.12.18	Morning	Green Mango to Wat Kan Doeng	3	54	**Participants:** A girl from Chrey Kaong commune, Boat driver and John **Type of waste**: Plastic cub, Plastic bag, Styrofoam
10	25.12.18	Evening	Green La Villa to Preah Monivong High School	3	105	**Participants:** Chrey Kaong commune, Boat driver and John **Type of waste**: Cloths, Plastic cub, Plastic bag, Styrofoam
				Total	**631 kg**	**Amount of waste collected in December**

6. Anhang: Heizwertberechnung Kunststoff

Heizwerte

Material	Abbrandfaktor	Heizwert	Heizwert	Literatur
	m	H_u bzw. H	H	
		kWh/kg	kWh/St	
Kunststoffe				
Bakelit (PF)		6,4		4
Diolen		6,6		4
Dralon (PAN-Faser)		8,6		4
Epoxydharz (EP)		8,1		4
Epoxydharz, nicht verstärkt, lose geschüttet	0,6	9,1		1
Folie (für Umverpackung)		7,2		4
Galalith		6,0		4
Glasfaserverstärktes Polyesterharz (GUP)		5,2		4
Hostalen (PP, PE)		11,9		4
Kapronfaser (Dederon, Perlon)		8,6		4
Kfz-Instrumententafel aus Ethylen-Propylen-Dien-Mastik, in Papierkartons gelagert	0,4	8,4		1
Kfz-Radhausverkleidungen aus Polypropylen-Copolymeren in Pappkartons	1,1	10,7		1
Nylon		8,3		4
PC-Kleber (PVC)		7,2		4
PeCe-Faser		4,8		4
Perlon		8,6		4
Phenolharz-Hartschaumplatten	0,7	6,0		1
Phenolharzschaumstoff (PF-Schaum)		8,1		4
Piatherm		4,1		4
Plastin BN		10,5		4
Plexiglas (PMMA)		7,6		4
Polyamid, Folien auf Rollen gewickelt	1,4	8,1		1
Polycarbodiimid, Hartschaum (Dichte 16,8 kg/m³)	0,2	8,6		1
Polyesterfaser		6,3		4
Polyesterharz, glasfaserverstärkte Formteile mit PUR-Schaum	1,1	5,3		1
Polyesterharz, ungesättigt, glasfaserverstärkte Formteile, dicht gestapelt	0,9	5,3		1
Polyesterharz, ungesättigt, glasfaserverstärkte Formteile, lose gestapelt	1,1	5,3		1
Polyethylen-Behälter oder -Formteile	0,8	12,2		1
Polyethylen-Folien auf Rollen gewickelt	1,1	12,2		1
Polyethylen-Granulat in Säcken	0,8	12,8		1
Polyethylen-Granulat in Säcken auf Holzpaletten	1,3	9,6		1
Polyethylen-Granulat in Säcken, dicht gelagert	1,2	12,8		1
Polymethylacrylat		6,9		1
Polypropylen-Formzeile in Pappkartons	0,8	12,6		1
Polypropylen-Rohre (B2)	0,8	12,2		1
Polysterol-Formteile in offenen Blechbehältern	2,1	11,0		1
Polyurethan-Hartschaum (PUR)		7,6		4
Polyurethan-Hartschaum mit Brandschutzausrüstung		6,7		4
PS-Hartschaum (B1, Dichte 20 kg/m³)	0,4	11,0		1
PS-Hartschaum (B3, Dichte 20 kg/m³)	0,9	11,0		1
PUR-Hartschaum (B1, Dichte 36 kg/m³)	0,2	6,7		1

1 DIN 18230-3; August 2002
4 Beilicke, Bautechnischer Brandschutz

1 von 2

Heizwerte

Material	Abbrandfaktor	Heizwert	Heizwert	Literatur
	m	H_u bzw. H	H	
		kWh/kg	kWh/St	
PUR-Weichschaum (B3, Dichte 36 kg/m³) in Drahtkörben	1,2	6,4		1
PUR-Weichschaum (B3, Dichte 36 kg/m³) mit Holz (Polstermöbel)	1,4	5,3		1
PVC-Dosen		6,4		4
PVC-P-Formteile in Drahtkörben	0,7	5,0		1
PVC-U-Formteile in Pappkartons	0,4	5,0		1
PVC-U-Rohre auf Holzpaletten gelagert	0,4	5,0		1
PVC-U-Rohre horizontal gelagert	0,2	5,0		1
Ramiefaser		11,7		4
Schaumgummi		9,3		4
Styropor		10,6		4
Teflon (PTFE)		1,2		4
Texolit		5,8		4
Trevira		6,3		4
Vinidur (PVC)		6,4		4

1 DIN 18230-3; August 2002
4 Beilicke, Bautechnischer Brandschutz

	Betrachtete Materiallien	**Heizwert in kWh/kg**
1	Folie (für Umverpackung)	7,2
2	Hostalen (PE/PP)	11,9
3	PS-Hartschaum (B1, Dichte 20 kg/m³)	11
4	PVC-U-Rohre	5
Mittelwert		8,775
Abzug wegen feuchtegehalt		10%
Resultierender Heizwert		**7,90**

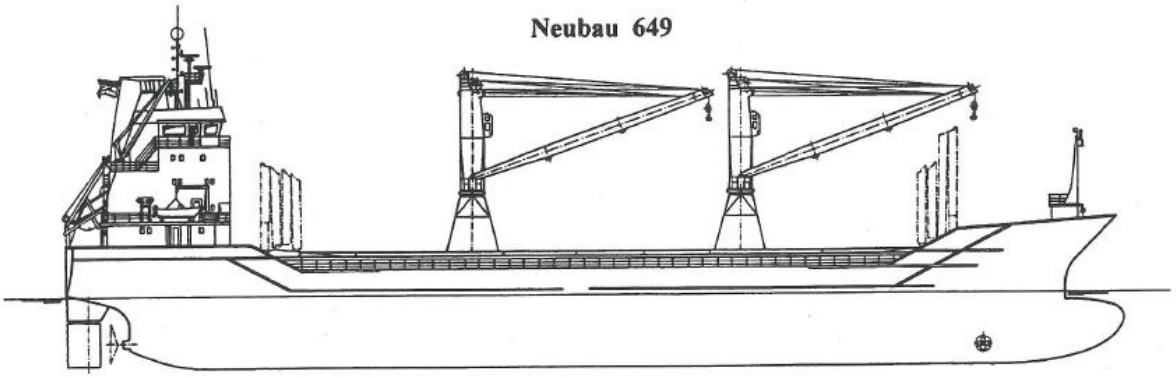
Es wird mit einem **Heizwert von 8kWh/kg** gerechnet.

7. Anhang: Schiffsdatenblatt MS-Forester

Frachtmotorschiff

Typ HP 94.4

Neubau 649



SCHIFFSTYP: Mehrzweckfrachtschiff

FAHRTBEREICH: "Große Fahrt"

KLASSIFIKATION:
GL ✠ 100 A5 E2 G
"Eingerichtet für Containertransport"
"Verstärkt für Schwergutladung"
"SOLAS II-2, Reg. 54"
✠ MC E2 AUT

HAUPTABMESSUNGEN:

Länge über alles	ca.	99,95 m
Länge zw. den Loten		92,40 m
Breite auf Spanten		17,00 m
Seitenhöhe Hauptdeck		9,25 m
Entwurfstiefgang		6,80 m
Freibordtiefgang		7,27 m
Tragfähigkeit auf Freibordtiefgang		6.471 tdw
Vermessung (international)		4.110 BRZ
Probefahrtsgeschwindigkeit mit 85% MCR auf Entwurfstiefgang	ca.	14 kn
Besatzung		12 Personen

RAUMINHALTE:

Schüttgut:	ca.	7.091 cbm	250.430 cbf
Stückgut:	ca.	6.882 cbm	243.042 cbf

LADELUKE:
Oberdeckluke 58,10 m x 13,85 m x 8,78 m
Abdeckung: stählerne Faltdeckel mit außerhalb angeordneten Hydraulikzylindern und Hubschwingen mit 2 Hydraulikaggregaten
2 Faltpaare öffnen nach vorn und 2 Faltpaare nach hinten

ZELLULOSEKAPAZITÄT:
(Kolli-Abmessungen: 6,80 x 1,52 x1,68 m)
Im Laderaum (in 5 Lagen) max. 369 Stück (ca. 5.900 t) 5900 ~5700cbm

CONTAINERSTAPELBELASTUNG:

	20'	40'
Auf der Luke	40 t	60 t
Auf dem Hauptdeck	40 t	60 t
Laderaum	102 t	102 t

NAVIGATIONS- UND NAUTISCHE ANLAGEN (GMDSS/A3):
1 Reflexionskompaßstand
2 Ruderlagenanzeiger
1 Kreiselkompaß

MASCHINENANLAGE:
MaK - Schiffsdieselmotor, Typ: 8 M 32
MCR-Leistung 3.520 kW (4787 PSe) bei 600 1/min.
Betriebsleistung 2.275 kW (3.094 PSe) bei 600 1/min.
Untersetzungsgetriebe, Fabrikat: Reintjes
Typ: VA 4850
Untersetzung: i = 4,381 : 1
Elastische Vulkan-Kupplung Typ: Rato S
Verstellpropelleranlage, Fabrikat: LIPS, Typ: 4C 12/VL 90
Durchmesser 4.100 mm, 4 Flügel, rechtsdrehend

HILFSMASCHINENANLAGE:
2 Aggregate mit Volvo Dieselmotor,
Typ TAMD 122 AKC, 247 kW/336 PS bei 1.500 1/min,
Generatorleistung: 190 kVA/152 kW
1 Notstromaggregat mit Volvo Dieselmotor
Typ TAMD 122 AKC, 247 kW/336 PS bei 1.500 1/min,
Generatorleistung: 144 kVA/115,2 kW
1 Wellengenerator, 975 kVA/780 kW
2 Kompressoren, je 31 m³/h gegen 30 bar
2 Kreiselpumpen
(Lenz-, Ballast-, Reserve-Kühlwasser-u. Feuerlöschpumpen),
elektr. angetrieben, je 80/200 m³/h gegen 5,0/3,5 bar
1 Kolbenpumpe, (Nachlenzpumpe),
elektr. angetrieben, 24 m³/h gegen 2,0 bar
1 Abwasser-Aufbereitungsanlage
für 15 Personen, mit Notpumpe
1 Schraubenspindelpumpe, (Reserve-Schmierölpumpe - HM)
elektr. angetrieben, 75 m³/h gegen 10 bar
1 Zahnradpumpe, (Reserve-Schmierölpumpe Getriebe)
elektr. angetrieben, 6,0 m³/h gegen 7 bar
2 Kreiselpumpen (Frischkühlwasserpumpe - HM, HT- Kreis),
1 x von HM und 1 x elektr. angetrieben, 70 m³/h gegen 3,3 bar
2 Kreiselpumpen (Frischkühlwasserpumpe - HM, NT- Kreis),
1 x von HM und 1 x elektr. angetrieben, 90 m³/h gegen 3,0 bar
1 Kreiselpumpe, (Seekühlwasserpumpe)
elektr. angetrieben, 210 m³/h gegen 3,4 bar
1 Altölabgabepumpe
elektr. angetrieben, 9,0 m³/h gegen 4,0 bar
1 Schraubenspindelpumpe, (Schweröltrimmpumpe)
1 Schraubenspindelpumpe, (Gasöltrimmpumpe)
elektr. angetrieben, 7,0 m³/h gegen 2,5 bar
2 Schraubenspindelpumpen,
(Kraftstoffzubringerpumpen HM u. Res.)
elektr. angetrieben, 1,7 m³/h gegen 5,0 bar
2 Schraubenspindelpumpen,
(Kraftstoffvordruckpumpen HM u. Res.)
elektr. angetrieben, 1,7 m³/h gegen 5,0 bar

1 Selbststeueranlage
2 Peiltochterkompasse
1 Wandtochterkompaß
2 Radaranlagen
1 Echolotanlage
1 Fahrtmeßanlage (Log)
1 GPS-Satelliten-Navigator
1 GW/KW - Telefonic Funkanlage:
1 GW/KW DSC-Wach- Empfänger
1 Funk-Fernschreibanlage INMARSAT-C
2 UKW - Seefunkanlage mit je:
1 UKW-DSC-Seefunkanlage
1 GW - Wachempfänger
1 Navtex
1 EPIRB-Boje
2 SART- Radartransponder
3 UKW-Handfunksprechgeräte
1 Ladungsrechner
1 Zöllner Makrofon-Anlage M 125/ 160 b ZVE
1 Telefonanlage/Durchsageanlage/Kommandoanlage
1 Wechselsprechanlage
1 Generalalarmanlage
1 Maschinentelegrafenanlage
2 Fahrstäde (für Verstellpropeller, Bugstrahlruder und Rudermaschine)
1 Navigationsscheinwerfer, 1000 W
auf dem Peildeck mit Innenbedienung
1 Tageslicht-Handsignalscheinwerfer
4 Scheibenwischer mit Wasserspülung für Ruderhausfenster
Warmluft-Scheibenheizung für Ruderhausfenster

DECKSMASCHINEN:

2 elektrisch angetriebene Ankerwinden mit je 1 Spillkopf,
1 Seiltrommel und 1 Kettenscheibe für:
44 mm Durchmesser hochfeste Ankerstegkette (K3)
Zugkräfte:
Kettenscheibe 92/184/46 kN bei 9/<9/18 m/min.
Seiltrommel 80/40 kN bei 11/22 m/min.
1 elektrisch angetriebene Verholwinde (Heck)
mit 1 Spillkopf und 1 Seiltrommel
Zugkraft: 80/40 kN bei 11/22 m/min.
1 elektro-hydraulische Vierzylinder-Tauchkolben-Rudermaschine, 2 x 45°, mit 2 Aggregaten,
Type: Teleram R4L 300-45 (Hatlapa)

LADEGESCHIRR:

2 elektro-hydraulisch angetriebene Bordkräne,
SWL 25 t bei Ausladung max. 24 m, min. 2,40 m,
35 t bei Ausladung max. 18 m, min. 3,20 m
ausgestattet mit Antipendel- und Lastdrehvorrichtung
2 elektrisch angetriebene Servicekräne mit Last-Seilwinde,
Topp-Seilwinde und Zahnrad-Schwenkgetriebe
SWL 0,40/0,60 t bei 9,0/6,0 m Ausladung
für Landgang, Proviant und Reserveteile

RETTUNGSAUSRÜSTUNG:

1 Freifallrettungsboot aus GFK, Typ GFF 5,7, für 15 Personen, mit Dieselmotor (17 kW/24 PS), wassergekühlt)
1 Abrollbahn mit Davitanlage für Freifallrettungsboot
1 Bereitschaftsboot aus GFK, Typ RB 400,
für 6 Personen, mit Außenbordmotor (11 kW/15 PS)
1 Kombidavit für das Bereitschaftsboot und für die fierbare Rettungsinsel
(mit Energiespeichereinrichtung zum Ausschwenken)
2 aufblasbare Rettungsinseln für je 15 Personen
(1 Abwurfinsel, 1 Davitinsel)

1 Separator für Gasöl, selbstreinigend,
700 l/h bei 23° Erwärmung, Typ OSC 4,
mit elektrischem Erhitzer, 9 kW
1 Separator für Schmieröl, selbstreinigend,
1.000 l/h bei 42° C Erwärmung, Typ OSA 7,
mit elektrischem Erhitzer, 24 kW
2 Separatoren für Schweröl, selbstreinigend.
750 l/h bei 50° Erwärmung, Typ OSA 7,
mit elektrischem Erhitzer, 18 kW
1 Schwerölendvorwärmer, elektrisch beheizt, 48 kW
1 Viskositäts-Meß- und Regelanlage ELWA-EVM 2
3 Ölwächter für Kühlwasser und Heizung
1 Hydroforanlage, 2 x 3.000 l/h gegen 6,0 bar,
mit 1 Tank. Inhalt 500 l
1 Bilgenwasserentöler 2500 l/h - IMO 15 ppm
mit Monitor und E-Heizung
1 WW-Heizungsanlage, ölbefeuert, 720 kW
1 Warmwasserheizung für Schweröltagestank
1 Warmwasserheizung für Schweröl setztanks
1 Plattenkühler für NT + HT-Kreis Hauptmaschine
1 Kreiselpumpe, selbstansaugend, (Notfeuerlöschpumpe)
elektr. angetrieben, 36 m³/h gegen 6,0 bar

E-ANLAGE:

Drehstrom-Wellengen.	400 V	50 Hz	975 kVA	780 kW
Drehstrom-Dieselgen.	400 V	50 Hz	380 kVA	304 kW
Drehstrom- Notdieselgen.	400 V	50 Hz	144 kVA	115,2 kW
Lichtnetz	230 V	50 Hz		
Notbeleuchtung	230 V	50 Hz		

SONDEREINRICHTUNGEN:

Bereich Ladung, Schiffsbetrieb

Doppelboden und Innenboden verstärkt für Schwergutladung und Greiferbetrieb
Beschläge für Coils und Schwergutladung im Laderaum
Die Laderäume sind für den Transport von gefährlicher Ladung nach SOLAS, Kap. II-2, Reg. 54,
in verpackter Form (Klassen 1.4S, 2, 3, 4, 5.1, 6.1, 8, 9) geeignet
Bugstrahlruder, Fabr. Jastram, Typ BU 50 F,
Schub 3,8 t, Antrieb E-Motor 300 kW
Flossenruder, Fabrikat HINZE
Klimaanlage mit Kühlteil
Kühlzelle (Gemüse) ca. 5 m³ Volumen
Elastische Deckshauslagerung

Bereich Maschinenanlage

Frischwassererzeuger, ca.7 m³/Tag, mit Trinkwasserfilter und UV-Entkeimungsanlage
Schwerölcinrichtung für den Hauptmotor, 180 cSt/50° C (100 cSt/50° C Winter)
Hydraulisch fernbedienbare Ballastklappen, Lenzventile
Absorptionsschalldämpfer für Haupt- und Hilfsmaschinen
2 Schwerölvorratstanks mit Motorkühlwasserheizung

8. Anhang: Sicherheitsstandards für SeeElefant als Spezialschiff

Intaktstabilität

„Die Intaktstabilität von Spezialschiffen soll den Bestimmungen von Abschnitt 2.5 von Teil B des Intaktstabilitäts-Code von 2007 [Falsch! Der Code ist aus 20008 (Anm. d. Verfassers)] entsprechen“ (2.1).

Dieser besagt: „The intact stability of special purpose ships should comply with the provisions given in part A, 2.2 except that the alternative criteria given in part B, 2.4.5 which apply to offshore supply vessels may be used for special purpose ships of less than 100 m in length of similar design and characteristics“ (a.a.O. bzw. RESOLUTION MSC.267(85) (adopted on 4 December 2008) ADOPTION OF THE INTERNATIONAL CODE ON INTACT STABILITY, 2008 (2008 IS CODE)).

Dort heißt es:

„2.2.1 The area under the righting lever curve (GZ curve) shall not be less than 0.055 metre-radians up to φ = 30° angle of heel and not less than 0.09 metre-radians up to φ = 40° or the angle of down-flooding φ_f if this angle is less than 40°. Additionally, the area under the righting lever curve (GZ curve) between the angles of heel of 30° and 40° or between 30° and φ, if this angle is less than 40°, shall not be less than 0.03 metre-radians.

2.2.2 The righting lever GZ shall be at least 0.2 m at an angle of heel equal to or greater than 30°.

2.2.3 The maximum righting lever shall occur at an angle of heel not less than 25°. If this is not practicable, alternative criteria, based on an equivalent level of safety, may be applied subject to the approval of the Administration.

2.2.4 The initial metacentric height GMo shall not be less than 0.15 m.“ (a.a.O.)

Lecksatbilität

„Die Unterteilung und Leckstabilität von Spezialschiffen soll grundsätzlich den Bestimmungen des Kapitels II-1 des SOLAS-Übereinkommens entsprechen, wobei das Schiff als Fahrgastschiff angesehen wird, das Spezialpersonal als Fahrgäste gelten und der Faktor R nach SOLAS-Regel II1/6.2.3 wie folgt berechnet wird:

.1 ist das Schiff zur Beförderung von mindestens 240 Personen zugelassen, wird der Faktor R als R zugeordnet;

.2 ist das Schiff zur Beförderung von bis zu 60 Personen zugelassen, wird der Faktor R als 0,8 R zugeordnet; und

.3 bei mehr als 60 (jedoch nicht mehr als 240) Personen soll der Faktor R durch lineare Interpolation zwischen den in .1 und .2 angegebenen Faktoren R ermittelt werden“ (2.2).

Jener Faktor R errechnet sich für ein Fahrgastschiff nach SOLAS wie folgt:

$$R = 1 - \frac{5000}{L_S + 2{,}5N + 15{,}225}$$

Mit

$N = N_1 + 2N_2$;

$N_1 =$ Anzahl Personen, für welche Rettungsboote vorgehalten werden

$N_2 =$ Anzahl Personen insgesamt, welche an Bord befindlich sein dürfen, außer jenen, welche unter „N_1“ fallen.

$L_S =$ "$subdivision\ length$", the Subdivision Length of the Ship is the greatest projected moulded length of that part of the ship at or below deck or decks limiting the vertical extend of flooding with the ship at the deepest subdivision draught (SOLAS, Regel II-1 2).

The deepest subdivision draught is the waterline which corresponds to the Summer Load Line draught of the ship (a.a.O.).

„Für Spezialschiffe, für die 2.2.2 oder 2.2.3 gelten (das heißt, die für weniger als 240 Personen zugelassen sind, Anm. d. Verfassers), sollen, sofern in 2.5 nichts anderes bestimmt wird, die Bestimmungen von SOLAS-Kapitel II-1, Teile B-2, B-3 und

B-4 gelten, als ob es sich bei dem Schiff um ein Frachtschiff und bei dem Spezial Personal um Besatzungsmitglieder handelt. Die SOLAS-Regeln II-1/8 und II-1/8-1 (Sondervorschriften für Fahrgastschiffe, Anm. d. Verfassers) müssen nicht erfüllt werden und SOLAS-Regeln II-1/14 und II1/18 (ebenfalls Sondervorschriften für Fahrgastschiffe, Anm. d. Verfassers) sind nicht anzuwenden“ (2.4).

Dieser Absatz besagt zusammengefasst, dass im Bezug auf Leckstabilität, für ein Spezialschiff welches für bis zu 60 Personen an Bord zugelassen ist, dieselben Vorschriften anzuwenden sind, wie für einen Frachter mit einer Besatzungsstärke entsprechend der Anzahl der Personen an Bord des Spezialschiffs. Es gibt jedoch die Ausnahme, dass der Faktor „R“, welcher nach SOLAS Berechnungsgrundlage für die notwendige Unterteilung des Rumpfes in Wasserdichte Abteilungen ist, der nach SOLAS II-1 6.3 zu errechnende ist und mit dem Faktor 0,8 multipliziert werden soll.

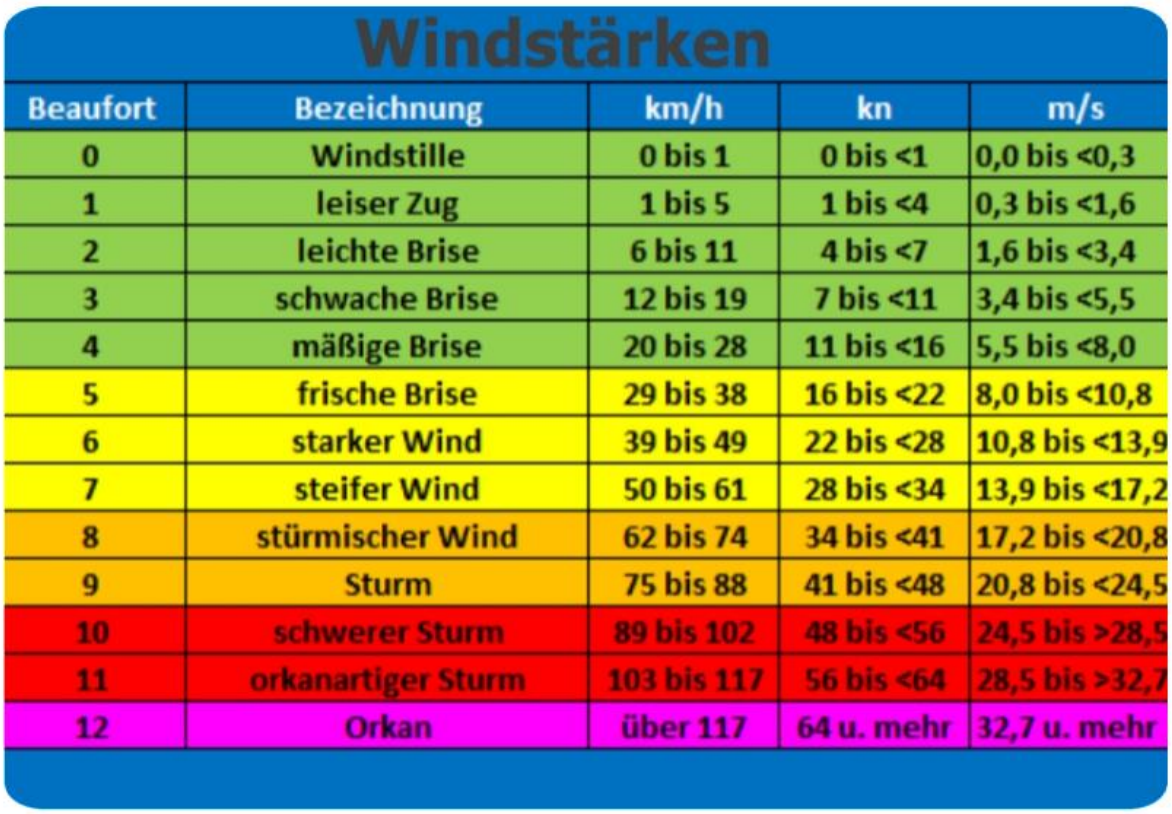
„Alle Spezialschiffe sollen den SOLAS-Regeln II1/9, II-1/13, II-1/19, II-1/20, II-1/21 und II-1/35-1 entsprechen, als ob es sich bei den Schiff um ein Fahrgastschiffe handeln würde“ (2,5).

Diese Vorschrift betrifft den Doppelboden, Öffnungen in wasserdichten Schotten unterhalb des Freiborddecks, Damage-Control- Systeme, Beladung, Wartung und Instandhaltung wasserdichter Schotte und ähnlichem sowie Bilgenpumpen.

Weitere Vorschriften, welche für den *SeeElefanten* Anwendung fänden, wenn er als Spezialschiff eingestuft würde und deren Einhaltung überprüft werden muss, betreffen:

Maschinenanlagen, Elektrische Anlagen, die Notstromquelle, zeitweise unbesetzte Maschinenräume, Brandschutz, gefährliche Güter, Rettungsmittel, Funkverkehr, die Sicherung der Seefahrt und die Gefahrenabwehr.

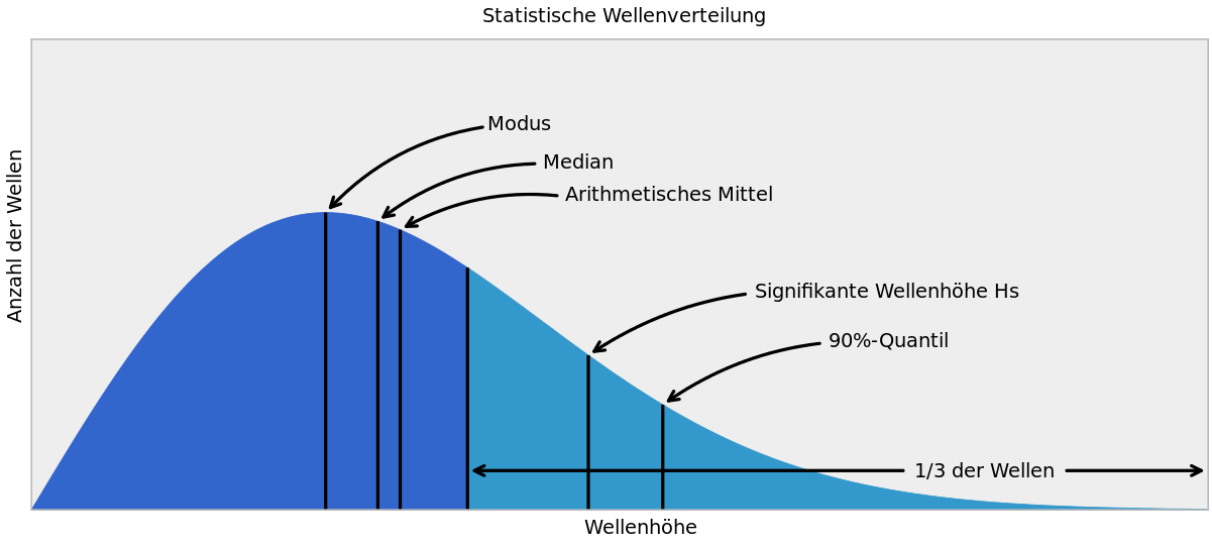
9. Anhang: Windstärken



Windstärken				
Beaufort	Bezeichnung	km/h	kn	m/s
0	Windstille	0 bis 1	0 bis <1	0,0 bis <0,3
1	leiser Zug	1 bis 5	1 bis <4	0,3 bis <1,6
2	leichte Brise	6 bis 11	4 bis <7	1,6 bis <3,4
3	schwache Brise	12 bis 19	7 bis <11	3,4 bis <5,5
4	mäßige Brise	20 bis 28	11 bis <16	5,5 bis <8,0
5	frische Brise	29 bis 38	16 bis <22	8,0 bis <10,8
6	starker Wind	39 bis 49	22 bis <28	10,8 bis <13,9
7	steifer Wind	50 bis 61	28 bis <34	13,9 bis <17,2
8	stürmischer Wind	62 bis 74	34 bis <41	17,2 bis <20,8
9	Sturm	75 bis 88	41 bis <48	20,8 bis <24,5
10	schwerer Sturm	89 bis 102	48 bis <56	24,5 bis >28,5
11	orkanartiger Sturm	103 bis 117	56 bis <64	28,5 bis >32,7
12	Orkan	über 117	64 u. mehr	32,7 u. mehr

Quelle: https://wetterkanal.kachelmannwetter.com

10. Anhang: Definition: Signifikante Wellenhöhe



Im Beobachtungsdienst auf See spielt die signifikante Wellenhöhe (auch als kennzeichnende Wellenhöhe des Seegangs bekannt) eine wichtige Rolle. Sie ist definiert als mittlere Höhe des höheren Drittels aller in einem Seegebiet (z.B. 10x10km) und in einem repräsentativen Zeitraum (z.B. 20 Minuten, unter der Annahme stationärer Verhältnisse) vorkommenden Wellen. Dieser Parameter lässt sich von geübten Beobachtern recht gut schätzen. Einzelwellen können theoretisch (aber recht selten) die doppelte Höhe oder mehr erreichen.

Quelle: https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102248&lv3=588376

Bei einer signifikanten Wellenhöhe von 0,7m wird mit einer maximalen Wellenhöhe von **1,5m** gerechnet!

11. Anhang: Regenerative Energiegewinnung

Die Gewinnung der, zur Verarbeitung des Meeresmülls notwendigen, Energie sollte zu einem möglichst großen Anteil aus erneuerbaren Energiequellen stammen. Dazu liegt, angesichts der vorab ermittelten primären Einsatzorte, in Küstennähe und zumeist in äquatornahen Breiten, zunächst die Nutzung von Windenergie und Solarenergie nahe. Erhebungen über den Mülleintrag zeigen auf, dass ein Großteil über Flussmündungen geschieht, sodass ein häufiger Einsatz in Flüssen, Flussmündungen und -Deltas wahrscheinlich wird (Frank et al., 2019, Kap. 2.2.1). Dieser Tatsache ist eine weitere Möglichkeit der Energiegewinnung, durch Strömungskraft, geschuldet.

Das folgende Kapitel zeigt die Möglichkeiten regenerativer Energieversorgung durch Solarenergie, Windenergie und Strömungsenergie für den *SeeElefanten* auf. Dabei wird jeweils die Methodik der Datenermittlung kurz dargestellt und anschließend die zu erwarteten Energiegewinne quantifiziert.

5.1 Solarenergie

Maßgeblich für die Energiegewinnung durch Solarpaneele ist die zur Verfügung stehende Fläche. Diese konnte anhand des CAD-Modells gemessen werden. An Bord des SeeElefanten steht eine Gesamtfläche von 216m^2 zur Verfügung, welche sich auf das Brückendach, den achteren Teil des Hotelturms, das Dach der Sortierstrecke und die Back verteilt.

Die elektrische Energie, welche Solarmodule erzeugen können, wird häufig in [Wp] „Watt Peak“ oder [kWp] „Kilo Watt Peak“ angegeben. Diese Nennleistungs-Angabe bezieht sich auf die Energie, welche unter genormten Testbedingungen, den sogenannten Standardtestbedingungen, erzielt wird, und hängt sowohl von der Leistungsfähigkeit der Solarmodule, als auch von deren Fläche ab (Strom-Magazin, o.J., o.S.).

Um die elektrische Energie, welche auf diesem Wege gewonnen werden kann, zu quantifizieren, wurde also anhand der Fläche und durch Auswahl eines geeigneten, leistungsfähigen und robust gebauten Moduls ermittelt, welche Nennleistung in [kWp] maximal installierbar ist. Es zeigte sich, dass auf den zur Verfügung stehenden Flächen 309 Module des Typs „SW-40185“ von „Sun Ware“, á 100 Wp installierbar sind, also insgesamt eine Nennleistung von 30,9 kWp möglich ist.

In einem weiteren Schritt musste die solare Einstrahlung an den möglichen Einsatzorten ermittelt werden. Dazu wurden zunächst Angaben genutzt, welche der Hersteller auf seiner Homepage macht. Dort lässt sich der mittlere Tagesertrag eines 100 Wp Moduls, abhängig von Ort und Monat ermitteln (Sunware, o.J., o.S.).

Als Bezugsorte wurden Frankreich, Nizza; Thailand, Nakhon Ratchasima; Brasilien, Salvador und China, Shenzhen ausgewählt. Die Ermittlung geschah anhand einer Weltkarte, auf welcher der Meeresverschmutzungsgrad dargestellt ist, durch einfaches Abschätzen. Ziel war, die Orte so zu wählen, dass durch sie ein möglichst aussagekräftiger Durchschnittswert der Klimatischen Bedingungen an möglichen Eisatzorten gegeben ist. Tabelle 8 stellt die mittleren Tageserträge eines 100 Wp-Moduls abhängig von Ort und Monat dar.

Tabelle 8: Mittlerer Tagesertrag eines 100-Wp Moduls, abhängig von Ort und Monat;

Quelle: Sunware, o.J., o.S.

Mittlerer Tagesertrag eines 100 Wp Moduls, abhängig von Ort und Monat [Wh/Tag] (Quelle: https://de.sunware.solar/auslegung/tagesertraege)												
	Monat											
Ort	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
Frankreich, Nizza	151	226	327	392	467	540	545	462	354	224	154	125
Thailand, Nakhon Ratchasima	393	418	435	447	406	383	372	358	356	348	355	367
Brasilien, Salvador	462	450	422	372	335	305	322	353	396	445	453	458
China, Shenzhen	244	230	240	287	331	349	382	351	335	325	292	241

Mit diesen Werten erhält man folgende Monatsmittelwerte (siehe Tabelle 9); anhand der Modulanzahl ergeben sich dann entsprechende durchschnittliche Gesamttageserträge (siehe Tabelle 10):

Tabelle 9: Mittlerer Tagesertrag eines 100-Wp Moduls, abhängig vom Ort und als Mittelwert der Orte

Ort	Monat gemittelt [Wh/Tag]
Frankreich, Nizza	330,58
Thailand, Nakhon Ratchasima	386,50
Brasilien, Salvador	397,75
China, Shenzhen	300,58
Gesamtmittelwert [Wh/Tag]	
353,85	

Tabelle 10: Mittlerer Tagesertrag aller 100-Wp Module, abhängig vom Ort und als Mittelwert der Orte

Ort	Energie [kWh/Tag]
Frankreich, Nizza	102,15
Thailand, Nakhon Ratchasima	119,43
Brasilien, Salvador	122,90
China, Shenzhen	92,88
Gemittelte Energie [kWh/Tag]	
109,34	

In einem nächsten Schritt galt es, die Herstellerangaben bezüglich der zu erwartenden solaren Einstrahlung zu überprüfen. Dazu wurden Daten von „globalsolaratlas.info“ herangezogen. Diese Homepage wird von der Weltbankgruppe betrieben und gehört zu der Datenplattform „Energydata.info“ (The World Bank Group, 2016, o.S.). Diese hat zum Ziel, Daten und Analysen bereitzustellen, die helfen das siebte Nachhaltigkeitsziel der Vereinten Nationen, den „Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle [zu, Anm. d. Autors] sichern“ (Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen e.V., o.J., o.S.) zu erreichen (Energydata.info, 2018, o.S.).

Auch dort ist es möglich, den zu erwartenden Täglichen Energie-Output in [kWh/Tag] zu ermitteln, indem ein Ort und eine Nennleistung in [Wp] anzugeben sind. Für die beschriebene Anlage ergaben sich folgende Daten (siehe Tabelle 11):

Tabelle 11: Mittlerer Tagesertrag aller 100-Wp Module, abhängig vom Ort und als Mittelwert der Orte, ermittelt auf „Globalsolaratlas.info“

Vergleich: Solarenergiedaten laut globalsolaratlas.info					
Anlagenkapazität [kWp]	30,9	Azimuth	180°	Inclination	1°
Ort	Output [kWh/Tag]				
Frankreich, Nizza	101,9				
Thailand, Nakhon Ratchasima	117,6				
Brasilien, Salvador	125,1				
China, Shenzhen	93,54				
Mittelwert	109,535				

Aus der hohen Übereinstimmung der Daten, Gemittelte Energie nach Herstellerangeben = 109,34 [kWh/Tag] und nach Angaben von globalsolaratlas.info = 109,535 [kWh/Tag], lässt sich schließen, dass die Herstellerdaten zuverlässig sind. Eventuell nutzt der Hersteller sogar denselben Datensatz, auf den auch die Weltbank zurückgreift.

5.1.1 Fazit Solarenergie

Durch Solarenergienutzung lässt sich der Verbrauch fossiler Brennstoffe für die Müllverarbeitung reduzieren. Tabelle 12 zeigt auf, welcher Teil des Gesamtenergiebedarfs wahrscheinlich durch Solarenergie gedeckt werden kann und quantifiziert die Auswirkungen auf den Verbrauch fossiler Brennstoffe.

Tabelle 12: Gesamtenergiebilanz mit Solarenergienutzung und, zum Vergleich, mit ausschließlich durch Generatoren betriebener Stromerzeugung

Energie Saldo el. mit Solar	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**
Übertrag: Energiebedarf o. Hauptmaschine [kWh]	86.565	1.174.037	2.052.248	2.705.017	2.950.640	3.452.262	3.559.797	3.538.935	3.538.935	3.538.935
Energieerzeugung Solar [kWh]	2.267	37.400	37.400	37.400	37.400	37.400	37.400	37.400	37.400	37.400
SALDO ELEKTRISCH:										
Selbst erzeugte Energie [%]	**3%**	**3%**	**2%**	**1%**	**1%**	**1%**	**1%**	**1%**	**1%**	**1%**
Zusätzlich erf. Energie [kWh]	84.298	1.136.637	2.014.848	2.667.617	2.913.240	3.414.862	3.522.397	3.501.535	3.501.535	3.501.535
Zusätzlich erf. Energie [%]	**97%**	**97%**	**98%**	**99%**	**99%**	**99%**	**99%**	**99%**	**99%**	**99%**
Energiebilanz mit Solarenergie										
Erf. Mech. Energie für Generator [kWh] **inkl. Solar**	86.018	1.159.834	2.055.967	2.722.059	2.972.694	3.484.553	3.594.282	3.572.995	3.572.995	3.572.995
Erf. Kraftstoff / Jahr **inkl. Solar** [t]	17	232	411	544	595	697	719	715	715	715
Erf. Mech. Energie **exkl. Solar** [kWh]	88.332	1.197.997	2.094.131	2.760.222	3.010.857	3.522.716	3.632.445	3.611.158	3.611.158	3.611.158
Erf. Kraftstoff / Jahr **exkl. Solar** [t]	18	240	419	552	602	705	726	722	722	722
Durch WTE Eingesparter Kraftstoff / Jahr [t]	0	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Es wird deutlich, dass der auf diesem Wege eingesparte Kraftstoff 8t pro Jahr beträgt (ausgenommen das Jahr 2019, wegen der geringeren Einsatzzeit). Dieser Wert ändert sich im prognostizierten Verlauf nicht, da die ihn bestimmenden Größen nicht von den für die Zukunft erwarteten Änderungen zusammenhängen. Somit ist der prozentual auf die Solarenergiegewinnung fallende Anteil größer, je geringer die Umsätze insgesamt ausfallen. Angesichts der Zielsetzung, die Umweltverträglichkeit zu optimieren, lohnt sich der Einsatz der Solartechnik allerdings auch bei einem geringen prozentualen Energieanteil.

5.2 Windenergie

Die Effektivität von Windenergienutzung hängt primär von den lokalen Windvorkommen sowie von der Höhe über dem Boden und der Kreisfläche des Rotors beziehungsweise der Rotoren ab. Der Gesamtwirkungsgrad der Windenergieanlage ist eine weitere entscheidende Größe.

Für die vorliegende Ausarbeitung wurden zunächst die zu erwartenden Windvorkommen an den jeweiligen Eisatzorten ermittelt. Dazu wurden Daten von „globalwindatlas.info“ genutzt, welche durch die Technical University of Denmark und die Weltbankgruppe auf der Datenplattform „Energydata.info“ zur Verfügung gestellt wurden (Energydata.info [2], 2018, o.S.). Diese hat zum Ziel, Daten und Analysen bereitzustellen, die helfen das siebte Nachhaltigkeitsziel der Vereinten Nationen, Den „Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle [zu, Anm. d. Autors] sichern“ (Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen e.V., o.J., o.S.) zu erreichen (Energydata.info, 2018, o.S.)

Dort ist es möglich, die durchschnittliche nutzbare Windgeschwindigkeit, abhängig von der Höhe über dem Boden und dem Ort anzuzeigen. Zugunsten der besseren Vergleichbarkeit wurden dieselben Orte ausgewählt, wie für die Solardaten. Da sich nicht für alle ausgewählten Orte die Winddaten anzeigen ließen, musste teilweise auf Winddaten der jeweiligen Region, in welcher sich die Orte befinden, zurückgegriffen werden. Tabelle 13 stellt die mittleren Windgeschwindigkeiten an den entsprechenden Orten bzw. in den Regionen, in einer Höhe von 50m über dem Boden, dar.

Tabelle 13: Mittlere Windgeschwindigkeiten für Bezugsorte, 50m ü. Boden;
Quelle: The World Bank Group [2], 2016, o.S.

Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]: Globalwindatlas.info; 50m ü. Boden	
Nizza (Nähe): Provence alpes cote d'azur	8,33
Thailand Bangkok	3,88
Brasilien Bahia (Salvador)	6,34
China Guangdong Sheng (Shenzhen)	6,35

Zur Annäherung an die nächsten entscheidenden Kriterien, die Rotorfläche und den Gesamtwirkungsgrad, wurden die Herstellerangaben möglicher Windkraftanlagen genutzt. Dazu wurden durch Internetrecherche verschiedene Hersteller von Kleinwindkraftanlagen mit Rotordurchmessern zwischen 5m und 10m ermittelt, da diese Größenordnung für den Bordbetrieb geeignet ist. Der Verfasser dieser Ausarbeitung fragte bei verschiedenen Herstellern Daten ihrer Windkraftanlagen an, oder griff auf öffentlich zur Verfügung gestellte Daten zurück, falls diese erreichbar waren. Leider antworteten die deutschen Hersteller nicht auf die Anfragen, sodass in der Studie nur der amerikanischen Hersteller „Bergey“ und der britische Hersteller „Britwind“ berücksichtigt werden konnten.

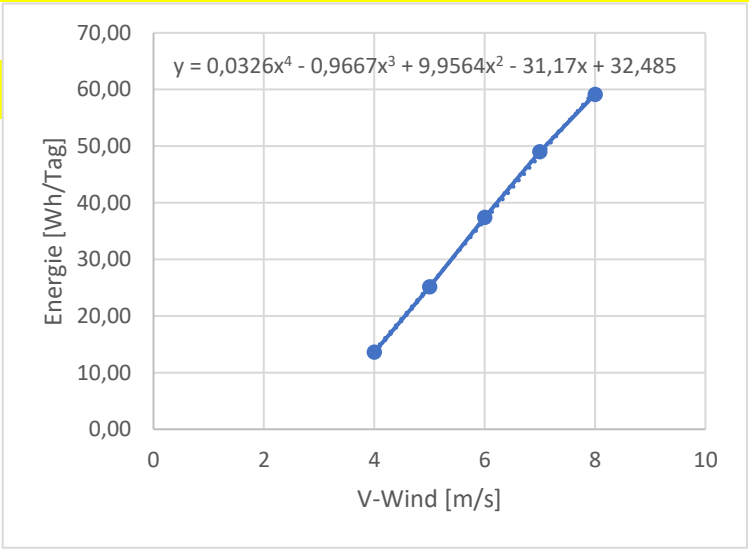
Als Datenbasis, zum Vergleich und der Ermessung der verschiedenen Analgen, wurde der sogenannte „Annual Energy Output“, bzw. die „Annual Energy Production“, kurz AEO, bzw. AEP, genutzt, also der jährliche Energiegewinn, abhängig von der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit auf Höhe der Rotornabe. Diese Kenngröße beinhalltet bereits den Gesamtwirkungsgrad und den Rotordurchmesser, bzw. die den Rotor umschreibende Kreisfläche. Tabelle 14 zeigt den jeweiligen jährlichen und täglichen Energiegewinn der Anlagen, abhängig von den gemittelten Windgeschwindigkeiten, sowie einen mittels Excel erstellten Grafen dieser Daten und eine von Excel vorgenommene Funktionsapproximation der Kurven, deren Sinn im Folgenden noch erläutert wird.

Tabelle 14: Eigenschaften der untersuchten Windkraftanlagen, Energieausbeuten abhängig von der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe;

Quellen: Datenblätter der Hersteller; Britwind Ltd., o.J., o.S.; Britwind Ltd. [2], o.J., o.S.; Bergey Wind Power, o.J., S.2; Solar Rating & Certification Corporation ICC -SRCC, 2017, o.S.; Bergey Wind Power, o.J., o.S.; Microgeneration Certification Scheme (MCS), o.J., S.6

Hersteller	Typ	Rotor_D	Anlaufwind [m/s]	Abschaltwind [m/s]	Nenndrehzahl 1/min	Gewicht	Preis
Britwind	R 9000	5,5m	3	60	200		

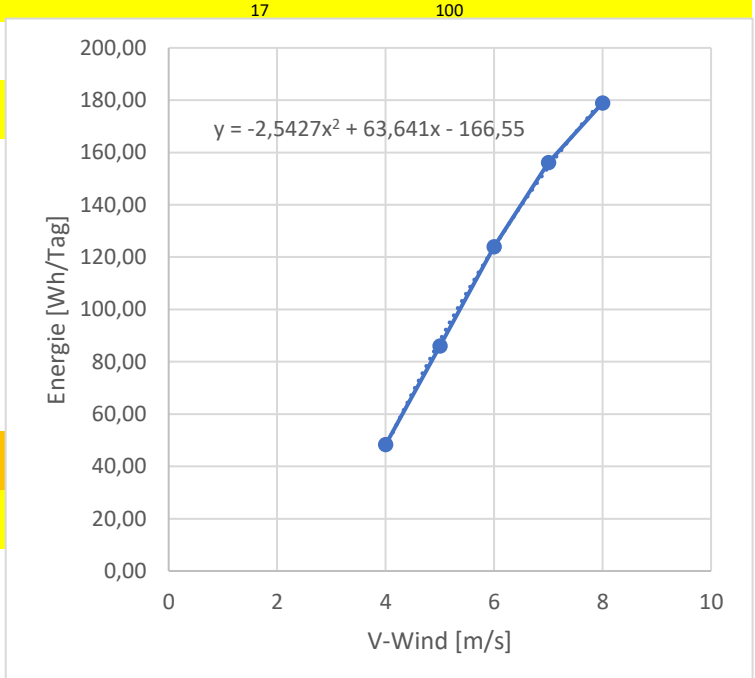
Gemittelte Windgeschwindigkeit	Energiegewinn [kWh/Jahr]	Energiegewinn [kWh/Tag]
4	4.963,00	13,60
5	9.167,00	25,12
6	13.653,00	37,41
7	17.877,00	48,98
8	21.581,00	59,13
9	k.A.	k.A.



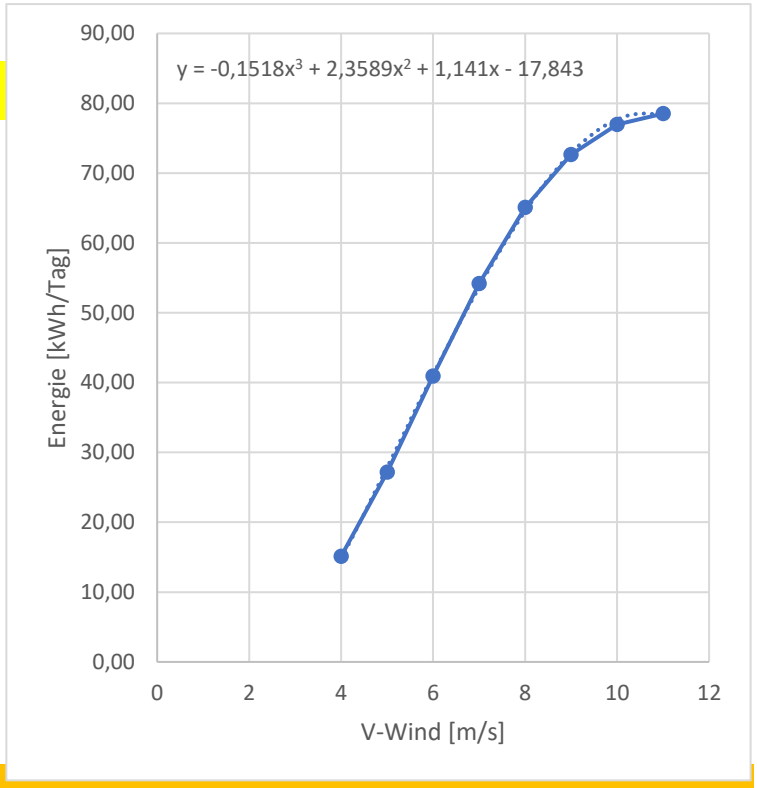
Hersteller	Typ	Rotor_D	Anlaufwind [m/s]	Abschaltwind [m/s]	Nenndrehzahl 1/min	Gewicht	Preis
Britwind	H 15 Class 2	10,4m		17	100		

Gemittelte Windgeschwindigkeit	Energiegewinn [kWh/Jahr]	Energiegewinn [kWh/Tag]
4	17638,00	48,32
5	31406,00	86,04
6	45256,00	123,99
7	56977,00	156,10
8	65313,00	178,94

Hersteller	Typ	Rotor_D
BERGEY	EXCEL 6	6,2m

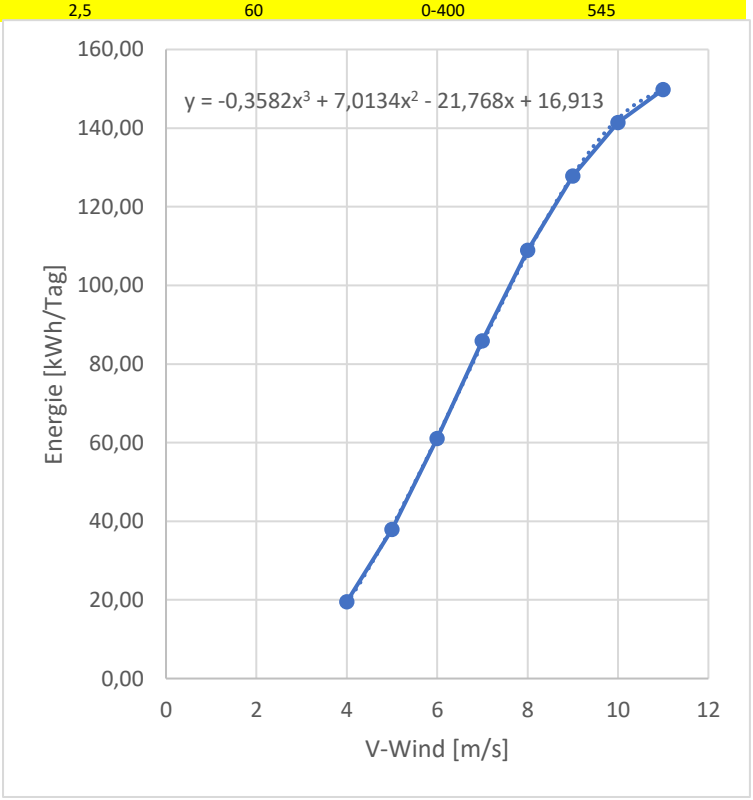


Gemittelte Windgeschwindigkeit	Energiegewinn [kWh/Jahr]	Energiegewinn [kWh/Tag]
4	5.522,00	15,13
5	9.919,00	27,18
6	14.940,00	40,93
7	19.777,00	54,18
8	23.749,00	65,07
9	26.523,00	72,67
10	28.096,00	76,98
11	28.657,00	78,51



Hersteller	Typ	Rotor_D	Anlaufwind [m/s]	Abschaltwind [m/s]	Nenndrehzahl 1/min	Gewicht [kg]	Preis
BERGEY	EXCEL 10	7,0m	2,5	60	0-400	545	

Gemittelte Windgeschwindigkeit	Energiegewinn [kWh/Jahr]	Energiegewinn [kWh/Tag]
4	7.135,00	19,55
5	13.842,00	37,92
6	22.300,00	61,10
7	31.342,00	85,87
8	39.755,00	108,92
9	46.652,00	127,81
10	51.626,00	141,44
11	54.685,00	149,82



Um nun die durchschnittlich pro Tag zu erwartende Energieausbeute für den jeweiligen Ort ermitteln zu können, musste zwischen den, nur für ganzzahlige Windgeschwindigkeiten angegebenen, durchschnittlichen täglichen Energiegewinnen, für die nicht ganzzahligen durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten der Orte, interpoliert werden. Dazu wurden die, mittels Excel erstellten, Näherungsfunktionen genutzt.

So ergab sich zum Beispiel für den Windgenerator „Excel 10“, des Herstellers „Bergey“ als Näherungsfunktion der Energieausbeute/Tag abhängig von der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit: $y = -0{,}3582x^3 + 7{,}0134x^2 - 21{,}768x + 16{,}913$ (Siehe Abbildung 1).

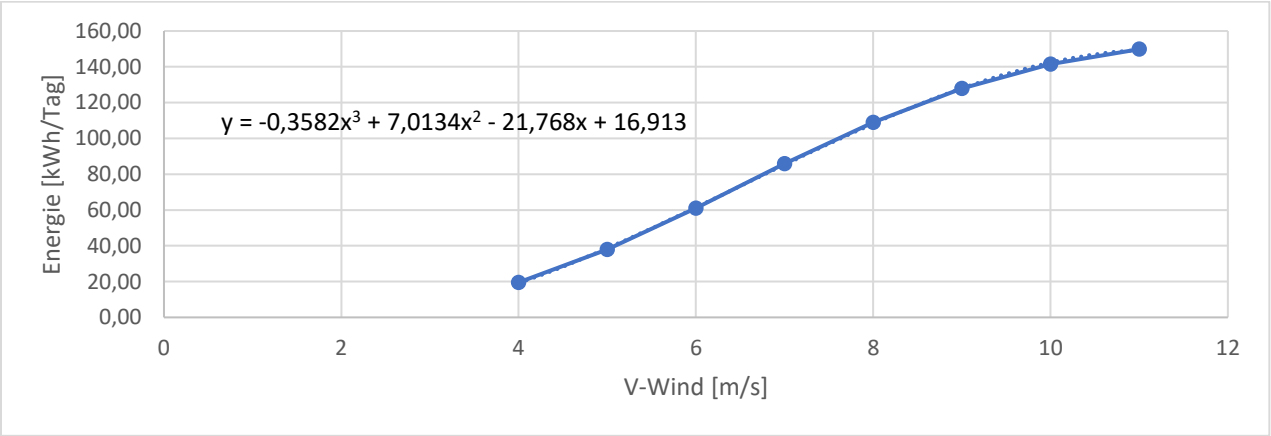


Abb.1: Tägliche energieausbeute des „Excel 10“ von „Bergey“, abhängig von durchschnittlicher Windgeschwindigkeit, Näherungsfunktion durch Excel erstellt; Eigene Abbildung, Daten von Microgeneration Certification Scheme (MCS), o.J., S.6

Somit erhält man beispielsweise für eine durchschnittliche Windgeschwindigkeit von 8m/s: Energie [kWh/Tag] =

$-0{,}3582\ (8m/s)^3 + 7{,}0134\ (8m/s)^2 - 21{,}768\ (8m/s) + 16{,}913 = 108{,}2282$ kWh/Tag. Der entsprechende Tabellenwert beträgt 108,92 kWh / Tag. Es zeigt sich, dass diese Näherungsfunktion an dieser Stelle einen Fehler von

$\left(\frac{108{,}2282\frac{kWh}{Tag}}{108{,}92\frac{kWh}{Tag}} - 1\right) * 100\%$ = -0,635% aufweist.

Der durchschnittliche Fehler der angewandten Methode, ermittelt mit zwei Werten pro Graf, liegt bei 0,463%.

Die so ermittelten Energieausbeuten pro Tag stellt Tabelle 15 dar.

Tabelle 15: Energieausbeuten der verschiedenen Windenergieanlagen, abhängig von Bezugsorten und als Durchschnittswerte; Fehler der Näherungsfunktionen

Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]: Globalwindatlas.info; 50m ü.Boden		Energie/Tag mit **Britwind R9000** [kWh/Tag]	
Nizza (Nähe): Provence alpes cote d'azur	8,33	61,90	
Thailand Bangkok	3,88	12,36	
Brasilien Bahia (Salvador)	6,34	41,39	
China Guangdong Sheng (Shenzhen)	6,35	41,51	
		Durchschnitt:	39,29

Fehlerermittlung							
Ganzzahlige Windgeschwindigkeit 1 [m/s]=	6	f(x)=	37,3378	Tabellenwert=	37,41	Fehler [%]=	0,18093459
Ganzzahlige Windgeschwindigkeit 2 [m/s]=	8	f(x)=	58,9138	Tabellenwert=	59,13	Fehler [%]=	0,35894073

Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]: Globalwindatlas.info; 50m ü.Boden		Energie/Tag mit **Britwind H 15 Class 2** [kWh/Tag]	
Nizza (Nähe): Provence alpes cote d'azur	8,33	187,14	
Thailand Bangkok	3,88	42,10	
Brasilien Bahia (Salvador)	6,34	134,73	
China Guangdong Sheng (Shenzhen)	6,35	135,04	
		Durchschnitt:	124,75

Fehlerermittlung							
Ganzzahlige Windgeschwindigkeit 1 [m/s]=	6	f(x)=	123,76	Tabellenwert=	123,99	Fehler [%]=	0,18569471
Ganzzahlige Windgeschwindigkeit 1 [m/s]=	8	f(x)=	179,85	Tabellenwert=	178,94	Fehler [%]=	0,50602177

Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]: Globalwindatlas.info; 50m ü.Boden		Energie/Tag mit **BERGEY Excel 6** [kWh/Tag]	
Nizza (Nähe): Provence alpes cote d'azur	8,33	67,60	
Thailand Bangkok	3,88	13,23	
Brasilien Bahia (Salvador)	6,34	45,52	
China Guangdong Sheng (Shenzhen)	6,35	45,65	
		Durchschnitt:	43,00

Fehlerermittlung							
Ganzzahlige Windgeschwindigkeit 1 [m/s]=	6	f(x)=	41,13	Tabellenwert=	40,93	Fehler [%]=	0,49617805
Ganzzahlige Windgeschwindigkeit 1 [m/s]=	8	f(x)=	64,53	Tabellenwert=	65,07	Fehler [%]=	0,81879237

Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]: Globalwindatlas.info; 50m ü.Boden		Energie/Tag mit **BERGEY Excel 10** [kWh/Tag]	
Nizza (Nähe): Provence alpes cote d'azur	8,33	115,19	
Thailand Bangkok	3,88	17,11	
Brasilien Bahia (Salvador)	6,34	69,53	
China Guangdong Sheng (Shenzhen)	6,35	69,77	
		Durchschnitt:	67,90

Fehlerermittlung							
Ganzzahlige Windgeschwindigkeit 1 [m/s]=	6	f(x)=	61,42	Tabellenwert=	61,10	Fehler [%]=	0,52427354
Ganzzahlige Windgeschwindigkeit 1 [m/s]=	8	f(x)=	108,23	Tabellenwert=	108,92	Fehler [%]=	0,63314552

Im letzten Schritt galt es, die Gesamtleistung eines Windenergiekonzeptes mit mehreren Windkraftanlagen zu ermitteln. Anhand des CAD-Modells ließ sich gut erkennen, dass sich mögliche Standorte für Windkraftanlagen auf den beiden Kransäulen und auf der Back ergeben.

Da die, auf den Kranen installierten, Windgeneratoren aller Wahrscheinlichkeit nach nicht wegklappbar sein werden, wenn sich das Schiff in Fahrt befindet, müssen an diesen Stellen kleinere Anlagen vorgesehen werden, die die Sicht von der Bücke aus nicht beeinträchtigen und die Hauptspantwindangriffsfläche, sowie die laterale Windangriffsfläche nicht nennenswert beeinflussen (zumindest dann nicht, wenn sie fest gestellt sind), um die Ausrüstungsleitzahl, den Höhenschwerpunkt den Betrag der Windangriffsfläche nicht zu verändern.

So ergibt sich ein Gesamtkonzept mit Drei Windkraftanlagen. Alle Windkraftkomponenten sollen, soweit möglich, von demselben Hersteller stammen, sodass sich die in Tabelle 16 dargestellten Möglichkeiten ergeben.

Tabelle 16: Energieausbeuten der verschiedenen Windenergiekonzepte, jeweils als Gesamtmittelwert der möglichen Standorte erstellt

ENERGIEGEWINN MIT EINER GROSSEN ANLAGE (BACK) UND ZWEI KLEINEN (KRANSÄULE) - Gemittelt [kWh/Tag]					
Kleinanlage: Britwind R 9000	Große Anlage: Britwind H 15 Class 2	Gesamtenergie [kWh/Tag]	Kleinanlage: BERGEY EXCEL 6	Große Anlage: BERGEY EXCEL 10	Gesamtenergie [kWh/Tag]
39,29	124,75	203,33	43,00	67,90	153,90

5.2.1 Fazit Windenergie

Windenergie auf Schiffen zu nutzen ist sicherlich keine neue Idee – sich damit allerdings nicht fortzubewegen, sondern Müll aus dem Meer zu entfernen, wohl schon; ebenso wie bedauerlicher Weise die Notwendigkeit dazu. Tabelle 17 zeigt die Energiebilanz bei Einsatz des leistungsstärkeren Windenergiekonzeptes auf.

Tabelle 17: Gesamtenergiebilanz mit Solarenergienutzung und, zum Vergleich, mit ausschließlich durch Generatoren betriebener Stromerzeugung

Energie Saldo Elektrisch mit Wind	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**
Übertrag: Energiebedarf o. Hauptmaschine [kWh]	86.565	1.174.037	2.052.248	2.705.017	2.950.640	3.452.262	3.559.797	3.538.935	3.538.935	3.538.935
Energieerzeugung Wind [kWh]	4.205	69.360	69.360	69.360	69.360	69.360	69.360	69.360	69.360	69.360
SALDO ELEKTRISCH										
Selbst erzeugte Energie [%]	5%	6%	3%	3%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Zusätzlich erf. Energie [kWh]	82.360	1.104.677	1.982.888	2.635.657	2.881.280	3.382.902	3.490.437	3.469.575	3.469.575	3.469.575
Zusätzlich erf. Energie [%]	95%	94%	97%	97%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
Energiebilanz mit Windenergie										
Erf. Mech. Energie für Generator [kWh] **inkl. Wind**	84.041	1.127.222	2.023.355	2.689.446	2.940.082	3.451.941	3.561.670	3.540.382	3.540.382	3.540.382
Erf. Kraftstoff / Jahr[t] **inkl. Wind**	17	225	405	538	588	690	712	708	708	708
Erf. Mech. Energie [kWh] **exkl. Wind**	88.332	1.197.997	2.094.131	2.760.222	3.010.857	3.522.716	3.632.445	3.611.158	3.611.158	3.611.158
Erf. Kraftstoff / Jahr[t] **exkl. Wind**	18	240	419	552	602	705	726	722	722	722
Durch Wind Eingesparter Kraftstoff / Jahr [t]	1	14	14	14	14	14	14	14	14	14

Hier zeigt sich, wie bereits bei der Windenergienutzung, dass die Energiegewinnung für die nächsten Jahre als konstant anzunehmen ist, während die Umsätze der Anlagen steigen werden. Darum wird prozentual ein kleiner werdender Anteil durch Windenergie gedeckt werden.

Betrachtet man allerdings die Kraftstoffeinsparung, welche Windenergienutzung ermöglicht, stellt man fest, dass bildlich gesprochen, innerhalb von weniger als drei Jahren ein 40t -Lastkraftwagen voller Kraftstoff eingespart wird.

12. Anhang: Protokoll BG-Verkehr

Besprechung: Genehmigungsfähigkeit Projekt One Earth – One Oceane.V. (OEOO) "SeeElefant"

Datum: 28.11.2018

Zeitraum: 10:00 – 12:30Uhr

Ort: Brandstwiete 1, 20457 Hamburg

Teilnehmer:

Deutsche Flagge:	Hans-Joachim Wiegmann (Head of Nautical Department)
Deutsche Flagge:	Holger Steinbock (Schiffsmaschinenbau)
Deutsche Flagge:	Alexander Dierichs (Schiffbauingenieur; bis 11:00 Uhr)
OEOO:	Dr. Harald Frank (Unternehmensberater)
OEOO:	Lennart Rölz (Schiffbauingenieur)

Umbau vom Schiff/Laderaum

- Generell wird die Machbarkeit des vorgestellten des SeeElefant-Umbaukonzeptes (inkl. Anlagentechnik im Containerraster) unter bestimmten Voraussetzungen, welche im Verlauf des Protokolls aufgeführt werden, bestätigt.
- Alles, was neu eingebaut wird, muss den aktuellen Bestimmungen entsprechen (MED Zulassung für Schiffsausrüstung)
- Kleinere Umbaumaßnahmen im Laderaum (z.B. Anbringen von Knieblechen oder Vorrichtungen zur Sicherung der Containerstruktur) sind zulässig.
- Eine „Major Conversion“ wird im Rahmen der vorgestellten Nutzung bzw. diskutierten An- und Umbauten nicht gesehen; sie sollte vermieden werden, da sonst das Fahrzeug als "neues Schiff" zu betrachten ist, was umfangreiche Forderungen bezüglich der einzuhaltenden/anzuwendenden Regeln haben kann. Dies kann unter Umständen bei einem vorhandenen Schiff schwierig umsetzbar sein (z.B. Leckrechnung, baulicher Brandschutz).

Anlagenbetrieb und Arbeiten im Laderaum

- Durch das Betreiben der vorgestellten Anlagentechnik im Laderaum eines Schiffes wird dieser zum „Arbeits- bzw. Produktionsraum“ und somit zum „Raum für Besatzung“ und es gelten ergänzende Vorschriften für die folgenden Punkte:
    - Fluchtwege, Notausgänge, Evakuierung
    - Zugänglichkeit
    - Sanitäranlagen
    - Brandschutz (baulicher und aktiver Brandschutz)
    - Lüftung
    - Pausen- und Arbeitsräume

- Mindestraumhöhen
- Rettungsmittel

Diese Punkte müssen in der weiteren Planung und Konstruktion in enger Absprache mit der Deutschen Flagge bzw. der Klassifikationsgesellschaft DNV/GL abgesprochen werden.

Betrieb einer Müllverbrennungsanlage (MVA) u./o. Biogasanlage

- MVA auf Schiffen sind normalerweise zugelassen für die eigenen auf dem Schiff anfallenden Abfälle. Es ist zu klären ob aufgesammelter und ggf. sortierter, gewaschener oder anderweitig vorbehandelter Meeresmüll insoweit als Wertstoff und nicht als Abfall zu bewerten ist.
- Der Betrieb einer MVA im Reede- oder Hafenbereich bedarf einer Erlaubnis als „Schwimmender Industriebetrieb“ der zuständigen Hafenbehörde
- Die Abgase der MVA sollten (wenn möglich) über das vorhandene Schornsteinsystem abgeführt werden, so die Abgase dann den Schiffsbetrieb nicht beeinträchtigen.
- Die einzubauende Anlagentechnik bedarf eines besonderen Korrosionsschutzes (seewasserfester Edelstahl oder entsprechende Beschichtung), sofern die Anlagenteile mit Seewasser in Berührung kommen.

Kranarbeiten auf dem Wasser:

- Kein Problem im Reedegebiet, da mit Hafengebiet gleichzusetzen.
- Wenn kein Reedegebiet -> bestimmte Voraussetzungen, welche mit der Klasse abgestimmt werden müssen. Wenn seitens der Klassifikationsgesellschaft keine besonderen Forderungen bzgl. des Kraneinsatzes in Hinblick auf die Stabilität bestehen, ist mit dem Referat Schiffbau anhand der tatsächlich an Bord installierten Anlagen zu klären, ob die Einhaltung des "Tonnenlegerkriterium" nachzuweisen ist.

Staplerbetrieb auf dem Wasser

- Kein Problem im Reedegebiet, da mit Hafengebiet gleichzusetzen.
- Wenn Verbrennungsmotoren eingesetzt werden -> Lüftung sicherstellen-> E-Stapler werden bevorzugt

Lukendeckel

- Wetterdichter Verschluss muss hergestellt werden können!
- Durchbrüche sind zulässig, wenn diese wetterdicht verschließbar sind.
- Die Konstruktion von Durchbrüchen muss mit der Klassifikationsgesellschaft (DNV/GL) abgestimmt werden.
- Bei einer Open-Top-Containervariante, müssen entsprechende Richtlinien (MSC/Circular.608/Rev.1) eingehalten werden (z.B. Lenzfähigkeit des Laderaumes)

Lagerung von Plastikballen u.a. getrennten Meeresmüll-Fraktionen in Containern

- Es wird keine erhöhte Brandlast vermutet gegenüber der Ladung für die das Schiff ausgelegt ist.
- Eine Zulassung der Laderäume für Gefahrgut sollte geprüft werden.

Sortierpersonal von Land

- Es dürfen maximal 12 Leute, die nicht zur Besatzung gehören, auf das Schiff gebracht werden und dort arbeiten, da sich ansonsten die „Zweckbestimmung“ vom Fracht- zum Passagierschiff ändern würde, was mit erheblichem Umbauaufwand verbunden wäre. Unter noch zu klärenden Bedingungen kann diese Grenze beim Frachtschiff bis auf 60 Nicht-Besatzungsmitglieder erhöht werden.
- Hierzu gibt es die Möglichkeit, das Schiff zusätzlich als Special-Purpose-Ship (SPS) zuzulassen. Diese Zulassung ist zwar nicht international verbindlich, wird jedoch von den IMO-Mitgliedstaaten normalerweise anerkannt. Mit einer SPS-Zulassung wäre es möglich mehr Personal auf dem Schiff zu beschäftigen, welche nicht zur Besatzung gehören, wie z.B. auf einem Forschungsschiff üblich.
- Es muss geklärt werden, wie besatzungsfremde Personen an und von Bord kommen kann. Hierzu wurden folgende Möglichkeiten genannt, die es zu untersuchen gilt:
    - Lotsenleiter
    - Landgang mit Außenhautöffnung
    - Kräne mit Personenkorb
    - Walk-to-Work Systeme / Ampelmann-Systeme

Welche Genehmigungsinstitutionen müssen eingebunden werden?

- Flagge (BG-Verkehr) -> Schiffssicherheit und Zulassungsbehörde
    - Bei momentanem SeeElefant-Konzept müssen folgende Dokumente in jedem Fall neu erstellt werden:
        - Krängungsversuchsauswertung eines Krängungsversuches nach Abschluss der Umbauarbeiten '(IS Code 2008)
        - Stabilitätsnachweis auf Basis der Ergebnisse des o. g. Krängungsversuches (IS Code 2008)
        - Freibordaufnahmebericht
    - Es muss keine neue Leckrechnung gemacht werden solange die wasserdichte Unterteilung des Fahrzeugs unverändert bleibt (gilt nicht für den Fall einer Mayor Conversion bzw. für die Zulassung als SPS)
- Klassifikationsgesellschaft -> Schiffskonstruktion und Festigkeit
- BSH – Navigation und Funk
- SeeArbeitsübereinkommen – Zulassung Besatzung und Personal
    - Kontakt: Kapitän Berger ISM

Weiteres

- Safety-Management: Es sollte über ein Tracking-System für die Arbeiter im Laderaum nachgedacht werden.

13. Anhang: Vergleich ökologisch wesentlicher Effekte

Vergleich ökologisch wesentlicher Effekte*				
Die "Bilanzierung" erfolgt als Vergleich der beiden Situationen: Variante 1: Status Quo / Ohne OEOO-Pilotsystem Maritime Müllabfuhr Variante 2: Mit OEOO-Pilotsystem Maritime Müllabfuhr: Reinigungsleistung 15 t/Tag; 4.265 t/a Meeresplastik-Ballenware				
Betrachtete Parameter	**Erläuterung (Beispiel PE)**	**Variante 1 Status Quo**	**Variante 2 Betrieb MM Pilotsystem**	**Ergebnis**
Rohstoffeinsatz	Rohöl für Herstellung von 4265 t Kunststoff** (in t)	8.160	0	
	Treibstoff für SeeElefant-Hauptmaschine (in t)	nicht relevant	57	
	Hotel- und Kranbetrieb; ohne Hauptmaschine) als Differenz zwischen Gesamtbedarf und Gesamterzeugung / Erzeugung über Schiffsgeneratoren (in t)	nicht relevant	203	
	SUMME	8.160	260	7.900
Energieeinsatz	Benötigte Energie für Herstellung von 4265 t Kunststoff (in MWh)	82000***	49200****	32.800
* Abstraktion von Energie- u. Rohstoffeinsatz bzw. Schadstoffemission Bau Müllsammelschiffe, Anlagen: langlebige Investitionsgüter ** Für die Herstellung von 1 kg Kunststoff werden ca. 2 Liter Rohöl eingesetzt ***http://webarchiv.hunold-knoop.de/de/wissen/wissenswertes_energieverbrauch.php **** Für unser Beispiel kalkulieren wir konservativ mit einer Energieeinsparung von 40% gegenüber einer konventionellen Produktherstellung aus Primärrohstoffen siehe Anhang 14				

Werner & Mertz GmbH geben an, durch die Herstellung der der HDPE- und PET-Flaschen ausschließlich aus Recyclingmaterial Energieeinsparungen von 20% bis 70% zu realisieren. Für unser Beispiel kalkulieren wir konservativ mit einer Energieeinsparung von 40% gegenüber einer konventionellen Produktherstellung aus Primärrohstoffen.

Branche/Unternehmen	Hersteller von Wasch-, Putz- und Reinigungsmitteln/Werner & Mertz GmbH	
Maßnahme/Technologie	Herstellung von 5,5 Millionen HDPE-Flaschen pro Jahr aus 100 % Recyclingmaterial aus dem gelben Sack	Herstellung von 80 Millionen PET-Flaschen pro Jahr aus 20 % Recyclingmaterial aus dem gelben Sack und 80 % Recyclingmaterial aus dem Europäischen PET-Flaschen-Sammelsystem
Art des Materials	Recyceltes HDPE	Recyceltes PET
Einsparungen Material in %	100 %	100 %
Einsparungen Material absolut	375 000 kg pro Jahr	2 956 000 kg pro Jahr
Einsparungen Energie in %	19 %	70 %
Einsparungen $CO_{2äq}$ (nur durch Energieersparnis)	131 000 kg $CO_{2äq}$ pro Jahr	12 320 490 000 kg $CO_{2äq}$ pro Jahr

Quelle: Werner & Mertz GmbH (Frosch Putz- und Reinigungsmittel)