

# **CO<sub>2</sub> Einsparpotenziale in den Häfen von Bremerhaven - Vorläufiger Schlussbericht -**

Kurzstudie im Auftrag der Kieserling Stiftung  
Bremen, Dezember 2021





Institut für  
Seeverkehrswirtschaft  
und Logistik

### **Kontakt**

Universitätsallee 11-13  
28359 Bremen  
Deutschland

Tel.: +49 421 22096 - 0  
Fax: +49 421 22096 - 55  
[www.isl.org](http://www.isl.org)

### **Ihre Ansprechpartner**

**Dr. Nils Meyer-Larsen**  
E-Mail: [meyer-larsen@isl.org](mailto:meyer-larsen@isl.org)  
Tel: +49 471 309838 – 53

**Jakob Ovens**  
E-Mail: [ovens@isl.org](mailto:ovens@isl.org)  
Tel: +49 421 22096 - 73

## Inhalt

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Inhalt</b>  | <b>II</b> |
| <b>1. Einleitung</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. Untersuchungsgegenstand und Hintergrund</b>  | <b>1</b>  |
| <b>3. Darstellung der Methodik</b>   | <b>2</b>  |
| <b>4. Einschätzung des Kraftstoffverbrauchs</b>  | <b>2</b>  |
| 4.1 Umschlagsgerät   | 2         |
| 4.1.1 Containerbrücken   | 3         |
| 4.1.2 Transtainer  | 3         |
| 4.1.3 Hafenkrane   | 3         |
| 4.1.4 Fahrzeugkrane  | 4         |
| 4.2 Rangiergerät   | 4         |
| 4.2.1 Reach Stacker und Leercontainerstapler   | 4         |
| 4.2.2 Van Carrier  | 5         |
| 4.3 Sonstiges  | 5         |
| 4.3.1 Hafenrelevanter Schiffsbetrieb   | 6         |
| 4.3.2 Hafeneisenbahn   | 7         |
| <b>5. Anwendungspotenziale für CO<sub>2</sub>-neutrale Wasserstofftechnologien im Hafenbetrieb</b> | <b>7</b>  |
| <b>6. Zusammenfassung und abschließende Bewertung</b>  | <b>9</b>  |
| <b>Literaturverzeichnis</b>  | <b>12</b> |

## 1. Einleitung

Die bremischen Häfen setzen sich aus mehreren Terminals an den zwei Standorten Bremen und Bremerhaven zusammen und werden gemeinsam durch die bremenports GmbH & Co. KG verwaltet (bremenports GmbH & Co. KG o.J.a). Der Fokus dieser Kurzstudie liegt auf den Häfen von Bremerhaven. Hier befinden sich vier Terminals: das Container-Terminal, das Auto-Terminal, das Kreuzfahrtterminal und der Fischereihafen. An den tiefen Umschlagsanlagen von Container- und Autoterminal können auch sehr große Seeschiffe Umschlag betreiben. Am Containerterminal, welches eines der größten in Europa ist, können über zehn große Containerschiffe gleichzeitig festmachen und Container umschlagen. Das Auto-Terminal hingegen ist ein wichtiger europäischer Umschlagsplatz für Automobile, die hier auch gewartet, verbessert oder umgebaut werden können. Am Kreuzfahrtterminal, dem Columbus Cruise Center Bremerhaven, können bis zu vier Kreuzfahrtschiffe gleichzeitig liegen, die hier mit Verbrauchsmitteln versorgt werden und Passagier- sowie gegebenenfalls auch Crewwechsel durchführen. Der Fischereihafen ist historisch als Hafengebiet gewachsen, in dem die vollständige Wertschöpfungskette der Fischerei vom Umschlag von den Fischereischiffen bis zur Verarbeitung der Fische stattfindet. In jüngerer Zeit hat sich der Fischereihafen auch als Standort für die Offshore-Windindustrie etabliert (bremenports GmbH & Co. KG, o.J.b).

Durch die Diversität der Häfen von Bremerhaven sind auch die Maschinen, Fahrzeuge und Einsatzmittel, die benötigt werden, um den Hafenbetrieb zu gewährleisten, vielseitig. Diese werden eingesetzt, um sichere Manöver der Schiffe im Hafengebiet zu gewährleisten, um Ladung umzuschlagen, diese auf dem Terminalgelände zu bewegen und ins Hinterland zu transportieren. Neben Strom sind vor allem Diesel, Erdgas und Heizöl wichtige Energieträger in den Häfen von Bremerhaven (von Barges 2021).

Im Rahmen dieser Kurzstudie wird eine Methodik vorgestellt, mit der die Energieverbräuche von Umschlags-, Rangier- und sonstigen für den Hafenbetrieb in Bremerhaven benötigten Maschinen und Gerätschaften abgeschätzt werden. Mittels dieser Methodik wird eine Einschätzung der größten Verbraucher und ihrer jährlich benötigten Kraftstoffmengen vorgenommen. Abschließend wird dargestellt, welche Einsparungen an fossilen Energieträgern durch den Einsatz von Elektrifizierung und wasserstoffbasierten Technologien erzielt werden können.

## 2. Untersuchungsgegenstand und Hintergrund

Der Fokus dieser Studie wird auf Energieverbräuche von Geräten und Einsatzmitteln für den Umschlag und das Bewegen von Ladung im Hafen sowie auf Einheiten, die eingesetzt werden, um das sichere Manövrieren von Seeschiffen im Hafengebiet zu gewährleisten, gelegt. Alle diese werden in dieser Studie gesammelt als Cargo Handling Equipment (CHE) bezeichnet. Untersucht wird CHE, das in den Häfen von Bremerhaven, also dem Container-Terminal, dem Auto-Terminal, dem Kreuzfahrtterminal und dem Fischereihafen, eingesetzt werden.

Einsparpotenziale an fossilen Energieträgern wie Benzin, Diesel und Erdgas werden definiert als Option, alternative Energieträger einzusetzen, die die Menge an emittiertem CO<sub>2</sub> reduzieren. Nicht Gegenstand der Betrachtung sind Einsparpotenziale, die durch eine Erhöhung der Energieeffizienz des eingesetzten CHE oder durch eine alternative Attribution und Steuerung des CHE auf den Terminals erzielt werden könnten.

Als Wasserstofftechnologien werden in dieser Studie Möglichkeiten bezeichnet, die Wasserstoff und auf Wasserstoff basierende Energieträger entweder direkt in einem Verbrennungsmotor oder indirekt über einen brennstoffzellenelektrischen Antrieb nutzen, um CHE zu betreiben. Einbezogene Energieträger sind neben reinem Wasserstoff auch Ammoniak, Methanol sowie durch die Fischer-Tropsch-Synthese erzeugte synthetische kohlenwasserstoffbasierte Energieträger wie Benzin, Diesel und Kerosin (Jendrichik 2017, Gruber et al. 2019). Darüber hinaus wird auch erörtert, ob gegebenenfalls eine Elektrifizierung von CHE möglich ist. Bei der Herstellung von elektrolytischem Wasserstoff bzw. synthetischen Energieträgern geht stets ein Teil der eingesetzten elektrischen Energie durch sogenannte Umwandlungsverluste verloren. Wenn CHE ausschließlich elektrisch betrieben wird, entfällt dieser Umwandlungsverlust, wodurch der Betrieb sowohl ökologisch als auch ökonomisch nachhaltiger durchgeführt werden könnte (Meyer-Larsen et al. 2021).

### 3. Darstellung der Methodik

In dieser Kurzstudie wird ein literaturbasierter Ansatz verfolgt, der im Rahmen des Projektes MaritlEm<sup>1</sup> entwickelt wurde. Grundlage der Abschätzung der Energieverbräuche ist zunächst eine Bestandsaufnahme des in den Häfen von Bremerhaven eingesetzten CHE. Zur Bestimmung der Anzahl des verschiedenen CHE werden Broschüren und Veröffentlichungen gesichtet und ausgewertet. Diese Quellen werden ergänzt durch Satellitenaufnahmen, die durch die Software Google Earth Pro zur Verfügung gestellt werden. Nachdem das Inventar des an den unterschiedlichen Terminals eingesetzten beziehungsweise dort stationierten CHE erstellt wurde, wird der jährliche Energieverbrauch abgeschätzt. Die Basis für diese Abschätzungen sind eine Einordnung der jährlichen Betriebsstunden und der Leistung des jeweiligen CHE. Dafür werden unter anderem sogenannte Air Emission Inventories (AEI) unterschiedlicher Häfen genutzt, bei denen die Emissionslast detailliert modelliert wird, um zu überprüfen, wie sich Entscheidungen des Hafenmanagements zu emissionsreduzierenden Maßnahmen in der Realität auswirken. Prominente Beispiele für solche AEI, die als vergleichende Basis in dieser Kurzstudie eingesetzt werden, sind die AEI der Containerhäfen von Los Angeles (Starcrest Consulting Group 2020a) und von Long Beach (Starcrest Consulting Group 2020b). Um einen vergleichbaren Stand zu haben, wurden die AEI von 2019 verwendet, um eine Situation abzubilden, die nicht durch die anhaltende COVID19-Pandemie beeinflusst wurde.

### 4. Einschätzung des Kraftstoffverbrauchs

#### 4.1 Umschlagsgerät

Als Umschlagsgerät wird CHE bezeichnet, das eingesetzt wird, um Bewegungen zwischen Ladungsträgern und Terminal durchzuführen. Einerseits wird es benötigt, um Güter zwischen Seeschiffen und Terminals auszutauschen, andererseits auch, um Güter zwischen dem Terminal und der Bahn oder Lkw auszutauschen mit dem Zweck, die Güter ins Hinterland zu transportieren.

---

<sup>1</sup> <https://www.maritiem.de/de/>

### 4.1.1 Containerbrücken

Sogenannte Containerbrücken sind spezialisierte Kräne, die eingesetzt werden, um Containerschiffe zu be- und entladen. Sie sind auf Schienen montiert und können sich horizontal entlang der Kaje bewegen. In der Vertikalen werden Container über ein Hubwerk gehoben und über eine Laufkatze horizontal bewegt. Je nach Anforderung des Hafens sind Containerbrücken sehr unterschiedlich dimensioniert und können unterschiedliche Containergewichte und Containeranzahlen auf einmal heben (Liebherr o.J.a).

Im Bereich der Häfen von Bremerhaven sind insgesamt 49 Containerbrücken installiert, eine auf dem Kreuzfahrtterminal, die verbleibenden auf dem Containerterminal (Google Earth 2021). Containerbrücken werden in der Regel elektrisch betrieben, es werden also keine fossilen Kraftstoffe direkt verbraucht, die eingespart werden könnten<sup>2</sup> (Liebherr 2020).

### 4.1.2 Transtainer

Ein Transtainer ist eine Art Portalkran, der ähnlich aufgebaut ist wie eine Containerbrücke. Transtainer werden entweder auf Schienen oder auf Reifen bewegt. Durch eine Bereifung können Transtainer flexibler bewegt werden als auf einer Schiene, die eine Bewegungsrichtung vorgibt. Schienengebundene Transtainer werden elektrisch betrieben (Krause und Roskamp 1975).

Am Rail Terminal Bremerhaven auf dem Containerterminal werden vier Transtainer eingesetzt, um Container vom Terminal auf Züge zu heben, damit diese ins Hinterland transportiert werden. Die eingesetzten Transtainer sind schienengebunden und werden elektrisch betrieben (Rail Terminal Bremerhaven 2021). Es sind daher dieselben Implikationen zu den Verbräuchen fossiler Kraftstoffe gültig wie bei Containerbrücken.

### 4.1.3 Hafenkran

Für den Umschlag von Stückgut oder Kollis werden verschiedene Arten von Kranen eingesetzt. Ein Beispiel für solche Kräne sind Hafenschienenkrane. Hafenschienenkrane sind entlang der Kaje auf Schienen montiert. Der Kranaufbau kann unterschiedlich ausgelegt sein; bei einem starr montierten Aufbau kann Ladung gehoben und in einer horizontalen Dimension bewegt werden, bei einem drehbaren Aufbau, einem sogenannten Portaldrehkran, ist eine Bewegung der Ladung in drei Dimensionen möglich. Die Elektromotoren von Hafenschienenkranen können entweder durch eine externe Stromversorgung oder durch einen bordseitigen Dieselgenerator mit Energie versorgt werden (Gottwald Port Technology o.J.). Die Möglichkeit, den Elektromotor durch einen bordseitigen Dieselgenerator mit Strom zu versorgen, wird als die-selelektrischer Antrieb bezeichnet.

---

<sup>2</sup> Da Containerbrücken mit Strom betrieben werden, ist die Zusammensetzung des Strommixes entscheidend, um potenzielle indirekte Verbräuche fossiler Energieträger durch Containerbrücken bestimmen zu können. Eine solche Einschätzung übersteigt den Betrachtungsumfang dieser Kurzstudie.

Im Hafen von Bremerhaven werden verschiedene Arten von Kranen eingesetzt. Am Auto-Terminal werden zwei Hafenschienenkrane eingesetzt, am Kreuzfahrtterminal vier. Im Fischereihafen werden insgesamt 12 Hafenkranen mit unterschiedlichem Zweck und Bauart eingesetzt (Google Earth 2021).

Im für den Hafen von Los Angeles durchgeführtes AEI verdeutlicht, dass die ortsgebunden oder auf Schienen installierten Hafenkranen dieses Hafens elektrisch betrieben werden (Starcrest Consulting Group 2019). Diese Tatsache wird auf die Häfen von Bremerhaven übertragen und es wird die Annahme getroffen, dass die Hafenkranen in Bremerhaven elektrisch betrieben werden. Es sind daher dieselben Implikationen zu den Verbräuchen fossiler Kraftstoffe gültig wie bei Containerbrücken.

### **4.1.4 Fahrzeugkrane**

Fahrzeugkrane sind Krane, die auf einem Fahrzeug montiert sind und daher mobil einsatzfähig sind. Sie können sowohl auf dem Hafengelände als auch in unwegsamem Gelände eingesetzt werden. Je nach Einsatzzweck variieren die Länge der Kranausleger, die maximal zulässige Traglast und die Anzahl der Achsen pro Fahrzeug stark. Fahrzeugkrane werden vor allem zum Heben von Stückgut eingesetzt. Während die Fahrzeuge selbst mit Diesel betrieben werden, wird der Kran dieselhydraulisch und über ein Getriebe bewegt (Liebherr o.J.b, o.J.c).

In Bremerhaven ist ein Fahrzeugkran auf dem Autoterminal stationiert, drei weitere befinden sich im Fischereihafen (Google Earth 2021). Das im Hafen von Los Angeles durchgeführte AEI gibt für Fahrzeugkrane eine durchschnittliche Leistung von 182 kW sowie eine durchschnittliche Betriebszeit von 260 h pro Jahr an (Starcrest Consulting Group 2020a). Überträgt man diese Angaben auf Bremerhaven, ergibt sich ein Jahresenergiebedarf in Höhe von circa 200 MWh, was einer Treibstoffmenge von 19.000 l Dieselkraftstoff entspricht.

## **4.2 Rangiergerät**

Als Rangiergerät wird CHE bezeichnet, das Ladung auf der Terminalfläche und gegebenenfalls angrenzenden Lagerhallen und -flächen bewegt. Ob die Ladung dabei für den Import oder den Export bewegt wird oder von und zu Lagern, ist dabei irrelevant.

### **4.2.1 Reach Stacker und Leercontainerstapler**

Reach Stacker und Leercontainerstapler werden überall dort verwendet, wo Container bewegt und gestapelt werden müssen. Beide Typen CHE sind vergleichbar aufgebaut und haben einen hydraulischen Arm, an dem ein sogenannter Spreader befestigt ist, mit dem Container aufgenommen und gehoben werden können. Der Unterschied zwischen einem Reach Stacker und einem Leercontainerstapler ist zum einen die Reichweite des Greifarms und außerdem die Leistung, die unter anderem das maximal zulässige Gewicht anzuhebendes Container beschränkt. Reach Stacker und Leercontainerstapler werden in der Regel über einen Dieselmotor betrieben, mit dem auch das Hydraulikaggregat für den Greifarm angetrieben wird.

Reach Stacker oder Leercontainerstapler werden in jedem Terminal in Bremerhaven eingesetzt: Am Fischereihafen und am Kreuzfahrtterminal ist jeweils eine Einheit stationiert, am Auto-Terminal und am Containerterminal sind es jeweils fünf (Google Earth 2021). Die Satellitenaufnahmen lassen keine Unterscheidung zwischen Reach Stackern und Leercontainerstaplern zu. Es wird daher für die Abschätzung des Kraftstoffverbrauchs angenommen, dass es sich bei allen 12 Einheiten um Leercontainerstapler des Herstellers Konecranes handelt (Konecranes 2012). Diese Leercontainerstaplertypen haben eine Leistung von circa 180 kW (Konecranes o.J.). Bei einer angenommenen jährlichen Einsatzzeit von 3.500 Betriebsstunden pro Jahr (persönliche Korrespondenz Prof. Dr. Holger Schütt) und Leercontainerstapler wird ein Jahresenergiebedarf von circa 7.500 MWh für den Bereich Reach Stacker und Leercontainerstapler abgeschätzt. Dies entspricht einer Treibstoffmenge von 765.000 l Diesel pro Jahr, die für den Betrieb von Leercontainerstaplern benötigt werden.

### 4.2.2 Van Carrier

Van Carrier werden auch als Straddle-Carrier oder Portalhubwagen bezeichnet. Van Carrier werden zum Stapeln und Bewegen von Containern auf Hafenterminals eingesetzt. Sie bestehen aus einem auf Rädern montierten Gestell, an dem eine Hubvorrichtung montiert ist, mit der verschiedene Größen von Containern gehoben werden können (Konecranes 2017). Wurde ein Container angehoben, der beispielsweise von einer Containerbrücke von einem Containerschiff an Land gestellt wurde, kann der Van Carrier diesen über das Terminalgelände transportieren und diesen entweder stapeln oder zum Beispiel auch auf einem Lkw oder einem Bahnwaggon platzieren. Dieser Vorgang funktioniert auch in die andere Richtung und der Container wird von der Lagerfläche oder der Ladefläche eines Lkw oder Bahnwaggons an die Kaje gestellt, wo er von der Containerbrücke auf ein Containerschiff verladen wird. Van Carrier können nicht zum Umschlag von Ladung auf oder von Seeschiffen eingesetzt werden, sondern werden ausschließlich auf dem Terminalgelände selbst eingesetzt.

Van Carrier werden entweder dieselektrisch oder dieselhydraulisch betrieben. Das benötigte Dieselaggregat wird dabei oben auf dem Rahmen des Van Carriers montiert (Konecranes 2017). Die Van Carrier in den Häfen von Bremerhaven werden dieselektrisch betrieben. Insgesamt sind hier 230 Van Carrier stationiert (MSC Gate Bremerhaven o.J., Eurogate 2017, North Sea Terminal Bremerhaven 2021, Rail Terminal Bremerhaven 2021). Auf dem Terminalgelände von NTB werden Van Carrier des Herstellers Konecranes eingesetzt (Maienschein 2014), die eine Leistung von 320 kW (Konecranes 2017) haben. Es wird angenommen, dass auch auf den anderen Terminals Einheiten mit einer vergleichbaren Leistung eingesetzt werden. Eine Jahreseinsatzzeit von 4.000 Betriebsstunden (persönliche Korrespondenz Prof. Dr. Holger Schütt) resultiert damit in einem Jahresenergieaufwand von 294 GWh. Der sich daraus ergebende energetische Jahresaufwand in Höhe von circa 294 GWh, was einer Menge von ca. 30.000.000 l Diesel pro Jahr entspricht.

## 4.3 Sonstiges

In diesem Abschnitt werden sonstige Verbraucher in den Häfen von Bremerhaven dargestellt, die nicht in die Bereiche Umschlag oder Rangieren zugeordnet werden können.

### 4.3.1 Hafenrelevanter Schiffsbetrieb

Als hafenrelevanter Schiffsbetrieb werden Schiffe bezeichnet, die notwendig sind, um den Hafenbetrieb zu gewährleisten. In erster Linie sind das Schlepper, die eingesetzt werden, um große Schiffe sicher im Hafen zu manövrieren, sowie sogenannte Lotsenboote, die eingesetzt werden, um Lotsen auf ein- und auslaufende Schiffe zu versetzen, damit eine sichere Navigation innerhalb und außerhalb des Hafens gewährleistet wird, bis das Schiff seine Reise eigenständig fortsetzen kann.

In Bremerhaven werden insgesamt 24 Schlepper eingesetzt (Eurogate 2017). Laut Völker (2015) kann pro Schlepper von durchschnittlich 2.500 h Betriebsstunden pro Jahr ausgegangen werden, wobei die Schlepper im Einsatz überwiegend im Teillastbereich unter 50 % Last gefahren werden. Laut Starcrest Consulting Group (2005) entsteht ein durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch von etwa 180 l/h pro Schlepper. Auf Basis dieser Angaben errechnet sich für die Schlepper in den Häfen von Bremerhaven ein jährlicher Bedarf von über 10.800.000 l Dieselkraftstoff.

In Bremerhaven werden Lotsenversetzboote unterschiedlicher Größe eingesetzt. Als Lotsenstationsschiff wird die SWATH-Station „Weser“ eingesetzt. Auf dieser Station sind zusätzlich zwei Tender stationiert, mit denen die Lotsen auf Seeschiffe versetzt werden können (Barth 2010). Darüber hinaus sind ein SWATH-Tender und vier typgleiche Lotsenboote in den Häfen von Bremerhaven stationiert (MarineTraffic o.J., Eckardt 2015). Die SWATH-Station ist etwa alle zwei Wochen in Bremerhaven (MarineTraffic o.J.), wo Besatzungswechsel und Bebunkerung stattfinden. Die SWATH-Station hat eine Generatorleistung von etwa 3.400 kW, mit der neben der allgemeinen Stromversorgung an Bord auch zwei Fahrmotoren und ein Bugstrahlruder angetrieben werden (AEM o.J.). Die Station ist das ganze Jahr über in der Nordsee im Einsatz und benötigt Kraftstoff, um sich auf der Position zu halten, sowie um die Tender zu betanken. Auch wenn es nicht in Fahrt ist, wird Energie für den Dauerbetrieb benötigt. Es wird daher angenommen, dass das Schiff das ganze Jahr über 24 Stunden in Betrieb ist. Um unterschiedliche Fahrtzustände und die Tatsache zu berücksichtigen, dass das Schiff permanent auf Position gehalten wird, wird für diesen Zeitraum ein durchschnittlicher Lastfaktor von 50 % wie bei den Schleppern angenommen. Dies bedeutet, dass die SWATH-Station einen jährlichen Energiebedarf in Höhe von 17,8 GWh hat, was einer Menge an 1.816.000 l Dieselkraftstoff entspricht. Der Bautyp des SWATH-Tenders „Wangeroog“ hat eine Maschinenleistung von 1.600 kW und wird jährlich im Mittel 3.500 Stunden betrieben (Abeking & Rasmussen 2011). Die kleineren Lotsenboote vom Typ ORC-90 des französischen Herstellers Bernard sind mit etwa 1.800 kW etwas stärker motorisiert (Schiff & Hafen 2012). Im AEI des Hafens Los Angeles wurde ermittelt, dass kleine Arbeitsgruppe wie beispielsweise Lotsenboote im Jahr durchschnittlich 3.500 Stunden im Einsatz sind (Starcrest Consulting Group 2020a). Diese Annahme wird auch auf die kleineren Lotsenboote von Bremerhaven übertragen. Zudem wird für den SWATH-Tender „Wangeroog“ und die kleineren Lotsenboote ebenso wie bei der SWATH-Station angenommen, dass die Schiffe in einem durchschnittlichen Lastbereich von 50 % gefahren werden. Dadurch wird berücksichtigt, dass die Schiffe zum Einsatzort fahren, dort gegebenenfalls auf ein Frachtschiff warten und dieses eine Weile begleiten um einen Lotsentransfer durchzuführen. Dies bedeutet, dass für SWATH-Tender eine Jahresleistung von etwa 2,8 GWh und für die Lotsenboote vom Typ ORC-190 jeweils etwa 3 GWh berechnet werden. Dies entspricht einer Menge an 280.000 l Diesel für den Tender und jeweils 315.000 l Diesel für die kleineren Lotsenboote. insgesamt werden für

den Betrieb der Lotsenstation, dem Tender und der kleineren Lotsenboote jährlich circa 3.350.000 l Dieselkraftstoff benötigt

### 4.3.2 Hafeneisenbahn

Die Hafeneisenbahn wird in den bremischen Häfen als Schnittstelle zwischen dem Hafenbetrieb und der Logistik im Hinterland eingesetzt. Insgesamt verfügt die Hafeneisenbahn über eine kumulierte Gleislänge von insgesamt 200 km (bremenports GmbH & Co. KG o.J.c). Im Hafen selbst werden Rangierlokomotiven eingesetzt, um Containerzüge, beziehungsweise Teile davon im Hafen zu rangieren. Im Hafen werden 13 Fahrzeuge unterschiedlicher Typbezeichnungen und unterschiedlichen Alters eingesetzt. Die eingesetzten Typen tragen die Bezeichnungen Vossloh 1000BB, DB V90 und DB V100 (Landwehr et al. 2020). Diese Fahrzeugtypen haben bei einer Tankfüllung von 90 % einen durchschnittlichen Tankinhalt von 2.740 l Dieselkraftstoff (Loks aus Kiel o.J., Recker o.J., Seidel und Goller 2014). Die Rangierlokomotiven werden wöchentlich betankt (Landwehr et al. 2020). Es wird angenommen, dass die Betankung nicht erst durchgeführt wird, wenn die Lokomotive vollständig entleert ist, sondern dass jeweils eine Restmenge von ca. 15 % in den Tanks bleibt. Das heißt, im Durchschnitt verbraucht eine Rangierlokomotive pro 85 % des Tankinhalts, was 2.329 l entspricht. Bei 13 Rangierlokomotiven ergibt sich damit pro Jahr ein Verbrauch von etwa 1.576.000 l Dieselkraftstoff.

## 5. Anwendungspotenziale für CO<sub>2</sub>-neutrale Wasserstofftechnologien im Hafenbetrieb

Als Elektrolyse wird ein Prozess bezeichnet, bei dem mittels elektrischer Energie Wasser aufgespalten wird in Wasserstoff und Sauerstoff. Wird bei dem Elektrolyseprozess ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien eingesetzt, wird klimaneutraler, sogenannter grüner Wasserstoff erzeugt. Wasserstoff als Energieträger birgt damit die Möglichkeit, schwer dekarbonisierbare Sektoren wie die Luftfahrt, den Schwerlastverkehr oder die Schifffahrt zu dekarbonisieren. Da Wasserstoff aus unterschiedlichen Gründen aber nicht immer ohne weiteres in diesen Bereichen eingesetzt werden kann, könnten auch sogenannte PtX, synthetische Energieträger, die durch weitere chemische Prozesse aus Wasserstoff hergestellt werden, eine Rolle spielen. Diese PtX sind sehr unterschiedlich, es können beispielsweise Gase wie synthetisches Methan oder Ammoniak, aber auch Flüssigkeiten wie synthetisches Methanol, oder Diesel, Kerosin oder Benzin sein. Beim Einsatz dieser PtX in herkömmlichen Verbrennungsmotoren werden zwar Treibhausgase emittiert, je nach Herstellungsart der PtX wurden die Mengen an Treibhausgasen bereits im Rahmen der Herstellung aus der Atmosphäre entnommen. Solche PtX sind dann klimaneutral und ermöglichen es den sogenannten schwer dekarbonisierbaren Sektoren, auf klimaschonende Antriebskonzepte zurück zu greifen (ISL 2020). Da bei der Herstellung von Wasserstoff und PtX ein Teil der eingesetzten Energiemenge für den Herstellungsprozess selbst benötigt wird, kommt es zu sogenannten Umwandlungsverlusten. Diese Umwandlungsverluste werden vermieden, wenn Verbraucher elektrifiziert werden, sofern dies möglich ist (Meyer-Larsen et al. 2021). In diesem Abschnitt wird darauf eingegangen, welches CHE und welche sonstigen Verbraucher in den Häfen von Bremerhaven elektrifiziert werden können, wo ein Einsatz von Wasserstoff möglich ist und wo ein Betrieb mit PtX möglich ist.

Tabelle 1: Übersicht über mögliche alternative Antriebskonzepte der Verbraucher in den Häfen von Bremerhaven

| Verbraucher                        | Elektrifizierung möglich | Betrieb mit Wasserstoff möglich     | Betrieb mit PtX möglich             |
|------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Containerbrücken                   | ✓                        | nicht untersucht, da elektrifiziert | nicht untersucht, da elektrifiziert |
| Transtainer                        | ✓                        | nicht untersucht, da elektrifiziert | nicht untersucht, da elektrifiziert |
| Hafenkrane                         | ✓                        | nicht untersucht, da elektrifiziert | nicht untersucht, da elektrifiziert |
| Reach Stacker/Leercontainerstapler | ✓                        | ○                                   | ✓                                   |
| Van Carrier                        | ✓                        | ✗                                   | ✓                                   |
| Hafenrelevanter Schiffsbetrieb     | ✓                        | ○                                   | ✓                                   |
| Hafeneisenbahn                     | ✓/○                      | ✓                                   | ✓                                   |

✓ = Betrieb oder Testbetrieb möglich

○ = In Entwicklung oder in Planungsphase

✗ = Derzeit keine Entwicklung/Betrieb

Die Containerbrücken, die Transtainer und die Hafenkrane sind in den bremischen Häfen bereits elektrifiziert, so dass ein Betrieb mit Wasserstoff oder PtX vor dem Hintergrund der Dekarbonisierung aufgrund der Umwandlungsverluste nicht zielführend ist.

Bei Reach Stackern und Leercontainerstaplern scheinen unterschiedliche Dekarbonisierungspotenziale ausschöpfbar zu sein. Da sie bereits regulär mit Diesel betrieben werden, besteht die Möglichkeit, die bestehende Flotte mittels nachhaltig produziertem, synthetischem Diesel zu dekarbonisieren. Darüber hinaus wird in einem Demonstrationsprojekt ein Reach Stacker ist, der mit einer Wasserstoffbrennstoffzelle betrieben wird, entwickelt (Port Technology International Team 2021a). Ein Hersteller von Rangier- und Umschlagsequipment stellte 2021 darüber hinaus einen voll elektrisch betriebenen Reach Stacker vor, dessen Elektromotor aus einer Batterie gespeist wird (Port Technology International Team 2021b).

Wie auch Reach Stacker können Van Carrier, die herkömmlich mit Diesel betrieben werden, unproblematisch mit nachhaltig produziertem, nachhaltigen Diesel dekarbonisiert werden. Aktuell werden erste Studien durchgeführt, ob ein Van Carrier mit einem Dual-Fuel-Motor, der mit Wasserstoff und Diesel betrieben werden kann, sinnvoll einsatzfähig ist. Es bestehen allerdings derzeit keine größeren Projekte in denen ein reiner Wasserstoffantrieb untersucht wird (Donnelly 2021). Allerdings hat die HHLA zusammen mit einem Konsortium einen IPCEI- Antrag eingereicht (HHLA o.J.), in dessen Rahmen auch der Betrieb von brennstoffzellenbetriebenen Van Carriern ermöglicht werden soll (HHLA 2021). Im Hamburger Hafen werden außerdem derzeit mehrere Van Carrier mit einem Hybridantrieb – Diesel und batterieelektrisch – erprobt

(HHLA 2019). Darüber hinaus werden durch einen Hersteller von Rangier- und Umschlagsequipment bereits vollelektrische Van Carrier angeboten (Kalmar Germany GmbH o.J.).

Bei den Dekarbonisierungsoptionen des hafenrelevanten Schiffsbetriebs ist die Energiemenge, die beispielsweise ein Schlepper benötigt, sowie die notwendige Spitzenlast, die abgefragt werden kann, von hoher Bedeutung. Schlepper werden üblicherweise mit Diesel betrieben. Daher könnte nachhaltig produzierter, synthetischer Diesel ein geeignetes Mittel sein, die bestehende Flotte nachhaltiger zu betreiben. Eine andere Möglichkeit scheint die Umrüstung bestehender Schlepper auf einen Betrieb mit Methanol zu sein (Ovcina 2021). Der Hafen von Antwerpen hat 2019 einen Schlepper mit einem reinen Wasserstoffantrieb beauftragt, der noch in Bau befindlich ist (Port of Antwerp 2019). Ein rein elektrischer Antrieb für Schlepper wurde bereits durch das niederländische Schiffbauunternehmen Damen Shipyards vorgestellt und befindet sich im Testbetrieb (Damen Shipyards Group 2021). Auch Lotsenboote werden in der Regel mit Diesel betrieben, der durch nachhaltig produzierten, synthetischen Diesel ersetzt werden könnte. Es gibt derzeit keine Lotsenversetzboote, die einen Betrieb mit Wasserstoff erlauben. Allerdings existieren einige Lotsenboote mit einem Hybridantrieb, die sowohl batterieelektrisch als auch mit Diesel betrieben werden können (Marine-Pilots 2021).

Die Hafeneisenbahn könnte wie die anderen Verbraucher auch mit synthetischem Diesel betrieben werden. Alternativ sei der Einsatz von mit Wasserstoff betriebenen Lokomotiven eine Möglichkeit, die Hafeneisenbahn zu dekarbonisieren. Entsprechende Lokomotiven, die eine mit Diesellokomotiven vergleichbare Leistung erzielen, wurden bereits vorgestellt (PESA 2021). Es gibt außerdem bereits elektrisch betriebene Rangierlokomotiven. Wird der Betrieb allerdings rein batterieelektrisch durchgeführt, müssen die Lokomotiven täglich für einen längeren Zeitraum geladen werden, sofern die Batterien nicht austauschbar gestaltet sind (Landwehr et al. 2020). Elektrische Rangierlokomotiven werden stetig weiterentwickelt, so dass ein Betrieb auf nicht elektrifizierten Strecken und Rangieroperationen zu Beginn und Ende einer Strecke ermöglicht werden sollen (Port of Rotterdam 2021).

## 6. Zusammenfassung und abschließende Bewertung

In Tabelle 2 werden die Summen der zuvor abgeschätzten Jahresenergieverbräuche des CHE und sonstiger Verbraucher im Hafen dargestellt. Darüber hinaus wird abgeschätzt, welche Dieselmengen benötigt werden, um diese Energieverbräuche zu decken und welche Mengen an CO<sub>2</sub> beim Verbrauch der jeweiligen Kraftstoffmengen emittiert werden.

Tabelle 2: Übersicht über die Anzahl der Verbraucher in den Häfen von Bremerhaven und deren potenziell ersetzbarer Energieverbrauch sowie vermeidbare CO<sub>2</sub>-Emissionen

| Verbraucher      | Einheiten [Anzahl] | Geschätzter Jahresenergieverbrauch aller Einheiten [MWh] | Geschätzter Jahresenergieverbrauch aller Einheiten [l Diesel] | Geschätzte CO <sub>2</sub> -Jahresemissionen aller Einheiten [t/a] |
|------------------|--------------------|--|---|--|
| Containerbrücken | 49                 | n/a  | n/a   | n/a  |
| Transtainer      | 4                  | n/a  | n/a   | n/a  |

## CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale in den Häfen von Bremerhaven

|   |                                 |   |   |   |
|---|---------------------------------|---|---|---|
| Hafenkrane                                      | 18                              | n/a                                       | n/a   | n/a   |
| Fahrzeugkrane                                   | 4                               | 200                                       | 19.000  | <100  |
| Reach<br>Stacker/Leer-<br>containerstap-<br>ler | 12                              | 7.500                                     | 765.000   | 2.000   |
| Van Carrier                                     | 230                             | 294.000                                   | 30.000.000  | 78.300  |
| Hafenrelevanter<br>Schiffsbe-<br>trieb          | Schlepper: 24<br>Lotsenboote: 5 | Schlepper: 105.800<br>Lotsenboote: 32.600 | Schlepper:<br>10.800.000<br>Lotsenboote:<br>3.350.000 | Schlepper:<br>28.200<br>Lotsenboote:<br>8.700 |
| Hafeneisen-<br>bahn                             | 10                              | 15.400                                    | 1.576.000   | 4.100   |

In Abbildung 1 wird die Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Emission, die auf den Dieselbetrieb der verschiedenen Verbraucher im Hafen zurückgehen, dargestellt. Es wird veranschaulicht, dass der Großteil der Dieserverbräuche und damit der größte Teil der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Häfen von Bremerhaven auf drei Hauptgruppen zurückzuführen ist: Van Carrier, die Hafeneisenbahn und der hafenrelevante Schiffsverkehr. Hier bestehen damit die größten Potenziale, fossile Kraftstoffe und damit CO<sub>2</sub>-Emissionen einzusparen.

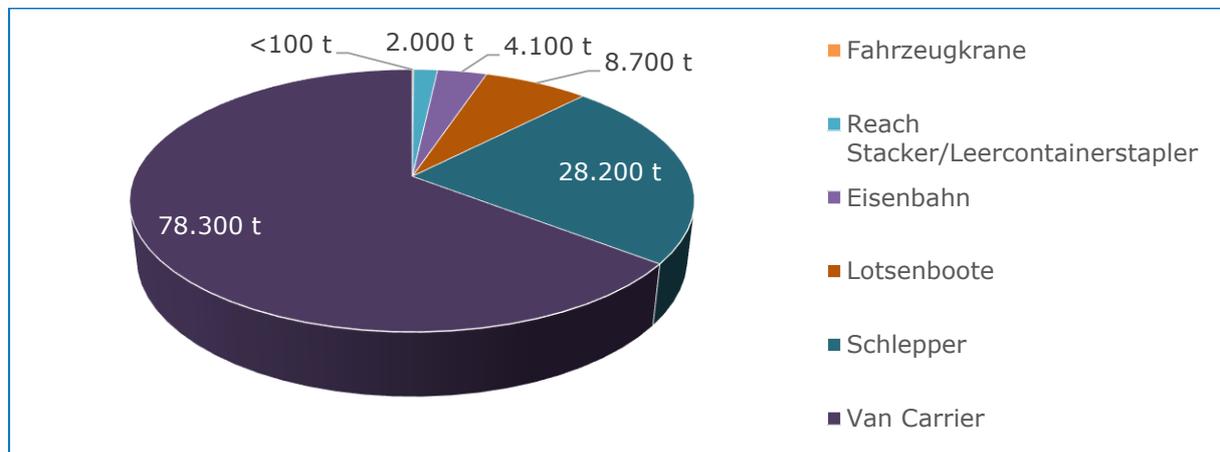


Abbildung 1: Abschätzung der jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die auf den Dieselbetrieb verschiedener Verbraucher in den Häfen von Bremerhaven zurückzuführen sind

In dieser Studie wurde dargestellt, dass fast alle CHE- und Verbraucherguppen in den Häfen von Bremerhaven auf alternative Antriebsmittel umgestellt werden können, um Dekarbonisierungspotenziale zu erschließen. Eine Umstellung auf synthetische PtX ist bei fast allem CHE und sonstigen Verbrauchern möglich. Wird als PtX nachhaltig produzierter, synthetischer Diesel eingesetzt, können die bestehenden CHE- und Verbraucherguppenflotten ohne Umrüstungen weitergenutzt werden. Eine Umrüstung auf andere PtX wie beispielsweise Methanol erfordert einen Neubau oder zumindest eine Umrüstung innerhalb der bestehenden Flotte.

Der Betrieb mit Wasserstoff ist hingegen eine Option, die noch nicht weit verbreitet ist und zu der es derzeit nur wenige Entwicklungsprojekte gibt. Dagegen scheint eine Elektrifizierung in allen CHE- und Verbrauchergruppen mit Ausnahme der Hafeneisenbahn umsetzbar zu sein. In jeder anderen Verbrauchergruppe gibt es jeweils mindestens ein Projekt, in dem der elektrifizierte Betrieb zumindest erprobt wird beziehungsweise bereits ermöglicht ist.

## Literaturverzeichnis

Abeking & Rasmussen (31.03.2011): Ablieferung des ersten SWATH@A&R; Patrouillenbootes, online verfügbar unter: [https://web.archive.org/web/20140811113433/http://www.abeking.com/News.119.0.html?&cHash=eabc207ab3&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=118](https://web.archive.org/web/20140811113433/http://www.abeking.com/News.119.0.html?&cHash=eabc207ab3&tx_ttnews%5Btt_news%5D=118) , letzter Zugriff: 14.12.2021

AEM-Anhaltische Elektromotorenwerk Dessau GmbH (o.J.): Lotsenstationsschiff Weser, online verfügbar unter: <https://www.aemdessau.de/referenzen/schiffbau-offshore/lotsenstationsschiff-weser.html> , letzter Zugriff: 14.12.2021

Barth, Christoph (01.07.2010): Der rote Riese von der Außenweser, online verfügbar unter: [https://archive.ph/20130211142928/http://www.nordsee-zeitung.de/Home/Nachrichten/Startseite/Der-rote-Riese-von-der-Aussenweser-\\_arid,389225\\_puid,1\\_pageid,52.html#selection-370.0-370.1](https://archive.ph/20130211142928/http://www.nordsee-zeitung.de/Home/Nachrichten/Startseite/Der-rote-Riese-von-der-Aussenweser-_arid,389225_puid,1_pageid,52.html#selection-370.0-370.1) , letzter Zugriff: 13.12.2021

bremenports GmbH & Co. KG (o.J.a): Bremen. Konventioneller Umschlag und Logistik, online verfügbar unter: <https://bremenports.de/hafen/bremen/> , letzter Zugriff: 27.10.2021

bremenports GmbH & Co. KG (o.J.b): Bremerhaven. Container, Autos und Innovationen, online verfügbar unter: <https://bremenports.de/hafen/bremerhaven/> , letzter Zugriff: 27.10.2021

bremenports GmbH & Co. KG (o.J.c): Eine leistungsstarke Verbindung. Die Bremische Hafeneisenbahn, online verfügbar unter: <https://bremenports.de/hafeneisenbahn/unternehmen/> , letzter Zugriff: 22.11.2021

Damen Shipyards Group (18.06.2021): Batteries included: Damen reaches major milestone in fully-electric tug project, online verfügbar unter: [https://archive.damen.com/en/news/2021/06/batteries\\_included\\_damen\\_reaches\\_major\\_milestone\\_in\\_fully\\_electric\\_tug\\_project](https://archive.damen.com/en/news/2021/06/batteries_included_damen_reaches_major_milestone_in_fully_electric_tug_project) , letzter Zugriff: 23.11.2021

Donnelly, Jack (10.06.2021): PSA Antwerp sees potential in Green Straddle Carrier programme, online verfügbar unter: <https://www.porttechnology.org/news/psa-antwerp-sees-potential-in-green-straddle-carrier-programme/> , letzter Zugriff: 23.11.2021

Eckardt, Christian (19.05.2015): „Visurgis“ fährt Weser-Lotsen sicher, online verfügbar unter: <https://www.thb.info/rubriken/detail/news/visurgis-faehrt-weser-lotsen-sicher.html> , letzter Zugriff: 13.12.2021

Eurogate Container Terminal Bremerhaven GmbH (06/2017): Port Information Eurogate Container Terminal Bremerhaven. Part 1: Nautical Information. Eurogate Container Terminal Bremerhaven GmbH: Bremerhaven, Deutschland

Goll, Michael (18.03.2018): DB V90, Bremerhaven Kaiserhafen, online verfügbar unter: <https://www.flickr.com/photos/126584084@N05/39988335085> , letzter Zugriff: 22.11.2021

Google Earth 7.3.4.8248 (27.07.2021): Diverse Aufnahmen der bremischen Hafengebiete, online verfügbar unter: [https://www.google.com/intl/de\\_de/earth/](https://www.google.com/intl/de_de/earth/) , letzter Zugriff: 01.11.2021

Gottwald Port Technology GmbH (o.J.): Auf Erfolgsspur. Gottwald Hafenschienenkrane. Gottwald Port Technology GmbH: Düsseldorf, Deutschland

Gruber, Hannes et al. (2019): Fischer-Tropsch products from biomass-derived syngas and renewable hydrogen. In: Biomass Conversion and Biorefinery (06/2019). doi: 10.1007/s13399-019-00459-5

HHLA (13.06.2019): Weltweit modernster Hybrid-Van-Carrier am CTB im Test, online verfügbar unter: <https://hhla.de/unternehmen/news/detailansicht/weltweit-modernster-hybrid-van-carrier> , letzter Zugriff: 23.11.2021

HHLA (27.05.2021): Gute Aussichten für das Wasserstoffprojekt H2LoAD , online verfügbar unter: <https://hhla.de/unternehmen/news/detailansicht/gute-aussichten-fuer-das-wasserstoffprojekt-h2load> , letzter Zugriff: 14.12.2021

HHLA (o.J.): H2LOAD. Hydrogen Logistics Applications and Distribution, online verfügbar unter: <https://hhla.de/unternehmen/innovation/wasserstoff/h2load> , letzter Zugriff: 14.12.2021

ISL (2020): Wasserstoff – Logistik ist Schlüssel zum Erfolg der Nationalen Wasserstoffstrategie. ISL-Thesenpapier 2020. ISL - Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik: Bremen, Deutschland

Jendrischik, Martin (16.05.2017): Blue Crude: Sunfire produziert nachhaltigen Erdölersatz, online verfügbar unter: <https://www.sunfire.de/de/unternehmen/news/detail/blue-crude-sunfire-produziert-nachhaltigen-erdoelersatz> , letzter Zugriff: 28.10.2021

Kalmar Germany GmbH (o.J.): Kalmar FastCharge™ Straddle Carrier, online verfügbar unter: <https://www.kalmar.de/equipment-services/portalhubwagen/fastcharge-straddle/> , letzter Zugriff: 23.11.2021

Konecranes GmbH (16.05.2012): North Sea Terminal Bremerhaven erhält 10-Tonnen- Leercontainerstapler für effizienten Umschlag, online verfügbar unter: <https://www.konecranes.com/de-de/press/releases/2012/north-sea-terminal-bremerhaven-erhalt-10-tonnen-leer-containerstapler-fur-effizienten-umschlag> , letzter Zugriff: 08.11.2021

Konecranes Liftrucks AB (o.J.): Technical data : SMV 5/6 ECB 100 DS. Konecranes Liftrucks AB: Markaryd, Schweden

Konecranes Oyj (2017): Straddle Carriers. The All-Rounders. Konecranes Oyj: Hyvinkää, Schweden

Krause, Dieter und Gerhard Roskamp: Der Containerumschlag in Seehäfen. Entwicklungsstand und mögliche Tendenzen unter besonderer Berücksichtigung der Mechanisierung dargestellt an Beispielen internationaler Containerterminals. In: Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, A. Bolle et al. (Hrsg.). Springer-Verlag: Berlin/Heidelberg, Deutschland

Landwehr, Thomas et al. (2020): Rang-E - Autonomes Rangieren auf der Hafenbahn : gemeinsamer Schlussbericht : inhaltliche Darstellung. ISL - Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik: Bremen, Deutschland

Liebherr Container Cranes Ltd. (02/2020): Technical Description Ship to Shore Gantry Cranes. Liebherr Container Cranes Ltd.: Killarney, Irland

Liebherr-International Deutschland GmbH (o.J.a): Containerbrücken, online verfügbar unter: <https://www.liebherr.com/de/deu/produkte/maritime-krane/port-equipment/containerbr%C3%BCcken/ship-to-shore-container-cranes.html> , letzter Zugriff: 29.10.2021

Liebherr-International Deutschland GmbH (o.J.b): Teleskop-Mobilkran, online verfügbar unter: <https://www.liebherr.com/de/deu/produkte/mobil-und-raupenkrane/mobilkrane/liebherr-teleskop-mobilkrane/ltm-info.html> , letzter Zugriff: 01.11.2021

Liebherr-International Deutschland GmbH (o.J.c): Liebherr als weltweiter Technologie- und Innovationsführer, online verfügbar unter: <https://www.liebherr.com/de/deu/produkte/mobil-und-raupenkrane/mobilkrane/mobilkrantechnologie/details/ein-motor-konzept.html> , letzter Zugriff: 01.11.2021

Loks aus Kiel (o.J.): Vossloh – G 1000 BB, online verfügbar unter: <https://www.loks-aus-kiel.de/index.php?nav=1400737> , letzter Zugriff: 14.12.2021

Maienschein, Bernd (02.09.2014): NTB ordert den 1000. Straddle-Carrier, online verfügbar unter: <https://www.mm-logistik.vogel.de/ntb-ordert-den-1000-straddle-carrier-a-457695/> , letzter Zugriff: 08.11.2021

Marine-Pilots (09.04.2021): Hybrid-electric Pilot Boat Delivered in Singapore, online verfügbar unter: <https://www.marine-pilots.com/articles/227588-hybrid-electric-pilot-boat-delivered-in-singapore> , letzter Zugriff: 23.11.2021

MarineTraffic (o.J.): Vessel Details, online verfügbar unter: <https://www.marinetraffic.com/> , letzter Zugriff: 16.11.2021

Meyer-Larsen, Nils et al. (2021): Die Rolle der maritimen Wirtschaft bei der Etablierung einer deutschen Wasserstoffwirtschaft. Deutsches Maritimes Zentrum (DMZ): Hamburg, Deutschland

MSC Gate Bremerhaven GmbH & Co. KG (o.J.): About MSC Gate, online verfügbar unter: <http://www.msccgate.de/About-Us/About-MSCC-Gate> , letzter Zugriff: 08.11.2021

North Sea Terminal Bremerhaven GmbH & Co. (2021): Equipment, online verfügbar unter: <https://www.ntb.eu/de/unternehmen/equipment/> , letzter Zugriff: 08.11.2021

Ovcina, Jasmina (23.06.2021): Port of Antwerp to convert a tug to methanol in a 'world's first', online verfügbar unter: <https://www.offshore-energy.biz/port-of-antwerp-to-convert-a-tug-to-methanol-in-a-worlds-first/> , letzter Zugriff: 23.11.2021

PESA Bydgoszcz SA (o.J.): Railway premiere of the year – PESA presented the hydrogen locomotive at TRAKO, online verfügbar unter: <https://pesa.pl/en/railway-premiere-of-the-year-pesa-presented-the-hydrogen-locomotive-at-trako/> , letzter Zugriff: 23.11.2021

Port of Antwerp (24.09.2019): Hydrogen-powered tug is world first for Port of Antwerp, online verfügbar unter: <https://www.portofantwerp.com/en/news/hydrogen-powered-tug-world-first-port-antwerp> , letzter Zugriff: 23.11.2021

Port of Rotterdam (23.06.2021): First zero-emission, full-electric shunting locomotives for Port of Rotterdam in production, online verfügbar unter: <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/first-zero-emission-full-electric-shunting-locomotives-for-port-of> , letzter Zugriff: 23.11.2021

Port Technology International Team (23.04.2021a): Hydrogen Reach Stacker in development as part of H2PORTS, online verfügbar unter: <https://www.porttechnology.org/news/hydrogen-reach-stacker-in-development-as-part-of-h2ports/> , letzter Zugriff: 23.11.2021

Port Technology International Team (23.04.2021b): Kalmar Unveils First Electric Reachstacker, online verfügbar unter: <https://www.porttechnology.org/news/kalmar-unveils-first-electric-reachstacker/> , letzter Zugriff: 23.11.2021

Rail Terminal Bremerhaven GmbH (2021): Equipment, online verfügbar unter: <https://rtb-bremerhaven.eu/equipment/> , letzter Zugriff: 29.10.2021

Recker, Dominik (o.J.): Die V90 - die Rangierlok für den schweren Rangierdienst, online verfügbar unter: <http://www.eib-t.de/daten/290/inhalt290p.htm> , letzter Zugriff: 22.11.2021

Schiff & Hafen (26.09.2012): Neues Lotsversetzsystem auf der Ems, online verfügbar unter: <https://www.schiffundhafen.de/nachrichten/schiffahrt/detail/neues-lotsversetzsystem-auf-der-ems.html> , letzter Zugriff: 14.12.2021

Seidel, Volker und Jürgen Goller (19.10.2014): V 100 Daten/Aufbau der V 100 1023, online verfügbar unter: [https://mec01.info/mec\\_dat.htm](https://mec01.info/mec_dat.htm) , letzter Zugriff: 14.12.2021

Starcrest Consulting Group, LLC (07/2005): Port of Los Angeles Baseline Air Emissions Inventory - 2001. Port of Los Angeles: Los Angeles, CA, USA

Starcrest Consulting Group, LLC (09/2019): Port of Los Angeles. Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2018: Los Angeles, CA, USA

Starcrest Consulting Group, LLC (09/2020a): Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2019. Port of Los Angeles: Los Angeles, CA, USA

Starcrest Consulting Group, LLC (09/2020b): Port of Long Beach. 2019 Air Emissions Inventory. Port of Long Beach: Long Beach, CA, USA

Völker, Thorsten (2015): Hybridantriebskonzepte auf Schiffen. In: Schulz D. (Hrsg.): Nachhaltige Energieversorgung und Integration von Speichern. Springer Fachmedien: Wiesbaden, Deutschland

von Barga, Uwe (09.09.2021): Energiewende in den bremischen Häfen. Vortrag in Rahmen der Auftaktveranstaltung von e4ports, online verfügbar unter: [https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2021/09/e4ports\\_Energiewende-in-den-bremischen-Haefen\\_von-Barga.pdf](https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2021/09/e4ports_Energiewende-in-den-bremischen-Haefen_von-Barga.pdf), letzter Zugriff: 28.10.2021



Institut für  
Seeverkehrswirtschaft  
und Logistik

