



Dokumentation

Alternative Kraftstoffe für Binnenschiffe

Alternative Kraftstoffe für Binnenschiffe

Aktenzeichen: WD 5 - 3000 - 141/24
Abschluss der Arbeit: 16. Oktober 2024
Fachbereich: WD 5: Wirtschaft, Energie und Umwelt

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | Einleitung | 4 |
| 2. | Deutsche Binnenflotte | 5 |
| 3. | Hafeninfrastruktur | 6 |
| 4. | Flächenbedarf auf dem Schiff und Umgang mit gefährlichen Gütern | 7 |
| 5. | Umrüstkosten für den Betrieb eines Binnenschiffs mit Ammoniak, Wasserstoff oder HVO | 10 |
| 6. | HVO | 10 |
| 7. | Ammoniak | 11 |
| 8. | Wasserstoff | 13 |
| 9. | Leistungsbilanzen von Ammoniak, Wasserstoff und HVO | 14 |

Diese Dokumentation ergänzt den Sachstand „Wasserstoff in der Schifffahrt: ausgewählte Vorschriften“ (WD 5 – 3000 - 140/24).

1. Einleitung

Rund 80 bis 90 % des Welthandels werden auf dem Seeweg abgewickelt. Da die Schifffahrt etwa 2,6 % bis 3 % der weltweiten CO₂-Emissionen verantwortet¹, haben sich die Mitgliedstaaten der Internationalen Seeschifffahrtsorganisation (IMO)² im Jahr 2023 darauf geeinigt, den Verbrauch fossiler Brennstoffe „bis oder um“ das Jahr 2050 zu beenden.³ Für die Binnenschifffahrt enthält die Mannheimer Erklärung⁴ eine Absichtserklärung zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt.⁵ Für Seeschiffe mit einer Bruttoreaumzahl über 5000 ist auch die Verordnung für die Verwendung erneuerbarer und CO₂-armer Kraftstoffe im Seeverkehr (sog. „FuelEU Maritime“) relevant.⁶ Zudem ist seit 2024 der Seeverkehr Teil des Emissionshandelssystems der Europäischen Union (EU-ETS).⁷

Die Dokumentation befasst sich mit den alternativen Kraftstoffen **Ammoniak**, **Wasserstoff** und hydriertem Pflanzenöl (engl. Hydrogenated or Hydrotreated Vegetable Oil, **HVO**) für **Binnenschiffe**. Hierzu laufen derzeit zahlreiche Forschungs- und Pilotprojekte für See- und Binnenschiffe. Von besonderem Interesse sind dabei die Kosten für die Umrüstung der Schiffe bei einem Kraftstoffwechsel, der Flächenbedarf im Schiff und an Land, Sicherheitsaspekte und die Leistungsbilanzen der alternativen Antriebsformen.

-
- 1 Seeschifffahrt, 07.08.2024, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/meere/nutzung-belastungen/schifffahrt#fakten-zur-seeschifffahrt-und-zu-ihren-auswirkungen-auf-die-umwelt>; Decarbonisation of shipping could create up to four million green jobs, 09.05.2024, <https://globalmaritimeforum.org/press/decarbonisation-of-shipping-could-create-up-to-four-million-green-jobs/>.
 - 2 „Die IMO hat derzeit 176 Mitgliedstaaten und drei assoziierte Mitglieder.“, <https://www.imo.org/en/About/Membership/Pages/Default.aspx>.
 - 3 Vgl. Decarbonisation of shipping could create up to four million green jobs, 09.05.2024, <https://globalmaritimeforum.org/press/decarbonisation-of-shipping-could-create-up-to-four-million-green-jobs/>.
 - 4 Mannheimer Erklärung „150 Jahre Mannheimer Akte – Motor für eine dynamische Rhein- und Binnenschifffahrt“ Fortschrittsbericht, 06.12.2023, https://www.ccr-zkr.org/files/documents/dmannheim/Declaration_de_Mannheim_Bilan_2023_de.pdf.
 - 5 Vgl. Ramboll Deutschland GmbH (2024), Potenzialstudie zu Betankungsinfrastrukturen für kohlenstoffarme und erneuerbare Schiffs kraftstoffe in Deutschland, Bericht, 04/2024, S. 11, https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2024/04/NOW_Abschlussbericht-Potenzialstudie-Betankungsstrukturen.pdf.
 - 6 Vgl. <https://www.consilium.europa.eu/de/infographics/fit-for-55-refueleu-and-fueleu/>.
 - 7 Nationalen Emissionshandel verstehen. Warum braucht Deutschland den nationalen Emissionshandel (CO₂-Preis)? 12.01.2024, https://www.dehst.de/DE/Themen/nEHS/nEHS-verstehen/neh-verstehen_node.html#doc284546bodyText2.

Ramboll (2024) zufolge herrsche gerade im Bereich der Binnenschifffahrt noch große Unsicherheit, welche Kraftstoffoptionen am besten geeignet seien.⁸ Nach Einschätzung eines Forschungskonsortiums, das den Gesamtbericht zur Begleitforschung Energiewende im Verkehr (BEniVer) erstellt hat, sei es derzeit nicht möglich, den oder die zukünftig optimalen Kraftstoffe für die Schifffahrt verlässlich zu bestimmen. Langfristig zeichne sich Methanol als synthetischer Kraftstoff mit hohem Potenzial ab. Methanol sei auch auf Flüssen einsetzbar, allerdings nur bedingt in bestehenden Schiffen. Kurzfristig könnten Drop-In-Kraftstoffe wie z. B. **HVO** eingesetzt werden, die eine direkte Weiternutzung vorhandener Schiffe erlauben. Weitere Optionen und Möglichkeiten zur Minderung von Schadstoff- und THG-Emissionen böte auch der Einsatz von **Wasserstoff** oder **Ammoniak**.⁹ Es sei jedoch damit zu rechnen, dass die Nutzung von z. B. Ammoniak und Wasserstoff auch noch mittelfristig mit erheblichen regulatorischen Hürden verbunden sei.¹⁰

2. Deutsche Binnenflotte

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Anzahl der Binnenschiffe in Deutschland in den Jahren 2021 und 2022 und damit über die Größenordnung, um die es geht.¹¹ Ein Binnenschiff transportiert so viel wie 100 LKW.¹² Derzeit werden die meisten Schiffe „mit Schiffsdiesel (Marine Gas Oil, **MGO**) und Schweröl (Heavy Fuel Oil, **HFO**) angetrieben. Zudem gibt es unterschiedliche Mischungen der beiden Kraftstoffe.“¹³

-
- 8 Ramboll Deutschland GmbH (2024), Potenzialstudie zu Betankungsinfrastrukturen für kohlenstoffarme und erneuerbare Schiffs kraftstoffe in Deutschland, Bericht, 04/2024, S. 46, https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2024/04/NOW_Abschlussbericht-Potenzialstudie-Betankungsstrukturen.pdf.
- 9 Aigner, Manfred et al. (2023), Roadmap für strombasierte Kraftstoffe, Gesamtbericht zur Begleitforschung Energiewende im Verkehr (BEniVer), November 2023, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES gGmbH), Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FFE), Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ gGmbH), Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturfor schung (GWS mbH), S. 448, https://elib.dlr.de/200260/1/Forschungsinitiative%20EiV_BEniVer_Roadmap%20f%C3%BCr%20strombasierte%20Kraftstoffe.pdf.
- 10 S. 49, https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2024/04/NOW_Abschlussbericht-Potenzialstudie-Betankungsstrukturen.pdf
- 11 Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. (BDB), https://www.binnenschiff.de/wp-content/uploads/2023/10/Daten-Fakten_2022-23.pdf.
- 12 „Ein durchschnittliches Binnenschiff (Großmotorgüterschiff mit 2.100 t Nutzlast bei 2,80 m Tiefgang) ersetzt etwa 100 Lkw mit einer Nutzlast von jeweils 20 t Tragfähigkeit und transportiert doppelt so viel wie ein Güterzug.“, [https://www.wsa-oberrhein.wsv.de/Webs/WSA/Oberrhein/DE/4_Service/02_Landesgartenschau/Rheinschifffahrt/std_node.html#:~:text=Ein%20durchschnittliches%20Binnenschiff%20\(%20Gro%C3%9Fmotorg%C3%BCterschiff%20mit,so%20viel%20wie%20ein%20G%C3%BCterzug.](https://www.wsa-oberrhein.wsv.de/Webs/WSA/Oberrhein/DE/4_Service/02_Landesgartenschau/Rheinschifffahrt/std_node.html#:~:text=Ein%20durchschnittliches%20Binnenschiff%20(%20Gro%C3%9Fmotorg%C3%BCterschiff%20mit,so%20viel%20wie%20ein%20G%C3%BCterzug.)
- 13 S. 446, https://elib.dlr.de/200260/1/Forschungsinitiative%20EiV_BEniVer_Roadmap%20f%C3%BCr%20strombasierte%20Kraftstoffe.pdf.
- „Zu den etablierten Kraftstoffen in der Seeschifffahrt zählen an erster Stelle die Rückstandsöle mit einem hohen Anteil an Heavy Fuel Oil (HFO) und Destillate, zu denen Marine Diesel Oil (MDO) und Marine Gas Oil (MGO) gehören. In der Binnenschifffahrt ist Dieselmotorkraftstoff nach EN 590:2013+A1:2017 am weitesten verbreitet.“, S. 23, <https://dmz-maritim.de/wp-content/uploads/2022/06/20220601-Kraftstoffanalyse-in-der-Schifffahrt-nach-Segmenten-final.pdf>.

| Schiffsgattung | Anzahl | | Tragfähigkeit in t. | |
|---------------------------------------|--------------|--------------|---------------------|------------------|
| | 2022 | 2021 | 2022 | 2021 |
| Motorgüterschiffe für trockene Ladung | 712 | 736 | 1.013.074 | 1.035.085 |
| Tankmotorschiffe | 407 | 405 | 784.992 | 772.774 |
| Schubleichter für trockene Ladung | 662 | 675 | 617.473 | 618.040 |
| Tankschubleichter | 31 | 33 | 25.965 | 26.665 |
| Schleppkähne für trockene Ladung | 31 | 31 | 16.347 | 16.347 |
| Tanschleppkähne | 5 | 5 | 1.013 | 1.013 |
| Zusammen | 1.848 | 1.885 | 2.458.864 | 2.469.924 |
| Bunkerboote | 48 | 49 | 7.605 | 7.828 |

| | Anzahl | | kW | |
|------------|--------|-----|---------|---------|
| Schlepper | 109 | 114 | 25.240 | 25.982 |
| Schubboote | 271 | 267 | 114.711 | 109.036 |

| | Anzahl | | Personenkapazität | |
|----------------------|--------|-----|-------------------|---------|
| Tagesausflugsschiffe | 993 | 983 | 216.752 | 209.323 |

| | Anzahl | | Bettenkapazität | |
|------------------------|--------|----|-----------------|-------|
| Fahrgastkabinenschiffe | 53 | 55 | 7.719 | 7.855 |

Quelle: GDWS, eigene Berechnungen

Für die Binnenschifffahrt sind aufgrund der „kürzeren Strecken und der geringeren Maschinenleistung“ andere Antriebskonzepte möglich als für die Seeschifffahrt.¹⁴

3. Hafeninfrasturktur

Laut BEniVer-Bericht stelle die Infrastruktur, insbesondere die flächendeckende Versorgung der Häfen, eine zentrale Herausforderung für den Einsatz alternativer Kraftstoffe dar, da alle unterschiedlichen Kraftstoffe entsprechend bevorratet werden müssten. Während bei einigen Kraftstoffen auf die bestehende Tankinfrastruktur zurückgegriffen werden könne, sei diese für Wasserstoff und Ammoniak noch nicht vorhanden. Da es sich bei diesen Stoffen aber auch um Grundchemikalien der chemischen Industrie handele, sei die Infrastruktur grundsätzlich vorhanden und müsse entsprechend ausgebaut werden, um den Bedarf der Schifffahrt zu decken.¹⁵

Die Nationale Hafenstrategie der Bundesregierung für die See- und Binnenhäfen vom März 2024 verfolgt das Ziel, die „Häfen zu nachhaltigen Knotenpunkten für die Energiewende“ zu entwickeln. Dazu sollen unter anderem „ausreichende Flächen für Lager und Tanklager“ zur Speicherung und Erzeugung von grünen Energieträgern bereitgestellt werden. Der Bedarf an der notwendigen Hafeninfrastruktur soll in einer **Studie** ermittelt werden.¹⁶ Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und das Bundesministerium für Digitales und Verkehr

14 S. 5, https://dmz-maritim.de/wp-content/uploads/2023/08/DMZ_Working_Paper_Kraftstoffe_Hochseeschifffahrt.pdf.

15 S. 447, https://elib.dlr.de/200260/1/Forschungsinitiative%20EiV_BEniVer_Roadmap%20f%C3%BCr%20strombasierte%20Kraftstoffe.pdf.

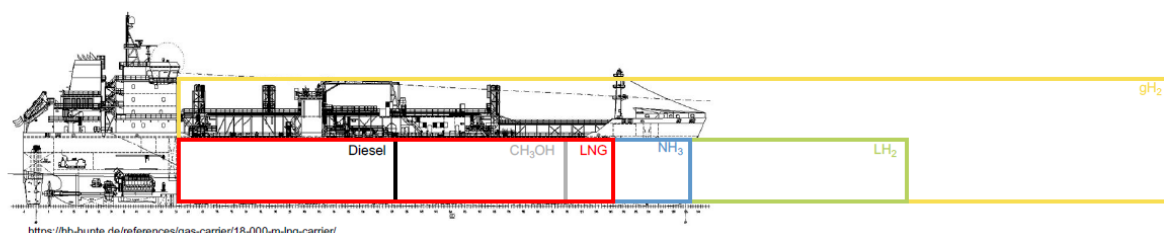
16 S. 26ff, <https://dserver.bundestag.de/btd/20/109/2010900.pdf>.

(BMDV) haben die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) mit der Erstellung der Studie „Energiehäfen der Zukunft“¹⁷ beauftragt (Laufzeit März 2024 bis Dezember 2024).¹⁸

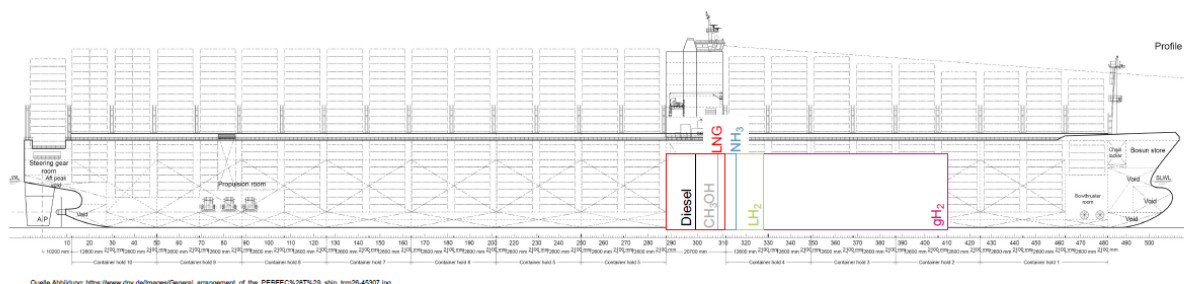
4. Flächenbedarf auf dem Schiff und Umgang mit gefährlichen Gütern

Die verschiedenen Schiffskraftstoffe haben unterschiedliche Energiedichten¹⁹. Je geringer die Energiedichte, desto größer ist der Flächenbedarf. Die Abbildung vergleicht den Flächenbedarf von Diesel, Methanol (CH₃OH), LNG (Liquefied Natural Gas, verflüssigtem natürlichem Erdgas), Ammoniak (NH₃), Flüssigwasserstoff (LH₂)²⁰ und Wasserstoffgas (gH₂)²¹

Vergleich der Energiedichten



<https://hb-hunte.de/references/gas-carrier/18-000-m-lng-carrier/>



Quelle Abbildung: https://www.dlr.de/imagines/General_arrangement_of_the_PERFECTO327L23_ship_img05-4537.jpg

- 17 <https://www.dena.de/projekte/energiehaefen-der-zukunft/>.
- 18 BMWK, See- und Binnenhäfen, <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Branchenfokus/branchenfokus-maritime-wirtschaft-05.html>.
- 19 Energiedichte= ein Maß für die Energie pro Raumvolumen eines Stoffes (**volumetrische** Energiedichte, Einheit Joule/m³); ein Maß für die Energie pro Masse eines Stoffes (**gravimetrische** Energiedichte, spezifische Energie, Einheit Joule/kg), <https://www.chemie.de/lexikon/Energiedichte.html>.
- 20 LH₂ benötigt nur ein Siebtel des Volumens von Wasserstoffgas. <https://weka-ag.ch/de/anwendungen/energie-weltraum-und-forschung/wasserstoffinfrastruktur>.
- 21 Die folgende Abbildung wurde von Prof. Ehlers (DLR) zur Verfügung gestellt. Sie stammt aus einer Präsentation, die anlässlich des 2. Wasserstoff-Symposiums südlich der Elbe gezeigt wurde zum Thema „Schiffsbasierter Wasserstofftransport - Potentiale und Herausforderungen“. <https://www.derwirtschaftsverein.de/events/2-wasserstoff-symposium-suedlich-der-elbe/>. Ende Oktober 2024 findet in Bergen, Norwegen die Maritime Hybrid, Electric & Hydrogen Fuel Cells Conference statt. <https://www.rivieramm.com/events/maritime-hybrid-electric-and-hydrogen-fuel-cells-conference>.

In der folgenden Tabelle sind „volumetrische (raumbezogene) und gravimetrische (gewichtsbezogene) Energiedichten verschiedener alternativer Schiffskraftstoffe im Vergleich zu MGO [Marine Gas Oil] sowie weitere relevante stoffliche Eigenschaften aufgeführt. Die Alternativen liefern bei gleichem Volumen sowie gleichem Gewicht nahezu ausschließlich **weniger Energie** als etablierte Schiffskraftstoffe. Diese Eigenschaft hat weitreichende Auswirkungen auf nahezu alle Bereiche der Supply Chain, bspw. müssen bei der Nutzung des Kraftstoffs entweder geringere **Reichweiten** oder **größere Bunkertanks** in Kauf genommen sowie Gewichtsrestriktionen beachtet werden. Für die Bunkerindustrie bedeuten die geringen volumetrischen Energiedichten vor allem, dass (bei gleichem Energieverbrauch) ein höheres Kraftstoffvolumen verbunkert werden muss. Hinzu kommt beim Einsatz von kryogen²² und komprimiert gelagerten Gasen als Kraftstoff, dass die **Tanksysteme** in der Regel deutlich massiver ausgeführt werden müssen, was ebenfalls zu weniger verfügbarem Volumen und höherem Gewicht des Gesamtsystems führen kann.

Die chemisch-physikalischen Eigenschaften der Kraftstoffe bedingen nicht nur ihre Energiedichte, sondern auch die Anforderungen an die Lagerung an Land und an Bord, Umschlag, Bunkervorgänge sowie das grundlegende Funktionsprinzip der eingesetzten Antriebstechnologie.

So wiesen z. B. **Wasserstoff** und **einige seiner Derivate** Eigenschaften auf, die sich hinsichtlich des **Gefahrenpotenzials** deutlich von heutigen Kraftstoffen unterscheiden. Besondere Herausforderungen werden vor allem durch ihre **physikalisch-chemischen Eigenschaften** (z. B. toxisch, explosiv, leicht entzündlich) bewirkt und können bspw. veränderte Anforderungen an

- Druck- und Temperaturstufen bei Transport und Lagerung,
- die Sicherheit (Abstände, Ausrüstung, geschultes Personal etc.),
- den Platzbedarf,
- geeignete Materialien,
- weitere Nutzungen in der unmittelbaren Umgebung sowie
- SIMOP [Simultaneous Operations]²³

stellen. Die Handhabung dieser Stoffe stellt demzufolge neue Anforderungen an die Bunkerindustrie.“²⁴ Für die stofflichen Eigenschaften, die für die Anforderungen an die Lagerung relevant sind, werden die Symbole des global harmonisierten Systems zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (GHS) benutzt. Die GHS-Kennzeichnung für Ammoniak bedeutet

22 „Eine Flüssigkeit wird als "kryogen" bezeichnet, wenn sie unter ihren üblichen Siedepunkt bis auf –90 °C gekühlt wird. Argon, Helium, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff sind die gängigsten Industriegase, die in flüssigem Zustand bei tiefkalten Temperaturen transportiert, gehandhabt und gelagert werden.“, <https://www.linde.de/shop/de/de-ig/umgang-mit-kryogenen-gasen#:~:text=Eine%20Fl%C3%BCssigkeit%20wird%20als%20%22kryogen,transportiert%2C%20gehandhabt%20und%20gelagert%20werden>.

23 Gleichzeitiges Be- oder Entladen und Tanken.

24 S. 38, https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2024/04/NOW_Abschlussbericht-Potenzialstudie-Betankungsstrukturen.pdf. Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation.

„umweltgefährlich, verdichtete Gase, akut toxisch und ätzend“, für H₂ (verflüssigt) und H₂ (Druck) „leicht entzündlich, verdichtete Gase“:²⁵

| Eigenschaften | HFO | MGO | MDO | LNG | Methanol | Ammoniak | H ₂ (verflüssigt) | H ₂ (Druck) |
|--|---------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|---|------------------------------|-------------------------------|
| Aggregatzustand | Flüssig (1 bar, 25 °C) | Flüssig (1 bar, 25 °C) | Flüssig (1 bar, 25 °C) | Flüssig (1 bar, -163 °C) | Flüssig (1 bar, 25 °C) | Flüssig (1 bar, -50 °C) ¹ | Flüssig (1 bar, -252 °C) | Gasförmig (700 bar, 25 °C) |
| Energiedichte [MWh/m³] | 11,11 | 10,65 | 10,63 | 6,25 | 4,38 | 3,62 | 2,37 | 1,4 |
| Heizwert [MWh/t] | 11,22 | 11,83 | 11,81 | 13,89 | 5,53 | 5,17 | 33,33 | 33,33 |
| Dichte [t/m³] | 0,990 | 0,900 | 0,900 | 0,450 | 0,792 | 0,700 | 0,071 | 0,042 |
| Flammpunkt bei 1 bar [°C] | > 60 | > 43 (DMX) > 60 (weitere) | > 60 | -187 bis -135 | 11 | - | - | - |
| Zündtemp. bei 1 bar [°C] | 250 | 250 | 250 | 595 | 455 | 630 | 465 | 465 |
| Exp.-Grenzen [Vol.-%] | - | - | - | 4,4–16,5 | 6,0–36,0 | 15,4–33,6 | 4,0–76,0 | 4,0–76,0 |
| GHS-Kennzeichnung | | | | | | | | |

Leicht entzündlich

Reizend

Umweltgefährlich

Schädlich

Verdichtete Gase

Akut toxisch

Ätzend

Der Umgang mit gefährlichen Gütern ist in der Binnenschifffahrt nicht unüblich, so spielt nach Angaben der Landesregierung von Nordrhein-Westfalen der Transport von Gefahrgütern in der Binnenschifffahrt eine wichtige Rolle. Das Schiff als sicherstes Gütertransportmittel sei für Transport von Gefahrgut essenziell. Insbesondere bei den entzündbaren flüssigen Stoffen, dem aufkommensstärksten Gefahrgut, übernehme die Binnenschifffahrt einen großen Teil der Transporte.²⁶ Unter die zu transportierenden Gefahrgütern fallen nach Angaben des Bundesverbands der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. (BDB) unter anderem „brennbare flüssige Güter wie Benzin, Heizöl, chemische Grundstoffe (z. B. Methanol), Endprodukte (z. B. Säuren) und verflüssigte Gase (z. B. Ammoniak). Daneben gibt es trockene gefährliche Güter in loser Schüttung, die entzündbar oder selbstentzündlich sind oder bei Kontakt mit Wasser Gas entwickeln.“²⁷ Um

25 S. 39, https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2024/04/NOW_Abschlussbericht-Potenzialstudie-Betankungsstrukturen.pdf

26 Antwort der Landesregierung auf die Kleine Anfrage „Signifikanter Rückgang des Güteraufkommens in den NRW-Binnenhäfen“, LT-Drs. 18/4437 vom 23.05.2023, <https://www.landtag.nrw.de/portal/WWW/dokumentenarchiv/Dokument/MMD18-4437.pdf>

27 Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. (BDB) [https://www.binnenschiff.de/system-wasserstrasse/gueterschifffahrt/#:~:text=Ein%20weiterer%20wichtiger%20Gesch%C3%A4fts-zweig%20der,verfl%C3%BCssigte%20Gase%20\(z.B.%20Ammoniak\)](https://www.binnenschiff.de/system-wasserstrasse/gueterschifffahrt/#:~:text=Ein%20weiterer%20wichtiger%20Gesch%C3%A4fts-zweig%20der,verfl%C3%BCssigte%20Gase%20(z.B.%20Ammoniak))

Gefahrgut sicher transportieren zu können, bestehen strenge Gefahrgutnormen und Sicherheitsstandards.²⁸

5. Umrüstkosten für den Betrieb eines Binnenschiffs mit Ammoniak, Wasserstoff oder HVO

Nach Angaben von Prof. Sören Ehlers, Direktor des DLR-Instituts für Maritime Energiesysteme, gibt es für die Leistungsklasse eines Binnenschiffs noch **keine kommerziellen Antriebsysteme** mit Ammoniak, Wasserstoff oder HVO. Angaben zu den Kosten könnten somit nur auf Schätzungen beruhen. Ein Dieselmotor für ein Binnenschiff sei im Grunde ein marinisierter LKW-Motor. **HVO** sollte demnach im Dieselmotor kaum zu Problemen führen. Wasserstoff und Ammoniak benötigen eine Anpassung der Motorentechnologie. **Ammoniak** erfordere besondere Tank- und erhebliche Sicherheitssysteme, sei noch teuer, könne aber bei entsprechenden Stückzahlen günstiger werden. **Wasserstoff** im Verbrenner sei aktuell Gegenstand der Forschung und die kostenintensivste Variante.²⁹

Im BEniVer-Bericht werden die Kosten für ein mit Ammoniak betriebenes Schiff auf mindestens 30 % höher geschätzt als für ein mit Diesel betriebenes Schiff, was vor allem auf die höheren Gestehungskosten, z. B. für den Motor, zurückzuführen ist.³⁰

6. HVO

Bei HVO handelt es sich um einen dieselähnlichen Kraftstoff, dessen Anteil am Biokraftstoffmarkt rasch steigt.³¹ „Das Ausgangsmaterial für HVO besteht aus erneuerbaren Quellen. Dies können pflanzliche und tierische Restfraktionen aus der Lebensmittelindustrie oder Rückstände aus der Pflanzenölverarbeitung sein. Lokal werden CO₂-Emissionen erzeugt, die vorher aber global von den nachwachsenden Rohstoffen aus der Luft entnommen wurden. Es werden Anstrengungen unternommen, die Entscheidung zwischen „Tank oder Teller“ zu beenden und wirklich nur Rohstoffe zu verwenden, die nicht in Konkurrenz zur Lebensmittelerzeugung stehen.“³² Wegen seiner unmittelbaren Verfügbarkeit wird ihm ein hohes Potenzial als Schiffskraftstoff zugeschrieben.³³ Der Geschäftsführer der Hülskens Wasserbau GmbH & Co. KG konstatiert in einer Öffentlichen Anhörung im Deutschen Bundestag im Mai 2024, HVO könne „übergangsweise ein

28 Vgl. Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. (BDB) [https://www.binnenschiff.de/system-wasserstrasse/gueterschifffahrt/#:~:text=Ein%20weiterer%20wichtiger%20Gesch%C3%A4ftszweig%20der,verfl%C3%BCssigte%20Gase%20\(z.B.%20Ammoniak\)](https://www.binnenschiff.de/system-wasserstrasse/gueterschifffahrt/#:~:text=Ein%20weiterer%20wichtiger%20Gesch%C3%A4ftszweig%20der,verfl%C3%BCssigte%20Gase%20(z.B.%20Ammoniak))

29 Auskunft im September und Oktober 2024.

30 S. 121f, https://elib.dlr.de/200260/1/Forschungsinitiative%20EiV_BEniVer_Roadmap%20f%C3%BCr%20strombasierte%20Kraftstoffe.pdf.

31 EMSA (2023), Update on Potential of Biofuels in Shipping, 26.09.2023, Updated 13.11.2023, <https://www.emsa.europa.eu/publications/reports/item/4834-update-on-potential-of-biofuels-for-shipping.html>, dann weiter zum Download, S. 5.

32 S. 9, <https://www.wko.at/oe/transport-verkehr/schifffahrt/alternative-kraftstoffe-und-antriebstechnologien.pdf>.

33 S. 45, https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2024/04/NOW_Abschlussbericht-Potenzialstudie-Betankungsstrukturen.pdf.

Meilenstein in der Dekarbonisierung der Schifffahrt“ sein. Hierzu müssten Verfügbarkeit und Infrastruktur deutlich verbessert werden.³⁴ Auch das Pilotprojekt – das viadonau-Schubschiff „Bad Deutsch-Altenburg“ fährt seit Herbst 2023 mit HVO – bescheinigt einen vielversprechenden Ansatz und einen kurzfristig umsetzbaren Modernisierungsschritt für die dieselbetriebene Binnenschifffahrt.³⁵

Viele der bestehenden Sicherheitsvorschriften, die bereits für fossile Äquivalente in der Schifffahrt gelten, können auf HVO übertragen werden. Die mit der Verwendung von Biokraftstoffen verbundenen Risiken sind ähnlich wie bei konventionellen Kraftstoffen.³⁶

Zu HVO in der Schifffahrt siehe ausführlich:

EMSA (2023), Update on Potential of Biofuels in Shipping, 26.09.2023, Updated 13.11.2023, <https://www.emsa.europa.eu/publications/reports/item/4834-update-on-potential-of-biofuels-for-shipping.html>, dann weiter zum Download.

7. Ammoniak

Der Verein für europäische Binnenschifffahrt und Wasserstraßen e.V. (VBW) sieht HVO als **kurzfristige**, Wasserstoff als **mittelfristige** und Ammoniak (NH₃) als **langfristige** Lösung.³⁷ Zu Ammoniak wird dort ausgeführt:

„Heute wird Ammoniak im industriellen Maßstab hauptsächlich nach dem Haber-Bosch-Verfahren unter Verwendung von Stickstoff und Wasserstoff als **Basis für Düngemittel** hergestellt, wofür etwa 3 % der weltweit erzeugten elektrischen Energie benötigt werden. Bevor Ammoniak als klimafreundlicher Brennstoff eingesetzt werden kann, müssen neue Verfahren zu seiner Herstellung angewendet werden. **Ammoniak** hat als **Speichermedium für Wasserstoff** den großen Vorteil, dass die Wasserstoffdichte höher ist als in komprimiertem oder verflüssigtem Wasserstoff. Zudem kann Ammoniak mit moderatem Druck- oder Temperaturniveau (8,6 bar oder -33 °C) verflüssigt werden. Diese Werte entsprechen ungefähr denen für

34 Stellungnahme zum Antrag „Binnenschifffahrt stärken“ zur Öffentlichen Anhörung im Deutschen Bundestag am 13.05.2024, <https://www.bundestag.de/resource/blob/1001754/a864b6ba670e33af0300f65840bc0040/20-15-260-D-Huelskens.pdf>. Zur Öffentlichen Anhörung vom 13.05.2024 siehe auch weitere Beiträge unter https://www.bundestag.de/ausschuesse/a15_verkehr/anhoerungen/995226-995226.

35 Mit hydriertem Pflanzenöl in die Schifffahrtszukunft? Dieselerersatz HVO im Testbetrieb, <https://www.viadonau.org/newsroom/news/detail/mit-hydriertem-pflanzenoel-in-die-schifffahrtszukunft-dieselerersatz-hvo-im-testbetrieb>.

36 EMSA (2023), Update on Potential of Biofuels in Shipping, 26.09.2023, Updated 13.11.2023, <https://www.emsa.europa.eu/publications/reports/item/4834-update-on-potential-of-biofuels-for-shipping.html>, dann weiter zum Download; S. 7.

37 VBW (2022), Alternative Kraftstoffe und Antriebstechnologien für Binnenschiffe. Eine Broschüre des Vereins für europäische Binnenschifffahrt und Wasserstraßen e. V. (VBW), Fachausschuss Binnenschiffe Ein Überblick, 05/2022, S. 19, <https://www.wko.at/oe/transport-verkehr/schifffahrt/alternative-kraftstoffe-und-antriebstechnologien.pdf>.

LPG^[38] und machen das Tanksystem deutlich günstiger als einen LNG^[39]-Tank. Da Ammoniak schon lange in anderen Industriezweigen eingesetzt wird, kann trotz der korrosiven Wirkung auf zahlreiche Metalle und Kunststoffe, auf viele Standardbauteile zurückgegriffen werden, was die Systemkosten ebenfalls niedrig hält.“⁴⁰

Ramboll (2024) konstatiert, gerade für Ammoniak sei mit erheblichen Hemmnissen aufgrund der Festsetzung eines angebrachten und allgemein akzeptierten Sicherheitsniveaus, vor allem bei der Durchfahrt durch dicht besiedelte Gebiete, zu rechnen. Auch die technologische Entwicklung von kommerziell nutzbaren Antriebssystemen werde voraussichtlich noch einige Jahre in Anspruch nehmen. Es sei zu empfehlen, geltende und nötige Sicherheitsbestimmungen für den Einsatz von Ammoniak als Kraftstoff in der Binnenschifffahrt in weiterführenden Analysen zu forcieren, um die mögliche Rolle Ammoniaks präziser einschätzen zu können.⁴¹

Laut EMSA (2023) wurden mehrere Schiffsentwürfe für den Betrieb mit Ammoniak unter Risiko- und Sicherheitsaspekten bewertet. Die durchgeführte Analyse habe gezeigt, dass die größten Sicherheitsbedenken im Zusammenhang mit Ammoniak mit seiner Toxizität und seinen Gasdispersionseigenschaften zusammenhängen. Es gebe zwar Lösungen, doch seien noch weitere Forschungen und Studien erforderlich, um die damit verbundenen Risiken weiter zu verringern oder ganz auszuschließen. Ammoniak sei in der Schifffahrt nicht neu und werde derzeit als Fracht in Gastankern transportiert. Die Industrie verfüge über beträchtliche Erfahrung, so dass einige Sicherheitsverfahren für den Umgang mit Ammoniak bereits vorhanden seien. Die Aussicht auf die Verwendung von Ammoniak als Treibstoff würde jedoch eine Zunahme des Betriebs und des menschlichen Umgangs mit Ammoniak bedeuten, was eine sorgfältige Umsetzung spezieller und einheitlicher Schulungsprogramme erforderlich mache. Es müssten zusätzliche Vorschriften entwickelt werden, um die Risiken und Sicherheitsbedenken zu verringern: z. B. für das Erkennen von Ammoniakleckagen, die Festlegung von Schwellenwerten für die Ammoniakkonzentration, Anforderungen an die Schutzausrüstung, Toxizitätsbereiche, den Umgang mit Ammoniak, Bunkerungsverfahren, die sichere Ableitung von Ammoniak oder mit Ammoniak verunreinigtem Wasser, Brandschutz, Brandbekämpfung, Belüftung, Notfallverfahren usw. umfassen.⁴²

Zu Ammoniak in der Schifffahrt siehe ausführlich:

38 LPG=Liquefied Petroleum Gas.

39 LNG=Liquefied Natural Gas.

40 VBW (2022), Alternative Kraftstoffe und Antriebstechnologien für Binnenschiffe. Eine Broschüre des Vereins für europäische Binnenschifffahrt und Wasserstraßen e. V. (VBW), Fachausschuss Binnenschiffe Ein Überblick, S. 19, <https://www.wko.at/oe/transport-verkehr/schifffahrt/alternative-kraftstoffe-und-antriebstechnologien.pdf>.

41 Ramboll Deutschland GmbH (2024), Potenzialstudie zu Betankungsinfrastrukturen für kohlenstoffarme und erneuerbare Schiffs kraftstoffe in Deutschland, Bericht, April 2024, S. 62, https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2024/04/NOW_Abschlussbericht-Potenzialstudie-Betankungsstrukturen.pdf.

42 EMSA (2023), Potential of Ammonia as fuel in shipping, <https://www.emsa.europa.eu/newsroom/latest-news/item/4833-potential-of-ammonia-as-fuel-in-shipping.html>, dann weiter zum Download, S. 6.

EMSA (2023), Update on Potential of Ammonia in Shipping, Update 13.11.2023, <https://www.emsa.europa.eu/newsroom/latest-news/item/4833-potential-of-ammonia-as-fuel-in-shipping.html>, dann weiter zum Download.

8. Wasserstoff

Für wasserstoffbetriebene Binnenschiffe sind in Europa bereits sehr vereinzelte Pilotprojekte in der Erprobung.⁴³ Laut Agarwala (2024) gebe es zwei anerkannte Formen der Nutzung von Wasserstoff als Schiffskraftstoff: entweder in Form einer Brennstoffzelle oder durch Verbrennung in einem Viertakt-Schiffsmotor. Die erstgenannte Technologie sei relativ weit fortgeschritten und habe sich bei landgestützten Systemen bewährt, während die letztgenannte Technologie speziell für die Schifffahrt entwickelt werde, es seien bereits einige Prototypen hergestellt worden.⁴⁴ In den skandinavischen Ländern, Belgien und den Niederlanden wird nach Angaben von Ramboll (2024) schon „stark auf Wasserstoff als Kraftstoff für die Binnenschifffahrt gesetzt“.⁴⁵

Die größten Herausforderungen sind derzeit neben der Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff die Kosten für die Entwicklung der Infrastruktur für die Betankung mit Wasserstoff sowie das Tanksystem zur Speicherung von Wasserstoff an Bord.⁴⁶ Laut EMSA (2023) sind Wasserstofftanksysteme teuer. Obwohl sich die derzeitigen Drucktanktechnologien für die Speicherung von Wasserstoff in Gasform eignen, sei ihr Volumeneffektivitätsgrad gering und das Tanksystem kostspielig. Daher sei die Wirtschaftlichkeit für den **Kurzstreckenseeverkehr** besser als für den Langstreckentransport, da Schiffe mit häufigeren Hafenaufenthalten und Bunkervorgängen dieses Problem überwinden könnten. Für den Langstreckentransport von Wasserstoff könnten wiederum Speicher wie flüssige organische Wasserstoffträger (Liquid Organic Hydrogen Carriers, LOHC) und Ammoniak als Wasserstoffträger die kostengünstigere Lösung sein.⁴⁷

Die Sicherheitsvorschriften für die Verwendung von Wasserstoff als Kraftstoff in der Schifffahrt befinden sich noch in der Entwicklung.⁴⁸ In Bezug auf die **Sicherheit** bestehen die größten Bedenken hinsichtlich seiner Entflammbarkeit, seinem Leckagepotenzial, der Flammgeschwindigkeit

43 Ramboll Deutschland GmbH (2024), Potenzialstudie zu Betankungsinfrastrukturen für kohlenstoffarme und erneuerbare Schiffskraftstoffe in Deutschland, Bericht, April 2024, S. 62, https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2024/04/NOW_Abschlussbericht-Potenzialstudie-Betankungsstrukturen.pdf.

44 Agarwala, Nitin (2024), Is hydrogen a decarbonizing fuel for maritime shipping? https://www.researchgate.net/publication/382024466_Is_hydrogen_a_decarbonizing_fuel_for_maritime_shipping.

45 Ramboll (2024), S. 45, https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2024/04/NOW_Abschlussbericht-Potenzialstudie-Betankungsstrukturen.pdf.

46 EMSA (2023), Potential of hydrogen as fuel for shipping, <https://emsa.europa.eu/publications/reports/item/5062-potential-of-hydrogen-as-fuel-for-shipping.html>, dann weiter zum Download, S. 153f.

47 EMSA (2023), Potential of hydrogen as fuel for shipping, <https://emsa.europa.eu/publications/reports/item/5062-potential-of-hydrogen-as-fuel-for-shipping.html>, dann weiter zum Download, S. 153.

48 EMSA (2023), Potential of hydrogen as fuel for shipping, <https://emsa.europa.eu/publications/reports/item/5062-potential-of-hydrogen-as-fuel-for-shipping.html>, dann weiter zum Download, S. 117.

und der Möglichkeit der Detonation/Deflagration⁴⁹. In den diesbezüglichen Studien, die Gefahren identifizieren sollen, seien präventive Schutzmaßnahmen und Empfehlungen für verschiedene Schiffstypen ermittelt worden, darunter die Entwicklung von Notfallplänen, Schulungsanforderungen und Kooperationsbemühungen zur Gestaltung des gesamten Wasserstofftreibstoffsystems.⁵⁰

Zu Wasserstoff in der Schifffahrt siehe ausführlich:

EMSA (2023), Potential of hydrogen as fuel for shipping, <https://emsa.europa.eu/publications/reports/item/5062-potential-of-hydrogen-as-fuel-for-shipping.html>, dann weiter zum Download.

9. Leistungsbilanzen von Ammoniak, Wasserstoff und HVO

Die Energiedichte für Schiffskraftstoffe in Megajoule pro Liter findet sich in der folgenden Abbildung.⁵¹ Marinediesel (Marine Diesel Oil, MDO) hat die höchste Energiedichte gefolgt von HVO und Schweröl (HFO). Eine wesentlich geringere Energiedichte haben Ammoniak, flüssiger Wasserstoff und komprimierter Wasserstoff (Druck). Eine geringe Energiedichte bedeutet eine geringe Reichweite⁵²:

-
- 49 „Eine Explosion wird als Deflagration bezeichnet, wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit der chemischen Umsetzung unter der Schallgeschwindigkeit liegt. Erfolgt die Ausbreitung mit Überschallgeschwindigkeit, spricht man von einer Detonation.“, https://www.bgrci.de/fileadmin/BGRCI/Downloads/DL_Praevention/Explosionsschutzportal/Wissen/Grundlagen/Grundlagen_zum_Explosionsschutz_Teil_1_V_2-1.pdf.
- 50 EMSA (2023), Potential of hydrogen as fuel for shipping, <https://emsa.europa.eu/publications/reports/item/5062-potential-of-hydrogen-as-fuel-for-shipping.html>, dann weiter zum Download, S. 153f.
- 51 World Ocean Review (2021), Lebensgarant Ozean - nachhaltig nutzen, wirksam schützen, 2021, Bd. 7, <https://worldoceanreview.com/de/wor-7/transporte-ueber-das-meer/die-schifffahrt-am-scheideweg/>.
- 52 S. 451f, https://elib.dlr.de/200260/1/Forschungsinitiative%20EiV_BEniVer_Roadmap%20f%C3%BCr%20strombasierte%20Kraftstoffe.pdf.

