

H₂

Wie grün sind „grüne“ Gase?

Factsheets

Wie grün sind „grüne“ Gase?

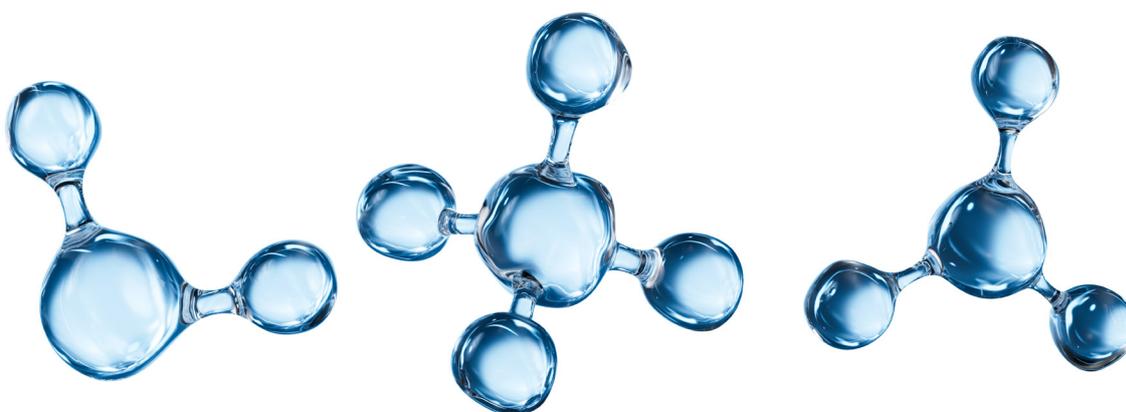
Um der Klimakrise zu begegnen, muss unser Energiesystem schnellstmöglich und vollständig von fossilen Energien befreit werden. Als Ersatz für den Einsatz von Kohle, Öl, und Gas existieren in vielen Gebieten direktelektrische Alternativen, die in der Regel auch die beste verfügbare Lösung darstellen. **In einigen wenigen Bereichen wie der Produktion von Stahl, der chemischen Industrie, oder dem Flugverkehr fehlen allerdings praktikable elektrische Konzepte.** Hier können synthetisch hergestellte grüne Gase Abhilfe schaffen.

Das prominenteste Beispiel für grüne Gase ist grüner Wasserstoff, der durch die Elektrolyse von Wasser mit erneuerbarem Strom hergestellt wird. Doch auch Ammoniak, Methanol, oder Methan lassen sich bei einer auf erneuerbaren Energien basierenden Produktion prinzipiell als grüne Gase klassifizieren. Hinzu kommen Transportlösungen für Wasserstoff, wie Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC), die selbst keine Gase sind aber versprechen den Umgang mit solchen zu vereinfachen.

Über den teilweise notwendigen Rückgriff auf grüne Gase hinaus, ist die Debatte um den Ersatz fossiler Energien allerdings ausgeföhrt und geht nun deutlich über das technisch Notwendige hinaus. Mit dem „Factsheet Grüne Gase“ wollen wir daher zu einer Versachlichung der Diskussion beitragen. Klar ist, dass grüne Gase nicht als vermeintlich einfachere oder günstigere Lösung herangezogen werden dürfen, wenn dadurch mögliche Effizienzgewinne und langfristige Kosteneinsparungen durch eine Umstellung auf elektrische Lösungen unrealisiert bleiben. Das prominenteste Beispiel dafür ist die Erzeugung von Gebäudewärme mit Wasserstoff an Stelle des Einsatzes von Wärmepumpen.

Neben der ausufernden Debatte um die Nutzung grüner Gase, stellen sich auch Fragen bezüglich der **Abgrenzung von grünen zu kohlenstoffarmen Gasen.** Das bekannteste Beispiel dafür ist blauer Wasserstoff. Dieser wird nicht auf der Basis von erneuerbaren Energien, sondern auf der Basis von Erdgas erzeugt. Durch Kohlstoffabscheidung und Speicherung (engl. Carbon Capture and Storage) kann bei der Herstellung von blauem Wasserstoff dafür gesorgt werden, dass möglichst wenig Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre gelangt. Einhundertprozentig kann dies aber selbst mit der neusten und im industriellen Maßstab noch unerprobten Autothermen Reformierungstechnologie (ATR) nicht gelingen. Darüber hinaus bleibt es auf Grund mangelnder Erfahrung fraglich wie lange und unter welchem Aufwand die Kohlenstoffspeicherung sichergestellt werden kann.

Für das Erreichen der Klimaziele ist die Erzählung von klimafreundlichem blauem Wasserstoff daher hochgefährlich: Unter dem Strich werden auch hier große Mengen an klimaschädlichem CO₂ und Methan ausgestoßen und neue Klimarisiken hervorgerufen. Blauer Wasserstoff ist und bleibt ein fossiler Energieträger und zählt daher nicht zu den Grünen Gasen. Daher ist unsere Annahme bei der Bewertung grüner Gase auch immer, dass diese auf einer vollständig erneuerbaren Grundlage erzeugt werden und nicht unter der Verwendung von blauem Wasserstoff. Insofern bei der Produktion und Nutzung der jeweiligen grünen Gase über die Energiequelle hinaus Kohlenstoffe zum Einsatz kommen bzw. emittiert werden, fließt dies in die jeweilige Bewertung der Klimabilanz mit ein.



Wie grün sind „grüne“ Gase?

Factsheet

Grüner Wasserstoff (H₂) ist die erneuerbare Grundlage aller tatsächlich grünen Gase und erfordert vergleichsweise wenige Produktionsstufen. Die elektrochemische Auftrennung von Wassermolekülen in Wasserstoff und Sauerstoff erfordert **allerdings große Mengen erneuerbaren Strom und Frischwasser sowie kostspielige und bisher wenig verbreitete großskalige Produktionsanlagen.**

Neben dem hohen Ressourcenaufwand für die Herstellung von grünem Wasserstoff stellt besonders der Transport und die Speicherung eine Herausforderung dar. Da Wasserstoff aus sehr kleinen und leichten Molekülen besteht, muss es stets unter hohem Druck

gespeichert und transportiert werden. Das wirkt sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz des Imports aus. Allein bei der Verflüssigung von Wasserstoff entstehen Energieverluste von 30 – 36 Prozent. Wegen dieses enormen **Energieaufwands sowie fehlender Schiffs- und Verladekapazitäten ist der Transport reinen Wasserstoffs auf dem Seeweg ungeeignet.** Der Pipeline-transport ist daher nach aktuellem Stand die einzige realistische Importmöglichkeit.

KLIMABILANZ

0,6 kg CO₂-eq/kg

Bei der Herstellung von grünem Wasserstoff wird vollständig auf fossile Energieträger und Kohlenstoffe verzichtet. Dadurch ergibt sich eine gute Klimabilanz insofern der verwendete Strom tatsächlich erneuerbar hergestellt wurde und der Import per Pipeline erfolgt. Allerdings ist Wasserstoff selbst auch ein Klimagas wenn es unverbrannt in die Atmosphäre entweicht. Daher müssen Leckagen vermieden werden.

UMWELTBILANZ

Sehr gut

Der Transport von reinem Wasserstoff birgt kaum Umweltrisiken, da er sich bei Leckagen schnell verflüchtigt. Für die Herstellung von grünem Wasserstoff werden allerdings große Mengen an erneuerbarem Strom und Frischwasser benötigt. Besonders der Wasserbedarf stellt in vielen potenziellen Produktionsregionen eine Herausforderung dar.

WIRTSCHAFTLICHKEIT

5-6 Euro/kg

Grüner Wasserstoff aus Deutschland ist mit 8 Euro pro Kilo aktuell noch deutlich teurer als fossiler Wasserstoff. Im Ausland kann grüner Wasserstoff günstiger produziert werden, wenn der erneuerbare Strom günstiger bereitgestellt werden kann. Der Transport nach Deutschland verursacht dann jedoch zusätzliche Kosten, wodurch Preise von 5 (Pipeline) bis 6 (Schiff) Euro pro Kilo realisierbar sein könnten.

ENERGIEEFFIZIENZ

49 - 63 %

Elektrolyseure können den bei der Produktion von Wasserstoff eingesetzten Strom nie zu hundert Prozent umsetzen. Je nach Produktionsform und Stand der Technik, werden meist Wirkungsgrade zwischen 60 und 70 Prozent erreicht. Durch die Verflüssigung von Wasserstoff für den Transport auf dem Seeweg entstehen zusätzliche Energieverluste von 30-36 Prozent.

TECHNISCHE REIFE

TRL 7 & 9

Elektrolyseure sowie erneuerbare Energien sind etablierte Technologien, bei denen es vor allem um den großskaligen Ausbau geht (TRL 9). Die Herausforderungen liegen jedoch im Bereich der Verschiffung von flüssigem Wasserstoff (TRL 7). Flüssigwasserstofftanker müssen nochmal deutlich höhere Kühlleistungen erbringen als LNG-Tanker (-253°C statt -162°C).

TRANSPORT

Flüssig - 253°C

Da Wasserstoff aus sehr kleinen und leichten Molekülen besteht, muss es stets unter hohem Druck gespeichert und transportiert werden. Dies macht die notwendige Infrastruktur aufwändig und teuer. Daher sind eine lokale Produktion und Nutzung stets dem weiteren Transport vorzuziehen. Die Verflüssigung für den Transport per Schiff ist so energieintensiv, dass diese Importroute praktisch ungeeignet ist.

Wie grün ist Synthetic Natural Gas (SNG)?

Factsheet

Synthetic Natural Gas (SNG), ist das **künstlich hergestellte Äquivalent zu Erdgas bzw. Methan** (CH_4). Es wird auf der Basis von grünem Wasserstoff hergestellt und erfordert darauf aufbauend einen zusätzlichen Produktionsschritt, bei dem Wasserstoff mit CO_2 in Verbindung gebracht wird. Bei diesem Schritt entstehen enorme Energieverluste, sodass die **Energieeffizienz von SNG deutlich geringer** ausfällt als die von grünem Wasserstoff. Abhängig von der CO_2 -Quelle und dem gewählten Transportweg sowie dem Risiko von H_2 -, CH_4 - und CO_2 -Leckagen an vielen Stellen der Lieferkette, ist die Klimabilanz von SNG zudem deutlich schlechter.

Dem augenscheinlichen Vorteil von LNG, dass bestehende fossile Infrastrukturen wie LNG-Terminals und Pipelines weiter genutzt werden können, stehen die geringe Effizienz und die Notwendigkeit des Aufbaus einer zusätzlichen, weiträumigen parallelen CO_2 -Infrastruktur bis in die Anwendungsgebiete gegenüber. Dies spiegelt sich auch in den hohen Produktionskosten wider, die durch die Komplexität und Energieintensität des Herstellungs- und Transportprozesses verursacht werden.

KLIMABILANZ

4,0 kg CO_2 -eq/kg

Die Klimabilanz von SNG hängt hauptsächlich von der Herstellung des grünen Wasserstoffs für die Methanisierung ab. Entlang der Lieferkette kann es jedoch zu weiteren Emissionen kommen da Leckagen von SNG nicht komplett zu vermeiden sind. Dies gilt vor allem für den Flüssigtransport. Ebenso kann CO_2 aus der Infrastruktur und bei der Rückumwandlung von SNG zu H_2 entweichen.

UMWELTBILANZ

Mittel

Da LNG und Methan chemisch äquivalent sind, resultiert die umweltschädigende Wirkung von LNG auch weniger aus direkten Umweltschäden als vielmehr aus seiner Wirkung als hochwirksames Treibhausgas im Falle einer Freisetzung.

WIRTSCHAFTLICHKEIT

7-8 Euro/kg

Die Kosten von SNG werden vor allem durch die CO_2 -Quellen, die Methanisierung, und die Extraktion des Wasserstoffs bestimmt. Die Transportkosten zwischen dem Erzeugerland und Deutschland spielen hingegen nur eine untergeordnete Rolle. Mit Gesamtkosten von 7-8 Euro liegen die Kosten für SNG tendenziell etwas über den Kosten für grünen Ammoniak (7 Euro).

ENERGIEEFFIZIENZ

41 %

Die im Vergleich zu grünem Wasserstoff deutlich niedrige Energieeffizienz von SNG geht hauptsächlich auf den Energieaufwand für die Gewinnung von CO_2 sowie auf die Methanisierung von Wasserstoff zurück. Die CO_2 -Abscheidung bei direkter Verbrennung von SNG sowie die Rückverwandlung in Wasserstoff bei Verwendung als Wasserstoffträger senken die Energieeffizienz zusätzlich.

TECHNISCHE REIFE

TRL 7

Obwohl die Methanisierung als Herstellungsverfahren für SNG bereits seit vielen Jahren von der Industrie angewandt wird und die entsprechende Grundlagenforschung bereits in den 1980er Jahren erfolgt ist, steht eine weitere Optimierung der Technologie noch aus. Dies betrifft insbesondere die direkte CO_2 -Methanisierung und die optionale Anwendung von CCS bei der Rückgewinnung des Wasserstoffs.

TRANSPORT

Flüssig - 162°C

Der Transport von SNG kann genauso erfolgen wie der Transport von Erdgas. Grundsätzlich stehen dafür also Pipelines und LNG-Tanker zur Verfügung. Praxisrelevant ist dabei vor allem der LNG-Transportweg, da vorhandene Erdgaspipelines auch für den Import von grünem Wasserstoff umgerüstet werden könnten und aus Effizienz- und Klimagesichtspunkten auch sollten.

Wie grün ist grüner Ammoniak?

Factsheet

Grüner Ammoniak (NH_3) kann mit einem etablierten und weitverbreiteten chemischen Herstellungs-verfahren auf der **Basis von grünem Wasserstoff und Stickstoff aus der Umgebungsluft** produziert werden. Der einzige Unterschied zu herkömmlich hergestelltem Ammoniak ist die Quelle des Wasserstoffs. Durch die Nutzung von Stickstoff zur Bindung von Wasserstoff kann gänzlich auf den Einsatz von Kohlenstoffen verzichtet werden. Allerdings wird - wie bei der Herstellung von SNG - ein zusätzlicher Produktionsschritt notwendig, der wiederum Energieverluste und indirekte Emissionen bedeutet.

Ammoniak ist **besonders geeignet für den Transport auf dem Seeweg**, da für die Verflüssigung weniger Energie aufgewendet werden muss, als im Fall von Wasserstoff oder SNG. Anders als bei Wasserstoff, gibt es für Ammoniak auch bereits **bestehende Infrastrukturen und einsatzfähige Technologien**. Soll Ammoniak lediglich als Transportmedium für Wasserstoff genutzt werden, entstehen bei der Rückumwandlung jedoch zusätzliche Energieverluste, die diese Option ökonomisch wenig tragfähig macht.

KLIMABILANZ

3,3 kg CO_2 -eq/kg

Die Emissionen von grünem Ammoniak hängen vor allem mit der Herstellung des grünen Wasserstoffs als Vorprodukt für den Haber-Bosch Prozess zusammen. Im Gegensatz zu SNG fallen in der Lieferkette keine CO_2 Emissionen an, da Ammoniak selbst nicht klimaschädlich ist. Allerdings verursacht die Rückumwandlung von Ammoniak zu Wasserstoff CO_2 Emissionen.

UMWELTBILANZ

Sehr schlecht

Ammoniak ist reaktiv bei gleichzeitig sehr hoher Wassergiftigkeit. Im Havariefall können daher kurzfristig hohe lokale Umweltschäden entstehen, insbesondere in weniger durchströmten Bereichen wie Häfen oder Binnengewässern. Entweicht Ammoniak lediglich in die Atmosphäre und nicht in die Umwelt, so entstehen keine besonders schwerwiegenden Klima- und Umweltschäden.

WIRTSCHAFTLICHKEIT

7-8 Euro/kg

Die Herstellung von grünem Ammoniak hat vergleichsweise geringe Kosten. Dies liegt unter anderem daran, dass die Luftzerlegung zur Gewinnung von Stickstoff ein seit Jahrzehnten etabliertes Verfahren ist und daher kostengünstig bereitgestellt werden kann. Allerdings liegen die Kosten auf Grund der notwendigen Umwandlungen immer noch deutlich über denen für grünen Wasserstoff.

ENERGIEEFFIZIENZ

49-52 %

Die Stickstoffgewinnung aus der Umgebungsluft und die Synthese von Ammoniak mit grünem Wasserstoff über das Haber-Bosch Verfahren verbrauchen Energie und senken die Energieeffizienz im Vergleich zu grünem Wasserstoff. Je nachdem, ob das Ammoniak direkt stofflich genutzt (52%) oder wieder zu Wasserstoff umgewandelt wird (49%) variieren die Energieeffizienzwerte zusätzlich.

TECHNISCHE REIFE

TRL 8 & 11

In der Vergangenheit wurde das Verfahren zur Herstellung von grünem Ammoniak mit Hilfe von Wasserkraft bereits in großem Maßstab angewandt. Eine verbleibende Herausforderung besteht darin, das Verfahren mit erneuerbaren Energien durchzuführen, die einen zeitlich schwankenden Output haben (TRL 8). Vollends bewährt sind hingegen Ammoniaktransport-schiffe (TRL 11).

TRANSPORT

Flüssig - 33°C

Der Transport von grünem Ammoniak zählt zu den deutlichen Vorteilen dieses grünen Gases. Durch die für ein Gas relativ hohe Verflüssigungstemperatur kann eine Verschiffung vergleichsweise günstig und effizient gestaltet werden. Diese klaren Vorteile spiegeln sich auch in der bereits vorhandenen Infrastruktur für den Ammoniaktransport wider.

Wie grün ist grünes LOHC?

Factsheet

LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier) sind im Gegensatz zu SNG oder Ammoniak keine Gase, sondern **flüssige Trägerstoffe, in denen Wasserstoff gespeichert werden kann**. Der Vorteil dieser technischen Lösung für das Wasserstofftransportproblem ist, dass bestehende Ölinfrastrukturen wiederverwendet werden können, da LOHC sehr ähnliche Eigenschaften hat wie fossile Kohlenwasserstoffe.

Für die **Speicherung und Extraktion von Wasserstoff in LOHC werden jedoch spezielle Anlagen benötigt**, die noch keine vollständige technische Reife erlangt haben und daher auch noch keine Verbreitung gefunden haben. Neben der mangelnden Verbreitung stellt auch die von diesen Anlagen benötigte Wärmeenergie ein Problem dar, da sie sich negativ auf die Energieeffizienz auswirkt.

KLIMABILANZ

4,1 kg CO₂-eq/kg

Die Emissionen von grünem LOHC gehen neben der Herstellung des grünen Wasserstoffs als Grundprodukt vor allem auf den Energiebedarf für die Einspeicherung und Extraktion des Wasserstoffs in LOHC zurück. Durch diese aufwändige Speicherung können Leckagen von Wasserstoff jedoch verlässlich vermieden werden.

UMWELTBILANZ

Sehr schlecht

LOHC wirkt im unbeladenen Zustand wasser-gefährdend und verhält sich im beladenen Zustand ähnlich wie Diesel. Dies bedeutet auch, dass ein Austritt von LOHC einer Ölpest und dessen Umweltfolgen gleichkommt.

WIRTSCHAFTLICHKEIT

7-9 Euro/kg

Für die Wirtschaftlichkeit von LOHC spielt es eine entscheidende Rolle, ob für die Extraktion des Wasserstoffs eine andernfalls ungenutzte, externe Energie- bzw. Wärmequelle zur Verfügung steht, oder diese aus dem Wasserstoff, der im LOHC gespeichert ist gewonnen werden muss. Ist dies nicht der Fall, erhöhen sich die Kosten für den verbleibenden Wasserstoff von 7 auf 9 Euro pro Kilo.

ENERGIEEFFIZIENZ

44 %

Die größten Energieverluste entstehen bei der Einspeicherung und Extraktion von Wasserstoff in LOHC. Dafür sind vor allem die dabei notwendigen, vergleichsweise hohen Temperaturen verantwortlich. Entscheidende Effizienzgewinne könnten von daher besonders durch die Nutzung externer Abwärme realisiert werden.

TECHNISCHE REIFE

TRL 6-7

Die Speicherung und Extraktion von Wasserstoff in LOHC verbraucht aktuell noch etwa 35-40 % des Energiegehalts des gespeicherten Wasserstoffs. Die Forschung zielt darauf ab Katalysatoren zu finden, die die Gesamteffizienz der Nutzung von LOHCs verbessern würden.

TRANSPORT

Flüssig 390°C

Der Transport ist der größte Vorteil von LOHC. Durch die Einspeicherung von Wasserstoff in dem flüssigen Trägermaterial kann LOHC unter vergleichsweise geringem Energieaufwand und ohne Spezialtechnologie transportiert und gespeichert werden. Ein Nachteil stellt jedoch der notwendige Rücktransport des Wasserstoff-freien LOHCs dar, der notwendig ist, um die Lieferkette zu schließen.

Wie grün ist grünes Methanol?

Factsheet

Grünes Methanol (CH_3OH) wird durch die Methanol-Synthese aus grünem Wasserstoff und CO_2 hergestellt. **Methanol ist ein häufig genutzter Grundstoff in chemischen Verfahren und wird darüber hinaus auch als Energieträger und Brennstoff eingesetzt.** Die Extraktion von Wasserstoff aus Methanol ist hingegen aufwendig und wird daher meist nicht in Betracht gezogen.

Vorteilhaft ist, dass Infrastrukturen für den Import von Methanol in Deutschland und Europa vorhanden sind und so unmittelbar genutzt werden können. Darüber hinaus ist die Technologie zur

Herstellung von grünem Methanol ausgereift und kann daher mit vergleichsweise geringen Kosten umgesetzt werden. Dies ermöglicht es auch, den Transport von grünem Wasserstoff in Form von grünem Methanol in einem ähnlichen Kostenbereich wie Ammoniak zu halten. Im Vergleich zu Ammoniak hat Methanol den Vorteil, biologisch abbaubar zu sein. Die Verwendung von CO_2 bei der Herstellung birgt jedoch indirekte Klimarisiken.

KLIMABILANZ

3,4 kg CO_2 -eq/kg

Der größte Teil der Emissionen von grünem Methanol geht wie bei SNG und Ammoniak auf die Produktion des grünen Wasserstoffs zurück. Darüber hinaus ist allerdings vor allem die Bereitstellung des benötigten CO_2 und die Rückumwandlung zu Wasserstoff mit deutlichen Emissionen verbunden.

UMWELTBILANZ

Mittel

Methanol ist leicht wassergefährdend. Durch die biologische Abbaubarkeit und seine Wasser-löslichkeit käme es in Gewässern allerdings schnell zu einer Verdünnung, weshalb zwar mit Kurz-, nicht aber mit Langzeitschädigungen von Organismen zu rechnen ist.

WIRTSCHAFTLICHKEIT

6-7 Euro/kg

Grünes Methanol hat die geringsten Kosten aller Wasserstoffderivate. Insbesondere durch die Organisation eines CO_2 -Kreislaufs und den Verzicht auf Direct Air Capture als CO_2 -Quelle, können die Kosten besonders gering gehalten werden.

ENERGIEEFFIZIENZ

41 %

Die geringe Energieeffizienz von grünem Methanol ist vor allem auf den Energieaufwand zur Gewinnung von CO_2 für die Synthese von Methanol aus CO_2 und Wasserstoff zurückzuführen. Dieser Prozess selbst erzeugt Energieverluste. Der Transport von Methanol ist hingegen mit nur wenigen Energieverlusten behaftet.

TECHNISCHE REIFE

TRL 7

Die Technologie für die E-Methanol-Synthesestufe ist der Technologie für die Herstellung von Methanol aus Syngas fossilen Ursprungs sehr ähnlich und daher ausgereift (TRL 8-9). Der traditionell verwendete Katalysator muss nur geringfügig modifiziert werden, um der Entstehung größerer Mengen Wasser bei der Synthese von E-Methanol zu begegnen.

TRANSPORT

Flüssig 65°C

Der Transport von Methanol gestaltet sich vergleichsweise einfach. Durch den flüssigen Aggregatzustand bei regelmäßiger Umgebungstemperatur, kann Methanol ohne kostspielige und aufwändige Technologien transportiert werden. Zudem bestehen bereits heute dedizierte Methanol Infrastrukturen und Regulierungen da es in der chemischen Industrie breite Anwendung findet.

Wie grün sind „grüne“ Gase?

Tabellarische Übersicht

	GRÜNER WASSERSTOFF	SYNTHETIC NATURAL GAS	GRÜNER AMMONIAK	GRÜNES LOHC	GRÜNES METHANOL
Klimabilanz (kg CO ₂ -eq/kg) ¹	0,6 kg	4,0 kg	3,3 kg	4,1 kg	3,4 kg
Umweltbilanz (Sehr gut, gut, mittel, schlecht, sehr schlecht) ²	Sehr gut	Mittel	Sehr schlecht	Sehr schlecht	Mittel
Wirtschaftlichkeit (Euro/kg) ¹	5-6 €	7-8 €	7-8 €	7-9 €	6-7 €
Energieeffizienz (Prozent) ²	49-63 %	41 %	49-52 %	44 %	41 %
Technische Reife (1 – 11) ³	7-9	7	8-11	6-7	7
Transport (Verflüssigungs- temperatur in Grad Celsius) ^{4,5,6}	- 253°C ⁴	- 162°C ⁴	- 33°C ⁴	390°C ⁵	65°C ⁶

- 1 Agora Industrie und TU Hamburg (2023): Wasserstoff-Importoptionen für Deutschland. Analyse mit einer Vertiefung zu Synthetischem Erdgas (SNG) bei nahezu geschlossenem Kohlenstoffkreislauf. <https://www.agora-energiewende.de/publikationen/wasserstoff-importoptionen-fuer-deutschland>. Umrechnung auf GWP20 statt GWP100 für Methan und Wasserstoffemissionen entlang der Produktions- und Lieferkette. Siehe „Annahmen“.
- 2 Stajß, F. et al. (2022) Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030: Transportwege – Länderbewertungen – Realisierungserfordernisse. <https://www.acatech.de/publikation/wasserstoff/>
- 3 IEA (2023) ETP Clean Energy Technology Guide, IEA, Paris. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide>
- 4 Riemer, M.; Schreiner, F.; Wachsmuth., J. (2022): Conversion of LNG Terminals for Liquid Hydrogen or Ammonia. Analysis of Technical Feasibility und Economic Considerations. Karlsruhe: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI. <https://publica.fraunhofer.de/bitstreams/67ad6976-a583-40c8-9146-223b8a384364/download>
- 5 Wissenschaftlicher Dienste Deutscher Bundestag (2020) Wasserstoffträgersysteme. Einzelfragen zu Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC). <https://www.bundestag.de/resource/blob/816048/454e182d5956d45a664da9eb85486f76/WD-8-058-20-pdf.pdf>
- 6 LEIFiChemie (2024) Methanol – der einfachste Vertreter der Alkohole. <https://www.leifichemie.de/erdoel-und-organische-stoffklassen/alkohole/grundwissen/methanol-der-einfachste-vertreter-der-alkohole>

Wie grün sind „grüne“ Gase?

Annahmen

Grüner und Blauer Wasserstoff: In diesem Factsheet werden ausschließlich Daten wiedergegeben, die sich auf grünen Wasserstoff und seine Derivate beziehen. Blauer Wasserstoff wird hingegen nicht mit einbezogen, da die Deutsche Umwelthilfe die Verwendung von blauem Wasserstoff auf Grund seiner fossilen Basis und den verbleibenden Restemissionen grundsätzlich ablehnt.

CO₂-Emissionen: Für die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen wird das CO₂-Äquivalent der entlang der gesamten Bereitstellungskette emittierten Gase bezogen auf einen Zeitraum von 20 Jahren betrachtet (Global Warming Potential – GWP20). Für Methan wird ein GWP 20 von 82,5 kg CO₂-eq/kg CH₄, für Wasserstoff von 33 kg CO₂-eq/kg H₂ und für Ammoniak von 0 kg CO₂-eq/kg NH₃ unterstellt. Die Studie „Wasserstoff-Importoptionen für Deutschland“ die für die CO₂-Emissionen als Datengrundlage herangezogen wurde, nutzt abweichend den GWP100 Standard zur Berechnung (Agora Industrie und TU Hamburg, 2023). Wir danken dem Autor der Studie, Fabian Carels, für die Nachberechnung der CO₂-Emissionen mit dem GWP20 Standard.

In die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen gehen einerseits Emissionen ein, die aus der Energienutzung resultieren, und andererseits Emissionen, die durch Gasleckagen verursacht werden. Indirekte Emissionen, die durch die Errichtung von Anlagen bedingt sind, werden ausschließlich im Kontext einer grünen Strombereitstellung berücksichtigt. Relevant sind hier im Wesentlichen Emissionen, die bei der Fertigung von Photovoltaikmodulen und Windenergieanlagen entstehen. Hier ist darauf hinzuweisen, dass die Studie für den Import von grünem Wasserstoff aus Norwegen (0,6 kg CO₂-eq/kg H₂) deutlich niedrigere Emissionsfaktoren für die Stromherstellung nutzt (6 g CO₂-eq/kWhel) als für die Stromherstellung für die anderen grünen Gase (32 g CO₂-eq/kWhel).

Diese Unterschiede beruhen auf der Annahme einer stärker auf PV-Anlagen ausgelegten Stromerzeugung in den Herkunftsländern, wobei PV wiederum mit höheren Emissionen bei der Herstellung einhergeht als Windenergie.

In Bezug auf Methanleckagen wird von der Studie unterstellt, dass klimawirksame Verluste bei der Verflüssigung (0,1 Prozent) und der Zwischenspeicherung von LNG (0,05 Prozent/d) auftreten. Darüber hinaus wird angenommen, dass 0,18 Prozent des Boil-offs, der während des Schiffstransports anfällt, als Schlupf in die Atmosphäre gelangen. Für Wasserstoffleckagen während der Wasserstoffproduktion wird unterstellt, dass 0,2 Prozent des im Elektrolyseur erzeugten Wasserstoffs unmittelbar in die Atmosphäre entweicht. Weitere klimawirksame Wasserstoffleckagen treten bei der Verdichtung (0,5 Prozent), der Wasserstoffverflüssigung (1,65 Prozent), der Zwischenspeicherung von flüssigem Wasserstoff (0,07 Prozent/d), sowie bei der LOHC-Hydrierung (0,55 Prozent) auf. Zudem wird angenommen, dass überall dort, wo Wasserstoffverluste thermisch genutzt werden (Antrieb LH₂-Tanker, Wärmebereitstellung für die Wasserstoffrücklösung), zusätzlich 0,5 Prozent der genutzten Menge in die Atmosphäre entweichen.

Transport: Als Distanz für den Schiffstransport des Energievektors nach Wilhelmshaven werden 5.700 Seemeilen (rund 10.500 Kilometer) unterstellt. Das entspricht näherungsweise der Seetransportdistanz aus einigen vielversprechenden Exportregionen wie dem Oman, USA (Texas) oder Namibia. Für den Wasserstoffimport per Pipeline wird eine Wasserstoffherzeugung in Norwegen betrachtet. Der erzeugte Wasserstoff wird komprimiert und anschließend per Offshore-Pipeline, die mit einem Druck von 100 bar betrieben wird, nach Wilhelmshaven transportiert. Als Transportdistanz werden für dieses Szenario 660 Kilometer unterstellt (Agora Energiewende, 2023).

Wie grün sind „grüne“ Gase?

Quellen

Agora Industrie und TU Hamburg (2023): Wasserstoff-Importoptionen für Deutschland. Analyse mit einer Vertiefung zu Synthetischem Erdgas (SNG) bei nahezu geschlossenem Kohlenstoffkreislauf. <https://www.agora-energiewende.de/publikationen/wasserstoff-importoptionen-fuer-deutschland>

Agora Verkehrswende (2023): E-Fuels zwischen Wunsch und Wirklichkeit. Was strombasierte synthetische Kraftstoffe für die Energiewende im Verkehr leisten können – und was nicht. <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/e-fuels-zwischenwunsch-und-wirklichkeit/>

IEA (2023): ETP Clean Energy Technology Guide, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide>

IRENA und Methanol Institute (2021): Innovation Outlook: Renewable Methanol. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf

Jülich, A. und Zelt, O. (2022): Ökobilanzen für synthetisches Kerosin - Vergleich von Produktionsrouten in MENA und Deutschland. MENA-Fuels: Teilbericht 2 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/MENA-Fuels_Teilbericht2_Oekobilanzen.pdf

LEIFIchemie (2024): Methanol – der einfachste Vertreter der Alkohole. <https://www.leifichemie.de/erdoel-und-organische-stoffklassen/alkohole/grundwissen/methanol-der-einfachste-vertreter-der-alkohole>

Riemer, M.; Schreiner, F.; Wachsmuth, J. (2022): Conversion of LNG Terminals for Liquid Hydrogen or Ammonia. Analysis of Technical Feasibility and Economic Considerations. Karlsruhe: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI. <https://publica.fraunhofer.de/bitstreams/67ad6976-a583-40c8-9146-223b8a384364/download>

Staiß, F. et al. (2022): Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030: Transportwege – Länderbewertungen – Realisierungserfordernisse. <https://www.acatech.de/publikation/wasserstoff/>

Umweltbundesamt (2022): Kurzeinschätzung von Ammoniak als Energieträger und Transportmedium für Wasserstoff. Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/dokumente/uba_kurzeinschaetzung_von_ammoniak_als_energietraeger_und_transportmedium_fuer_wasserstoff.pdf

Viebahn, P., Kern, J., Horst, J., Rosenstiel, A., Terrapon-Pfaff, J., Doré, L., Krüger, C., Zelt, O., Pregger, T., Braun, J., Klann, U. (2022): Synthese und Handlungsoptionen – Ergebnisbericht des Projekts MENA-Fuels. Teilbericht 14 des Wuppertal Instituts, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und des Instituts für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). https://wupperinst.org/fileadmin/redaktion/downloads/projects/MENA-Fuels_Teilbericht_14_Synthesebericht_de_v3.pdf

Wietschel, M.; Weißenburger, B.; Wachsmuth, J.; Müller, V. P. (2024): Was wissen wir über Importe von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten und was lässt sich daraus für eine deutsche Importstrategie ableiten? HYPAT Impulspapier Nr. 1/2024. <https://publica.fraunhofer.de/bitstreams/04d0d3c7-9dbd-4f15-8c4d-b82015260fb6/download>

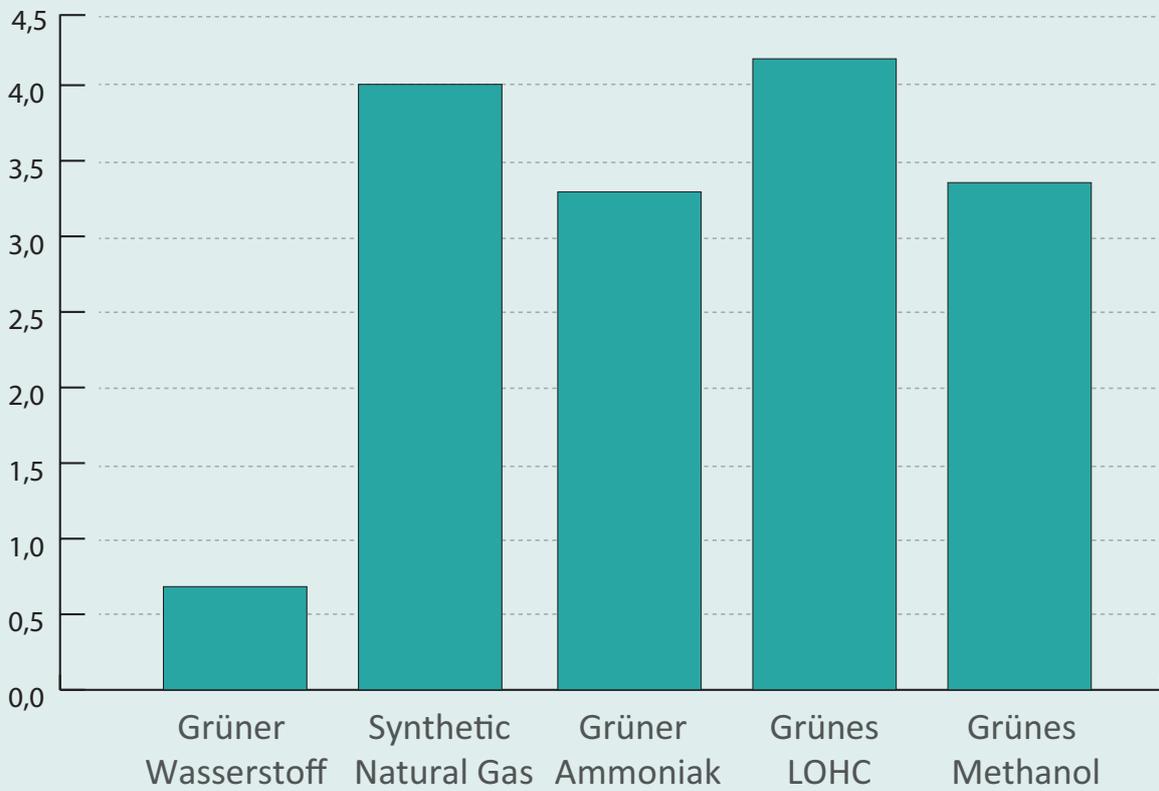
Wissenschaftlicher Dienste Deutscher Bundestag (2020): Wasserstoffträgersysteme. Einzelfragen zu Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC). <https://www.bundestag.de/resource/blob/816048/454e182d5956d45a664da9eb85486f76/WD-8-058-20-pdf.pdf>

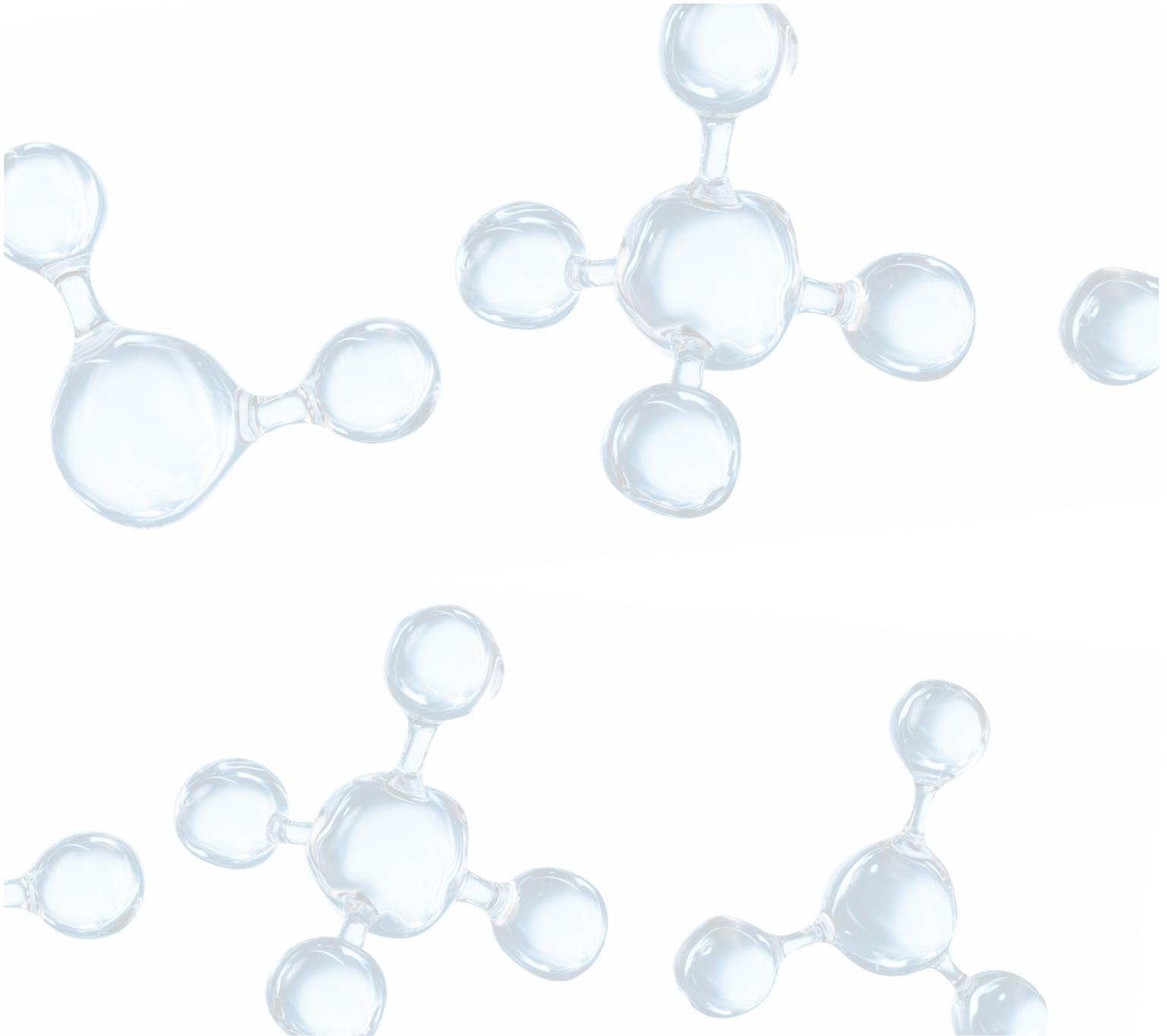
Wie grün sind „grüne“ Gase?

Grafik Klimabilanz (Agora)

Treibhausgasemissionen

kg CO₂ eq/kg H₂





Bilder: malp, Photo for everything/AdobeStock, 婷婷季/AdobeStock

Stand: November.2024

 **Deutsche Umwelthilfe**

Deutsche Umwelthilfe e.V.

Bundesgeschäftsstelle Radolfzell
Fritz-Reichle-Ring 4
78315 Radolfzell
Tel.: 07732 9995-0

Bundesgeschäftsstelle Berlin
Hackescher Markt 4
10178 Berlin
Tel.: 030 2400867-0

Ansprechpartner

Milena Pressentin
Senior Expert
Tel.: +49 30 2400867-927
E-Mail: pressentin@duh.de

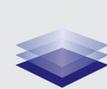
Johannes Hollenhorst
Projektassistent
Tel.: +49 30 2400867-0
E-Mail: hollenhorst@duh.de

 www.duh.de  info@duh.de  [umwelthilfe](#)

 Wir halten Sie auf dem Laufenden: www.duh.de/newsletter-abo

Die Deutsche Umwelthilfe e.V. ist als gemeinnützige Umwelt- und Verbraucherschutzorganisation anerkannt. Wir sind unabhängig, klageberechtigt und kämpfen seit über 40 Jahren für den Erhalt von Natur und Artenvielfalt. Bitte unterstützen Sie unsere Arbeit mit Ihrer Spende: www.duh.de/spenden

Transparent gemäß der Initiative Transparente Zivilgesellschaft. Ausgezeichnet mit dem DZI Spenden-Siegel für seriöse Spendenorganisationen.



Initiative
Transparente
Zivilgesellschaft



Unser Spendenkonto: SozialBank | IBAN: DE45 3702 0500 0008 1900 02 | BIC: BFSWDE33XXX