Wasserstoff Leitprojekte
Grün. Groß. Global.

Gefördert durch:
Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt

Finanziert von der Europäischen Union
NextGenerationEU

Grünes Ammoniak: Der umweltfreundliche Kraftstoff erobert die Meere!

AUSGANGSLAGE

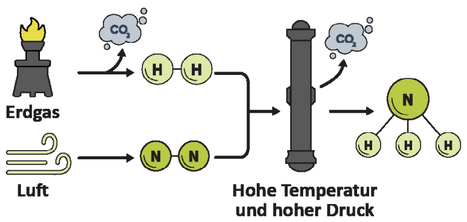
WARUM EIGENTLICH AMMONIAK?

Der Ausbau von grüner Energie war noch nie so dringend wie heute. Während wir uns alle daran gewöhnt haben, dass Wasserstoff in den politischen Zielen und Schlagzeilen auftaucht, gewinnt Ammoniak scheinbar jetzt erst an Aufmerksamkeit. In Wirklichkeit gibt es Ammoniak schon seit mehr als einem Jahrhundert, nur nicht als Brennstoff - fast 90 Prozent des Ammoniaks werden heute als Düngemittel verwendet, der Rest für Reinigungs- und chemische Prozesse. Grünes Ammoniak wird aber auch ein nachhaltiger Kraftstoff der Zukunft sein!

88 Prozent des Ammoniaks werden heute als Düngemittel verwendet.

DAS MOLEKÜL

Ammoniak (chemische Formel NH_3) ist ein einfaches Molekül, das aus einem Stickstoffatom und drei Wasserstoffatomen aufgebaut ist. Ammoniak ist daher eine hervorragende Wasserstoffquelle, denn es enthält 50 Prozent mehr Wasserstoff pro Volumen als reines Wasserstoffgas (ein Molekül Wasserstoffgas hat nur zwei Wasserstoffatome). Ammoniak wird normalerweise durch das Haber-Bosch-Verfahren hergestellt, das energieintensiv ist und derzeit mit fossilen Brennstoffen betrieben wird, was erheblich zu den Treibhausgasemissionen beiträgt. Dabei ist die Erzeugung des Wasserstoff, der für die Umsetzung von Stickstoff benötigt wird, mithilfe von Erdgasreforming oder Kohlevergasung Ursache der substantiellen Treibhausgasemissionen und des Energieaufwands.



WACHSENDES INTERESSE FÜR GRÜNES AMMONIAK

Weltweit werden jedes Jahr etwa 183 Millionen Tonnen Ammoniak produziert, und der jährliche Bedarf wird 2050 auf 688 Millionen Tonnen steigen. Dieser Anstieg der Nachfrage ist vor allem darauf zurückzuführen, dass sich ein ganz neuer Markt auftut: der Energiesektor! Saubere Energie ist in allen Industriebereichen sehr gefragt, und Sektoren, in denen grüner Strom oder Wasserstoff nicht direkt für die Dekarbonisierung eingesetzt werden können, wie zum Beispiel der Schwertransport und die Schifffahrt, benötigen dringend nachhaltige Kraftstoffalternativen, wobei grüner Ammoniak eine gänzlich kohlenstofffreie Lösung darstellt. Grünes Ammoniak wird mit erneuerbaren Energien hergestellt, das heißt der Wasserstoff für das Haber-Bosch-Verfahren wird mit Wind- oder Sonnenenergie statt mit fossilen Brennstoffen erzeugt. Und das ist der Plan: Bis 2050 sollen 80 Prozent des Ammoniaks mit erneuerbaren Energien hergestellt werden - heute sind es nur 0,01 Prozent!

183 Millionen Tonnen flüssigen Ammoniaks könnten mehr als 100.000 Schwimmbecken füllen. 688 Millionen Tonnen Ammoniak sind fast viermal so viel!

TREIBSTOFFVERGLEICH

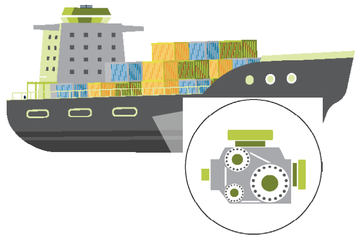
FOSSILE BRENNSTOFFE? ZEIT, DAS SCHIFF ZU VERLASSEN

Die Schifffahrtsindustrie ist für drei Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich. Sie wird größtenteils mit Schwerölen (Englisch heavy fuel oil, HFO) betrieben, dem weltweit schmutzigsten und umweltschädlichsten Treibstoff. Eine grüne Alternative ist dringend erforderlich: Ein Kraftstoff mit hoher Energiedichte und geringen Emissionen.
Die wichtigsten Optionen sind Wasserstoff, Methanol und Ammoniak. Diese können aus erneuerbarer Energie hergestellt werden und bieten eine bis zu zehnmal höhere Energiedichte als eine Lithium-Ionen-Batterie, wobei der Einsatz von Methanol aber nach wie vor mit Kohlenstoffemissionen verbunden ist. Jeder dieser Kraftstoffe hat seine Vor- und Nachteile, wie in dieser Tabelle für die kohlenstofffreien Energieträger Wasserstoff und Ammoniak dargestellt.

Treibhausgasemissionen reduzieren sich um 94 Prozent im Vergleich zu Schweröl.

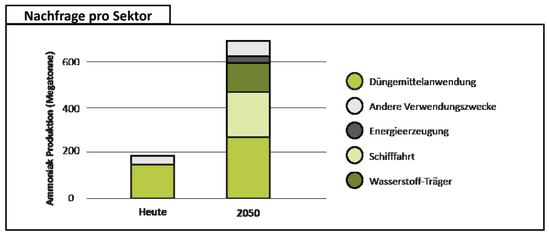
	SCHWERÖL	FLÜSSIGER WASSERSTOFF	FLÜSSIGER AMMONIAK
👍	• Sehr hohe Energiedichte • Leicht zu handhaben und zu transportieren (flüssig bei Raumtemperatur und Atmosphärendruck) • Ausgezeichnete Verbrennungseigenschaften	• Herstellung und Verwendung ohne direkte Treibhausgasemissionen oder Luftverschmutzung • Ungiftig im Falle eines Lecks • Ausgezeichnete Verbrennungseigenschaften	• Herstellung ohne direkte Treibhausgasemissionen oder Luftverschmutzung • Energiedichte ist 50 Prozent höher als bei flüssigem Wasserstoff • Verflüssigt sich unter -33 °C
👎	• Hohe Treibhausgasemissionen (CO_2, Schwefeldioxid, Stickoxide, Feinstaub) • Hohe Luftverschmutzung • Hochgiftig für Menschen und Ökosysteme im Falle eines Lecks • Hauptverursacher der Klimakrise	• Sehr geringe Energiedichte (20 Prozent von Schweröl) • Kostspielig und energieintensiv in der Lagerung und dem Transport: Wasserstoff verflüssigt sich unter -253 °C und macht Stahltanks spröde • Explosionsgefahr aufgrund von hoher Entzündlichkeit	• Energiedichte ist nur 30 Prozent von Schweröl • niedrige Entflammbarkeit • Risiken im Zusammenhang mit Lecks: giftig für Menschen und Meeresökosysteme

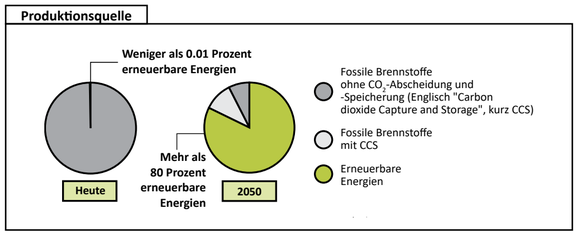
FRACHTSCHIFFE SIND GIGANTEN



Sie können bis zu 60 Meter breit und über 400 Meter lang sein. Das ist länger als der Eiffelturm! Im Folgenden werfen wir einen genaueren Blick auf die Motoren, die diese Giganten eines Tages antreiben könnten.

PROGNOSTIZIERTE NACHFRAGE UND PRODUKTION VON AMMONIAK BIS 2050





TREIBSTOFFNUTZUNG

DUAL-FUEL: DAS BESTE BEIDER WELTEN

Verwendet man reinen Ammoniak oder reinen Wasserstoff in einem Verbrennungsmotor (Englisch Internal Combustion Engine, ICE) ist die Verbrennung nicht effizient. Ein Motor mit zwei Kraftstoffen, der die hohe Energiedichte von Ammoniak mit der leichten Verbrennung von Wasserstoff kombiniert, ist eine Lösung. Ammoniak wird mit einer kleinen Menge Wasserstoff gemischt, der vor Ort durch Umwandlung (oder "Cracken") von einem Teil des Ammoniaks in reinen Wasserstoff produziert wird. Dieser duale Kraftstoff wird im Verbrennungsmotor verbrannt und voilà - Antrieb!

👍 **Pro**
- Wasserstoff ermöglicht eine einfache Verbrennung
- Der Wasserstoff muss nicht getankt und transportiert werden, sondern wird an Bord aus Ammoniak gecrackt
- Schnellere und vollständigere Verbrennung des Ammoniaks bereits bei 5 Prozent zugesetztem Wasserstoff pro Gewicht
- Vorhandene Verbrennungsmotoren für die Schifffahrt können nachgerüstet werden, um Dual-Fuel-kompatibel zu sein

👎 **Contra**
- Zusätzlicher Umwandlungsschritt erforderlich, um reinen Wasserstoff für die Beimischung zum Kraftstoff zu produzieren
- Folgenminderungsstrategien erforderlich, Abgasnachbehandlung erforderlich, um verbleibende Emissionen zu beseitigen

WAS SIND BRENNSTOFFZELLEN?

Brennstoffzellen sind batterie-ähnlich aufgebaute Energiewandler, die fortlaufend aus Kraftstoff Strom generieren. Hochtemperatur-Brennstoffzellen nutzen reinen Ammoniak mit einer höheren Energieeffizienz als Verbrennungsmotoren. Diese Technologie befindet sich für Anwendungen in der Schifffahrt noch in einem frühen Entwicklungsstadium. Niedertemperatur-Brennstoffzellen werden bereits im Verkehr, auch in der Schifffahrt, eingesetzt, können aber nur mit reinem Wasserstoff betrieben werden, der aus Ammoniak gecrackt an Bord zur Verfügung gestellt werden kann.

EMMISSIONEN SENKEN

Grüner Ammoniak ist kohlenstoffdioxidfrei. Unsachgemäße Handhabung und Ausbildung von Lecks bzw. unzureichend entwickelte Verbrennungsprozesse können aber einige klimarelevante Emissionen verursachen. Mit den richtigen Vorkehrungen lassen sich diese jedoch eindämmen. Die möglichen Emissionen sind:

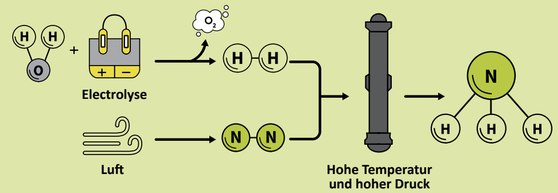
- Distickstoffoxid (N_2O) ist ein starkes Treibhausgas, das die Atmosphäre 300-mal stärker erwärmt als Kohlendioxid! Die Mischung von Wasserstoff mit Ammoniak und die Optimierung des Verbrennungsprozesses minimieren oder eliminieren diese schädlichen Emissionen.
- Stickstoffoxide (NO_x) beeinträchtigen die Ozonschicht. Sie können am Auspuff herausgefiltert und neutralisiert werden.
- Ammoniak selbst ist gefährlich, wenn es in die Umwelt entweicht. Dies wird durch den Einsatz langjährig in der Industrie bewährter Umschlag- und Lagerinfrastrukturen verhindert.

Credits: Leitender Forscher – Menke Knol
Design – Odile Stabon, Julie Hertel
Copy-writing – Dàmir Belltheus Avdić
Übersetzung – Johanna Grosche, Kathleen Pauleweit

ZUKÜNFTIGE HERAUSFORDERUNGEN

ALLE AN BORD FÜR GRÜNES AMMONIAK!

Ammoniak hat also viele Vorteile! Es erzeugt keine Kohlendioxidemissionen, kann mit erneuerbarer Energie hergestellt werden, kann in Brennstoffzellen und Verbrennungsmotoren verwendet werden, hat eine höhere Energiedichte als Batterien oder Wasserstoff, und die bestehende Infrastruktur kann Ammoniak verarbeiten und transportieren. Wie können wir also mehr von diesem Stoff bekommen?



MEHR ERNEUERBARE ENERGIEN, BITTE!

Um mehr grünes Ammoniak zu produzieren, ist mehr erneuerbare Energie notwendig – viel mehr, denn wie wir zuvor gesehen haben, geht bei der Umwandlung ein großer Teil der Energie verloren. Wie viel mehr Strom aus erneuerbaren Energiequellen wird für unsere Ambitionen von 566 Millionen Tonnen grünem Ammoniak pro Jahr benötigt?

Um die Produktion des Ziels für 2050 von 566 Millionen Tonnen grünem Ammoniak zu erreichen, bräuchten wir einen Solarpark, der fast doppelt so groß ist wie Belgien!

BESTEHENDE UND GEPLANTE GRÜNE AMMONIAKANLAGEN

Zurzeit gibt es weltweit nur eine einzige Anlage, die grünen Ammoniak herstellt. Sie befindet sich in Cusco, Peru. Es gibt weitere Pläne Anlagen für die Erzeugung von grünem Ammoniak auf globaler Skale auszubauen, aber sie erreichen nur 71 Millionen Tonnen pro Jahr. Mehr Investitionen und konkrete Pläne sind erforderlich, um diesen grünen Brennstoff an die Spitze zu bringen!

LEINEN LOS!

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Vorteile von grünem Ammoniak groß, und der (Klima-)Nutzen hoch sind. Also was muss geschehen, damit grünes Ammoniak und der Markt in Schwung kommt?

POLITIK
Wir brauchen ein politisches Engagement für grünen Ammoniak, begleitet von klaren Zielen und unterstützenden Regulierungsmechanismen, wie eine grüne Zertifizierung und Marktanreize, um zuverlässige Investitionen zu ermöglichen.

TECHNOLOGIE UND INFRASTRUKTUR
Von den Häfen bis zu den Ammoniak-Bunkerstationen muss die Infrastruktur für die Produktion, den Transport und die Lagerung von Ammoniak ausgebaut und für seinen Einsatz als Kraftstoff angepasst werden.

ERNEUERBARE ENERGIE
Die erneuerbaren Energien müssen stark ausgebaut werden, um genügend grünes Ammoniak zu produzieren. Dies bedeutet Ausbau der inländischen Kapazitäten für erneuerbare Energien und Aufbau internationaler Partnerschaften!

INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT
Wir brauchen eine gemeinsame internationale Norm, um einen globalen grünen Ammoniakmarkt zu ermöglichen. Die Internationale Seeschifffahrtsorganisation, die Ammoniak als Schiffskraftstoff bereits im Jahr 2023 zulässt, ist gut aufgestellt, um diesen Prozess anzuführen.

BESCHÄFTIGUNG
Die sozioökonomischen Vorteile grüner Kraftstoffe sind enorm: 30 Millionen Arbeitsplätze werden bis 2050 auf dem allgemeinen Wasserstoffmarkt geschaffen! Forschung und Entwicklung, Innovation und Ausbildung sind der Schlüssel zur Erschließung dieser Vorteile. Ammoniak ist ein wichtiger Schlüssel.

KOSTEN UND KOHLENSTOFFPREISE
Um Investitionen in grünes Ammoniak zu beschleunigen, müssen gleiche Wettbewerbsbedingungen herrschen. Beginnen wir mit der schrittweisen Abschaffung der Subventionen für fossile Brennstoffe und der Einführung eines wirksamen Kohlenstoffpreises!

BLICK IN DIE ZUKUNFT

Ammoniak – in Form von Düngemitteln – trägt bereits heute zur Ernährung der Welt bei. Bald wird es eine weitere wichtige Aufgabe übernehmen: als nachhaltiger Brennstoff dem Klimawandel entgegenzuwirken. Erneuerbares Ammoniak ist nicht die einzige grüne Alternative zu fossilen Brennstoffen, aber es ist einer der vielversprechendsten Ansätze, um die klimaneutrale Wirtschaft von morgen anzutreiben. Wir müssen jetzt handeln - bei den derzeitigen Emissionsniveaus haben wir bis 2030 Zeit, bevor die Ziele des Pariser Abkommens nicht mehr erreicht werden können. Grüner Ammoniak eröffnet die Chance auf eine dekarbonisierte Welt und wird ein Gamechanger der Energiewende sein.