



Foto: Bjarne Kosmeijer - flickr.com (CC BY-NC-ND 2.0)

Zug transportiert Ammoniak.

# Stoffwechselkünstler $\text{NH}_3$

Eine Spaltung in Ammoniak würde das Transportproblem des explosiven und flüchtigen grünen Wasserstoffs beheben – und Schwerlastverkehr sowie Industrieprozesse emissionsfrei machen.

In einigen Wirtschaftsbereichen, in denen Erdöl und Erdgas ersetzt werden sollte, ist die Energiewende nur schwer umzusetzen. Dies gilt zum Beispiel für den Schwerlastverkehr mit hoher Reichweite, also für Schiffe, Lkw oder Lokomotiven auf nicht elektrifizierten Strecken und den Flugverkehr – überall dort stößt die Elektromobilität an Kapazitätsgrenzen. Und es gilt für den industriellen Sektor – besonders für viel Energie verschlingende Produktionsprozesse der Chemie-, Stahl- oder Baustoffindustrie.

Schwerlastverkehr und industrieller Sektor tragen ungefähr 30 Prozent zu den  $\text{CO}_2$ -Emissionen in Deutschland bei. Bei einer vollständigen Energiewende müssen Erdöl und Erdgas aber durch strombasierte sogenannte Power-to-X-Treibstoffe ersetzt werden. Ausgangsmaterial ist elektrolytisch erzeugter und emissionsfrei nutzbarer Wasserstoff, gewonnen aus Überschussstrom in Deutschland oder aus billigem Solar- oder Windstrom an günstigen Standorten im Ausland.

Bei diesen Treibstoffen ist in erster Linie von Wasserstoff selbst, von synthetischem Methan oder von anderen synthetischen Kohlenwasserstoffen



**Autor:**  
**Gerhard Wannemacher**, Geschäftsführer,  
WHS Enertec

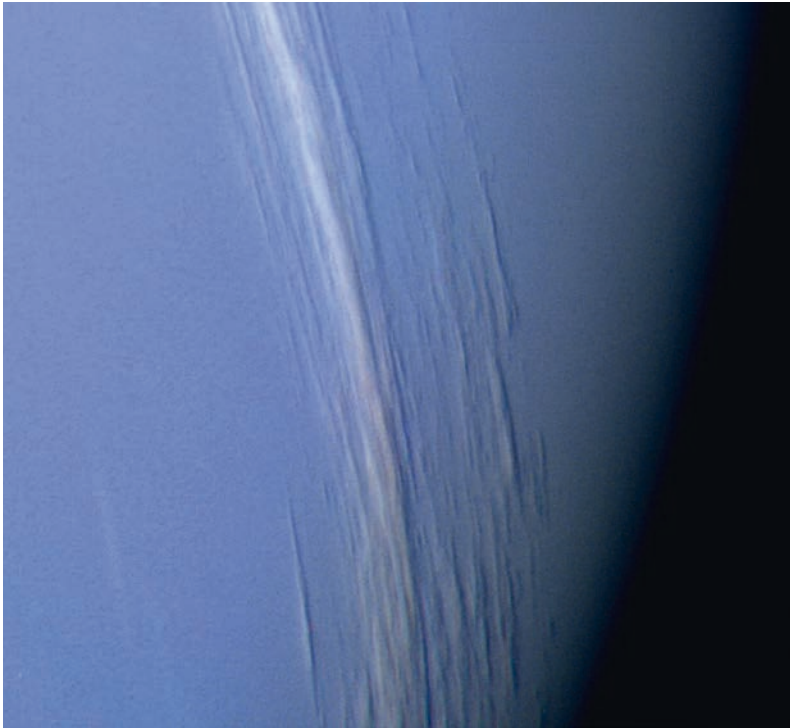
die Rede. Doch schon der derzeit viel diskutierte  $\text{CO}_2$ -freie Wasserstoff hat entscheidende Nachteile: Der Transport ist problematisch und teuer. Und ein separates Gasnetz ist nicht verfügbar.

Zwar lässt sich Wasserstoff begrenzt im Erdgasnetz beimischen – eine Beimischquote von bis zu 20 Prozent gilt als denkbar. Doch dann stieße das Erdgasnetz an gleich mehrere Kapazitätsgrenzen: Verschiedene Endgeräte sind nicht für die Nutzung großer Wasserstoffanteile ausgelegt. Auf Volumenaße geeichte Gaszähler können unregelmäßig beigemischten Wasserstoff nicht unterscheiden, obwohl das für die Abrechnung nötig wäre: Ein Liter Wasserstoff erzielt weniger Leistung als dieselbe Menge Erdgas.

### Wasser- und Stickstoff zu Ammoniak

Doch ein auch von der Bundesregierung erwogener Umweg verspricht Abhilfe: Auch  $\text{CO}_2$ -frei hergestelltes (grünes) Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) kann als strombasierter Brennstoff verwendet werden. Er kann kostengünstig aus Wasserstoff und Luftstickstoff hergestellt werden und anders als Wasserstoff in flüssiger Form gespeichert und transportiert werden.

Foto: whs enertec



Neptun: Mantel aus Ammoniak, Wasser, Methaneis

Produziert mit Strom zum Großhandelspreis ohne Nebenkosten von 3,5 Cent pro Kilowattstunde wäre Ammoniak als Treibstoff zum selben Preis wie Benzin zu haben.

Außerdem ist der Stoff großtechnisch verfügbar – so wird er etwa zur Düngemittelherstellung verwendet.

Bei der Ammoniakherstellung gehen 20 bis 25 Prozent der Energie des Wasserstoffs verloren – wie bei der Herstellung von synthetischen Kohlenwasserstoffen auch. Doch anders als synthetischer Diesel oder synthetisches Methan braucht Ammoniak statt  $\text{CO}_2$  nur Stickstoff. Während  $\text{CO}_2$  aus der Luft bei einem Anteil von 0,04 Prozent nur mit größerem Aufwand zu gewinnen ist, ist Stickstoff in der Luft zu 78 Prozent enthalten und leicht verfügbar. Wie Wasserstoff selbst lässt Ammoniak bei der Verbrennung unter optimalen Bedingungen in der Hauptsache nur Wasser und Stickstoff entstehen. Nach Rückspaltung in Wasserstoff ist Ammoniak sogar auch in Brennstoffzellen nutzbar.

Wesentlicher Nachteil ist die geringe Flammgeschwindigkeit: Ammoniak entzündet nach dem Entzünden spät und nur in einem langsamen Prozess. Allerdings kann dem Ammoniak in Wärmekraftmaschinen eine geringe Menge an Wasserstoff als Zünder beigemischt werden, wodurch ein gut brennbares Gasgemisch entsteht. Zu diesem Zweck lässt sich der Wasserstoff aus Ammoniak über

einen Spaltreaktor produzieren ( $2 \text{NH}_3 = \text{N}_2 + 3 \text{H}_2$ , Umkehrung der Ammoniaksynthese). Mischungsverhältnisse bezogen auf den Energieinhalt zwischen Wasserstoff und Ammoniak von 1:4 bis mindestens 1:8 sind möglich, sodass nur ein kleinerer Teil des Ammoniaks zu Wasserstoff (und Stickstoff) gespalten werden muss. Die Motoren lassen sich dann wie mit Erdgas antreiben.

Ein weiterer Vorteil von Ammoniak ist die extrem hohe Oktanzahl. Die Oktanzahl legt sozusagen die Qualität von Benzin fest. Je höher sie ist, umso höher kann der Kolben das Benzin-Luft-Gemisch im Zylinder komprimieren und so den Wirkungsgrad des Motors erhöhen. Diesel zum Beispiel lässt sich in einem Autoantrieb höher verdichten, weshalb Dieselfahrzeuge entsprechend sparsamer als Benziner sind. Auch Ammoniak-Wasserstoff-Mischungen erlauben eine höhere Verdichtung als beim Benziner.

Foto: pixabay.com

## Demonstrationsanlagen

Ammoniak-Wasserstoff-Mischungen können anstelle von Erdgas zur  $\text{CO}_2$ -freien industriellen Produktion etwa in Brennprozessen eingesetzt werden. Für den Antrieb von kleineren Fahrzeugen wie Transportern kann Wasserstoff als Zünder separat zu Ammoniak in Gasflaschen mitgeführt werden. Für größere Fahrzeuge wie Schiffe muss ein kleiner Spaltreaktor an Bord den Wasserstoff aus dem Ammoniak herstellen.

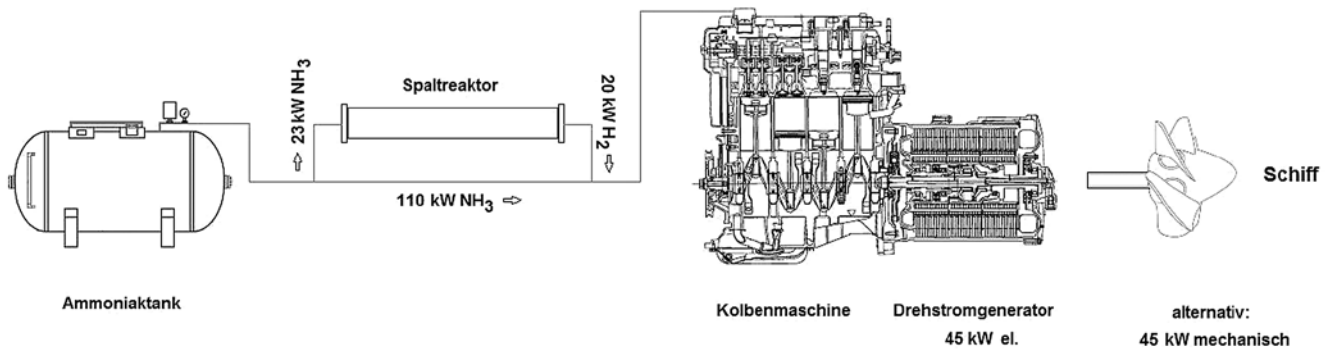
Die Firma WHS hat als Demonstrationsanlage einen VW-T4-Bus (Benziner) mit Ammoniak-Wasserstoff-Antrieb ausgestattet. Das Fahrzeug erhielt zwei übliche Gasflaschen, wovon eine bei einem Volumen von 50 Liter und 300 Bar Druck den Wasserstoff enthielt und die andere 40 Kilogramm Ammoniak. Für 300 Kilometer Reichweite müsste dasselbe Fahrzeugmodell ein Tankgewicht von 140 Kilogramm laden. Das Verhältnis von Ammoniak zu Wasserstoff beträgt 5:1. Die Abgasreinigung erfolgt über einen Drei-Wege-Katalysator. Die Gasdosieranlage wurde von der TU Darmstadt begutachtet. ▶

Doppelmembrangasspeicher | Emissionsschutzabdeckungen

Gasspeicher | EPDM-Hauben  
Folienbecken | Leckagefolien

**Baur Folien GmbH**  
Gewerbestraße 6  
D-87787 Wolfertschweiden

☎ 0 83 34 99 99 1-0  
☎ 0 83 34 99 99 1-99  
✉ info@baur-folien.de  
🌐 www.baur-folien.de



## CO<sub>2</sub>-freies Antriebssystem mit Ammoniak als Treibstoff

### Mit H<sub>2</sub>-Spaltreaktor fürs Schiff

Eine zweite Demonstrationsanlage von WHS soll nun die Wasserstoffherstellung mit einem patentierten Spaltreaktor auf Schiffen testen. Der Wirkungsgrad der Anlage mit einem MAN-Motor mit 4,58 Liter Hubraum liegt wie bei Erdgasbetrieb bei rund 35 Prozent.

Brennstoffzellen mit Wasserstoff erreichen zwar viel höhere Wirkungsgrade von 60 Prozent. Allerdings kann der MAN-Motor mit höherer Verdichtung auf 40 Prozent Wirkungsgrad kommen. Bei größeren Motoren steigt der Wirkungsgrad wegen der geringeren inneren Reibung und der geringeren Wärmeverluste weiter an. Dadurch erreichen größere Schiffsmotoren 50 Prozent, sodass sich der Vorteil der Brennstoffzelle relativiert.

In welchen Größenordnungen aber müssten die Tanks dieser größeren Fahrzeuge für den Treibstoff Ammoniak ausgestattet sein? Hochrechnungen auf einen 40-Tonnen-Lkw lassen für die Reichweite von 1.000 Kilometer einen Ammoniaktank mit 500 Kilogramm Inhalt sowie ein Flaschenbündel für Wasserstoff von 12 mal 50 Litern realistisch erscheinen. Das Mehrgewicht gegenüber konventionellem Dieselantrieb liegt bei rund einer Tonne – hier gäbe es aber noch Optimierungsspielraum. Für ein Binnenfrachtschiff mit 1.000 Tonnen Nutzlast und mindestens 500 Kilometern Reichweite ist ein Ammoniaktank mit rund 20 Tonnen Inhalt sowie ein Spaltreaktor erforderlich, was für ein Schiff kein Problem wäre.

### Brennstoffzelle versus Kolbenmotor

Der Vorteil der Wasserstoff-Brennstoffzelle als Antriebstechnologie im Vergleich zu Kolben-Verbrennungsmotoren ist wie beschrieben ihr höherer Wirkungsgrad. Wer auch hier den besser transportierbaren Ammoniak nutzen möchte, kann diesen zu Wasserstoff bei bis zu 90 Prozent Wirkungsgrad rückverwandeln. Bei einem Wirkungsgrad der Brennstoffzelle von 60 Prozent verbleibt dieser nach einer Rückspaltung von Ammoniak in Wasserstoff

Schiffsantrieb mit Ammoniak und Wasserstoffspaltreaktor  
Grafik: whs enertec

also noch bei 54 Prozent – deutlich über dem 40-Prozent-Niveau kleinerer Kolbenmotoren. Allerdings muss der Wasserstoff dann sehr gut gereinigt werden, weil Ammoniakreste die Brennstoffzelle – mit Ausnahme der speziellen SOFC-Zelle – zerstören. Ob sich dieser Aufwand künftig lohnt, lässt sich derzeit nicht prognostizieren.

Umgekehrt liegen die Vorteile von Ammoniak im Verbrennungsmotor im Vergleich zur Wasserstoff-Brennstoffzelle auf der Hand: Ammoniak ist billiger als Wasserstoff, Ammoniaktankstellen sind schneller eingerichtet, Ammoniak benötigt kein Gasnetz. Die Lagerung ist auf einem Fahrzeug einfacher zu bewerkstelligen. Und schließlich sind Kolbenmaschinen preisgünstiger als solche mit Brennstoffzellen und in allen Leistungsbereichen verfügbar. Sie sind unempfindlich gegenüber Verunreinigungen. So lässt sich ein Schiff von Diesel auf Ammoniak umrüsten, ohne dessen Maschine komplett zu tauschen. Bei Brennstoffzellen ist der gesamte Antrieb zu erneuern.

### Preisabschätzung

Für grünes Ammoniak gibt es noch keinen Markt. Es ist aber davon auszugehen, dass es etwa zum Drei- bis Sechsfachen des Strompreises herzustellen ist. Bei einem Strompreis ohne Nebenkosten in Deutschland von 3,5 Cent pro Kilowattstunde, was dem derzeitigen Windstrompreis im freien Handel entspricht, ließe sich Ammoniak für 10 bis 15 Cent pro Kilowattstunde zum Beispiel in Windparks produzieren. Dies entspräche in etwa dem aktuellen Energiewert von Benzin an Tankstellen.

Sofern künftig Solarstrom an Wüstenstandorten für einen Cent pro kWh verfügbar würde, wäre grünes Ammoniak zu sogar nur sechs Cent zu haben. CO<sub>2</sub>-Steuern würden die Rentabilität von grünem Ammoniak zusätzlich verbessern. Insofern kann Ammoniak als kostengünstiger, flüssiger und importfähiger Energieträger künftig Lücken in der Energiewende schließen. ■