



Um Öl – im Bild eine Pipeline in Texas – als Treibstoff zu ersetzen, sind verschiedene Technologien im Gespräch. Ammoniak könnte ein Mosaikstein sein. DANIEL ACKER / BLOOMBERG

Die zweite Karriere von Ammoniak

In Form von Kunstdünger hat Ammoniak schon manche Hungersnot verhindert. Nun soll die Stickstoff-Wasserstoff-Verbindung auch das Klima schützen – als Transportvehikel für CO₂-neutralen Wasserstoff. VON RALPH DIERMANN

Seinerzeit war die Erfindung Fritz Habers und Carl Bosch ein grosser Wurf im Kampf gegen den Hunger. Die deutschen Chemiker hatten ein Verfahren entwickelt, mit dem sich Ammoniak industriell herstellen liess. Das ist gut hundert Jahre her, aber die Menschheit zehrt bis heute davon. Denn der nach seinen Erfindern Haber-Bosch-Verfahren genannte Syntheseweg ermöglichte die Herstellung von Kunstdünger. Das wasserlösliche Ammoniak, ein Molekül aus einem Stickstoffatom, an das an drei Seiten Wasserstoffatome angehängt sind, dient als Vehikel, um Stickstoff in die Erde zu bringen. Den benötigten Pflanzen für ihr Wachstum. Mit dem industriellen Ammoniak konnten die Bauern das Stickstoff-Angebot im Boden fortan deutlich steigern. Das verbesserte die Produktivität der Landwirtschaft enorm – und verhinderte so im Laufe der Zeit manche Hungersnot.

Vielfältig nutzbar

Mit Klimaschutz und globaler Energiewende könnte dem Haber-Bosch-Verfahren künftig aber noch eine andere fundamentale Bedeutung zukommen: Ammoniak eignet sich nämlich auch als Energieträger und vereint als solcher einige überaus vorteilhafte Eigenschaften. So ist die Verbindung energetisch auf vielerlei Weise nutzbar, sie lässt sich einfach transportieren und speichern – und vor allem: Sie ist klimaneutral, jedenfalls wenn der für die Ammoniak-Synthese nötige Wasserstoff per Elektrolyse mit Strom aus regenerativen Quellen produziert wird.

«Ammoniak hat den Charme, dass es über den enthaltenen Wasserstoff sehr kompakt erneuerbare Energie speichern kann», so fasst es Boris Meier vom Institut für Energietechnik der Ostschweizer Fachhochschule in Rapperswil in Worte. Damit könnte die chemische Verbindung zum Beispiel helfen, die winterliche Stromlücke der Schweiz zu schliessen, ohne dass CO₂ emittiert wird. «Der Bedarf liesse sich auf längere Sicht mit Gaskraftwerken oder mit Brennstoffzellen decken, die mit klimaneutralem Ammoniak betrieben werden», erklärt Meier. Ein

weiteres Einsatzfeld wäre der Verkehr, allen voran die Schifffahrt. Ebenso wäre es möglich, Ammoniak als Brennstoff in Generatoren einzusetzen, die Regionen fernab des Stromnetzes, etwa in Afrika oder Asien, mit Energie versorgen.

Allerdings kommen konventionelle, auf Erdgas oder Diesel ausgelegte Motoren nicht ohne weiteres mit Ammoniak als Energieträger zurecht. «Reines Ammoniak verbrennt im Motor nicht gut», sagt Michael Steffen vom Zentrum für Brennstoffzellentechnik in Duisburg. Forscher des Instituts arbeiten derzeit daran, die Brenneigenschaften des Stoffs zu verbessern, indem sie ihm geringe Mengen Wasserstoff beimischen. Der wird ebenfalls aus dem Ammoniak gewonnen – mithilfe eines sogenannten Crackers, der den Stickstoff und den Wasserstoff des Moleküls wieder voneinander löst. Solche Cracker lassen sich laut Steffen auch mit einer Brennstoffzelle koppeln.

Brennstoffzellen erzeugen Strom, indem sie in einer umgekehrten Elektrolyse Wasserstoff mit Sauerstoff aus der Luft zur Reaktion bringen. Als Nebenprodukte entstehen dabei lediglich Wasser und Wärme. Der Strom kann dann etwa ins Netz eingespeist oder zum Antrieb von Elektromotoren, beispielsweise in LKW, Schiffen oder Zügen, verwendet werden. Durch die Kopplung mit einem Cracker kommt nun als Treibstoff für Brennstoffzellen auch Ammoniak infrage.

Einfach zu transportieren...

Wenn die Energie des Ammoniaks jedoch im enthaltenen Wasserstoff steckt – warum braucht es da überhaupt den Umweg über die Verbindung mit dem Stickstoff? Warum nicht gleich den reinen Wasserstoff verwenden? «Ammoniak bietet gegenüber Wasserstoff enorme Vorteile in der Handhabung», erklärt Florian Nigbur, Forscher am Lehrstuhl für Energietechnik der Universität Duisburg-Essen. So wird Ammoniak schon bei Umgebungstemperatur und einem Druck von gut acht Bar oder bei Normaldruck und mi-

Für den Transport von Ammoniak können einfache, dünnwandige Tanksysteme verwendet werden, während Wasserstoff teure Spezialbehälter benötigt.

nus 33 Grad flüssig. In dieser Form lässt es sich sehr einfach per Schiff, Pipeline oder Tankwagen transportieren. Wasserstoff dagegen muss auf eine Temperatur von minus 253 Grad abgekühlt werden, um zu verflüssigen. «Das beansprucht 25 bis 40 Prozent des Energiegehalts des Wasserstoffs», sagt Nigbur.

Dafür wird beim Ammoniak an anderen Stellen zusätzliche Energie verbraucht: Bei der Produktion des nötigen Stickstoffs durch die Zerlegung von Luft, bei der Ammoniak-Synthese und dann später beim Cracken. Der Energieaufwand für all diese Schritte ist laut Nigbur aber weitaus geringer als der für das Kühlen von Wasserstoff. Kommt hinzu, dass für den Transport von Ammoniak einfache, dünnwandige Tanksysteme verwendet werden können, während Wasserstoff teure Spezialbehälter benötigt.

Verpackt in Ammoniak, lässt sich Wasserstoff daher viel einfacher, energieeffizienter und kostengünstiger speichern und befördern als in reiner Form.

Diese Vorteile fallen vor allem deshalb ins Gewicht, weil Wasserstoff als eine Art Allheilmittel für den Klimaschutz in Industrie, Verkehr und Stromerzeugung gilt – er soll in vielen Anwendungen die fossilen Energieträger Gas, Öl und Kohle ersetzen. Dafür wird so viel Wasserstoff benötigt, dass sich nur ein Bruchteil des Bedarfs aus Anlagen in Mitteleuropa decken lassen.

... aber giftig

Das Gros muss also von weit her importiert werden, vor allem aus Australien, den USA, Lateinamerika und Afrika. Mehr Sonneneinstrahlung, mehr Wind und auch mehr unbesiedelte Flächen machen es möglich, dort sehr grosse Mengen Ökostrom für die Wasserstoff-Elektrolyse zu erzeugen. Das Potenzial ist riesig: Forscher des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE) in Kassel haben ermittelt, dass an aussereuropäischen Standorten langfristig pro Jahr Wasserstoff mit einem Energiegehalt von 69 000 Terawattstunden produziert werden könnte. Zum Vergleich: Der gesamte Endenergiebedarf der Schweiz lag 2020 dem Bundesamt für Energie zufolge bei 747 000 Terajoule, was etwa 208 Terawattstunden entspricht.

Einen gewichtigen Nachteil hat Ammoniak gegenüber Wasserstoff dann aber doch: Es ist giftig. Bei Transport und Handling sei das kein Problem, meint Boris Meier von der Ostschweizer Fachhochschule: «Ammoniak gehört seit Jahrzehnten zu den wichtigsten Handelsgütern der chemischen Industrie. Man kann hier also auf lange etablierte Technologien und Verfahren zurückgreifen.»

Das gilt auch für die Cracker, die den Wasserstoff vom Stickstoff lösen. Bei diesem Vorgang besteht allerdings die Gefahr, dass geringe Mengen an Ammoniak in die Umwelt entweichen. Dem lässt sich mit Katalysatoren begegnen, die das Ammoniak aus dem Abgas entfernen. Meier fürchtet allerdings, dass es angesichts der Giftigkeit sehr schwer sein wird, in dicht besiedelten Gebieten

mit Ammoniak zu arbeiten: «Ich bezweifle, dass etwa ein Cracker mitten in einer Stadt die Akzeptanz der Bewohner finden würde», sagt der Forscher.

Bloss ein Etikettenschwindel?

Das heute für die Düngemittelproduktion und andere Zwecke genutzte Ammoniak enthält Wasserstoff, der aus Erdgas gewonnen wird. Doch auch dieses Ammoniak kann weitgehend klimaneutral sein, argumentieren Gas-Förderunternehmen – wenn man das CO₂ aus dem Erdgas, das im Produktionsprozess freigesetzt wird, auffängt und in unterirdischen Endlagern entsorgt. Experten sprechen bei diesem Konzept von «blauem» Ammoniak – in Abgrenzung zu «grünem» Ammoniak, das mit Ökostrom erzeugten Wasserstoff enthält.

Japan will blaues Ammoniak bis 2030 als zusätzlichen Brennstoff in seinen Kohlekraftwerken einsetzen, um deren Treibhausgas-Emissionen zu reduzieren. Das sei Greenwashing, kritisiert Meier. Dabei gehe es nur darum, die Laufzeit der Kohlekraftwerke zu verlängern. «Ein Irrweg, denn in einem klimagerechten Energiesystem haben Kohle und Erdgas keinen Platz», sagt der Wissenschaftler.

Andere Unternehmen mit Wurzeln in den fossilen Brennstoffen setzen dagegen ganz auf grünes Ammoniak. So will ein Konsortium um den saudiarabischen Energiekonzern ACWA Power fünf Milliarden Euro in den Aufbau einer Produktionsanlage auf der Arabischen Halbinsel investieren. Sie soll ab 2025 mit Wind- und Solarstrom jährlich 1,2 Millionen Tonnen Ammoniak für den Weltmarkt produzieren. Auch in Oman und Australien sollen grosse Anlagen entstehen. Nach Mitteleuropa könnte der Energieträger über die deutsche Nordseeküste gelangen: Uniper plant, in Wilhelmshaven einen Import-Terminal für grünes Ammoniak zu errichten. Auch ein Cracker soll installiert werden. Ursprünglich wollte der Energieversorger dort eine Infrastruktur für den Import von verflüssigtem Erdgas aufbauen. So ändern sich die Zeiten.