



energie | wasser-praxis

kompakt

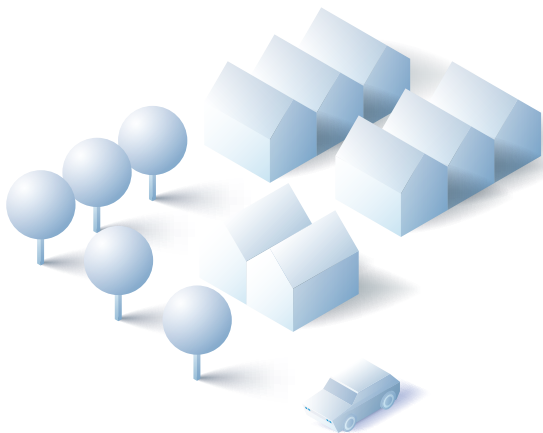
Mai 2022

PYROLYSE

Potenziale und Anwendungsmöglichkeiten einer klimaschonenden Wasserstofferzeugung

PYROLYSE

**POTENZIALE UND ANWENDUNGS-
MÖGLICHKEITEN EINER KLIMASCHONENDEN
WASSERSTOFFERZEUGUNG**



- 4 Wir müssen alle Optionen nutzen!**
Prof. Dr. Gerald Linke (DVGW-Vorstandsvorsitzender)
- 6 „Türkiser“ Wasserstoff aus Pyrolyse – was ist das das eigentlich?**
- 8 Zur Bewertung der THG-Emissionen von türkischem Wasserstoff: Entscheidend ist, was vorne reingeh!**
Friedemann Mörs, Maximilian Heneka, Dr. Frank Graf
(alle: DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut),
Miriam Bäuerle & Jörn Benthin (beide: Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.)
- 10 Wasserstoffherstellung aus methanhaltigen Gasen ohne CO₂-Emissionen**
Dr.-Ing. Jörg Nitzsche, Alexandra Müller & Michael Kühn
(alle: DBI – Gastecnologisches Institut gGmbH Freiberg)
- 12 Wasserstoff durch Pyrolyse – Grundstein für ein dekarbonisiertes Energiesystem**
Dr. Klaus Langemann (Wintershall Dea)
- 14 Die gesamte Welt der Methanpyrolyse im Überblick**
- 16 Die vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten von Kohlenstoff aus der Pyrolyse von Methan**
Robert Obenaus-Emler (Montanuniversität Leoben)
- 18 „Die Methanplasmalyse lässt sich bereits heute in alltagstaugliche Lösungen integrieren!“**
Im Gespräch mit Dr. Jens Hanke, Geschäftsführer der Graforce GmbH
- 20 „Insellösungen auf Basis der Pyrolyse könnten sich in Bayern etablieren“**
Im Gespräch mit Dr. Gregor Neunzert, Leiter Gasbeteiligungen der Stadtwerke München
- 22 „Die Pyrolysetechnik ist eine zügig einsetzbare Brückentechnologie!“**
Im Gespräch mit Dr. Andreas Breuer, Leiter Wasserstoff der Westnetz GmbH

Herausgeber:

DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. –
Technisch-wissenschaftlicher Verein
Josef-Wirmer-Straße 1–3
53123 Bonn
Tel.: 0228 9188-5
Fax: 0228 9188-990
E-Mail: info@dvwg.de
Internet: www.dvbw.de

Verlag und Vertrieb:

wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH
Geschäftsführer: Stephan Maul, M.A.
Josef-Wirmer-Straße 3
53123 Bonn
Tel.: 0228 9191-40
Fax: 0228 9191-498
E-Mail: info@wvgw.de
Internet: www.wvgw.de

Schriftleiter:

Prof. Dr. Gerald Linke

Redaktion:

Marcel Pannes (verantw.),
Martin Schramm
Tel.: 0228 9191-451
E-Mail: pannes@wvgw.de

Mitwirkende an dieser Ausgabe:

Dr. Susanne Hinz, Dr. Stefanie Schwarz,
Robert Schellhase

Gezeichnete Artikel stellen die Ansicht des Verfassers dar, nicht unbedingt die der Schriftleitung und der Redaktion. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks, des auszugsweisen Nachdrucks, der fototechnischen Wiedergabe und der Übersetzung liegen beim Verlag.

Gestaltung und Satz:

Angela Gösele (wvgw)

Bildnachweise:

Seite 7: iStock.com/venimo, iStock.com/shoo_arts, ivector – stock.adobe.com, venimo – stock.adobe.com

Druck:

Siebel Druck und Grafik
Ein Unternehmen der Limberg-Druck GmbH

Wir müssen alle Optionen nutzen!

Eine Einführung in die Perspektiven zur Transformation der Energieversorgung von **Prof. Dr. Gerald Linke**, Vorstandsvorsitzender des DVGW e. V.



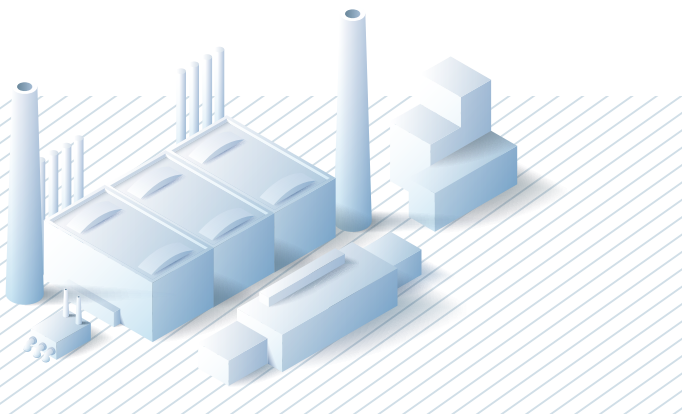
Quelle: DVGW

Deutschlands Energieversorgung soll unabhängig, divers und klimaneutral sein – und das schon in wenigen Jahren. Während die Klimaziele der Bundesregierung zügig erreicht werden sollen, um die Folgen des Klimawandels zu minimieren, müssen parallel geopolitische Risiken durch die Abhängigkeit von Energieimporten aus wenigen Bezugsländern berücksichtigt und die Energieversorgung auf eine breite Basis gestellt werden.

Der daraus resultierende notwendige Umbau des Energiesystems kann nur funktionieren, wenn alle relevanten Technologien und Optionen zum Einsatz kommen, die die Treibhausgas-Emissionen zügig senken – und dies zu tragbaren Kosten und Risiken. Dazu gehören neben dem Ausbau erneuerbarer Energien und der Verbreitung von elektrischen Lösungen auch der Hochlauf klimafreundlicher Gase: Denn nur so lassen sich die enormen Energiemengen ersetzen, die heute noch aus fossilen Rohstoffen erzeugt werden.

Mit Wasserstoff zu einer klimaneutralen Gesellschaft

Eins sollten wir bedenken: Der Großteil des Endenergieverbrauchs in Deutschland wird derzeit von Molekülen – also Erdgas, Mineralöl oder Kohle – gedeckt und lediglich ein Fünftel durch Strom, auch wenn dieser mittlerweile zur Hälfte erneuerbar ist. Das bedeutet: In den kommenden zwei Jahrzehnten müssen fossile zügig durch klimafreundliche Moleküle ersetzt werden. Gasförmige Energieträger sind somit entscheidend für das Erreichen der Klimaneutralität und für eine nachhaltig gesicherte Energieversorgung. Insbesondere mit Wasserstoff (H_2) steht ein Energieträger bereit, der den Weg hin zu einer klimaneutralen Gesellschaft in allen Bereichen ebnen kann – in Industrieprozessen, in der Mobilität, bei der zentralen und dezentralen Wärmeversorgung von Haushalten und als Speichermedium. Wasserstoff bildet damit einen elementaren Baustein der Energiewende: Er ver-



brennt nicht nur emissionsfrei, sondern lässt sich auch über verschiedene Wege erzeugen. Mehrere Verfahren stehen dafür schon zur Verfügung, die je nach Ausgangsmaterial und Art der verwendeten Energie nur einen sehr kleinen bzw. sogar einen negativen CO₂-Fußabdruck hinterlassen.

Aktuell sind insbesondere zwei Methoden der Wasserstofferzeugung üblich: die Dampfreformierung und die Elektrolyse. Sogenannter grauer Wasserstoff wird über die Dampfreformierung aus fossilen Brennstoffen wie Erdöl oder Erdgas gewonnen. Der Nachteil dabei: Das bei diesem Verfahren entstehende CO₂ gelangt ungehindert in die Atmosphäre. Im Unterschied dazu entsteht blauer Wasserstoff zwar auch durch Dampfreformierung, das entstehende CO₂ wird jedoch direkt abgeschieden und gespeichert (engl.: Carbon Capture and Storage, kurz: CCS) und gelangt somit nicht in die Atmosphäre. Wasserstoff, der via Elektrolyse hergestellt wird, gilt als „grün“. Dabei wird erneuerbarer Strom genutzt, um Wasser (H₂O) in seine Bestandteile Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O) zu spalten.

Die Pyrolyse: Vielversprechende Technologie zur Dekarbonisierung der Energieversorgung

Ein weiteres vielversprechendes Verfahren ist die Pyrolyse, deren Potenziale wir in dieser ewp-kompakt-Ausgabe umfassend beleuchten. Beim Pyrolyseverfahren wird Methan (CH₄) durch sehr hohe Temperaturen unter Sauerstoffabschluss direkt in Wasserstoff und festen Kohlenstoff getrennt – letzterer ist deutlich einfacher zu handhaben als das bei der Dampfreformierung entstehende, gasförmige CO₂. Er kann in seiner festen Form in diversen Produktionsprozessen verwendet oder auch deponiert werden – eine Übersicht über die Möglichkeiten bietet der Beitrag von Robert Obenaus-Emler auf Seite 16 in dieser Ausgabe.

Ein Sonderfall ist „grüner“ Wasserstoff aus Biogas. Genau wie Methan aus Erdgas, bietet auch die Pyrolyse von Biomethan mit einer anschließenden Lagerung des festen Kohlenstoffs eine Möglichkeit, klimafreundlichen Wasserstoff herzustellen. Da der im Biomethan enthaltene

Kohlenstoff zuvor von Pflanzen über die Photosynthese der Atmosphäre entzogen wurde und im Rahmen des Verfahrens abgetrennt wird, kann so eine CO₂-Senke geschaffen werden.

Letztendlich sollte aber nicht die Farbe darüber entscheiden, ob und wie welcher Wasserstoff verwendet wird. Vielmehr sollten die Technologien und Verfahren genutzt werden, mit denen der Treibhausgasausstoß am schnellsten und effektivsten gesenkt werden kann. Dabei hilft ein Blick auf den CO₂-Fußabdruck der unterschiedlichen Energieträger. Insbesondere der mithilfe der Pyrolyse produzierte türkise Wasserstoff bietet große Chancen, da sein Fußabdruck deutlich kleiner ist als der von Erdgas oder blauem Wasserstoff.

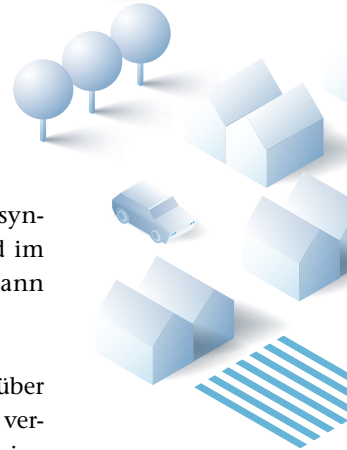
Das Engler-Bunte-Institut in Karlsruhe hat dazu umfangreiche Forschungen durchgeführt – einen Auszug der Ergebnisse lesen Sie

auf Seite 8. Dass die Pyrolysetechnik bereits heute im Einsatz ist und auch zukünftig zu einer Dekarbonisierung der Energieversorgung beitragen kann, zeigt außerdem nicht nur das Beispiel des Unternehmens Graforce aus einem Berliner Hotel (Seite 18). Auch der perspektivische Einsatz der Pyrolyse bei den Stadtwerken München (Seite 20) und der Westnetz GmbH (Seite 22) demonstriert ihre vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten und Optionen.

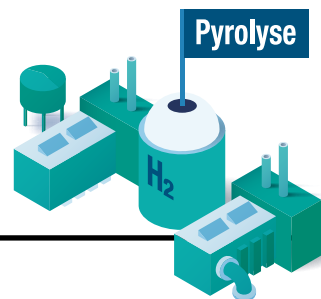
All die skizzierten Potenziale gilt es nun zu nutzen und schnellstmöglich verbindliche Rahmenbedingungen dafür zu entwickeln. Kontraproduktiv – auch im Interesse der Verbraucherinnen und Verbraucher in Deutschland mit Blick auf die Sozialverträglichkeit und Versorgungssicherheit – wäre es hingegen, eine reine Elektrifizierung des Energiesektors anzustreben. Denn eine massive Reduktion von Gasanwendungen zugunsten von Strom ist technisch illusorisch und volkswirtschaftlich verfehlt. Die Dekarbonisierung der bestehenden Energieversorgung gelingt nur durch den prominenten Einsatz von klimaneutralen Gasen und mit der Pyrolysetechnik als eine der vielversprechendsten Technologien. ■



In den nächsten beiden Jahrzehnten müssen wir fossile durch klimafreundliche Moleküle ersetzen.



„Türkiser“ Wasserstoff aus Pyrolyse – was ist das eigentlich?



Der Begriff Pyrolyse setzt sich aus den altgriechischen Worten Pyr für Feuer und Lysis für Lösung zusammen. Er beschreibt die thermochemische Spaltung organischer Verbindungen unter Sauerstoffausschluss. Die Technik bietet eine Reihe von Anwendungsmöglichkeiten und ist auch ökologisch und wirtschaftlich attraktiv.

Der Schutz des Klimas ist eine der zentralen Herausforderung unserer Zeit. Weil der Ausstoß von Kohlendioxid bei der Stromerzeugung, dem Heizen von Gebäuden, im Verkehr und bei industriellen Prozessen entscheidend zur Erderwärmung beiträgt, benötigen wir eine umfassende Energiewende. Dies kann auf zwei Wegen geschehen: Fossile Energieträger könnten theoretisch zwar vollständig durch elektrische Energie ersetzt werden – doch nicht alle Bereiche lassen sich sinnvoll elektrifizieren. In solchen Fällen kommt Wasserstoff ins Spiel: Mit ihm lässt sich synthetischer Kraftstoff für unsere Autos herstellen, in Brennstoffzellen Strom erzeugen oder unser Wohnzimmer beheizen. Das Problem dabei: Wasserstoff tritt in der Regel gebunden, also als Bestandteil größerer organischer Verbindungen auf. Um ihn sich als Energieträger nutzbar zu machen, muss er zuerst durch energieintensive chemische Verfahren gelöst werden. Dazu gibt es unterschiedliche Verfahren, darunter auch die Pyrolyse.

Der Begriff Pyrolyse setzt sich aus den altgriechischen Worten Pyr für Feuer und Lysis für Lösung zusammen. Er beschreibt die thermochemische Spaltung organischer Verbindungen unter Sauerstoffausschluss – das heißt: es erfolgt keine Verbrennung! Das bisher bekannteste Pyrolyseverfahren ist die Methan-Pyrolyse, bei der Methan (CH_4) als Hauptbestandteil von Erdgas in einem Hochtemperaturreaktor in die Produkte Wasserstoff (H_2)

und fester Kohlenstoff (C) aufgespalten wird. Der Vorteil dieser Technologie ist, dass beim Produktionsprozess keine klimaschädlichen CO_2 -Emissionen entstehen. Der stattdessen anfallende feste Kohlenstoff kann in zahlreichen Industriebereichen eingesetzt werden. Mehr noch: Wird für die Methan-Pyrolyse Biogas bzw. Biomethan eingesetzt und der Umgebung so CO_2 entzogen, kommt es sogar zu einer negativen CO_2 -Bilanz.

Die beiden Produkte der Methan-Pyrolyse – Wasserstoff und Kohlenstoff – lassen sich in allen Sektoren einsetzen. Für den bei der Methan-Pyrolyse entstehenden Wasserstoff gibt es eine ganze Reihe von Anwendungsmöglichkeiten, die sich über alle Sektoren erstrecken: Denkbar ist eine Beimischung in das Gasnetz, wo der Wasserstoff in der Folge beispielsweise zur Dekarbonisierung des Wärmemarktes beitragen kann. Darüber hinaus kann er auch in Heizkraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung genutzt werden, um Energie zu erzeugen; die dabei ausgekoppelte Wärme lässt sich anschließend in der Nahwärmeversorgung einsetzen. Eine mögliche Anwendung bietet sich zudem im Mobilitätssektor an, wo Wasserstoff im Schienen- und Schiffsverkehr, aber auch bei Straßennutzfahrzeugen einsetzbar ist.

Für den Industriesektor ist die Methan-Pyrolyse gleich in doppelter Hinsicht interessant. So kann der klimaneutrale Wasserstoff dazu beitragen,

CO₂-intensive Bereiche wie die Stahl- oder Zementherstellung entscheidend zu dekarbonisieren. Der feste Kohlenstoff – auch unter dem Namen Graphit bekannt – wiederum kommt in zahlreichen Branchen zur Anwendung und wird u. a. bei der Stahlproduktion, in der Batterieherstellung sowie in der Halbleiter- und Solarindustrie eingesetzt. Ein weiterer positiver Nebeneffekt: Der bei der Methan-Pyrolyse entstehende (synthetische) Kohlenstoff kann perspektivisch den Abbau von natürlich vorkommendem Kohlenstoff ersetzen und somit weitere CO₂-Emissionen vermeiden. Nach zusätzlichen industriellen Schritten kann aus Kohlenstoff-Nanoröhren (CNTs) auch Graphen hergestellt werden. Graphen als relativ neuartiges Material ist für seine hohe Festigkeit und Leitfähigkeit bekannt und wird zunehmend für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, im Automotive-Bereich, bei Windkraftanlagen und im Bauwesen genutzt.

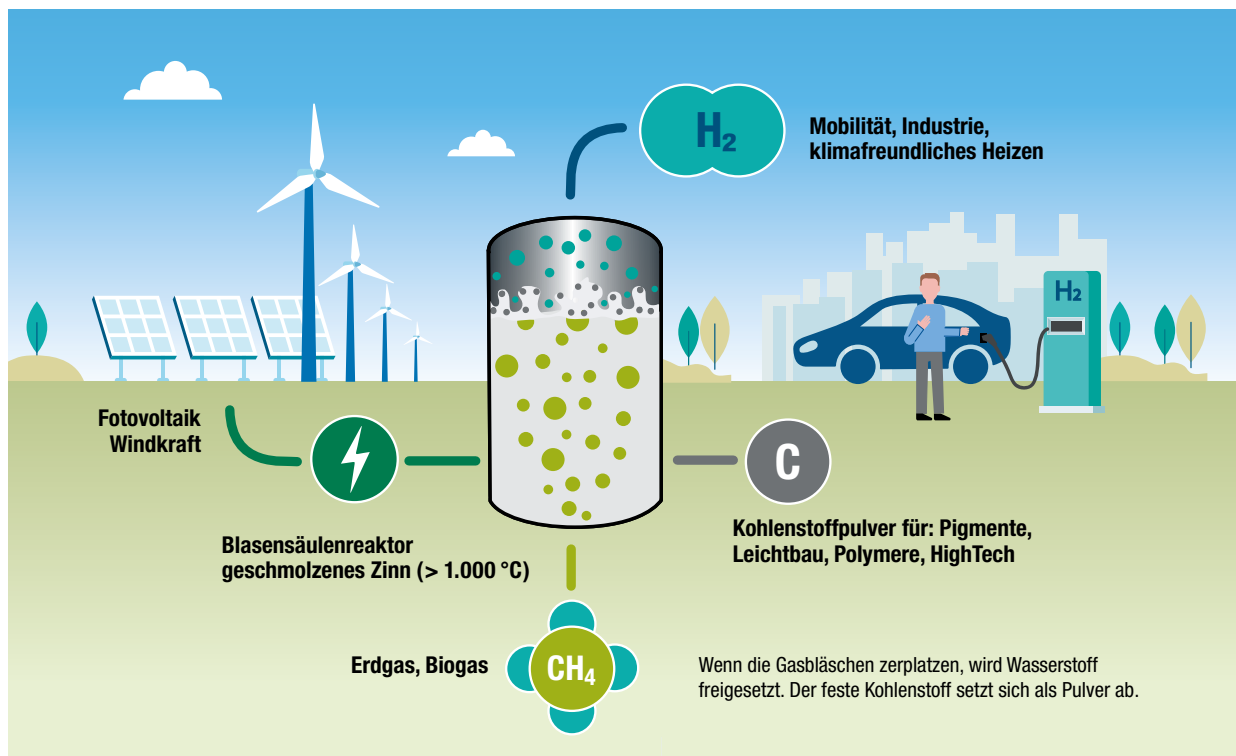
Die Methan-Pyrolyse vereint darüber hinaus einige Vorteile in sich: So fallen – im Vergleich zur „klassischen“ Erzeugung von Wasserstoff aus Erdgas mittels Dampfreformierung – keinerlei

CO₂-Emissionen an. Gleichzeitig ist die Technologie mit einem spezifischen Energiebedarf von 37,8 kJ/mol H₂ wesentlich effizienter als die Dampfreformierung (63,3 kJ/mol H₂) oder gar die Wasserstoffherzeugung mittels Elektrolyse (285,9 kJ/mol H₂).

Neu: die Elektronenstrahl-Plasmalyse

Im Mai 2021 haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Technischen Universität München die Elektronenstrahl-Plasmalyse vorgestellt. Damit lässt sich Wasserstoff deutlich effizienter und umweltfreundlicher produzieren, als dies mit bisherigen Methoden der Methan-Pyrolyse möglich war. Neu ist: Bei diesem Konzept zur Plasmapyrolyse werden die Methanmoleküle mithilfe beschleunigter Elektronen getrennt. Der Wirkungsgrad ist also im Vergleich zu anderen Pyrolyseverfahren noch etwas besser.

Auch aus wirtschaftlicher Sicht sind die Pyrolyseverfahren attraktiv. Mit den aktuell prognostizierten Wasserstoff-Gestehungskosten ergeben sich bei der Methanpyrolyse spürbare Kostenvorteile gegenüber der Elektrolyse. ■



Quelle: wgw mbH

Zur Bewertung der THG-Emissionen von türkischem Wasserstoff: Entscheidend ist, was vorne reingeht!

von: **Friedemann Mörs, Maximilian Heneka, Dr. Frank Graf** (alle: DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut), **Miriam Bäuerle & Jörn Benthin** (beide: Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.)

Um das Treibhausgas-Minderungspotenzial von türkischem Wasserstoff (H₂) zu bewerten, müssen die Treibhausgas-Emissionen (THG) der zugrundeliegenden Wertschöpfungskette untersucht werden, also auch die sogenannten Vorkettenemissionen. Als Vorkettenemissionen bezeichnet man solche, die bei der Produktion, der Aufbereitung, dem Transport, der Speicherung, der Verteilung von Erdgas und der Bereitstellung von elektrischer Energie entstehen.

Vor diesem Hintergrund wurden im DVGW-Forschungsprojekt „Roadmap Gas 2050“ die Bereitstellung von türkischem H₂ mit einer Kapazität von 100.000 m³/h in Deutschland analysiert, eine detaillierte Beschreibung der Projektdaten finden Sie unter [1]. Doch nicht nur die Vorkettenemissionen des eingesetzten Erdgases haben entscheidende Auswirkungen auf die THG-Emissionen

von türkischem H₂, sondern auch die Vorkettenemissionen der für den Pyrolyseprozess nötigen elektrischen Energie. Darüber hinaus müssen auch die direkten Emissionen durch die Nutzung des Erdgases in der Produktionsanlage berücksichtigt werden. Demgegenüber können die THG-Emissionen, die aus dem Bau der Produktionsanlagen resultieren, vernachlässigt werden, da solche Anlagen über lange Zeiträume bei gleichzeitig hohen Erdgasumsätzen betrieben werden [2].

Für den deutschen Strommix wurden die in Tabelle 1 gezeigten Vorkettenemissionen angenommen. Für die Jahre 2030 und 2045 wurden Emissionsfaktoren der Software GEMIS (Version 5.0) [3] verwendet, die auf dem Zielszenario des Nationalen Energie- und Klimaplan (NECP) der Bundesregierung basieren. Der NECP wird von den EU-Mitgliedsstaaten in regelmäßigen Abständen

an die EU-Kommission übermittelt und erteilt Auskunft über die nationale Energie- und Klimapolitik für einen Zeitraum von zehn Jahren. Der aktuelle deutsche NECP wurde am 10. Juni 2020 an die EU-Kommission übermittelt [4]. Die nach dem Urteil des Bundesverfassungsgerichts im August 2021 revidierten deutschen Klimaziele (Treibhausgas-Neutralität bis 2045) werden in den Strommixszenarien demzufolge nicht berücksichtigt. Dementsprechend ist der hier verwendete THG-Fußabdruck des deutschen Strommix für die Jahre 2030 und 2045 als konservativ zu betrachten.

Für den Erdgasbezug wurden die mittleren Vorkettenemissionen für den deutschen Erdgasmix eingesetzt (24 g CO₂eq/kWh (LHV)). Dieser Wert beinhaltet sowohl CO₂- als auch Methanemissionen im Bereich der Förderung, der Verarbeitung und des Transports nach Deutschland sowie der Verteilung in der Bundesrepublik. Die Vorkettenemissionen für Biogas basieren auf Well-to-Tank-Analysen des Joint Research Centre (JRC) [5]. Eine Reduktion der Vorkettenemissionen von Biogas aus Energiepflanzen um bis zu 40 Prozent bis 2040 wurde in dieser Studie nicht berücksichtigt [6].

Quelle: die Autoren

	Deutschland 2020	Deutschland 2030	Deutschland 2045 (2050)
Strommix g CO ₂ eq/kWh (el) [9–11]	352	261	30
Vorkettenemissionen g CO ₂ eq/kWh (LHV)			
Erdgas Mittelwert Deutschland		24 [12]	
Biomethan aus Mais		86 [5, 13]	
Biomethan aus Reststoffen		25 [5, 13]	

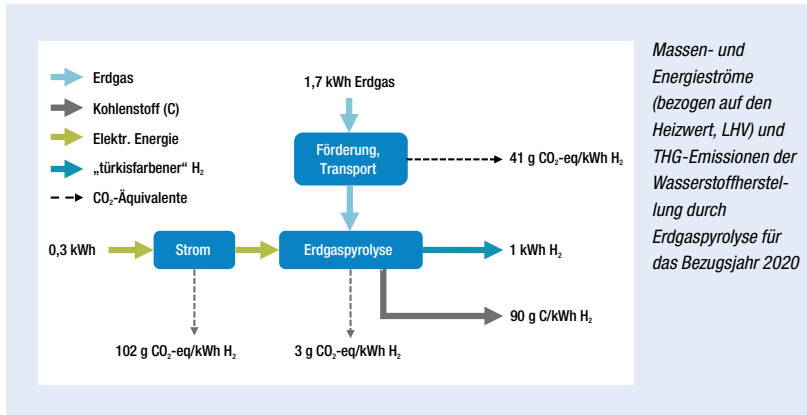


Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse zur Analyse der THG-Emissionen von türkischem H₂ für eine Produktionsanlage in Deutschland. Für das Bezugsjahr 2020 entfallen demnach ca. zwei Drittel der THG-Emissionen auf den Bezug von Netzstrom und ca. ein Drittel auf die Vorkettenemissionen des Erdgases. Die direkten Emissionen haben in den untersuchten Konstellationen nur einen untergeordneten Effekt. Durch den erwarteten Ausbau der erneuerbaren Energien sinken die Vorkettenemissionen des deutschen Strommixes bis 2045 (2050) auf 30 g CO₂eq//KWh(el) (Tab. 1). Das bedeutet: Aufgrund des großen Einflusses der Strom-Vorkettenemissionen sinken die THG-Emissionen von türkischem H₂ von 146 g CO₂eq/

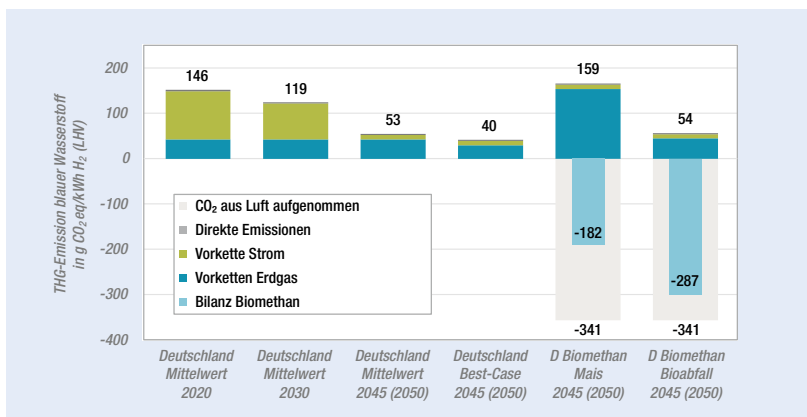
kWh (LHV) in 2020 auf dann 53 g CO₂eq/kWh (LHV) in 2045 (2050). Dies entspricht einer Reduktion der THG-Emissionen gegen über dem Einsatz von grauem Wasserstoff aus der Dampfreformierung (ca. 310 g CO₂eq/kWh) oder der Verbrennung von in Deutschland verwendetem Erdgas (ca. 222 g CO₂eq/kWh (LHV)).

Entscheidend für die Betrachtung ist, dass sich die THG-Emissionen von türkischem H₂ stark sensitiv zum eingesetzten Erdgas bzw. dessen Vorkettenemissionen [7] verhalten. Mehr noch: Der Einfluss dieser Erdgas-Vorkettenemissionen wird umso entscheidender, je geringer die Vorkettenemissionen des eingesetzten Stroms sind. Daher ist es notwendig, für die Bewertung der THG-Emissi-

onen von türkischem H₂ den konkreten Standort bzw. die Vorkettene-missionen des eingesetzten Erdgases zu berücksichtigen; dies zeigt auch die Best-Case-Betrachtung.

Bis 2030 soll nach den Plänen der EU-Kommission die Methan-Emissionen in allen Sektoren um 30 Prozent gesenkt werden [8]. Unter der Annahme, dass die Vorkettenemissionen ebenfalls um bis zu 30 Prozent sinken, ist dementsprechend eine weitere Reduktion der THG-Emissionen von türkischem H₂ möglich. Beim Einsatz von Biogas aus Mais (Energiepflanzen) oder Bioabfall sind trotz der vergleichsweise hohen Vorkettenemissionen sogar negative THG-Emissionen für türkischen H₂ möglich, wobei eine begrenzte Biomasseverfügbarkeit berücksichtigt werden muss. Warum ist das so? Beim Biomasseanbau wird Kohlenstoff in Form von CO₂ aus der Atmosphäre entnommen. Nach dem Pyrolyseprozess kann der Kohlenstoff in fester Form gelagert werden.

Die Analysen zeigen, dass über den Weg der Erdgaspyrolyse die THG-Emissionen von Wasserstoff gegenüber dem Stand der Technik reduziert werden können. Entscheidend sind die standortabhängigen Vorkettenemissionen des eingesetzten Erdgases und der elektrischen Energie sowie die Lagerung des erzeugten festen Kohlenstoffs, um THG-Emissionen aus dessen Nutzung zu vermeiden. ■



THG-Emission von türkischen Wasserstoff für unterschiedliche Bezugsjahre, für eine Reduktion der Methanvorketten-Emissionen um 30 Prozent (Best-Case) und für Biogas aus Mais und Bioabfall in 2045 (2050)

INFORMATION

Das vollständige Literaturverzeichnis zum Beitrag finden Sie unter www.energie-wasser-praxis.de.

Wasserstoffherstellung aus methanhaltigen Gasen ohne CO₂-Emissionen

von: Dr.-Ing. Jörg Nitzsche, Alexandra Müller & Michael Kühn (alle: DBI – Gastecnologisches Institut gGmbH Freiberg)

Die Herstellung von Wasserstoff ohne oder mit nur sehr geringen THG-Emissionen hat großes Zukunftspotenzial. Die Methanpyrolyse als mögliches Herstellungsverfahren ist technisch jedoch herausfordernd. Daher entwickelt die DBI – Gastecnologisches Institut gGmbH Freiberg einen innovativen Lösungsansatz, der die prinzipbedingten Nachteile der Methanpyrolyse vermeidet, indem er den Gesamtprozess in zwei Prozessschritte aufteilt.

Während der weltweite H₂-Bedarf kontinuierlich wächst, wird der Großteil des Wasserstoffs aus fossilen Energieträgern gewonnen, hauptsächlich durch die Reformierung von Kohlenwasserstoffen (wie z. B. Erdgas) oder die Vergasung von Kohle und Schweröl. Dabei werden größere Mengen CO₂ emittiert, die zur Emissionsvermeidung per

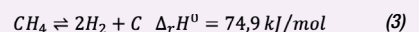
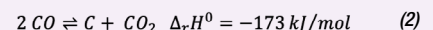
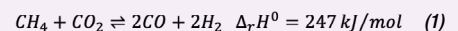
Carbon Capture and Storage (CCS) gemindert werden können. Im Vergleich dazu ist das Nebenprodukt der Methanpyrolyse, fester Kohlenstoff (Reaktion (3)), leichter abzuscheiden, zu transportieren

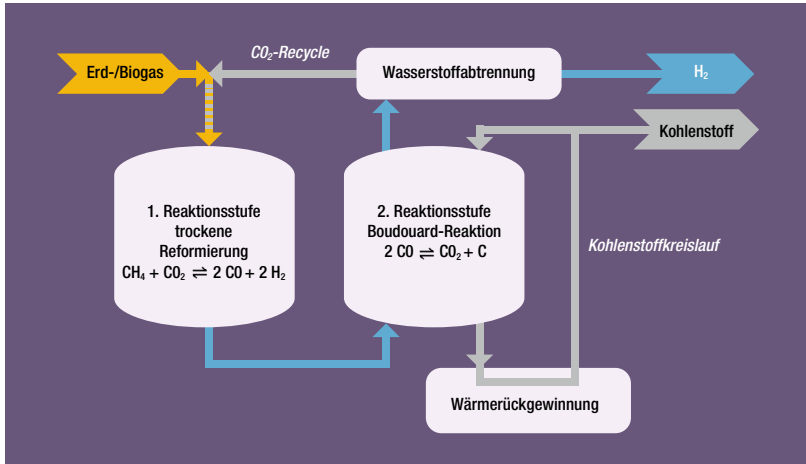
und zu lagern sowie vielfältig nutzbar. Herausfordernd ist jedoch der Energiebedarf der Reaktion bei hohen Temperaturen (T > 1.000 °C) in Verbindung mit einer unkontrollierten Ablagerung von festem Kohlenstoff auf Reaktorwänden und Katalysatoren sowie die mögliche Bildung unerwünschter gasförmiger Nebenprodukte.

Um diese Nachteile zu umgehen, entwickelt das DBI ein neuartiges Verfahren, bei dem eine Trennung der Schritte „Wasserstoffherzeugung“ und „Kohlenstoffablagerung“ in zwei Reaktionen erfolgt: Erstens die trockene Reformierung (Reaktion (1)), bei der die Umsetzung des Methans mit CO₂ an geeigneten Katalysatoren erfolgt und auch Biogas (ohne vorherige Abtrennung des CO₂ und Aufbereitung zu Biomethan) direkt verwendet werden kann. Als zweiter Teilschritt wird dann die Boudouard-Reaktion (Reaktion (2)) in einem Wanderbettreaktor durchgeführt. Der auf dem Bettmaterial abgeschiedene Kohlenstoff kann abgeführt und gespeichert, genutzt oder partiell als Bettmaterial wiederverwendet werden. Dadurch lassen sich sowohl eine mögliche Katalysatordeaktivierung als auch störende Kohlenstoffablagerungen an Reaktorwänden vermeiden. Als Gesamtreaktion des Prozesses wird schließlich die Methanpyrolyse erzielt (Reaktion (3)).



Durch die Aufteilung auf zwei Prozessschritte können die Nachteile der Pyrolyse vermieden werden.





Schematische Darstellung des angestrebten Prozesses in zwei Teilschritten

Prozessaufbau – Schritt 1 (Trockene Reformierung)

Im ersten Teilschritt, der trockenen Reformierung (Reaktion (1)), steht ein hoher Methanumsatz zu Wasserstoff und Kohlenoxiden sowie die Vermeidung von Kohlenstoffablagerungen an der Katalysatoroberfläche im Vordergrund. Bei der Betrachtung der Thermodynamik wird ersichtlich, dass neben hohen Reaktortemperaturen und niedrigen Drücken auch ein CO_2 -Überschuss im Eduktstrom förderlich ist, um eine Verkokung zu vermeiden. Bei $800\text{ }^\circ\text{C}$ Reaktionstemperatur ist bei atmosphärischem Druck thermodynamisch nur mit $\text{CO}_2:\text{CH}_4 > 1,2$ kohlenstofffreies Gebiet erreichbar. Möglichst hohe Reaktionstempera-

turen sind hier kongruent mit hohen Umsätzen in der Reformierung und niedrigem Risiko zur Kohlenstoffbildung, womit grundsätzlich gleiche Anforderungen an die Prozessführung gegeben sind.

Prozessaufbau – Schritt 2 (Boudouard-Reaktor)

Im zweiten Reaktionsschritt, der Boudouard-Reaktion, steht die gezielte Kohlenstoffablagerung in einem Wanderbett im Vordergrund. Der abgeschiedene Kohlenstoff kann weiterverwertet oder eingelagert werden, während gebildetes CO_2 zu Schritt 1 rezykliert wird. Thermodynamisch läuft die Boudouard-Reaktion bis $500\text{ }^\circ\text{C}$ nahezu vollständig ab (Kohlenstoffausbeute

> 99 Prozent), bei höheren Temperaturen verlagert sich das Gleichgewicht zunehmend zu den Ausgangsstoffen. Die Reaktion wird somit bei möglichst geringer Temperatur durchgeführt. Das Auftreten von Nebenreaktionen, die die Wasserstoffausbeute schmälern, ist dabei vor allem durch Wassergas- und Methanisierungsreaktionen möglich. Es gilt also, diese durch die Prozessgestaltung oder kinetische Hemmung zu vermeiden.

Prozessaufbau – Verschaltung der Teilschritte

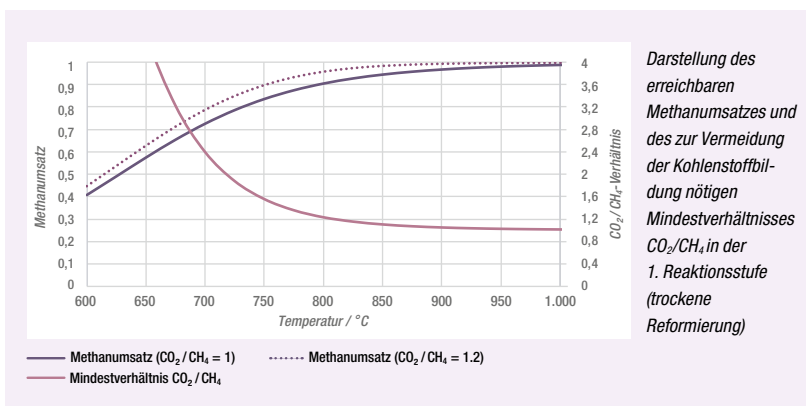
Beide Prozessschritte stellen im Vergleich zur Pyrolyse signifikant geringere Anforderungen an die technische Umsetzung, werden jedoch auf unterschiedlichen Temperaturniveaus betrieben. Um den Gesamtenergiebedarf zu verringern, ist eine wärmetechnische Verschaltung beider Prozessschritte notwendig. Zusätzlich soll durch die bevorzugte Verwendung von Kohlenstoff als Wanderbettmaterial eine prozessinterne Kreislaufführung geschaffen werden, die den Betrieb ohne zusätzliche Materialien ermöglicht. Die Entwicklung des entsprechenden Verfahrens ebenso wie die Untersuchung der beiden Prozessstufen sind Schwerpunkte eines laufenden F&E-Vorhabens, das durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert und durch den DVGW mit Mitteln aus dem Innovationsprogramm Wasserstoff finanziell unterstützt wird. ■

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Unterstützt durch:



Wasserstoff durch Pyrolyse – Grundstein für ein dekarbonisiertes Energiesystem

von: **Dr. Klaus Langemann** (Wintershall Dea)

Wenn wir die globalen Klimaziele erreichen wollen, müssen wir die Industrie dekarbonisieren. Wasserstoff kann dabei eine Schlüsselrolle einnehmen. Aber der Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland kommt nicht mit dem nötigen Schwung voran. Bisher gibt es noch zu wenig grünen Strom, um grünen Wasserstoff in großen Mengen herzustellen und verfügbar zu machen. Und da grüner Wasserstoff von der Verfügbarkeit der erneuerbaren Energien abhängig ist, wird die Herstellung großer Mengen noch eine Weile auf sich warten lassen.

Daher ist ein technologieoffener Ansatz wichtig, der alle Formen von Wasserstoff – auch Wasserstoff aus Erdgas – mit einschließt. Auch wenn die Preisentwicklung sowohl von Strom als auch von Erdgas aufgrund der globalen Entwicklungen heute nicht absehbar ist, ist aber der Bedarf an Wasserstoff absehbar. Wintershall Dea arbeitet mit seinen Projekten daran, so schnell wie möglich Wasserstoff zu produzieren: energieeffizient, möglichst kostengünstig und klimafreundlich.



In den nächsten drei Jahren soll eine Pilot-Anlage entstehen, mit der Wasserstoff im industriellen Maßstab hergestellt werden kann.



Im Fokus der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung steht vor allem grüner Wasserstoff, der mittels Elektrolyse hergestellt wird. Unter Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien wird dabei Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff aufgespalten, allerdings mit großem Energieaufwand. Bei der Elektrolyse ist der Energieverbrauch rund fünf Mal höher als bei der Pyrolyse.

Bei dem Prozess der Methanpyrolyse wird Erdgas unter Einsatz thermischer oder elektrischer Energie in seine Bestandteile Wasserstoff und festen Kohlenstoff aufgespalten. Der sogenannte türkise Wasserstoff, der hier entsteht, ist vielversprechend: Genau wie grüner Wasserstoff kann er durch den Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien als dekarbonisierter Energieträger genutzt werden, denn es entstehen keine CO₂-Emissionen. Der feste Kohlenstoff, der als Nebenprodukt entsteht, ist vielseitig und wird in unterschiedlichen Bereichen gebraucht: für Partikel in Tinten und Farben oder auch zur Herstellung von Kunststoff und Gummi. Auch lässt er sich im Straßenbau einsetzen, in der Auto- sowie in der Stahl- oder Zementindustrie.

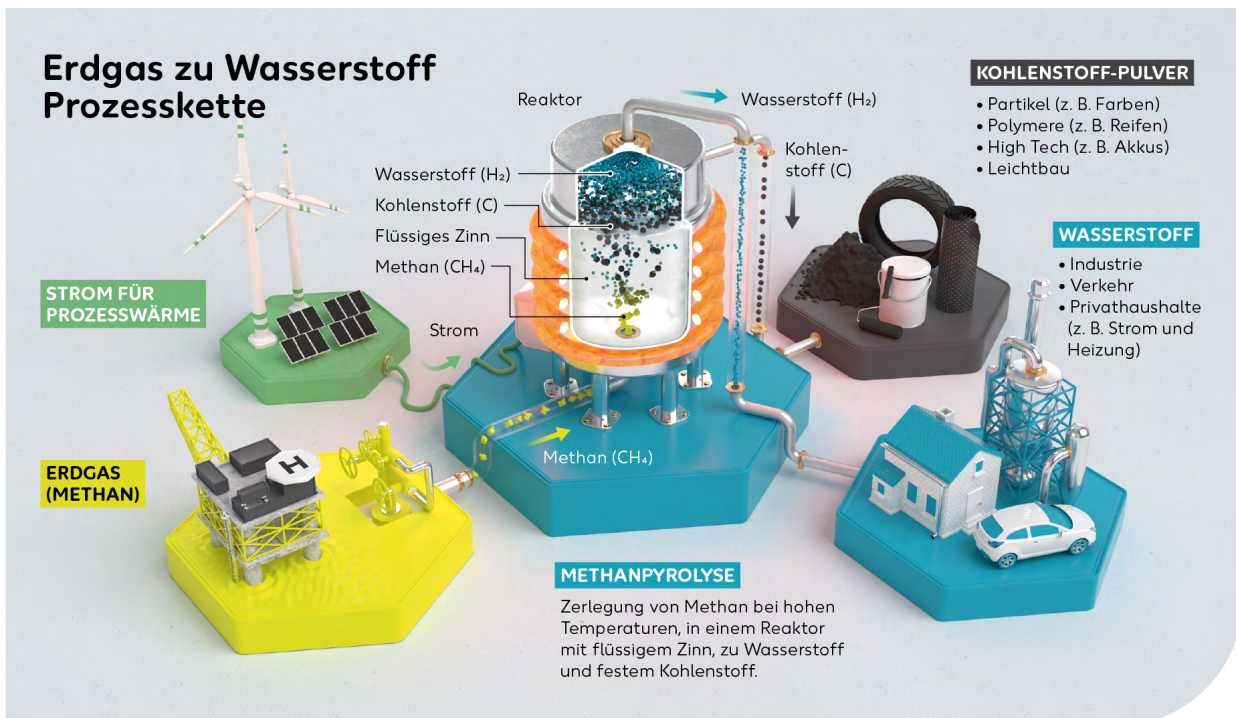
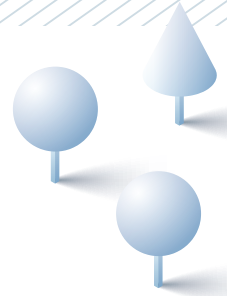
Gemeinsame Forschung zum industriellen Maßstab der Methanpyrolyse

Wintershall Dea hat das Potenzial der Methanpyrolyse erkannt: Gemeinsam mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) arbeitet das Unternehmen seit 2019 im Rahmen eines Forschungsprojekts daran, für die Flüssigmetall-Pyrolyse die beste Lösung zu finden. Denn noch lässt sich türkiser Wasserstoff nicht in industriellem Maßstab herstellen. Die Optimierung von Reaktormaterialien, Reaktionskinetik durch Variation der Gasdurchflussraten sowie Konzepte zur Kohlenstoff-Ausschleusung stehen derzeit im Mittelpunkt der Arbeiten. Das Forschungsprojekt ist auf drei Jahre angelegt und hat das Ziel, die Grundlagen für eine Pilotanlage zu entwickeln, die Wasserstoff in industriellem Maßstab herstellen kann.

Modular, skalierbar, dezentral: Pilotherstellung von türkischem Wasserstoff

Eine weitere Pilotanlage soll im nächsten Jahr den ersten Wasserstoff auf Erdgasbasis produzieren. Sie wäre eine der ersten Anlagen ihrer Art in Deutschland, die klimafreundlicheren türkisen Wasserstoff herstellt.

Wintershall Dea hat im letzten Jahr gemeinsam mit der VNG AG in HiiROC investiert, ein europäisches Start-up mit Sitz im englischen Hull. HiiROC hat ein modulares, skalierbares System entwickelt, das genau dort Wasserstoff produzieren kann, wo er gebraucht wird. Die kleinen standardisierten Einheiten können flexibel eingesetzt werden, als kleinste Einheit neben Wohnhäusern oder als industrielle Einheiten neben Fabriken oder Flughäfen. Damit lassen sich Transport- und Lagerkosten einsparen. HiiROC arbeitet mit der sogenannten thermischen Plasma-Pyrolyse, bei der in einem Gasplasma die Spaltung des Erdgases in Wasserstoff und festen Kohlenstoff erfolgt. Die hohe Energieeffizienz sowie das Potenzial für negative CO₂-Emissionen bei Einsatz von Biomethan als Ausgangsmaterial sprechen für diese Technologie. Gemeinsam mit der VNG AG arbeitet Wintershall Dea daran, die Pilotanlage 2023 an den Start zu bringen. Bis zu 400 kg Wasserstoff am Tag sollen so entstehen, also bis zu 5 Gigawattstunden pro Jahr. ■



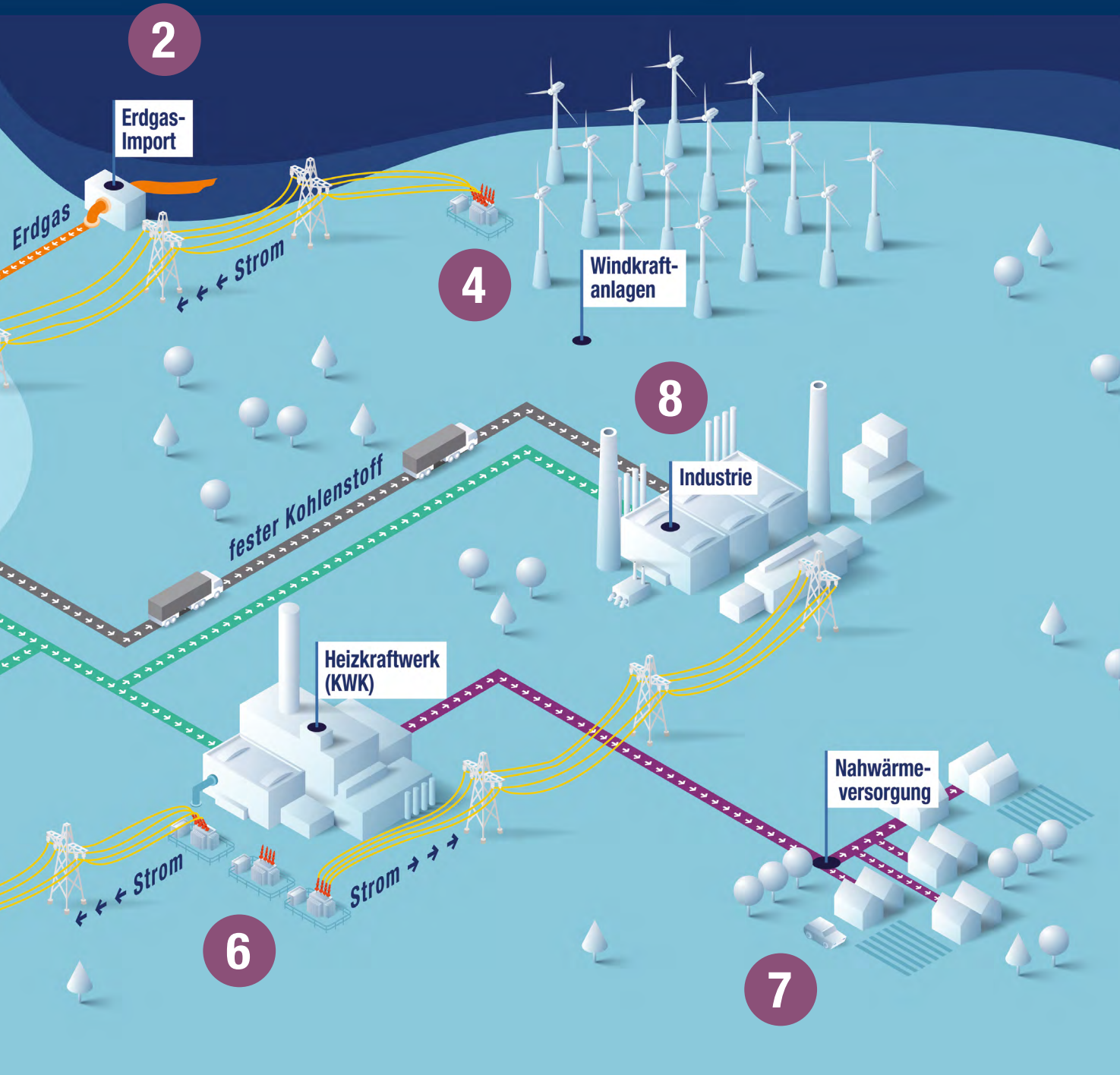
Überblick über die verschiedenen Komponenten der Erdgas-zu-Wasserstoff-Prozesskette

Die gesamte Welt der Methanpyrolyse

Bei der Methanpyrolyse wird Methan (CH_4) in Wasserstoff (H_2) und festen Kohlenstoff (C) aufgespalten (1). Die Besonderheit des Verfahrens ist, dass der gesamte Prozess unter Ausschluss von Sauerstoff stattfindet: Im Gegensatz zur Dampfreformierung entsteht dadurch kein CO_2 , sondern der anfallende Kohlenstoff liegt in fester Form vor. Als Ausgangsmaterial für die Pyrolyse können sowohl Erdgas (2) als auch Methan aus biogenen Quellen (wie Biogas, Deponie- und/oder Grubengasen) (3) genutzt werden. Die für die Methanpyrolyse benötigte Energie wird aus erneuerbaren Quellen (4) bereitgestellt. Für den bei der Methanpyrolyse entstehenden Wasserstoff gibt es eine ganze Reihe von Anwendungsmöglichkeiten, die sich über alle Sektoren erstrecken: Denkbar ist eine Beimischung in das Gasnetz (5), wo der Wasserstoff in der Folge beispielsweise zur Dekarbonisierung des Wärmemarktes beitragen kann. Darüber hinaus kann der Wasserstoff auch in Heizkraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung (6) zur Gewinnung von Energie genutzt werden; die dabei ausgekoppelte Wärme lässt sich anschließend in der Nahwärmeversorgung (7) einsetzen. Eine mögliche Anwendung bietet sich zudem im Mobilitätssektor an, wo Wasserstoff im Schienen- und Schiffsverkehr, aber auch bei Straßennutzfahrzeugen einsetzbar ist. Für den Industriesektor (8) ist die Methanpyrolyse gleich in doppelter Hinsicht interessant. So kann der klimaneutrale Wasserstoff dazu beitragen, CO_2 -intensive Bereiche wie die Stahl- oder Zementherstellung entscheidend zu dekarbonisieren. Der feste Kohlenstoff – auch unter dem Namen Graphit bekannt – wiederum kommt u. a. bei der Stahlproduktion, in der Batteriefertigung sowie in der Halbleiter- und Solarindustrie zum Einsatz. ■



im Überblick



Die vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten von **Kohlenstoff** aus der **Pyrolyse** von **Methan**

von: **Robert Obenaus-Emler** (Montanuniversität Leoben)

Quelle: Montanuniversität Leoben



Im Rahmen der Methan-Pyrolyse entsteht neben reinem Wasserstoff auch fester Kohlenstoff. Dieser kann je nach vorliegender Modifikation und Reinheit in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt und verwendet werden - die Möglichkeiten dafür sind vielfältig.

CO₂-freier bzw. mit geringem CO₂-Fußabdruck hergestellter Wasserstoff wird in einem zukünftigen Energiesystem, das ausschließlich auf erneuerbaren Quellen beruht, eine zentrale Rolle einnehmen. Derzeit wird Wasserstoff unter Freisetzung von CO₂ überwiegend durch Dampfreformierung von Erdgas hergestellt und vor allem in der chemischen und der petrochemischen Industrie eingesetzt.

Würde man die in Zukunft benötigte Menge an Wasserstoff ausschließlich über die Wasserelektrolyse herstellen, so wären allein für Europa mehrere Tausend Terawattstunden an elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen notwendig. Eine der möglichen alternativen Produktionsrouten für erneuerbaren Wasserstoff ist die Methanpyrolyse: Gegenüber anderen, alternativen Erzeugungswegen weist sie bei einer sehr hohen Wasserstoffausbeute den geringsten Energieaufwand (weniger als ein Viertel der Wasserelektrolyse) auf. Damit ist Wasserstoff aus der Pyrolyse von Methan im Hinblick auf den durch den Energieaufwand verursachten Umweltimpact allen anderen Prozessrouten deutlich überlegen.

Da bei der Methanpyrolyse fester Kohlenstoff als Nebenprodukt erzeugt wird, ist der produzierte Wasserstoff CO₂-frei. Je kg H₂ werden dabei gleichzeitig etwa 3 kg an festem Kohlenstoff (C) hergestellt – im Sinne einer vollständigen Ressourcennutzung kommt der nachhaltigen Verwendung dieses elementaren Kohlenstoffs eine wichtige Bedeutung zu. Die an der Montanuniversität Leoben durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen bestätigen eine Korrelation zwischen der auftretenden Kohlenstoffmorphologie und dem Pyrolyseprozess bzw. dem verwendeten Katalysatormaterial. Somit besteht die Möglichkeit, die Qualität des produzierten Kohlenstoffs hinsichtlich seiner Modifikation und Korngröße im Hinblick auf anwendungsspezifische technische Parameter gezielt einzustellen.

Der Kohlenstoff kann je nach vorliegender Modifikation (Graphit, Graphen, Ruß, Kohlenstoffröhrchen, turbostratischer Kohlenstoff, ...) und Reinheit unterschiedlichen Verwendungen zugeführt werden. Möglichkeiten dazu sind einerseits die Nutzung in High-Tech-Anwendungen wie Carbon Nanotubes, Hochleistungswerkstoffen, Superkondensatoren oder micro-porösen Kohlenstofftanks zur energieeffizienten Wasser-

stoffspeicherung und andererseits als Rohstoff für Gummi- und Kunststoffprodukte sowie die Asphalt- und Feuerfestindustrie, als Additiv in Schmiermitteln, Gießpulvern und Elektrodenmaterial für die metallurgische Industrie und als Ausgangsmaterial für Batterien und Speichersysteme für elektrische Energie.

Mit Blick auf die hohe Ausbeute an festem Kohlenstoff bei der Methanpyrolyse kommt großvolumigen Kohlenstoffanwendungen eine besondere Bedeutung zu. Auf der einen Seite kann der Kohlenstoff in der Baustoffindustrie als Zusatzstoff in Isolationsmaterialien sowie in konstruktiven Baustoffen zur gezielten Beeinflussung der physikalischen Eigenschaften eingesetzt werden. Darüber hinaus ist auch ein Einsatz als Bodenhilfsstoff in der Landwirtschaft möglich, wobei hier insbesondere positive Effekte auf die Nährstoff- und Wasserspeicherkapazität

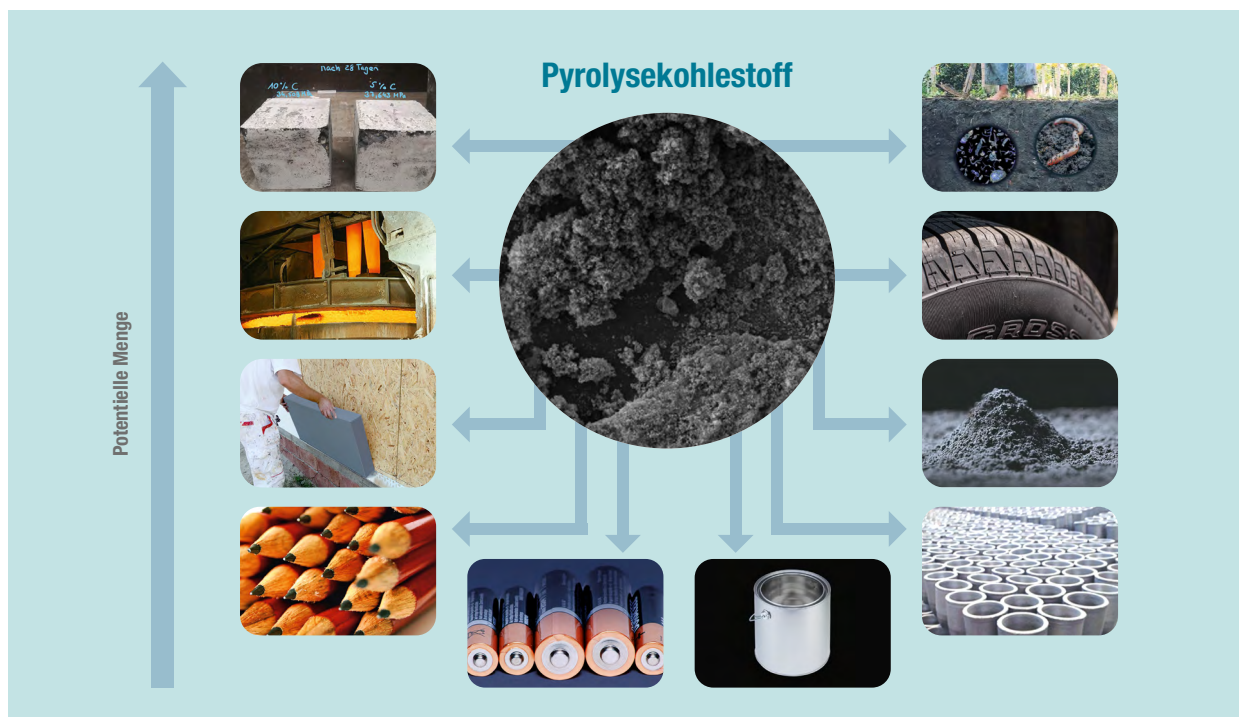
des Bodens, ein gezielter Aufbau von Humus sowie ein positiver Beitrag auf klimaschädliche Bodenemissionen möglich sind. Darüber hinaus kann der Kohlenstoff auch als Additiv in der Kompostierung und bei der Herstellung von organischen Düngerpellets eingesetzt werden. Für einen möglichen Einsatz von Kohlenstoff in der Landwirtschaft ist zwar eine entsprechende Reinheit maßgeblich, durch die möglichen positiven ökologischen Effekte sind diese Anwendungen aber von besonderem Interesse.

Vor allem bei großvolumigen Anwendungen von Kohlenstoff ist davon auszugehen, dass im Hinblick auf die Vermarktung eine weitere Verarbeitung nur mit geringem Kosteneinsatz durchgeführt werden kann. Im Idealfall lässt sich der bei der Pyrolyse von Methan entstehende Kohlenstoff ohne technologisch aufwendige Prozesse als Produkt verwenden. Daraus folgt, dass im Hin-



Im Sinne einer möglichst vollständigen Ressourcennutzung kommt es bei der Methanpyrolyse darauf an, möglichst alle Stoff- und Energieströme zu nutzen. <<

blick auf die Entwicklung der Pyrolysetechnologie sowie für die zukünftige Umsetzung in großtechnischen Anlagen ein wesentlicher Fokus auf die Wahl der Prozessroute der Pyrolyse sowie die Bestimmung der maßgeblichen Prozessparameter gelegt werden muss. Darüber hinaus sollte gleichzeitig die ökonomische und ökologische Bewertung möglicher Anwendungsoptionen für Wasserstoff und Kohlenstoff im Sinne einer nachhaltigen Technologieentwicklung betrachtet werden. Eine möglichst vollständige Nutzung aller bei der Pyrolyse entstehender Stoff- und Energieströme darf dabei nicht außer Acht gelassen werden. ■



Quelle: Montanuniversität Leoben/pixabay.com/Wikipedia Commons

» Die Methanplasmalyse lässt sich bereits heute in alltagstaugliche Lösungen integrieren! «

Die Redaktion im Gespräch mit **Dr. Jens Hanke**, Gründer und CTO der Graforce GmbH, über das Potenzial der Plasmalyse und erste Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis.



Quelle: Graforce GmbH

Dr. Jens Hanke ist Gründer und CTO der Graforce GmbH.

Redaktion: Herr Dr. Hanke, was genau ist die Plasmalyse?

Dr. Jens Hanke: Die Plasmalyse ist ein elektro-chemisches Verfahren, bei der aus Methan, Abwässern von Klärwerken oder auch Gülle energieeffizient und CO₂-frei Wasserstoff erzeugt wird – mit geringen Herstellungskosten und hohen Erträgen. Grundlage für das Verfahren bildet Ökostrom, aus dem ein hochfrequentes Plasmafeld erzeugt wird. Dieses Feld spaltet die in den Ausgangsstoffen enthaltenen energiereichen Stickstoff-Wasserstoff- und Kohlenwasserstoffverbindungen auf. Anschließend verbinden sich die Moleküle im Plasmafeld zu Wasserstoff und anderen Industriegasen.

Redaktion: Wie unterscheidet sich das Verfahren von der Pyrolyse?

Dr. Hanke: Die Pyrolyse ist ein thermo-chemisches Verfahren, bei dem organische Verbindungen wie Methan bei hohen Temperaturen und weitgehend unter Ausschluss von Sauerstoff in Wasserstoff und festen Kohlenstoff gespalten werden. Abgesehen davon sind beide Verfahren sehr ähnlich:

Sie brauchen im Vergleich zur Elektrolyse nur etwa ein Fünftel der Energie, um die gleiche Menge an Wasserstoff herzustellen. Denn die Bindungen zwischen Kohlen- und Wasserstoff im Methan (CH_4) lassen sich leichter lösen als die zwischen Sauerstoff und Wasserstoff im Wasser (H_2O). Aktuell ist die Pyrolyse noch nicht reif für den industriellen Einsatz, es sind jedoch erste Demo-Anlagen in Deutschland geplant.


Redaktion: Was ist eine CO_2 -Senke und inwiefern spielt dieser Begriff bei der Methanplasmalyse eine Rolle?

Dr. Hanke: Von einer verfahrenstechnischen CO_2 -Senke sprechen wir, wenn bei der Methanplasmalyse nachhaltiges Biogas zum Einsatz kommt. Der grüne Wasserstoff kann in Wasserstoff-BHKW, Heizkesseln oder SOFC-Brennstoffzellen direkt für die CO_2 -freie Wärme- und Stromgewinnung genutzt werden. Der elementare Kohlenstoff wiederum ist als industrieller Hilfsstoff nutzbar, z. B. für Asphalt, Beton, Zement oder zur Bodenverbesserung. Dies ermöglicht einen langfristigen Entzug von CO_2 aus dem Kreislauf und ist damit auch von der CO_2 -Steuer befreit. So wird über den gesamten Prozess hinweg der Atmosphäre indirekt Kohlenstoffdioxid entzogen und es entsteht eine negative CO_2 -Bilanz.

Redaktion: Inwieweit ist das Plasmalyse-Verfahren bereits marktreif und gibt es erste praktische Anwendungen?

Dr. Hanke: Mit dem Mercure-Hotel MOA Berlin verwirklichen wir derzeit ein innovatives Energiekonzept auf Basis der Methan Plasmalyse. Bisher produzierte das Hotel mit fünf Erdgas-Heizkesseln bis zu 800 t CO_2 pro Jahr. Nun werden zunächst zwei der fünf Heizkessel mit einem Gemisch aus Erdgas und bis zu 20 Prozent selbst erzeugtem Wasserstoff betrieben. Der H_2 -Anteil wird dann sukzessive gesteigert, bis alle Kessel nur mit Wasserstoff laufen – und damit der CO_2 -Ausstoß auf null sinkt.



Die Methanplasmalyse ermöglicht einen langfristigen und dauerhaften Entzug von CO_2 aus dem Kreislauf. 

Redaktion: In welchen Bereichen können solche Anlagen generell eingesetzt werden? Welche weiteren Beispiele gibt es?

Dr. Hanke: Das Methanplasmalyse-Verfahren soll schnell weiter ausgerollt werden. So stellen wir im Laufe dieses Jahres bereits ein Stadtquartier mit 40.000 Quadratmetern auf die CO_2 -freie Wärmeerzeugung um. Das Anlagensystem, bestehend aus Plasmalyse, Wasserstoff-Blockheizkraftwerk (BHKW) und Heizkesseln, ist die erste alltagstaugliche Lösung, mit der die Wärmewende realisiert werden kann. Sie braucht keinen Strom aus dem Netz, denn die Energie für die Wasserstoffproduktion wird direkt über das BHKW erzeugt.

Redaktion: Und welche Verwendungsmöglichkeiten gibt es für den festen Kohlenstoff, der während des Verfahrens entsteht?

Dr. Hanke: Kohlenstoff kann beispielsweise in Baustoffen verwendet werden. Dann wird das CO_2 nicht mehr freigesetzt, sondern dauerhaft in Asphalt oder Ziegelsteinen gebunden. Diese marktreife Technologie zur CO_2 -Reduktion lässt sich im gesamten Energiesystem einsetzen.

Redaktion: Warum schätzen Sie die Plasmalyse als die langfristig günstigere Lösung im Vergleich zur Elektrolyse ein?

Dr. Hanke: Wird Wasserstoff mit Grünstrom über die Wasserelektrolyse erzeugt, benötigt das Verfahren mehr als 50 Kilowattstunden Strom pro kg H_2 , da Wasserstoff in Wasser fester gebunden ist. Die Plasmalyse nutzt alternative biogene Quellen, die eine geringere Bindung haben. Dadurch sinken die Kosten von durchschnittlich 6 bis 8 Euro auf 1,5 bis 3 Euro pro kg Wasserstoff. ■

» Insellösungen auf Basis der Pyrolyse könnten sich in Bayern etablieren «

Die Redaktion im Gespräch mit **Dr. Gregor Neunzert**, Leiter Gasbeteiligungen der Stadtwerke München, über H₂-Insellösungen in Bayern und die Vorteile der Pyrolysetechnik.

Quelle: SWM



Redaktion: Herr Dr. Neunzert, welche Strategien und Pläne verfolgen die Stadtwerke München in Bezug auf die Dekarbonisierung der Energieversorgung allgemein und speziell hinsichtlich eines Wasserstoff-Markthochlaufs?

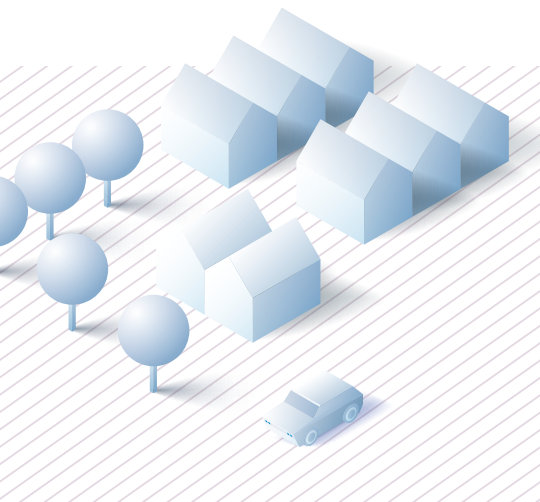
Dr. Gregor Neunzert: Die Stadt München hat es sich zum Ziel gesetzt, bis 2035 klimaneutral zu werden. In diesem Zusammenhang haben wir bei den Stadtwerken München bereits 2008 die Ausbau-Offensive „Erneuerbare Energien“ gestartet. Ziel der Offensive ist es, den gesamten jährlichen Stromverbrauch Münchens – das sind ungefähr sieben Terawattstunden – ab 2025 durch 100 Prozent Ökostrom aus eigenen Anlagen zu decken. Derzeit haben wir dieses Ziel bereits zu ca. 90 Prozent erreicht. Darüber hinaus wird ein Drittel der Münchner Bevölkerung mit Fernwärme versorgt. Hier sollen die zurzeit noch verwendeten fossilen Brennstoffe spätestens bis 2040 insbesondere durch Geothermie ersetzt werden. Im Rahmen der Mobilitätswende bauen wir unser Bus- und Bahnangebot nicht nur massiv aus; die gesamte Busflotte soll außerdem bis 2035 komplett auf batterie-

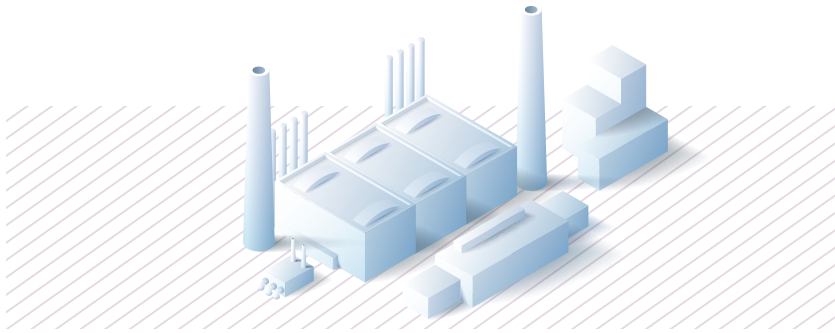
elektrische Antriebe umgestellt werden. Hier setzen wir – im Unterschied zu einigen anderen deutschen Städten – auf Strom und nicht auf Wasserstoff.

Im Bereich Energieerzeugung arbeiten wir gerade an einer Strategie zur Nutzung von Wasserstoff und sind in diesem Zusammenhang dabei, eine Datenbasis zu erstellen. Die Ziele dieser Strategie könnten analog zu den erwähnten Zielen des Stromsektors ausfallen. Konkrete Maßnahmen gibt es auch schon: Einige Gasturbinen in unseren Neuanlagen sind bereits für eine ca. 10- bis 20-prozentige H₂-Beimischung ausgelegt. Im Rahmen von Modernisierungen in den nächsten Jahren soll dies auch bei weiteren Turbinen umgesetzt werden.

Redaktion: Inwiefern gelten für ein Unternehmen aus dem süddeutschen Raum andere Voraussetzungen bezogen auf die H₂-Nutzung als im Vergleich zu Unternehmen aus dem Norden bzw. Westen der Bundesrepublik?

Dr. Neunzert: Die Pläne der Ferngasnetzbetreiber beruhen auf dem sogenannten europäischen H₂-Back-





bone, einem in der Entwicklung befindlichen europäischen Transportsystem für reinen Wasserstoff. Bei einem Blick auf die geplanten Ausbaustufen sieht man, dass wir in München voraussichtlich erst nach 2035, also sehr spät, an den Backbone angeschlossen werden sollen. Wir setzen bis dahin auf sogenannte Insellösungen, also auf dezentral erzeugte regenerative Energien, und wir gehen davon aus, dass sich solche Lösungen in ganz Bayern etablieren werden. Hinzu kommt: In Bayern gibt es vergleichsweise wenige Onshore-Windparks zur Erzeugung von regenerativem Strom, der ja für die Produktion von grünem Wasserstoff unabdingbar ist. Daher ist die Pyrolyse zur Erzeugung von türkischem Wasserstoff in Süddeutschland absolut interessant.

Redaktion: Welche Vorteile sind mit der Pyrolyse verbunden? Gibt es bereits konkrete Beispiele?

Dr. Neunzert: Die Vorteile der Pyrolysetechnik liegen auf der Hand: Im Vergleich zur Erzeugung von grünem Wasserstoff mittels Elektrolyse benötigt die Produktion von türkischem Wasserstoff ungefähr 80 Prozent weniger Strom. Das liegt daran, dass die chemische Verbindung von Wasser deutlich fester ist als die chemische Verbindung von Methan, das bei der Pyrolyse zum Einsatz kommt. Den anfallenden festen Kohlenstoff kann man außerdem, je nach Reinheitsgrad und Menge, als Grundstoff in der Chemieindustrie zum Ersatz von Graphit verwenden und Erlöspotenziale generieren. Größere Mengen sind wiederum sicherlich für Reifenhersteller interessant. Hier muss man allerdings Vorkehrungen treffen, damit der Kohlenstoff dann nicht doch irgendwann wieder in der Atmosphäre landet –

etwa, wenn Altreifen über Müllverbrennungsanlagen entsorgt werden. Und bei sehr großen Mengen besteht die Gefahr, dass sie im Markt nicht mehr unterzubringen sind. Sie müssten dann deponiert werden.

Redaktion: Wie bewerten Sie die Chancen für einen Markthochlauf der Pyrolysetechnik?

Dr. Neunzert: Vorteil des türkischen Wasserstoffs ist seine Skalierbarkeit. In den USA werden beispielsweise schon bald Brenner für die Wohnung angeboten, also quasi Pyrolyse für den Hausgebrauch. Dies ist eine interessante Idee, weil die bestehende Gasinfrastruktur in Deutschland

dazu sehr leicht verwendet werden kann. Auch mittelgroße Anlagen für Gewerbebetriebe oder Hotels sind bereits im Einsatz und große Erzeuger wie die BASF betreiben die Pyrolyse in großen

Versuchsanlagen. Für einen robusten Markthochlauf benötigen wir aber außerdem ein klares, verbindliches Regelwerk hinsichtlich der Definition des Wasserstoffs als Grün bzw. als kohlenstoffarm. Nur dann hat diese Technik eine langfristige und echte Chance. ■



München wird voraussichtlich erst nach 2035 an den H₂-Backbone angeschlossen – deshalb setzen wir auf Insellösungen.



INFORMATION

Das H₂-Reallabor Burghausen/ChemDelta Bavaria

Im Rahmen des Reallabors Burghausen/ChemDelta Bavaria hat man sich zum Ziel gesetzt, industrielle chemischen Wertschöpfung auf nicht-fossile Kohlenstoffquellen umzustellen und eine Wasserstofftankstelleninfrastruktur in der Region Burghausen aufzubauen. Außerdem steht im Fokus, einen Nukleus für die bayerische Wasserstoffwirtschaft zu etablieren. Das Projekt verfolgt einen integrativen Ansatz zur Hebung des industriellen Potenzials der Wasserstofftechnologie in der chemischen Industrie sowie der möglichen Plattform- und Koppelprodukte für Mobilität, Industrieanwendungen und Regionalentwicklung.



» Die Pyrolysetechnik ist eine zügig einsetzbare Brückentechnologie! «

Die Redaktion im Gespräch mit **Dr. Andreas Breuer**, Leiter Wasserstoff der Westnetz GmbH, über die Umsetzung des Projektes „HydroNet – Klimaschutz-Modellregion Sauerland“ und den damit einhergehenden Einsatz der Pyrolysetechnik zur Wasserstoffproduktion.

Redaktion: Herr Dr. Breuer, welche Ziele verfolgen Sie mit HydroNet, der Klimaschutz-Modellregion Sauerland?

Dr. Andreas Breuer: Mit der Klimaschutz-Modellregion Sauerland entsteht aus unserer Sicht das Energiesystem der Zukunft. Gemeinsam mit unseren Partnern ist unser Ziel, die Region um Arnsberg über den Einsatz moderner Wasserstofftechnologien klimaneutral zu machen. Das heißt: In den kommenden Jahren sollen dafür Industrie, mittelständische Unternehmen und auch der Mobilitätsbereich in die Nutzung von Wasserstoff einsteigen. Kern des Projektes ist eine 11 Kilometer lange Erdgasleitung, die auf den Betrieb von Wasserstoff umgestellt werden und so als Energiespeicher dienen soll. Wir haben das Projekt ganz bewusst Klimaschutz-Modellregion genannt und nicht etwa „Wasserstoffprojekt Sauerland“ – u. a. deshalb, weil wir zeigen wollen, wie sich eine Region nachhaltig in Bezug auf die Klimaschutzziele entwickeln kann.

Redaktion: Wie ist die Resonanz der beteiligten Unternehmen und Partner?

Dr. Breuer: In den vergangenen Monaten habe ich in vielen Gesprächen gelernt, dass Unternehmen sich schon sehr intensiv mit dem Thema Wasserstoff auseinandersetzen – und dies sowohl aus eigener Initiative als auch getrieben von den Wünschen der Kunden. Diese fragen inzwischen nach Produkten, die perspektivisch CO₂-neutral

hergestellt werden, beispielsweise im Automobilzulieferbereich. Nun stehen die Unternehmen aber vor der Herausforderung, die theoretischen Pläne ins reale Leben transferieren zu müssen. Und genau da sehe ich unserer Aufgabe als Westnetz. Wir unterstützen die gesamte Region und sagen: Wir starten mit dem Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur und können Euch als Unternehmen an diese Infrastruktur anbinden. Mehr noch: Die Entwicklung der Region um Arnsberg in Bezug auf Klimaneutralität dient auch als Blaupause für andere Regionen. Ein Beispiel ist der Nachbarkreis Soest: Dort ist man bereits auf uns aufmerksam geworden und denkt darüber nach, Teile des Projekts zu übernehmen.

Redaktion: Warum kommt im Rahmen des Projektes HydroNet auch türkiser Wasserstoff zum Einsatz? Welche Vorteile sind damit verbunden?

Dr. Breuer: Neben der Elektrolyse setzen wir bewusst auch auf die Pyrolysetechnik, weil wir den Unternehmen demonstrieren wollen, was bereits heute umsetzbar ist. Wir betrachten die Pyrolyse als eine zügig einsetzbare Brückentechnologie, weil wir den Energiebedarf nicht unmittelbar und ausschließlich mit grünem Wasserstoff decken können. Die Gegebenheiten sind günstig: Einer unserer Partner, ein Entsorgungsbetrieb aus Arnsberg, verfügt am Standort seiner Müllverbrennungsanlage über Rohstoffe in Form von Abfallresten, die sich sehr gut für die Pyrolyse nutzen

lassen. So wird also ein Rohstoff, in diesem Fall Methan, nicht nur einer weiteren Verwertung zugeführt, sondern er bildet darüber hinaus die Grundlage für eine klimaneutrale Energieerzeugung. Der dann anfallende feste Kohlenstoff wiederum ist keinesfalls ein Abfallprodukt, sondern vielmehr ein wertvoller Rohstoff, den wir im Rahmen einer Verbundpartnerschaft für die Verwendung im Straßenbau zur Verfügung stellen. Je nach Menge können wir aber auch einen Reifenhersteller im nahen Dortmund mit dem Kohlenstoff beliefern. Der Nachweis über den nachhaltigen Einsatz aller Komponenten ist übrigens verbindlich vorgeschrieben für die Förderfähigkeit des Projekts.

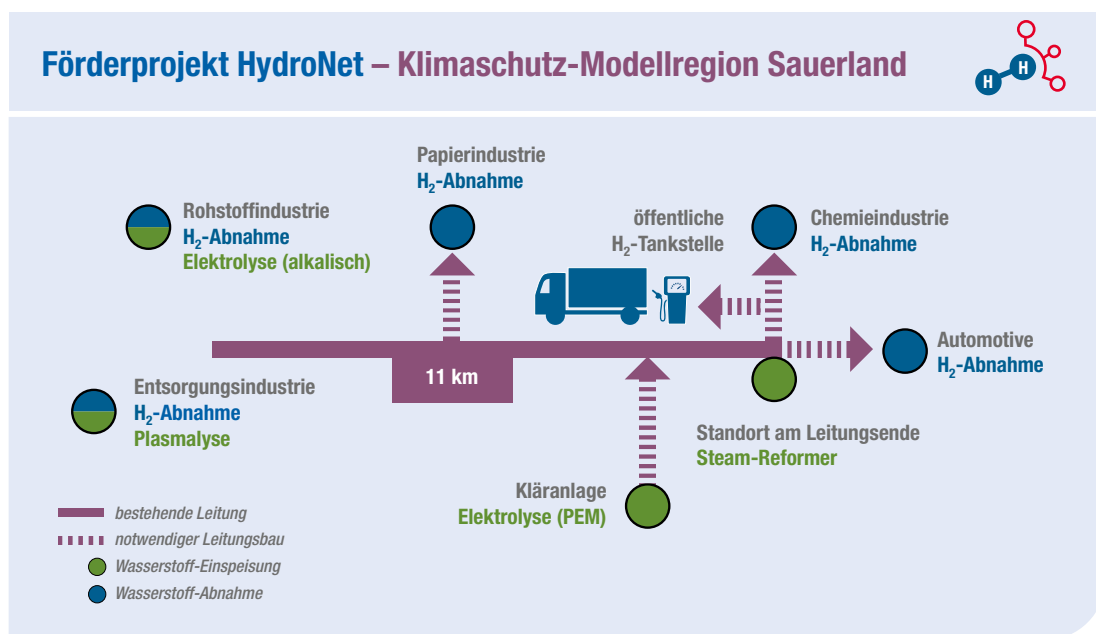
Redaktion: Wie ist derzeit der Status quo des Projektes, wann beginnt die Produktion?

Dr. Breuer: Wir haben im Februar 2022 die Projektskizze an das Regierungspräsidium in Arnberg übergeben. Jetzt hoffen wir, dass es uns bis zum Herbst möglich ist, auch den Förderantrag einzureichen. Sollte dieser bewilligt werden, könnten wir Anfang 2023 offiziell starten. Für die Vorbereitung inklusive Genehmigungsverfahren und der erneuten Prüfung der Infrastruktur rechnen wir mit zwei bis drei Jahren. Wir werden umfangreiche Brenntests und 3D-Feuer-

raumsimulationen durchführen, ehe die Unternehmen in eine Umstellung auf Wasserstoff gehen. Insofern planen wir, im Jahr 2026 mit der Wasserstoffversorgung zu beginnen.

Mir ist dabei wichtig zu betonen, dass wir mit diesem Projekt de facto die gesamte Region abgeholt haben. Wir beginnen zwar mit einer Insellösung. Aber die Möglichkeit, perspektivisch an den derzeit in Planung befindlichen H₂-Backbone der Fernleitungsnetzbetreiber angeschlossen zu werden, besteht. Wir können dieses Projekt auf nahezu jede Region in Deutschland übertragen. Denn eines ist uns klargeworden: Unternehmen haben landesweit den mehr oder weniger selben Druckpunkt: Sie wollen CO₂ reduzieren, sie wollen Wasserstoff einsetzen, aber sie wissen noch nicht, wie sie an den Rohstoff kommen. Hier können wir zwar nicht den Schalter umlegen und alle Unternehmen sofort auf 100 Prozent Wasserstoff umstellen, aber wir fangen an und gehen die ersten Schritte. Und zwar mit der Perspektive, dies auch in viele weitere Regionen zu übertragen. ■

»
Unser Projekt ist kein Unikum, sondern lässt sich auf viele weitere Regionen übertragen! «



Quelle: Westnetz GmbH

Übersicht über das Grundgerüst der Klimaschutz-Modellregion Sauerland

Mehr Informationen zum Thema finden Sie unter

www.dvgw.de