

NACHHALTIGE INDUSTRIE

Forschung | Technologie | Wirtschaft



Hoffnungsträger Wasserstoff

Hydrogen

H₂

zero emission

TITELTHEMA

Der Rechtsrahmen
für Wasserstoff

ENTWICKLUNG

Mit Wasserstoff zur klima-
neutralen Stahlproduktion

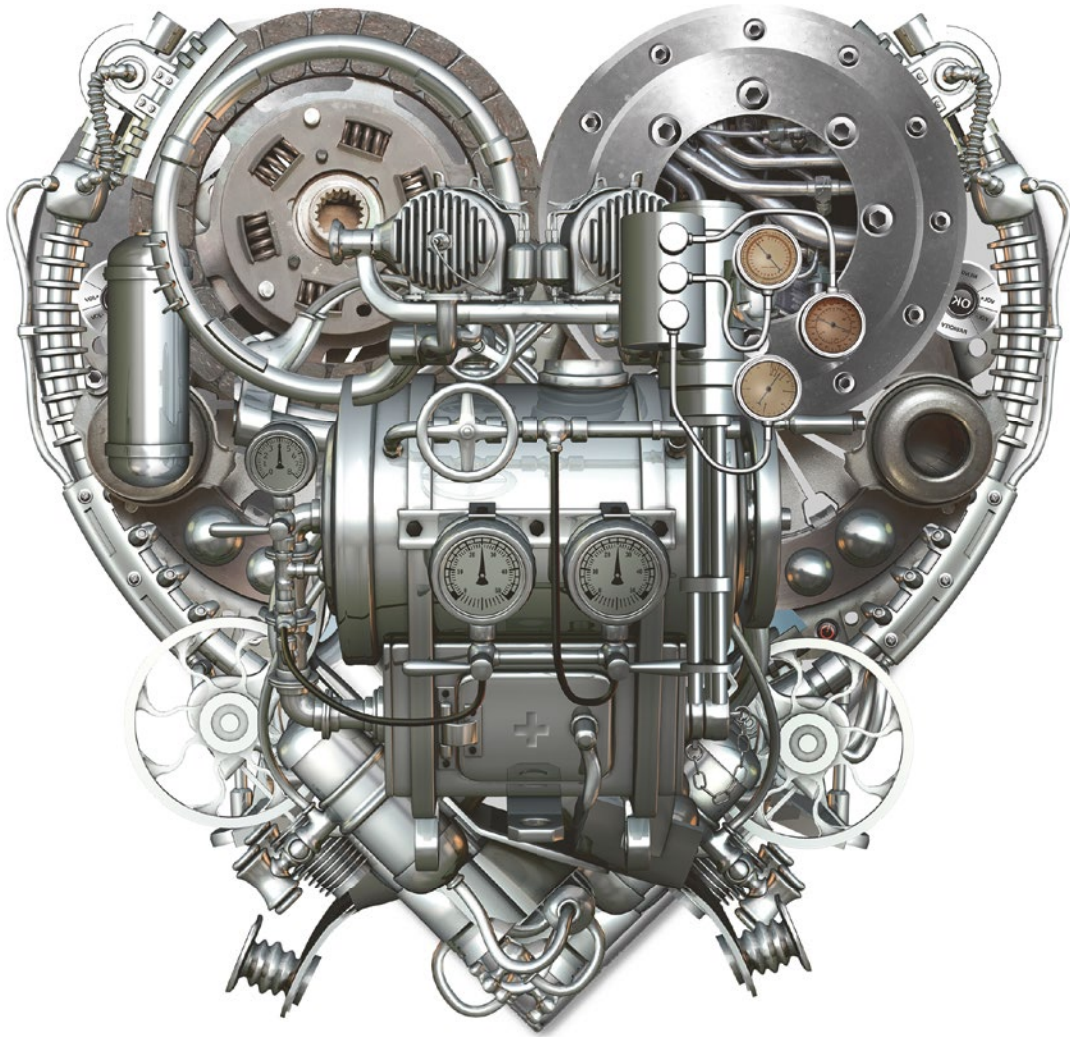
PRAXIS

Die Zukunft der emissions-
freien Entsorgung



Springer Vieweg

Schweizer Präzision. Jetzt auch in Deutschland.



© 2020 creative republic / shutterstock



Das neue Magazin **maschinenbau** ist die Deutschland-Ausgabe des erfolgreichen Schweizer Industriemagazins. Es informiert mit Fachbeiträgen, Anwenderreportagen, Interviews und Nachrichten rund um das gesamte Thema Maschinenbau sowie über neuste Verfahren & Trends wie Industrie 4.0 und andere progressive Technologien.

Profitieren Sie von dem umfassenden Wissensvorsprung. Mit 6 Ausgaben im Jahr, inklusive E-Magazin und freiem Zugriff auf das Online-Fachartikel-Archiv.

Ihr persönliches, kostenloses Leseexemplar finden Sie unter:

meinfachwissen.de/maschinenbau



maschinenbau

Die Deutschland-Ausgabe des Schweizer Industriemagazins

Jetzt kostenlos testen!



Martina Klein
Redakteurin

KURSWECHSEL

Liebe Leserinnen, liebe Leser, höher schneller, weiter – immer mehr Menschen, immer mehr Konsum, immer mehr Wohlstand. Unser Wirtschaftssystem – und damit auch die Industrie – ist auf permanentes Wachstum ausgerichtet. Aber ist das mit Klimaschutz vereinbar? Lesen Sie auf unserer letzten Doppelseite zwei unterschiedliche Standpunkte zu dieser Frage. Meiner Meinung nach widerspricht Linearität den natürlichen Prinzipien. Die Natur basiert auf Gleichgewichten und vor allem auf Kreisläufen. Darüber hinaus denke ich, die Frage ist die falsche. Es geht nicht darum, ob Wachstum und Klimaschutz zusammengehen, sondern es ist vielmehr eine Frage der Prioritäten. Nachhaltigkeit muss an die erste Position rücken. Und das nicht nur aus moralischen Gründen, es liegt in unserem ureigensten Interesse, denn nur so ist langfristiger Erfolg möglich.

Dennoch kann und wird sich unsere auf wirtschaftliches Wachstum ausgerichtete Welt nicht einfach so grundlegend ändern. Dem Trägheitsgesetz zufolge verharren Körper in ihrem Bewegungszustand. Um den Kurs zu ändern, ist Energie nötig, in dem Fall in Form eines festen Willens und entsprechender Verhaltensänderungen, auf politischer, wirtschaftlicher und privater Ebene – und das weltweit.

Volle Kraft in Richtung Nachhaltigkeit! Wir zeigen Ihnen in „Nachhaltige Industrie“ Wege auf, wie das gelingen kann. Lesen Sie zum Beispiel in unserem Beitrag ab Seite 18 welche Perspektiven das leichteste der chemischen Elemente in der Schwerindustrie eröffnet. Insgesamt haben wir in dieser Ausgabe den Schwerpunkt auf den Hoffnungsträger Wasserstoff gelegt. Dabei ist er kein alleiniger Heilsbringer, sondern ein vielversprechender Baustein in einem integrierten Energiesystem. Neue Technologien und mehr Vernetzung sind gefragt.

Passend dazu nehmen wir in der nächsten Ausgabe unseres Magazins die Digitalisierung als Enabler für Nachhaltigkeit in den Fokus. Übrigens erscheint „Nachhaltige Industrie“ ab 2022 quartalsweise, das können Sie sich schon einmal vormerken.

Und nun wünsche ich Ihnen eine interessante Lektüre – vielleicht fangen Sie das Heft ja heute mal von hinten an?

Ihre

Martina Klein

INHALT

EDITORIAL

TITELTHEMA

Charlotte Kreuter-Kirchhof

(Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf)

DER RECHTSRAHMEN FÜR WASSERSTOFF

Christiane Köllner

WAS VERBIRGT SICH HINTER DER H₂-FARBPALETTE

ENTWICKLUNG

Marie Jaroni

(thyssenkrupp Steel)

WASSERSTOFF: HOFFNUNGSTRÄGER FÜR EINE
KLIMANEUTRALE STAHLPRODUKTION

PRAXIS

Johannes F. Kirchhoff

(Kirchhoff Gruppe)

DIE ZUKUNFT DER EMISSIONSFREIEN ENTSORGUNG

3 FRAGEN AN: MICHAEL ZAHLTEN

(Hamburg Institute for Innovation, Climate Protection and
Circular Economy)

Dirk Becker / Falko Berg / Martin Rothbart / Raoul Schroeder

(AVL List)

WIRTSCHAFTLICHKEIT VON SCHWEREN

NUTZFAHRZEUGEN MIT WASSERSTOFFANTRIEB

3 REGULIERUNG

Rainer Friedel

(Control Union Academy)

ZERTIFIZIERUNG JA, ABER EFFIZIENTER UND
TRANSPARENTER

STANDPUNKTE

Klaus Bauknecht

(IKB Deutsche Industriebank)

Reiner Klingholz

(Demografie-Experte und Buchautor)

THEMA: MIT WACHSTUM GEGEN DEN KLIMAWANDEL?

NEWS

IMPRESSUM

40

48

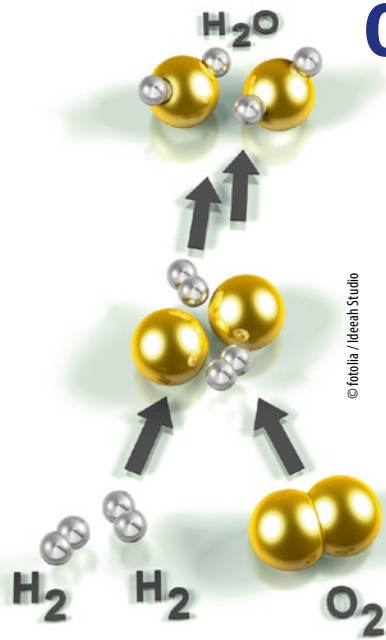
6

50

26

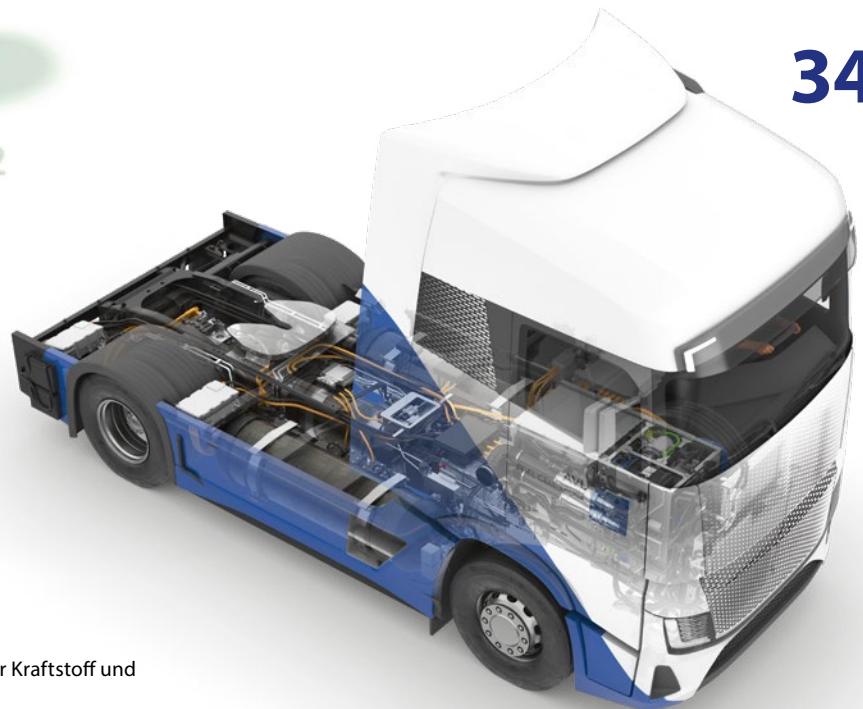
33

34



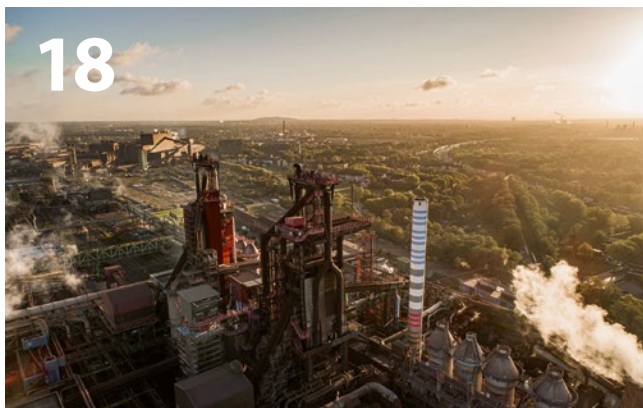
► Der Rechtsrahmen für Wasserstoff

Der Aufbau und Ausbau der Wasserstoffmärkte kann nur mithilfe eines regulatorischen Rahmens weiterentwickelt werden.



► Wirtschaftlichkeit von schweren Nutzfahrzeugen mit Wasserstoffantrieb

Grüner Wasserstoff wird in der Zukunft als sauberer Kraftstoff und Energieträger eine zentrale Rolle einnehmen.



► Wasserstoff: Hoffnungsträger für eine klimaneutrale Stahlproduktion

thyssenkrupp Steel stellt sich der Herausforderung, wie sich Stahl in Zukunft klimaneutral erzeugen lässt.



► Die Zukunft der emissionsfreien Entsorgung

Die FAUN-Gruppe entwickelt Fahrgestelle mit einem System aus Wasserstofftanks und Brennstoffzellen.



FORSCHUNG ZUR ENERGIEZUKUNFT AUF OFFENER SEE

1 Im Rahmen des Forschungsprojekts H₂Wind entwickeln Forscher des Fraunhofer IWU bis 2025 Elektrolyseure und Wasserstoffspeicher, die im Meer betrieben werden können. „Die Wasserstofferzeugung mit grünem Strom auf dem Meer hat einige Vorteile. Andererseits findet die Elektrolyse auf offener See unter robusten Bedingungen statt. Darauf müssen das Gesamtsystem sowie die einzelnen Komponenten ausgelegt werden, damit sie zuverlässig über viele Jahre funktionieren und mit ihnen eine maximale Ausbeute der Windenergie erreicht wird“, umreißt Mark Richter, Hauptabteilungsleiter „Zukunftsfabrik“ am Fraunhofer IWU, die Herausforderungen. Die Wissenschaftler entwickeln deshalb einen Forschungs-Stack, in dem neuartige Bipolarplatten für die Anwendung in der Offshore-Elektrolyse erprobt werden. Gesucht wird nach geeigneten Materialien und deren gezielter Anwendung für den Einsatz im Offshore-Bereich. Neben effizienten und zuverlässigen Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff ist die Speicherung ebenso von Bedeutung. Hierzu erfolgen im Projekt H₂Wind umfangreiche For-



© pixabay/David Will

schungs- und Entwicklungsarbeiten zu Röhrenspeichern für den Offshore-Einsatz. Dafür bauen die Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer Hydrogen Lab in Görlitz einen entsprechenden Röhrenspeicher auf, um verschiedene Verfahren und Szenarien für einen optimalen Betrieb zu testen.

H₂Wind erhält eine Förderung von 3,5 Millionen Euro und ist ein Teilvorhaben von H₂Mare, einem der drei Wasserstoff-Leitprojekte des Bundes. //

► Mehr Informationen unter: <https://www.iwu.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/PM-2021-H2Wind-H2Mare-Windkraft-Elektrolyse-auf-dem-Meer.html>

F-CELL AB 2022 AUF DER STUTTGARTER MESSE

2 Die internationale Fachveranstaltung für die Wasserstoff- und Brennstoff-

zellenbranche f-cell findet ab nächstem Jahr auf der Messe Stuttgart statt: Am 4. und 5. Oktober 2022 bietet sie Besuchern erneut einen Überblick über den Stand der

Forschung sowie konkrete Anwendungsbeispiele aus der Praxis. Das Format beinhaltet neben einer internationalen Fachmesse eine Konferenz, interaktive Workshops sowie

eine Abendveranstaltung mit Award-Verleihung. „Die f-cell ist für alle, die eine sichere Energieversorgung, industrielle Anwendungen in Produktionsprozessen und



© Landmesse Stuttgart



© HZWO e.V. / Thomas Höpner (VideoVision)



© DLR (CC BY-NC-ND 3.0)

saubere Mobilität im Fokus haben, ein unverzichtbarer Branchentreff, von dem Impulse in die ganze Welt ausgehen“, erklärt Roland Bleinroth, Geschäftsführer der Messe Stuttgart. Auf der in über 20 Jahren etablierten Leitveranstaltung treffen sich Entwickler, herstellende Unternehmen, Experten aus Forschungszentren sowie Anwender auf der Suche nach konkreten Lösungen, aber auch Vertreter aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Bleinroth betont: „Der Bedarf für eine international führende Plattform wie die f-cell steigt, denn die Entwicklungen im Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Bereich schreiten rasant voran und das aktuelle Investitionsverhalten staatlicher Stellen und Unternehmen befeuert dies.“ Das Team des bisherigen Veranstalters Peter Sauber Agentur wechselte ebenfalls zur Messe Stuttgart. //

► *Mehr Informationen unter:* <https://www.messe-stuttgart.de/f-cell/newsroom/de-tails/489330/de/#/de/pressemitteilung/f-cell-geht-den-naechsten-schritt-489330>

3 CHEMNITZ WIRD ZENTRUM FÜR WASSERSTOFF-TECHNOLOGIE

Im Standortwettbewerb zum Technologie- und Innovationszentrum Wasserstoff des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat der Standort Chemnitz gewonnen. Das Hydrogen and Mobility Innovation Center (HIC) in Chemnitz kann nun gemeinsam mit drei weiteren deutschen Standorten mit dem Aufbau des Wasserstofftechnologie-zentrums beginnen. Neben Chemnitz werden die Standorte Duisburg, das Schiff- und Luftfahrtcluster Norddeutschland sowie Pöffenhausen Teil des nationalen Wasserstofftechnologie-zentrums. 37.000 m² groß soll das neue Wasserstoffzentrum in Chemnitz werden. Auf dem Technologie-Campus in direkter Nachbarschaft der TU Chemnitz, der Fraunhofer-Institute IWU und ENAS sowie Teststrecken für Straßen- und Schienenfahrzeuge kann das HIC mithilfe der Förderung des BMVI zukünftig die gesamte Wertschöpfungskette

von der Brennstoffzelle bis zu Gesamtfahrzeugen abdecken. Nicht zuletzt bieten die großzügigen Flächen auf dem HIC-Gelände auch großes Potenzial für die Ansiedlung weiterer Partner. Der Bund fördert den Aufbau des Zentrums mit einem Gesamtbudget von 290 Millionen Euro. //

► *Mehr Informationen unter:* www.hzwo.eu

4 KOOPERATION FÜR WASSERSTOFF-ANTRIEBE IN OFF-HIGHWAY-FAHRZEUGEN

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt gemeinsam mit dem Kölner Motorenbauer Deutz neue Ansätze, um Off-Highway-Fahrzeuge mit Wasserstoff zu betreiben. „Wir bündeln unsere Kompetenzen und Forschungsanstrengungen, um die Serienreife des Wasserstoffantriebs für Off-Highway-Anwendungen noch schneller voranzutreiben“, sagt Markus Müller, Chief Technology Officer von Deutz. Die Partner untersuchen in einem ersten Schritt die technischen und

marktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen von Wasserstoff-Fahrzeugen für Off-Highway-Anwendungen, da diese jeweils für einen speziellen Einsatzzweck ausgelegt sind und sich beim Energiebedarf, der maximalen Leistung, dem benötigten Energiespeicher beziehungsweise Tankvolumen und den Betriebsstunden sowie den Anforderungen der Nutzer unterscheiden. Daneben spielt die Betankung eine wichtige Rolle, da die Energiedichte von Wasserstoff geringer ausfällt als bei Diesel. Die Tankvorgänge müssen zudem in die bestehenden Betriebsabläufe integriert werden. Das könnte beispielsweise über mobile, intelligente und vernetzte Tanksysteme oder mobile und autonome Tankroboter geschehen.

► *Mehr Informationen unter:* https://www.dlr.de/content/de/artike/news/2021/03/20210826_dlr-und-deutz-schliessen-kooperation-zu-wasserstoff-anwendungen.html

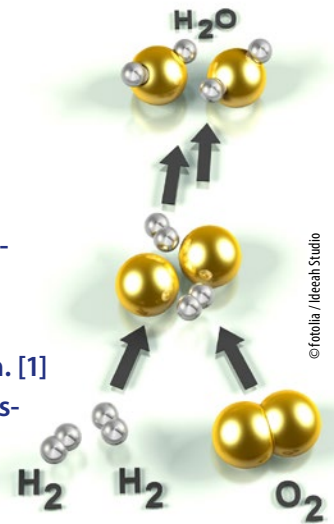
DER RECHTSRAHMEN FÜR WASSERSTOFF

CHARLOTTE KREUTER-KIRCHHOF

Als Reaktion auf die Klimaschutzentscheidung des Bundesverfassungsgerichts vom März 2021 verschärft Deutschland seine Klimaschutzziele. Die Treibhausgasemissionen sollen bis 2030 im Vergleich zu 1990 um mindestens 65 % und bis 2040 um mindestens 88 % gesenkt werden. Im Jahr 2045 soll Treibhausgasneutralität erreicht sein. Anschließend sollen negative Emissionen erzielt werden. [1] Auch die EU verstärkt den Klimaschutz: Bis zum Jahr 2030 sollen die Treibhausgasemissionen um 55 % reduziert werden. [2]

Dieser Weg zur Treibhausgasneutralität wird ohne Wasserstoff nicht gelingen. Fossile Brennstoffe sollen vorrangig durch den Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien ersetzt werden. Allein auf diesem Weg können die Treibhausgasemissionen aber nicht auf null reduziert werden: Strom lässt sich bislang nur begrenzt speichern. Zudem gibt es Bereiche, die aus technischen Gründen kaum elektrifiziert werden können. So werden die Stahl- und die Chemieindustrie, der Flugverkehr, die Schifffahrt und in Teilen der Lastverkehr ohne den Einsatz von Wasserstoff nicht treibhausgasneutral werden können. [3] Wasserstoff zählt deshalb zu den Schlüsselementen der Energiewende. (Abb. 1)

Der Bedarf an Wasserstoff wird im Zuge der Transformation zur Treibhausgasneutralität erheblich steigen. [4] Deshalb muss die Produktion in großen, kostenwirksamen Erzeugungsanlagen ausgeweitet werden. Die notwendige Infrastruktur ist aus- und aufzubauen, um Wasserstoff verteilen, speichern und liefern zu können. Auch Anlagen der Endnutzer insbesondere in der Industrie sind weiterzuentwickeln. Diese Transformation bedarf technologischer Innovationen und umfangreicher Investitionen.



► Abb. 1 / Klimaneutraler Wasserstoff ist ein Schlüsselement der Energiewende.

Erneuerbarer Wasserstoff

Der Aufbau der Wasserstoffwirtschaft dient insbesondere der Reduktion von Treibhausgasemissionen. Ziel muss es daher sein, klimaneutralen Wasserstoff zu nutzen. Maßgeblich dafür ist die Art und Weise, wie Wasserstoff hergestellt wird. [5]

Wasserstoff, der aus fossilen Brennstoffen gewöhnlich aus Erdgas im sogenannten Dampfreformierungsverfahren hergestellt wird, wird als grauer oder fossiler Wasserstoff bezeichnet. Seine Produktion ist mit vergleichsweise hohen CO₂-Emissionen verbunden. Diese Technologie kann mit Methoden zur Abscheidung und Speicherung von Kohlenstoff (Carbon Capture and Storage – CCS) oder zur Kohlenstoffabscheidung und -nutzung (Carbon Capture and Use – CCU) verbunden werden. Der Umfang, in dem dieser sogenannte blaue Wasserstoff zu einer Reduktion von Treibhausgasemissionen beiträgt, hängt davon ab, inwieweit die Gesamtbilanz der verbundenen Technologien



© Christian Charisius / dpa / picture alliance

► Abb. 2 / Ähnlich wie Erdgas könnte Wasserstoff netzwerkunabhängig mittels **Schiffen oder Lkws** transportiert werden.

Der Weg zur Treibhausgasneutralität wird ohne Wasserstoff nicht gelingen.

langfristig klimaneutral ist. Der Einsatz von CCS und CCU ist nach wie vor mit technologischen, auch ökologischen Fragen verbunden. Türkiser Wasserstoff wird demgegenüber im Wege der thermischen Spaltung von Methan gewonnen (Methanpyrolyse). Dabei entsteht fester Kohlenstoff.

Beim sogenannten grünen, erneuerbaren oder sauberen Wasserstoff wird im Wege der Elektrolyse Wasser mittels Strom aus erneuerbaren Energien in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Da der Strom ausschließlich aus erneuerbaren Quellen stammt, wird bei der Produktion von grünem Wasserstoff kein CO₂ emittiert. Grüner Wasserstoff ist damit ein klimaneutraler Energieträger. Aus Sicht der Bundesregierung ist deshalb nur grüner Wasserstoff dauerhaft nachhaltig. Auch die EU legt ihre Priorität auf die Entwicklung von erneuerbarem Wasserstoff. Kurz- und mittelfristig werden aber auch blauer und türkiser Wasserstoff genutzt werden. [6] Erneuerbaren Wasserstoff zu produzieren ist gegenwärtig mit erheblich höheren Kosten ver-

bunden als die Produktion von fossilem Wasserstoff. Allerdings sinken die Kosten für die Elektrolyseure; gleichzeitig ist mit steigenden CO₂-Preisen zu rechnen. [7] Dies wird den Markthochlauf von grünem Wasserstoff begünstigen.

Anforderungen an den Rechtsrahmen für Wasserstoff

Bislang regeln das nationale und das europäische Recht nur punktuell die Erzeugung, den Transport [8] und die Nutzung von Wasserstoff. Der weitere Aufbau und Ausbau der Wasserstoffmärkte wird aber wesentlich auch von den rechtlichen Rahmenbedingungen für die notwendigen Innovationen und Investitionen abhängen. Da Investitionen in Wasserstoffprojekte insbesondere wegen ihrer Pfadabhängigkeit auf die Folgerichtigkeit und Verlässlichkeit des Rechts angewiesen sind, muss der Rechtsrahmen für Wasserstoff verlässlich und langfristig ausgerichtet sein. Das Recht muss Innovationen fördern, deshalb technologieoffen sein. Die Sicherheit der Anlagen zur Erzeugung, für den Transport, die Speicherung und Verwendung von Wasserstoff ist auf einem hohen Niveau zu gewährleisten. Nur dies schafft Vertrauen in die neuen Technologien. Es müssen

Messmethoden und Bewertungskriterien entwickelt und technische Normen und Standards festgelegt werden, die international anerkannt sind. [9] Zudem sind Regelungen zur Kostentragung festzulegen. Zur Regulierung europäischer und globaler Wasserstoffmärkte bedarf es im Mehrebenensystem des Rechts eines kohärenten Rechtsrahmens, in dem das nationale, das europäische und das internationale Recht aufeinander abgestimmt sind. Ziel der rechtlichen Regelungen muss es sein, eine verlässlich klimawirksame und umweltfreundliche, sichere und bezahlbare Versorgung mit Wasserstoff zu gewährleisten.

Der Aufbau der Wasserstoffwirtschaft befindet sich noch in der Entwicklung. Dies gilt auch für den Rechtsrahmen für Wasserstoff. Die nationale und die europäische Wasserstoffstrategie legen Leitlinien für diese Rechtsentwicklung fest. Dieser Handlungsrahmen bietet Orientierungspunkte für private Investitionen und technologische Innovationen.

Nationale Wasserstoffstrategie

Die nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung will Wasserstoff als vielseitig einsetzbaren Energieträger, als flexiblen Energiespeicher und als wesentliches Element der Sektorkopplung fördern, um so das Potenzial von Wasserstoff auf dem Weg der Dekarbonisierung zu nutzen. [10] Deutschland soll zu einem Vorreiter bei Wasserstofftechnologien werden. Eingerichtet wurde ein Nationaler Wasserstoffrat, der die Umsetzung der Wasserstoffstrategie mit seinem unabhängigen Rat begleitet.

Förderprioritäten

Die nationale Wasserstoffstrategie setzt klare Prioritäten: Der Schwerpunkt der Förderung liegt auf den Bereichen, die bereits jetzt nahe an der Wirtschaftlichkeit liegen, sowie den Bereichen, die nicht im Wege der Elektrifizierung dekarbonisiert werden können. Hierzu zählen insbesondere Industrien mit prozessbedingten Emissionen wie in der Stahl- und Chemieindustrie sowie bestimmte Bereiche des Verkehrs wie der Luft- und Seeverkehr, in Teilen auch der Schwerlastverkehr.

Heimatmarkt

Die Bundesregierung hält eine starke und nachhaltige Produktion und Verwendung von Wasserstoff im Inland für unverzichtbar. Bis zum Jahr 2030 sollen 5 GW Gesamtleistung einschließlich der dafür erforderlichen Offshore- und Onshore-

Für diesen Ausbau und Umbau der Infrastruktur muss der regulatorische Rahmen weiterentwickelt werden.

Energiegewinnung entstehen. Spätestens bis 2040 sollen weitere 5 GW zugebaut werden. Um die angestrebten strengeren Klimaschutzziele zu erreichen, werden diese bisherigen Ausbauziele voraussichtlich erhöht werden müssen.

Europäische und globale Märkte

Auch bei einem deutlichen Ausbau der inländischen Wasserstoffproduktion werden die in Deutschland benötigten Mengen an Wasserstoff überwiegend importiert werden müssen. Es ist damit zu rechnen, dass sich in den nächsten zehn Jahren ein europäischer und globaler Wasserstoffmarkt herausbilden werden. Insbesondere in der Nordsee gibt es ertragreiche Standorte für Windenergie sowie in Südeuropa für Fotovoltaik und Wind. Gemeinsam mit den Nord- und Ostsee-Anrainerstaaten soll deshalb ein verlässlicher Regulierungsrahmen für Offshore-Windenergie geschaffen werden. Auch die Zusammenarbeit mit Mitgliedstaaten der EU in Südeuropa soll intensiviert werden. Nicht zuletzt ist die notwendige Infrastruktur in den Mitgliedstaaten europäisch auszurichten.

Den Bedarf an (grünem) Wasserstoff wird Deutschland auch auf globalen Märkten decken. Der internationale Handel mit Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten birgt Chancen für eine nachhaltige Entwicklung. Anknüpfend an bestehende Energiepartnerschaften und an die Zusammenarbeit mit den Partnerländern der deutschen Entwicklungszusammenarbeit sollen Zertifizierungsstandards für die nachhaltige Produktion von Wasserstoff entwickelt sowie Importrouten und Wasserstofftechnologien erprobt werden. Die Produktion von grünem Wasserstoff kann auch zum Impulsgeber für den schnellen Aufbau von Erzeugungskapazitäten für erneuerbare Energien werden.

Transport- und Verteilinfrastruktur

Wasserstoff kann über Pipelines oder in Teilen auch netzunabhängig mit Lkws oder Schiffen transportiert werden. (Abb. 2) Diese sind dann auf eine spezifische Infrastruktur (LNG-Ter-



© Turbowerner / Fotolia

► Abb. 3 / Das **weitverzweigte Erdgasnetz** mit daran angeschlossenen Gasspeichern könnte in Teilen auch für Wasserstoff genutzt werden.

minals) angewiesen. In Deutschland besteht ein weitverzweigtes Erdgasnetz mit daran angeschlossenen Gasspeichern, das in Teilen auch für Wasserstoff genutzt werden könnte. (Abb. 3) Nach dem Willen der Bundesregierung soll die bestehende Infrastruktur für den Transport und die Verteilung (auch) von Wasserstoff weiterentwickelt werden. Zudem sollen spezifische Wasserstoffnetze aus- und zugebaut werden. Bestehende Gasleitungen, die nicht mehr benötigt werden, könnten zu reinen Wasserstoffinfrastrukturen umgewidmet werden. Für diesen Ausbau und Umbau der Infrastruktur muss der regulatorische Rahmen weiterentwickelt werden.

Aktionsplan Wasserstoff

Teil der nationalen Wasserstoffstrategie ist ein Aktionsplan mit Maßnahmen, die bis zum Jahr 2023 ergriffen werden sollen. Unter anderem sollen im Bereich der Erzeugung CO₂-Emissionen einen Preis erhalten. So legt der nationale Brennstoffemissionshandel für den Verkehr und für Wärme seit Beginn des Jahres feste CO₂-Preise für fossile Kraft- und Brennstoffe fest. Ein funktionsfähiges Handelssystem wird allerdings erst nach 2026 entstehen. Die EEG-Umlage soll gesenkt, Wasserstoff von der EEG-Umlage befreit werden. [11] Angesichts der im europäischen und internationalen Vergleich sehr hohen Stromkosten in Deutschland werden diese Maßnahmen allerdings nicht ausreichen. Das System der Umlagen, Abgaben und

Steuern im Strombereich muss grundlegend reformiert werden. Die Bundesregierung will zudem Elektrolyseure fördern und Ausschreibungsmodelle für die Herstellung von „grünem Stahl“ prüfen. Flächen, die für die Offshore-Produktion von Wasserstoff und PtX genutzt werden können, sollen verstärkt ausgewiesen werden.

Im Bereich der Industrie soll unter anderem ein Pilotprogramm für „Carbon Contracts for Difference“ (CCfD) insbesondere für die Stahl- und Chemieindustrie entwickelt werden, um Investitionssicherheit und Anreize zur Dekarbonisierung zu schaffen. Im Zuge dieser Verträge garantiert die Bundesregierung die Förderung der Differenzkosten zwischen den tatsächlichen Vermeidungskosten oder einem projektbezogenen, vertraglich definierten CO₂-Preis und den Emissionspreisen des europäischen Emissionshandelssystems (EU-EHS). Sollte der EHS-Preis über den vertraglich geregelten CO₂-Preis steigen, sind die Unternehmen verpflichtet, die Differenz an den Bund zu zahlen. Daneben wird eine Nachfragequote für klimafreundliche Grundstoffe wie etwa grünen Stahl geprüft.

Wasserstoffprojekte

Die Bundesregierung wählte 62 Großprojekte aus, die im Rahmen eines gemeinsamen europäischen Wasserstoffprojekts (so genanntes Wasserstoff-IPCEI – Important Projects of Common European Interest) gefördert werden. (Abb. 4) [12] Hierzu gehö-

Die Europäische Kommission rechnet damit, dass bis 2050 ein Viertel des Stroms aus erneuerbaren Quellen für die Erzeugung von sauberem Wasserstoff verwendet wird.

ren unter anderem Erzeugungsanlagen, die zusammen 2 GW Elektrolyseleistung für die Produktion von grünem Wasserstoff erbringen sollen, sowie Wasserstoffleitungen mit einer Länge von rund 1.700 km. Zudem werden Projekte zur Dekarbonisierung in der Stahl- und Chemieindustrie sowie im Bereich der Mobilität zur Entwicklung und Herstellung von Brennstoffzellen-Systemen und Fahrzeugen sowie der Aufbau einer vernetzten Wasserstoff-Betankungsinfrastruktur gefördert.

Europäische Wasserstoffstrategie

Kurz nach Veröffentlichung der deutschen Wasserstoffstrategie legte die Europäische Kommission die „Wasserstoffstrategie für ein klimaneutrales Europa“ vor. [13] Wasserstoff zählt hiernach zu den „obersten Prioritäten“ bei der Verwirklichung des europäischen Green Deal. Die EU entwirft deshalb einen Fahrplan für die Entwicklung eines europäischen Wasserstoffmarkts in drei Phasen.

Einführungsphase bis 2024

In der Einführungsphase von 2020 bis 2024 sollen Elektrolyseure für die Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff mit einer Elektrolyseleistung von mindestens 6 GW installiert und bis zu 1 Mio. t erneuerbarer Wasserstoff erzeugt werden. Die Elektrolyseure sollen mit Energie aus lokalen erneuerbaren Energiequellen betrieben und neben bestehenden Nachfragezentren installiert werden. Zudem sollen Wasserstofftankstellen errichtet werden. (Abb. 5) Bestehende Wasserstoffherstellungsanlagen sollen mit Technologien zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung nachgerüstet werden. Mit der Planung der Fernleitungsinfrastruktur für große und mittlere Entfernungen soll begonnen werden.

Entwickelt werden soll ein Rechtsrahmen für einen gut funktionierenden Wasserstoffmarkt. Anreize auf der Angebots-

und der Nachfrageseite sollen die Kostenlücke zwischen fossilem und erneuerbarem Wasserstoff schließen. Diese Förderung muss mit dem europäischen Beihilfenrecht vereinbar sein. [14] Konkrete Pläne für große Wind- und Solaranlagen für die Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff sollen durch günstige Rahmenbedingungen rascher umgesetzt werden.

Aufbauphase bis 2030

In einer zweiten Phase von 2025 bis 2030 wird ein wettbewerbsfähiger EU-Wasserstoffmarkt aufgebaut. Bis zum Jahr 2030 sollen Elektrolyseure mit einer Leistung von mindestens 40 GW installiert und bis zu 10 Mio. t erneuerbarer Wasserstoff erzeugt werden. Die Erzeugung von Wasserstoff soll in dieser Phase nach und nach wettbewerbsfähig werden. Gleichzeitig soll die Nachfrage in der Industrie weiter gefördert werden. Die Möglichkeit, erneuerbaren Wasserstoff zur Speicherung von Strom einzusetzen, soll zunehmend zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit beitragen. Mithilfe von Wasserstofftransporten und Wasserstoffspeicheranlagen soll Energie in verschiedenen Regionen bereitgestellt werden (Energiepufferung). Bestehende Anlagen zur Erzeugung von fossilem Wasserstoff werden auch in der zweiten Phase weiter mit Anlagen für die CO₂-Abscheidung nachgerüstet.

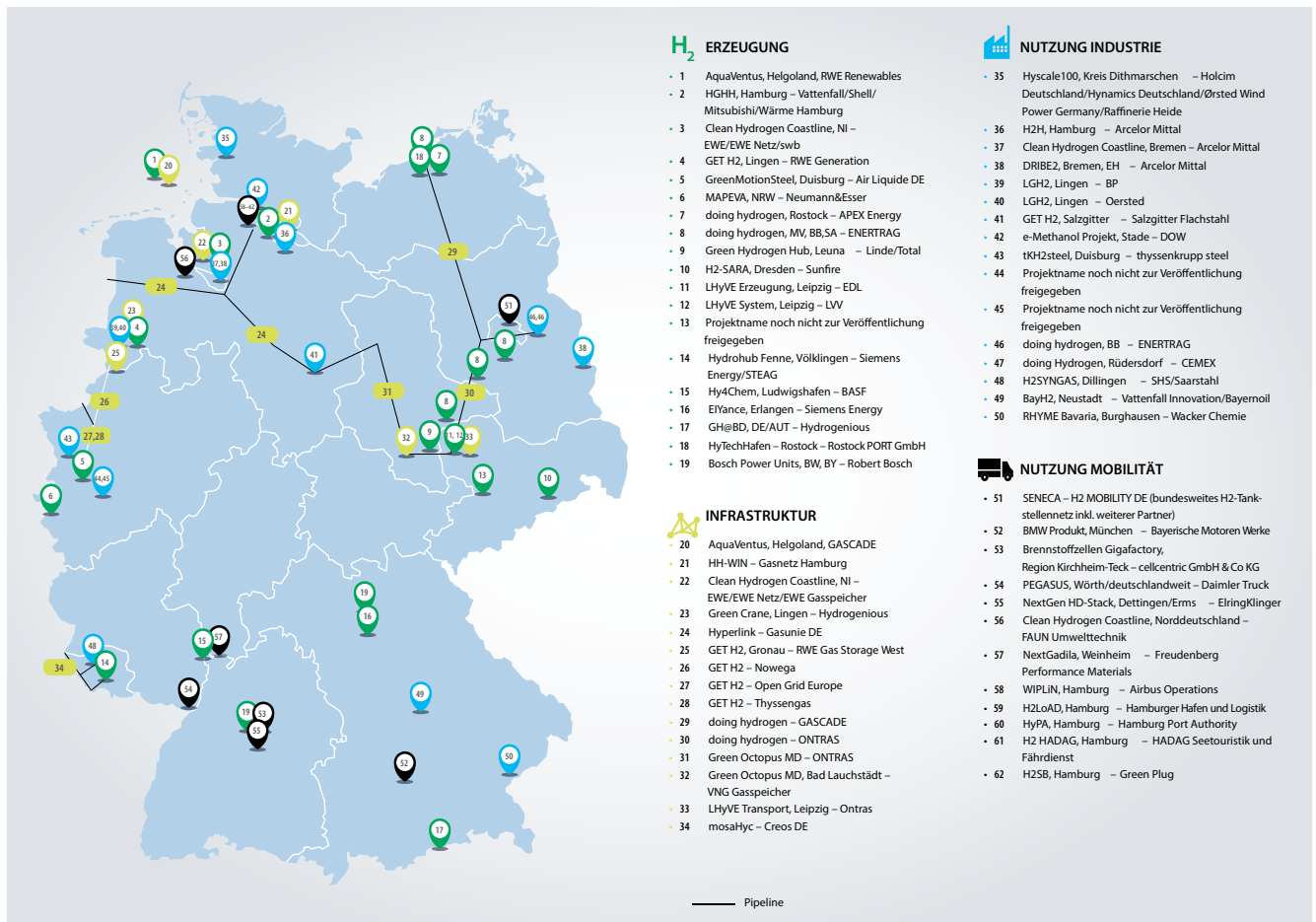
In dieser Phase soll eine europäische Netzinfrastruktur mit dem Ziel aufgebaut werden, Wasserstoff aus Gebieten mit hohem Potenzial für erneuerbare Energien zu Nachfragezentren zu transportieren. Das bestehende Gasnetz soll teilweise für erneuerbaren Wasserstoff umgewidmet und größere Wasserstoffspeicheranlagen sollen entwickelt werden. Ein europaweites Netz von Wasserstofftankstellen soll aufgebaut werden.

Europäische und internationale Wasserstoffmärkte bis 2050

In der dritten Phase bis 2050 sollen die Technologien für erneuerbaren Wasserstoff ausgereift sein und in großem Maßstab eingesetzt werden. Die Europäische Kommission rechnet damit, dass bis 2050 ein Viertel des Stroms aus erneuerbaren Quellen für die Erzeugung von sauberem Wasserstoff verwendet wird.

Angestrebt werden europäische und globale Wasserstoffmärkte. Als Teil des Binnenmarktes bedarf es eines europäischen Rechtsrahmens für grenzüberschreitende Fragen der Produktion, des Transports und des Verbrauchs von Wasserstoff. Hierzu gehören einheitliche Nachhaltigkeitsstandards, eine gu-

► Abb. 4 / IPCEI-Standorte: 62 Großprojekte, die im Rahmen eines gemeinsamen europäischen **Wasserstoffprojekts** gefördert werden.



te Qualitätsinfrastruktur, (Herkunfts-)Nachweise für Strom aus erneuerbaren Energien sowie für grünen Wasserstoff und seine Folgeprodukte.

Auch international steigt das Interesse an Wasserstoff. Die USA und China investieren in großem Umfang in Forschung und industrielle Entwicklung von Wasserstofftechnologien. Afrikanische Länder könnten aufgrund ihres großen Potenzials für erneuerbare Energien sauberen Wasserstoff in die EU liefern. Die Zusammenarbeit bei sauberen Wasserstofftechnologien soll insbesondere mit den Nachbarländern der EU einschließlich der Ukraine verstärkt werden, um dort zur Umstellung auf eine saubere Energieerzeugung und zu nachhaltigem Wachstum beizutragen.

Umsetzung der Strategie

Um die europäische Investitionsstrategie für den Ausbau der Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff umzusetzen sowie

die Nachfrage nach sauberem Wasserstoff in der EU zu fördern, wurde die „Europäische Allianz für sauberen Wasserstoff“ gegründet. Das Europarecht soll mit dem Ziel weiterentwickelt werden, den Markthochlauf von Wasserstoff zu fördern. Gegenwärtig unterliegt fast die gesamte Erzeugung von fossilem Wasserstoff dem europäischen Emissionshandelssystem. Die an dem Handel teilnehmenden Anlagen erhalten allerdings ihre Emissionszertifikate kostenlos, um einem erheblichen Risiko einer Verlagerung von CO₂-Emissionen in Drittstaaten entgegenzuwirken („Carbon Leakage“). Die Europäische Kommission will diese kostenlose Zuteilung der Zertifikate überprüfen und ein CO₂-Grenzausgleichssystem entwickeln. Außerdem soll die Erzeugung von erneuerbarem und von CO₂-armem Wasserstoff durch ein Ausschreibungssystem für CO₂-Differenzverträge (Carbon Contracts for Difference) gefördert werden. Erwogen werden auch direkte marktbasierende Förderungen und Quoten für erneuerbaren Wasserstoff.



► Abb. 5 / Der Aufbau einer vernetzten **Wasserstoff-Betankungsinfrastruktur** soll gefördert werden.

Wasserstoff als Zukunftstechnologie

Wasserstoff ist eine Technologie der Zukunft. Sollen die ambitionierten nationalen und europäischen Klimaschutzziele erreicht werden, müssen heute die Weichen für diese Zukunft gestellt werden. Die für den Aufbau und Ausbau der Wasserstoffmärkte notwendigen Innovationen und umfangreichen Investitionen bedürfen eines verlässlichen, langfristig ausgerichteten, technologieoffenen, verbindlich klimawirksamen Rechtsrahmens, in dem kohärent das nationale, das europäische und das internationale Recht aufeinander abgestimmt sind. Ziel muss es sein, Wasserstoff verlässlich klimawirksam, sicher und kostengünstig zur Verfügung zu stellen. Damit dies gelingt, müssen der Ausbau der Wasserstoffwirtschaft und die Weiterentwicklung des nationalen und europäischen Rechtsrahmens für Wasserstoff Hand in Hand gehen.

Literaturhinweise

- [1] § 3 des Entwurfs des Ersten Gesetzes zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes, Stand: 11.5.2021, BVerfG, Beschluss v. 24.3.2021 – 1 BvR 2656/18, 1 BvR 96/20, 1 BvR 78/20, 1 BvR 288/20, 1 BvR 96/20, 1 BvR 78/20
- [2] The European Green Deal, COM (2019) 640 final; Submission by Germany and the European Commission on Behalf of the European Union and its Member States, Update of the nationally determined contribution of the European Union and its Member States, 17.12.2020
- [3] Vgl. Bundesregierung, Die nationale Wasserstoffstrategie, 2020, S. 6.
- [4] Die Europäische Kommission rechnet damit, dass der Anteil von Wasserstoff am europäischen Energiemix bis 2050 von 2 % auf 13-14 % steigen wird. Europäische Kommission COM (2020) 301 final, S. 1 f.
- [5] Zum Folgenden; Bundesregierung, Die nationale Wasserstoffstrategie, 2020, S. 29; Europäische Kommission COM (2020) 301 final, S. 4 f. Siehe auch IKEM, Wasserstoff – Farbenlehre, Dezember 2020
- [6] Bundesregierung, Wasserstoffstrategie, S. 3; Europäische Kommission COM (2020) 301 final, S. 6

[7] Europäische Kommission COM (2020) 301 final, S. 5 f.

[8] Vgl. Bundesnetzagentur, Die Regulierung von Wasserstoffnetzen – Eine Bestandsaufnahme, Juli 2020

[9] Vgl. Bundesnetzagentur, Die Regulierung von Wasserstoffnetzen – Eine Bestandsaufnahme, Juli 2020, S. 8 f.

[10] Zum Folgenden Bundesregierung, Die nationale Wasserstoffstrategie, Juni 2020

[11] Vgl. Buchmüller, Die energie- und regulierungsrechtlichen Baustellen auf dem Weg zur Wasserstoffwirtschaft, ZUR 2021, 195

[12] Siehe IPCEI-Standortkarte. Zu finden unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/I/ipcei-standorte.pdf?__blob=publicationFile&v=6

[13] Zum Folgenden Europäische Kommission COM (2020) 301 final, 08.07.2020.

[14] Hierzu Burgi / Zimmermann, Der (künftige) EU-beihilferechtliche Rahmen für die Förderung von grünem Wasserstoff, ZUR 2021, 212.



PROF. DR. CHARLOTTE KREUTER-KIRCHHOF

ist seit 2015 Inhaberin des Lehrstuhls für Deutsches und Ausländisches Öffentliches Recht, Völkerrecht und Europarecht an der Juristischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf und seit 2017 Direktorin des Düsseldorfer Instituts für Energierecht. Seit 2021 ist sie stellvertretendes Mitglied des Verfassungsgerichtshofs für das Land Nordrhein-Westfalen (VerfGH NRW) sowie Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung für Biodiversität und Genetische Ressourcen (WBBGR).



Hydrogen & Fuel Cell
Conference and Trade Fair

Messe Stuttgart

4.+5. Oktober 2022

f-cell 2022

Wasserstoff und Brennstoffzellen – Live-Event!
Seit über 20 Jahren der internationale Branchentreffpunkt

- Hochkarätige Konferenz
- Internationale Fachmesse
- Spannende Workshops
- Netzwerken & Matchmaking

Standplätze auf den Messen
in Deutschland und Kanada
sind noch verfügbar –
Buchen Sie jetzt Ihren Standplatz!



f-cell.de | @fcell_Germany

hyfcell.com | @hyfcell_Canada



The 4th Annual International
Hydrogen & Fuel Cell Event
Edmonton (Alberta) Canada
25.+26. Mai 2022

WAS VERBIRGT SICH HINTER DER H₂-FARBPALETTE?

CHRISTIANE KÖLLNER

Grün, Blau, Grau oder Türkis: Je nach Quelle und Art der Produktion wird Wasserstoff mit unterschiedlichen farblichen Beinamen bezeichnet. Eine kleine Wasserstoff-Farbenlehre.

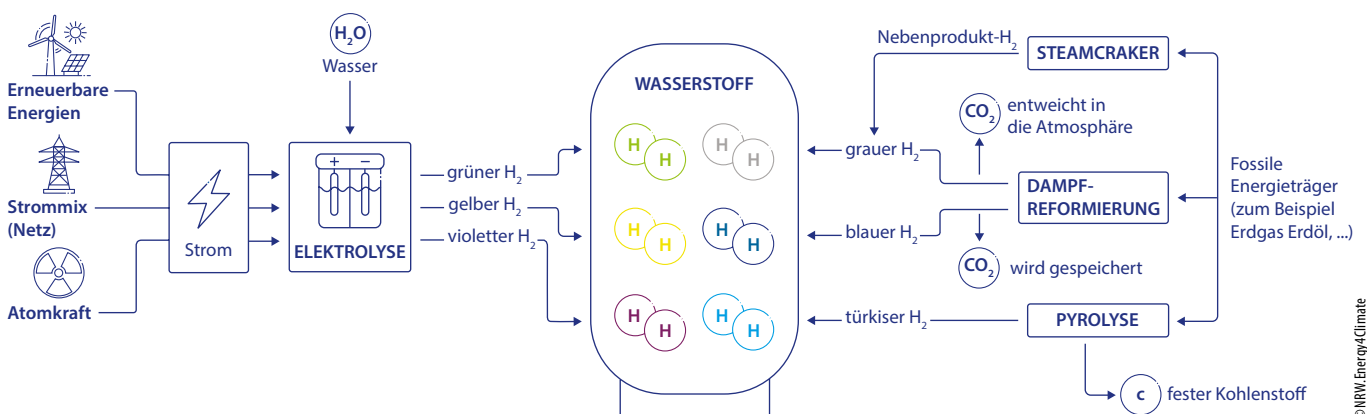
Wasserstoff (H₂) ist das erste und kleinste Element im Periodensystem. Wasserstoff hat viele Vorteile: Er kann sowohl als Energieträger als auch als Grundstoff zum Einsatz kommen. Er ist geruchslos, ungiftig und besitzt die höchste Energiedichte aller Treibstoffe. Bei seiner Verbrennung entsteht nur Wasserdampf, allenfalls eine kleine Menge Stickoxid durch die Reaktion mit Luftstickstoff. Das bei Zimmertemperatur farblose Gas gilt daher als einer der wichtigsten Energieträger für die künftige Energieversorgung und Klimaneutralität.

Doch diesen vielen Vorteilen steht ein großer Nachteil gegenüber: Wasserstoff kommt auf der Erde fast nur in chemisch gebundener Form vor. Das bedeutet, er muss unter Energie-

einsatz aus chemischen Verbindungen gewonnen werden. Die Verfahren, mit denen diese Gewinnung erfolgt, werden durch Farben gekennzeichnet und unterscheiden sich unter anderem hinsichtlich ihres Beitrags zum Klima- und Umweltschutz beziehungsweise CO₂-Einsparpotenzials. Daher sollte genau betrachtet werden, ob der entsprechende Erzeugungspfad auf fossile oder erneuerbare Energien setzt, ob Treibhausgase entstehen und wie mit diesen umgegangen wird. Was die Farben von Grün über Blau bis Türkis bedeuten, haben wir in einem Überblick zusammengefasst. ➔

► www.springerprofessional.de/wasserstoff/verfahrenstechnik/was-verbirgt-sich-hinter-der-h2-farbpalette-/19739370

► Abb. 1 / Die Farben des Wasserstoffs.



► Tab. 1 / Die Wasserstofffarben und ihre Bedeutung

Farbe / Art der Produktion	Verfahren	Vorteile	Nachteile
Grüner Wasserstoff	- Elektrolyse-Anlagen spalten mithilfe von erneuerbarem Strom Wasser (H_2O) in seine Bestandteile Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) auf. - Neben der etablierten alkalischen Elektrolyse wird verstärkt auch die PEM-Elektrolyse in den großskaligen Einsatz gebracht. Sie eignet sich besonders gut für den Betrieb mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen.	CO_2-neutral, da mithilfe erneuerbarer Energien hergestellt - Möglichkeit zur Stromspeicherung als Wasserstoff - Hohe Wasserstoff-Reinheit	- Stromverbrauch, höhere Kosten im Vergleich zur Reformierung von Erdgas - Grüner, erneuerbarer Strom zur Erzeugung von Wasserstoff steht noch nicht in ausreichender Menge zur Verfügung. - Es fehlen derzeit noch in großem Maßstab Elektrolyseanlagen. Von einer flächendeckenden Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff ist Deutschland noch weit entfernt. Für eine gewisse Zeit sind daher Übergangstechnologien zur H_2-Erzeugung nötig.
Grauer Wasserstoff	Dampfreformierung von Erdgas. Mithilfe von Wasserdampf wird der im Erdgas enthaltene Wasserstoff vom Kohlenstoff getrennt.	Derzeit das wirtschaftlichste und am weitesten verbreitete Verfahren zur H_2-Herstellung	- Aktuell ist ein Großteil des benötigten Wasserstoffs grau. Dabei entsteht jedoch als Nebenprodukt das klimaschädliche Kohlenstoffdioxid (CO_2). Daher ist die graue Technologie im Sinne der Klimaneutralität keine zukunftsträgliche Option. - Vorkettenemissionen (Methan) bei Förderung und Transport von Erdgas
Blauer Wasserstoff	Dampfreformierung von Erdgas. Hier wird jedoch das CO_2 abgeschieden und langfristig gespeichert. Dieses Verfahren nennt man „Carbon Capture und Storage“ (CCS). Alternativ dazu kann das CO_2 auch in anderen Industriezweigen als Grundstoff dienen („Carbon Capture and Utilization“ – CCU).	Klimabilanz durch das Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS) besser als beim grauen Wasserstoff	- Das Abscheiden und Deponieren von CO_2 (CCS) ist sehr teuer. - Vorkettenemissionen (Methan) bei Förderung und Transport von Erdgas. - Risiken der „Endlagerung“
Türkiser Wasserstoff	Pyrolyse von Erdgas. Bei diesem Verfahren wird das im Erdgas enthaltene Methan unter Abwesenheit von Sauerstoff erhitzt. Dabei entsteht statt CO_2 fester Kohlenstoff.	- Der feste Kohlenstoff kann gespeichert oder vielfältig genutzt werden. - Bilanziell CO_2-neutrales Verfahren, wenn die Wärmeversorgung des Hochtemperaturreaktors aus regenerativen Energieträgern bereitgestellt wird	- Pyrolyse (noch) nicht großskalig umsetzbar - Vorkettenemissionen (Methan) bei Förderung und Transport von Erdgas
Violetter und Gelber Wasserstoff	Wie beim grünen Wasserstoff wird auch bei diesen beiden Varianten H_2 durch Wasserelektrolyse mithilfe von Strom hergestellt. Beim gelben Wasserstoff geschieht dies durch einen Strommix, beim violetten ausschließlich durch Atomstrom.	Keine Volatilität im Netz wie bei erneuerbaren Energien	- Bremst den Ausbau erneuerbarer Energien - Atomstrom: Lock-in-Effekte, Atom-müll-Lagerung, Unfallrisiko und Zerstörung durch Uranabbau - Da Deutschland bis Ende 2022 vollständig aus der Atomverstromung aussteigt, hat dieses Verfahren für die inländische H_2-Erzeugung keine Relevanz.

Quelle: IM4climate.NRW, eigene Recherche

► Tab. 2 / Weitere Wasserstofffarben.

Weitere Wasserstofffarben	
Brauner Wasser	Vergasung von Kohle
Weißer Wasserstoff	Nebenprodukt aus Chemieanlagen
Oranger Wasserstoff	Gewinnung aus Biomasse oder übergangsweise mit Strom aus Müllheizkraftwerken

Quelle: IM4climate.NRW, eigene Recherche

WASSERSTOFF: HOFFNUNGSTRÄGER FÜR EINE KLIMANEUTRALE STAHLPRODUKTION

MARIE JARONI

Der Werkstoff Stahl ist aus vielen Technologien und Produkten nicht wegzudenken und vielseitig anwendbar: von Autokarosserien und Waschmaschinen über Brücken und Lebensmitteldosen bis zu Windkraftanlagen und Elektromotoren. Gleichzeitig wird durch die Herstellung von Stahl eine große Menge an CO₂ ausgestoßen. Es stellt sich daher die Herausforderung, wie sich Stahl perspektivisch mit dem Ziel der klimaneutralen Gesellschaft vereinbaren lässt. Hoffnung ruht dabei auf dem Element Wasserstoff.

Der Bedarf an Stahl ist groß. In Deutschland fällt er – im Vergleich zu Ländern wie Südkorea oder China – mit rund 418 kg pro Kopf und Jahr noch moderat aus. [1] Der Werkstoff ist vielseitig einsetzbar und zeichnet sich durch hohe Festigkeit und hervorragende Verarbeitbarkeit aus. In Zeiten der Klimawende stellt sich jedoch die Frage, wie eine klimaneutrale Stahlproduktion erreicht werden kann. Denn bei der Herstellung von Stahl auf der Primärstahlroute entstehen große Mengen des klimaschädlichen Treibhausgases CO₂ – 2018 lag der Anteil der Stahlherstellung an den weltweiten CO₂-Emissionen bei rund 8 %. [2] Beispielhaft stößt der Stahlstandort von thyssenkrupp Steel in Duisburg jedes Jahr rund 20 Millionen t CO₂ aus und damit rund 2,5 % der gesamtdeutschen CO₂-Emissionen. [3]

Teil des Problems, Teil der Lösung

Stahl ist mit Blick auf die Klimatransformation also ein Teil des Problems. Grund für die immensen CO₂-Emissionen ist insbesondere der Einsatz von kohlenstoffhaltigen Reduktionsmitteln. Startpunkt der Primärstahlherstellung ist Eisenerz, das in der Natur nahezu ausschließlich als Eisenoxid auftritt. Für die

Der Stahlindustrie ist es zwar in den vergangenen Jahrzehnten gelungen, die CO₂-Emissionen der Hochofenroute zu senken, der Prozess stößt aber an sein theoretisches Optimum.

Weiterverarbeitung muss dieses reduziert werden, aus Eisenoxid reines Eisen gewonnen werden. Mehrheitlich geschieht das heutzutage über die kohlebasierte Hochofenroute, bei der Koks und Kohle als Reduktionsmittel dienen. (Abb. 1) Diese reagieren im Hochofen zu Kohlenmonoxid (CO), welches im Anschluss mit dem Sauerstoff im Eisenoxid zu CO₂ reagiert:

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$$

Zwar ist es der Stahlindustrie in den vergangenen Jahrzehnten gelungen, die CO₂-Emissionen der Hochofenroute kontinuierlich zu senken, der Prozess stößt aber an sein theoretisches Optimum. Die Aggregate – insbesondere in Europa und Deutschland – arbeiten bereits sehr effizient, das



H₂ Wasserstoff

► Wasserstoff: Hoffnungsträger für
eine klimaneutrale Stahlindustrie.

► Abb. 1 / **Hochöfen 8 und 9** von thyssenkrupp Steel in Duisburg.



©thyssenkrupp

Potenzial für weitere CO₂-Senkungen ist zunehmend begrenzt.

Erste Schritte: Wasserstoff im Hochofen

Theoretisch lässt sich in der Reduktionsformel des Eisenoxids das Kohlenmonoxid (CO) und damit der Kohlenstoff durch Wasserstoff ersetzen. Auch Wasserstoff reagiert mit dem Sauerstoff im Eisenoxid und ist somit geeignet, Eisenerz zu reduzieren. Durch den Wegfall der Kohlenstoffkomponente entsteht so neben reinem Eisen statt CO₂ dann ein gänzlich unschädlicher Stoff: Wasser – aufgrund der hohen Reaktionstemperaturen in Form von Dampf: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O}$.

In Duisburg hat thyssenkrupp Steel daher 2019 erstmals eine Versuchsreihe zum Einsatz von Wasserstoff im Hochofen gestartet. Der Wasserstoff ersetzt dabei pulverisierte Einblaskohle, die im unteren Bereich des Ofens gemeinsam mit heißer Luft eingeblasen wird, die Möllersäule (vornehmlich Eisenerz und

Das Ziel einer klimaneutralen Stahlproduktion führt unweigerlich dazu, dass der klassische Hochofen nach vielen Jahrhunderten abgelöst wird: beispielsweise durch gasbasierte Direktreduktionsanlagen.

Koks) von unten nach oben durchströmt und dabei das Eisenerz reduziert. In einer ersten Versuchsphase wurde dafür Wasserstoff an einer von 28 Blasformen des Hochofens eingeblasen. Im nächsten Schritt wird es darum gehen, das Einblasen auf alle 28 Blasformen auszuweiten. So lassen sich bis zu 20 % der CO₂-Emissionen im Prozess vermeiden. Die Herausforderung: 20 % werden für eine klimaneutrale Gesellschaft nicht ausrei-

chen. Allerdings ist ein vollständiger Verzicht auf Kohle beziehungsweise Koks im Hochofen nicht möglich, denn die Prozesse im Aggregat sind unweigerlich auf die stückige und damit stützende Struktur des Koks angewiesen. Der Einsatz von Wasserstoff im Hochofen kann also nur ein erster Schritt und eine Brückentechnologie sein, um Emissionen im bestehenden Anlagenpark weiter senken zu können. (Abb. 2)

Technologiewandel: wasserstoffbasierte Direktreduktion

Das Ziel einer klimaneutralen Stahlproduktion führt in der Folge also unweigerlich dazu, dass der klassische Hochofen nach vielen Jahrhunderten abgelöst wird: beispielsweise durch gasbasierte Direktreduktionsanlagen. Direktreduktionsanlagen sind bereits verfügbar und die Technologie ist ausgereift. 2019 wurden etwa 100 Millionen t Eisen über Direktreduktionsanlagen produziert. [4]

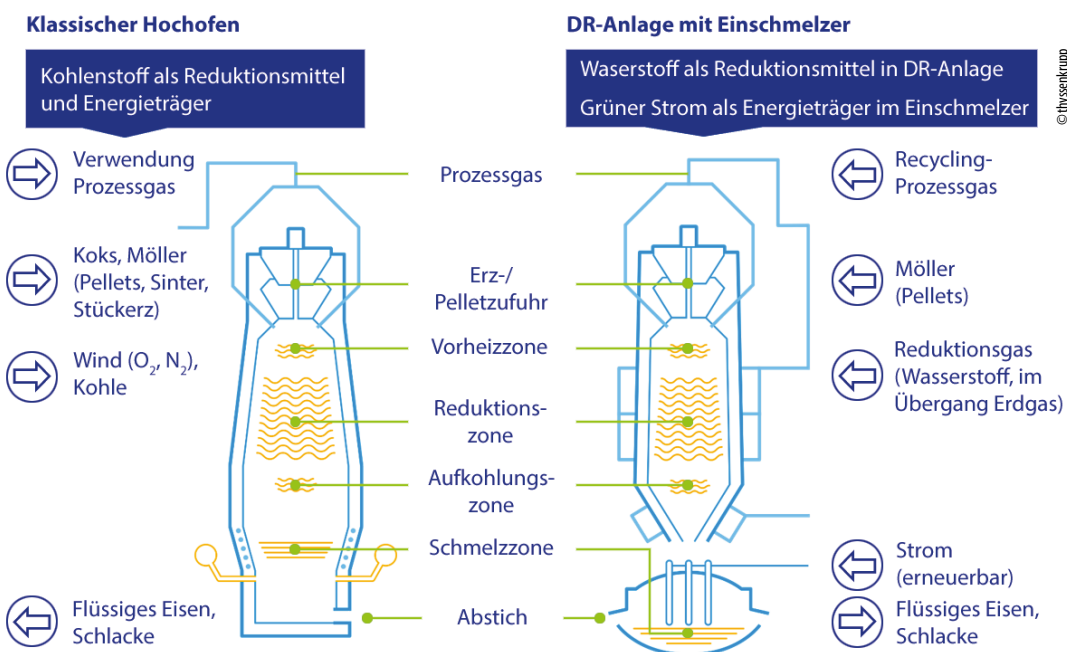
Insbesondere dort, wo Erdgas kostengünstig verfügbar ist, finden sich bereits entsprechende Anlagen. [5] Diese werden mit Erdgas betrieben und emittieren dabei – wenn auch weniger als ein kohlebasierter Hochofen – ebenfalls CO_2 , sie lassen sich aber grundsätzlich auch mit Wasserstoff betreiben und arbeiten



© thyssenkrupp

► Abb. 2 / **Wasserstoffeinsatz** in der Hütte von thyssenkrupp Steel in Duisburg.

dann emissionsfrei. (Abb. 3) Es ist daher nicht überraschend, dass auf der wasserstoffbasierten Direktreduktion (DR) große Hoffnungen der Stahlindustrie liegen und viele große Stahlhersteller diese Technologie in den Blick genommen haben. Am Beispiel von thyssenkrupp Steel heißt das konkret, dass das Unternehmen Mitte der 2020er-Jahre die erste DR-Anlage und bis 2030 eine weitere Anlage in Betrieb nehmen will. Bis 2050 könnten in Summe vier DR-Anlagen die vier Hochöfen des Unternehmens am Duisburger Standort ersetzen.



► Abb. 3 / **Prozessvergleich:** Hochofen und Direktreduktion mit Schmelzaggregat.



© thyssenkrupp

► Abb. 4 / **Carbon2Chem-Technikum** mit Gasreinigung in Duisburg.

Herausforderung: Integration in bestehende Prozesse

Ein großer Unterschied der DR gegenüber dem Hochofen ist nicht nur der Reduktionsprozess, sondern auch der Aggregatzustand des dabei entstehenden Produkts: Während ein Hochofen flüssiges Roheisen produziert, das dann in Stahlwerken zu Stahl verarbeitet wird, wird das Eisen in den DR-Anlagen nicht eingeschmolzen. Diese Anlagen arbeiten bei deutlich niedrigeren Temperaturen und erzeugen festes Eisen, sogenannten Eisenschwamm. Eine Möglichkeit zur Weiterverarbeitung des Eisenschwamms sind heute insbesondere Elektrolichtbogenöfen, in denen das Eisen mit elektrischer Energie zu Stahl geschmolzen wird. Um bestehende Infrastruktur in Form der Stahlwerke und Weiterverarbeitungsprozesse beibehalten zu können – und damit auch die in diesen Aggregaten über viele Jahrzehnte optimierten Prozesse und erzeugten Qualitäten –, ist eine Möglichkeit, die DR-Anlage mit einem innovativen Schmelzaggregat zu verbinden, an deren Entwicklung thyssenkrupp Steel derzeit arbeitet.

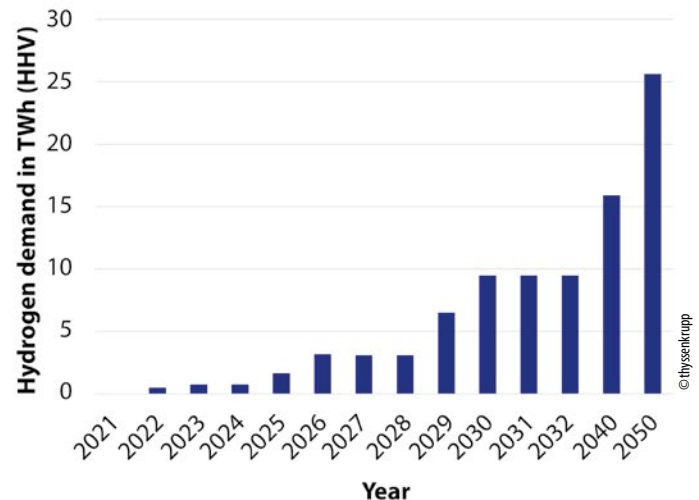
Mithilfe von Wasserstoff lassen sich durch CCU-Technologien die verbleibenden Emissionen nutzen: Der Kohlenstoff wird weiterverarbeitet zu Basischemikalien wie Methanol, Ammoniak oder höheren Alkoholen.

Durch die Kombination von DR mit diesem innovativen Schmelzer lässt sich ein Hochofen vollständig ersetzen – die beiden neuen Aggregate erzeugen mit Wasserstoff und Strom aus erneuerbaren Energien ein vergleichbares Produkt: eine Art Elektro-Roheisen. Daraus ergibt sich die technologische Möglichkeit, integrierte Hütten mit der wasserstoffbasierten DR zu dekarbonisieren, dabei möglichst viel bestehende Infrastruktur beizubehalten und mit effizientem Mitteleinsatz einen Weg zur klimaneutralen Stahlproduktion zu ebnen.

Hydrogen demand for the CDA path



► Abb. 5 /Entwicklung des **Wasserstoffbedarfs** bei thyssenkrupp Steel.



Die letzte Meile: CO₂ als Rohstoff

Durch den Ersatz der Kohle sinken die CO₂-Emissionen in der Stahlindustrie zwar gegen null, es verbleiben aber Restmengen, die sich nach heutigem Stand der Technik nicht direkt vermeiden lassen.

Vor diesem Hintergrund braucht es ergänzende Maßnahmen, um echte Klimaneutralität zu erreichen – und auch hier kann Wasserstoff einen Beitrag leisten. Denn mithilfe von Wasserstoff lassen sich durch CCU-Technologien (Carbon Capture & Utilization) die verbleibenden Emissionen nutzen: Der Kohlenstoff wird weiterverarbeitet zu Basischemikalien wie Methanol, Ammoniak oder höheren Alkoholen. Diese können anschließend in der Chemieindustrie zum Einsatz kommen – etwa bei der Herstellung von Dünger, Treibstoff oder Kunststoff – und ersetzen dort im Sinne einer Kreislaufwirtschaft fossile Rohstoffe wie Erdöl.

Die CCU-Technologie wird etwa im Carbon2Chem-Technikum in Duisburg bereits betrieben und weiter erforscht. (Abb. 4) Das Verbundprojekt mit 16 Partnern, zu denen auch thyssenkrupp Steel gehört, nahm 2014 Form mit dem Gedan-

ken an, CO₂ nicht mehr nur als Abfallprodukt zu betrachten, sondern als werthaltigen Rohstoff. Seit 2016 wird Carbon2Chem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert und erprobt die Technologie anhand der Hüttengase aus dem Stahlwerk von thyssenkrupp Steel in Duisburg. 2018 gelang die Synthese von Methanol, kurz darauf die von Ammoniak und höheren Alkoholen aus Hüttengasen.

Klimaneutraler Wasserstoff – ein rares Gut

Der Betrieb einer alkalischen Elektrolyse im Technikum von Carbon2Chem dient dem Nachweis, dass sich eine Elektrolyse auch mit erneuerbaren Energien langfristig betreiben lässt. Da diese volatil verfügbar sind, wird beim Betrieb der Elektrolyse ein volatiles Verfügbarkeitsprofil gefahren und die Hardware kontinuierlich geprüft – bisher ohne Beschädigungen oder Degradationen.

Für die klimaneutrale Stahlherstellung wird dies von essenzieller Bedeutung sein: Denn nur wenn auch bei der Produktion des verwendeten Wasserstoffs keine CO₂-Emissionen in die Atmosphäre gelangen, kann das Ziel einer klimaneutralen

Stahlproduktion erreicht werden. Deswegen bedarf es langfristiger großer Mengen grünen Wasserstoffs, der über Elektrolyse mit erneuerbaren Energien gewonnen wird. Beim Hochlauf der benötigten Mengen und beim Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur können auch alternative Produktionstechnologien eine Rolle spielen: etwa blauer Wasserstoff, der durch die Reformierung von Erdgas und das anschließende Abscheiden und Speichern des dabei entstehenden CO₂ gewonnen wird. Im Fall der DR-Anlagen besteht zudem der Vorteil, dass diese anfangs auch mit Erdgas betrieben werden können und ein stufenweiser Anstieg des Wasserstoffeinsatzes möglich ist: so viel Wasserstoff wie möglich, so viel Erdgas wie nötig. Dies erleichtert den Hochlauf der Technologie zu einem Zeitpunkt, an dem gegebenenfalls auch noch keine ausreichenden Mengen an grünem Wasserstoff verfügbar sind.

Riesige Energiebedarfe

Die Mengenbedarfe der Industrie sind dabei nicht zu unterschätzen: Sowohl Wasserstoff wird in großen Mengen benötigt als auch Strom aus erneuerbaren Energien. Die integrierte Hütte von thyssenkrupp Steel in Duisburg ist heute unterm Strich ein Stromerzeuger: Die Hüttengase aus Kokerei, Hochofen und Stahlwerk werden in eigenen Gaskraftwerken verarbeitet und versorgen weitere Anlagen der Prozesskette mit Strom. Durch den Wegfall der kohlebasierten Hochöfen wird die Hütte daher perspektivisch vom Stromerzeuger zum Stromabnehmer. In Deutschland wird die Stahlindustrie im Zuge der Klimatransformation schätzungsweise einen zusätzlichen Strombedarf von 130 TWh pro Jahr entwickeln. [6] Das entspricht etwa 55 % der gesamten heutigen deutschen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (233 TWh). [7]

Ein Großteil dieses Bedarfs entfällt dabei auf Strom für die Wasserstoffelektrolyse. Allein bei thyssenkrupp Steel wird dieser 2030 rund 21 TWh pro Jahr betragen. (Abb. 5) Die nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung sieht bis 2030 den Aufbau einer grünen Wasserstoffproduktion im Umfang von 14 TWh pro Jahr vor. [8] Für die gesamte deutsche Stahlindustrie wird der Wasserstoffbedarf im Jahr 2050 auf etwa 2,2 bis 2,5 Millionen t pro Jahr geschätzt – etwa 1 % des für 2050 erwarteten globalen Wasserstoffbedarfs. [9]

Die Zahlen verdeutlichen, dass auf dem Weg zur wasserstoffbasierten Industrie noch einige Hürden zu nehmen sind. Zudem wird die Rolle von Importen klar: Deutschland wird seinen Bedarf an grünem Wasserstoff und grünem Strom nicht aus

eigener Produktion decken können. Kluge und globale Kooperationen werden notwendig sein, um Produktionsprozesse wie die Stahlherstellung klimaneutral zu gestalten. Wenn dies gelingt, ist eine entscheidende Hürde für eine klimaneutrale Stahlherstellung genommen. ➔

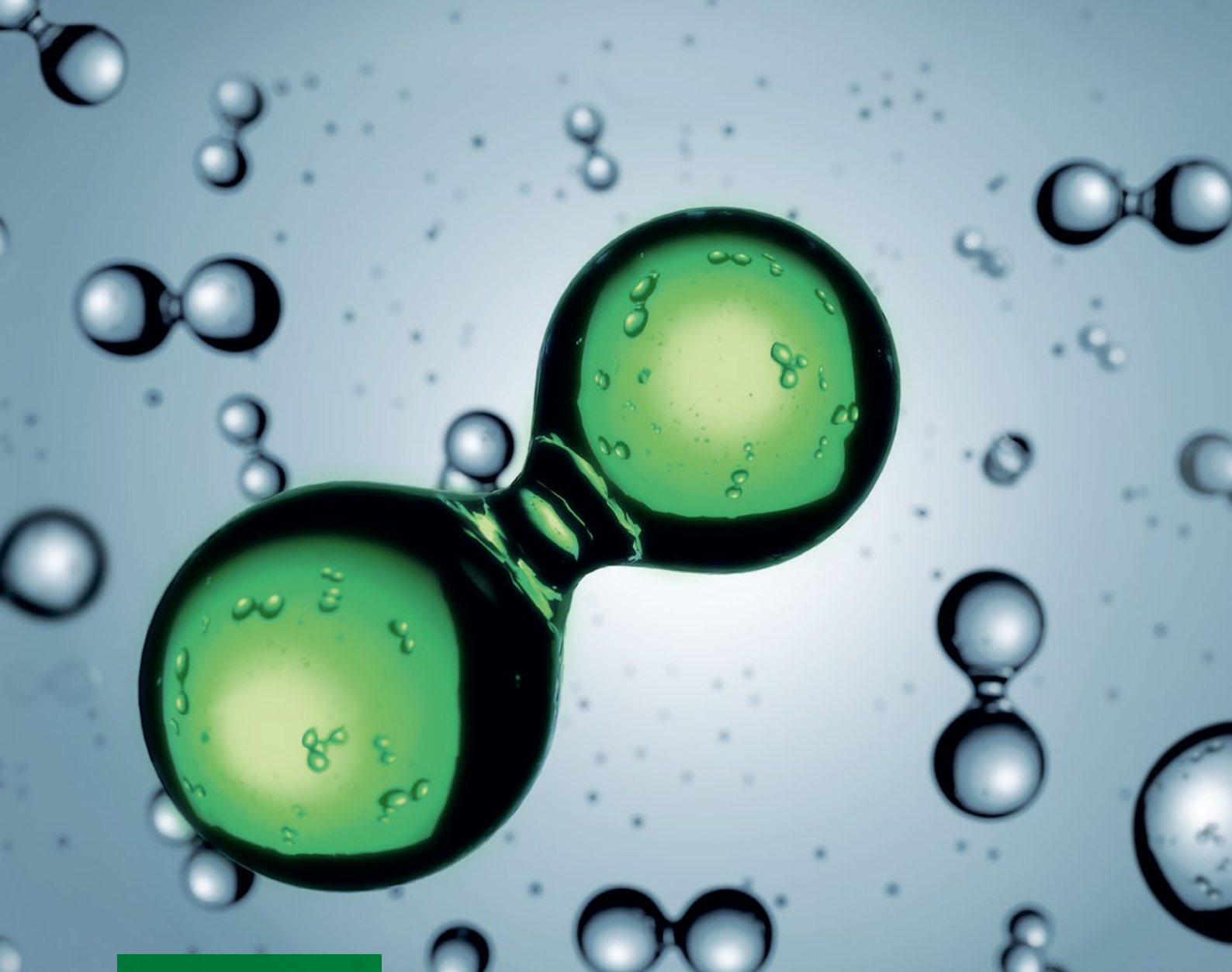
Literaturhinweise

- [1] Statista <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/802107/umfrage/stahlverbrauch-pro-kopf-nach-ausgewählten-laendern-weltweit/>, aufgerufen am 10.05.2021
- [2] McKinsey <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/decarbonization-challenge-for-steel>, aufgerufen am 10.05.2021
- [3] BMU <https://www.bmu.de/pressemitteilung/treibhausgasemissionen-sinken-2020-um-87-prozent/>, aufgerufen am 01.06.2021
- [4] Recycling Today <https://www.recyclingtoday.com/article/dri-eaf-steel-scrap-output-2019/>, aufgerufen am 10.05.2021
- [5] BDEW <https://www.bdew.de/verband/magazin-2050/wasserstoff-statt-kohle-der-stahl-der-zukunft-ist-klimafreundlich/>, aufgerufen am 01.06.2021
- [6] Wirtschaftsvereinigung Stahl <https://www.stahl-online.de/stahl-online-news/co2-arme-stahlproduktion-benoetigt-immense-strommengen/>, aufgerufen am 10.05.2021
- [7] Bundesnetzagentur https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/HandelundVertrieb/SMARD/Aktuelles/smardaktuelles_node.html, aufgerufen am 01.06.2021
- [8] Bundesministerium für Wirtschaft und Infrastruktur https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20, aufgerufen am 10.05.2021
- [9] Wirtschaftsvereinigung Stahl: Positionspapier Wasserstoff als Basis für eine klimaneutrale Stahlproduktion, März 2021; S. 1.; Weltenergierat: International Hydrogen Strategie, September 2020; S. 5.



DR. MARIE JARONI

Dr. Marie Jaroni leitet das Center of Decarbonization bei thyssenkrupp Steel in Duisburg. Die promovierte Metallurgin ist seit 2017 in verschiedenen strategischen und leitenden Positionen im thyssenkrupp Konzern tätig. Zuvor arbeitete sie für eine internationale Unternehmensberatung.



Als Technologiepartner fordern wir uns
immer wieder neu heraus – vor allem,
wenn es um grünen Wasserstoff geht.
We pioneer motion

Wir können nicht sagen, ob grüner Wasserstoff das neue Gold wird. Wir können aber sagen, dass wir der Wasserstoffwirtschaft viel bieten können. Viel Know-how als Lieferant von Systemen und Schlüsselkomponenten zum Beispiel. Oder das Denken in Systemen – für die Industrie genauso wie für Automotive. So sind wir auch in Zukunft der entscheidende Partner für unsere Kunden. Die Zukunft ist: grün.



we-pioneer-motion.com

DIE ZUKUNFT DER EMISSIONSFREIEN ENTSORGUNG

JOHANNES F. KIRCHHOFF

Die Hersteller von Nutzfahrzeugen stehen vor der großen Herausforderung, die Treibhausgasemissionen ihrer Fahrzeuge zu reduzieren. Der Antrieb mit Wasserstoff-Brennstoffzellen ist dabei eine der Alternativen. Die FAUN-Gruppe entwickelt Fahrgestelle mit einem modularen System aus Wasserstofftanks und Brennstoffzellen, die insbesondere bei Abfallsammelfahrzeugen und Kehrmaschinen genutzt werden können.

Die Europäische Union hat sich „Klimaneutralität bis 2050“ als großes Ziel auf die Fahne geschrieben und so präsentierte die Kommission im Juli 2020 im Rahmen des Green-Deals Strategien zur Dekarbonisierung von Industrie, Verkehr, Stromerzeugung und Gebäuden. „Sauberer“ Wasserstoff spielt hierbei eine zentrale Rolle. Bis 2030 sollen bis zu 10 Mio. t grüner Wasserstoff aus erneuerbaren Energien erzeugt werden und die hierfür benötigten Technologien bis 2050 ausgereift sowie in allen Sektoren im Einsatz sein. [1]

Der Druck auf die Nutzfahrzeughersteller wächst

Hersteller von Nutzfahrzeugen entwickeln mit Hochdruck emissionsfreie Antriebe. Die beiden zentralen Varianten dabei sind der Antrieb mit der Batterie als mobiler Energielieferant (BEV) und der Antrieb über das System Wasserstoff-Brennstoffzelle (FCEV).

Der Vergleich beider Technologien ergibt: Für kurze Strecken empfiehlt sich der Einsatz von batteriebetriebenen Fahrzeugen und bei längeren Strecken ist der FCEV-Antrieb sinnvoll. Die Brennstoffzellen bieten bei gleicher Nutzlast eine größere Reichweite und das Auftanken des Wasserstoffs erfolgt in viel kürzerer Zeit. [2]

► INFO

NATIONALE WASSERSTOFFSTRATEGIE

Damit die Energiewende ein Erfolg werden kann, hat die deutsche Bundesregierung bereits im Juni 2020 die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) verabschiedet, die einen „Handlungsrahmen für künftige Erzeugung, den Transport, die Nutzung und Weiterverwendung von Wasserstoff und damit für entsprechende Innovationen und Investitionen“ definiert. [3] Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) investierte bereits 2019 23,5 Mio. Euro in die Wasserstoffmobilität und Förderung alternativer Antriebstechniken. [4]

Ebenso relevant zur Reduzierung von CO₂-Emissionen ist neben der Wirkungskaskade der Herstellungsprozess von Wasserstoff beziehungsweise die verwendete Wasserstoffart. Bisher wird überwiegend sogenannter grauer Wasserstoff eingesetzt. Er wird aus fossilen Brennstoffen (etwa Erdgas) mittels des Umwandlungsprozesses „Dampfreforming“ gewonnen.

Die Bundesregierung setzt allerdings auf grünen Wasserstoff. Dabei wird der Strom, der für die Umwandlungsverfahren



► Abb. 1 / Das **Abfallsammelfahrzeug „Rotopress Bluepower“** mit Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb.

(zum Beispiel Elektrolyse) benötigt wird, aus erneuerbaren Energien wie Windkraft gewonnen. Diese Form des Wasserstoffs führt insbesondere bei schweren Fahrzeugen mit langen Einsatzzeiten und großen Reichweiten zu Vorteilen in der Well-to-Wheel-Betrachtung gegenüber batteriebetriebenen Fahrzeugen.

Anforderungen an Nutzfahrzeuge der Entsorgungslogistik und Straßenreinigung

Täglich verrichten Tausende Fahrzeuge der Entsorger und der Straßenreinigung ihre Dienste auf unseren Straßen. Selbstverständlich treibt auch die Weiterentwicklung alternativer Antriebe die Hersteller von Abfallsammelfahrzeugen und Kehrmaschinen um. Hierbei liegt die Herausforderung nicht nur in der Reduzierung der Emissionen, die beispielsweise auf Abfallsammeltouren innerhalb einer Ortschaft anfallen, sondern auch



► Abb. 2 / Die **Kehrmaschine „Viajet Bluepower“** mit Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb ist als 2-Achser konzipiert. Sie hat ein Fassungsvermögen von 6 m³ und kann für einen 10-Stunden-Betrieb genutzt werden. Der Hauptantrieb versorgt bei den Kehrmaschinen auch den Antrieb von Bürsten und Saugern.

in den anspruchsvollen Einsatzbedingungen. Der Betrieb muss genauso bei ständigem Stop-and-go-Fahren der Fahrzeuge gewährleistet sein, wie bei unterschiedlichen Belastungen durch Topografie, Infrastruktur und einzusammelnde Stoffarten sowie -mengen.

Im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) startete FAUN bereits 2018 mit der Entwicklung von je einem Abfallsammelfahrzeug (Abb. 1) und einer Kehrmaschine (Abb. 2) mit Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb (Förderkennzeichen: 03B10804). Zielsetzung des Projekts waren die Erhöhung der Reichweite beziehungsweise Einsatzzeit und Verbesserung des Geschwindigkeitsprofils der Fahrzeuge. Zusätzlich waren für das Abfallsammelfahrzeug der Erhalt der Nutzlast beziehungsweise des Nutzvolumens von großer Tragweite.

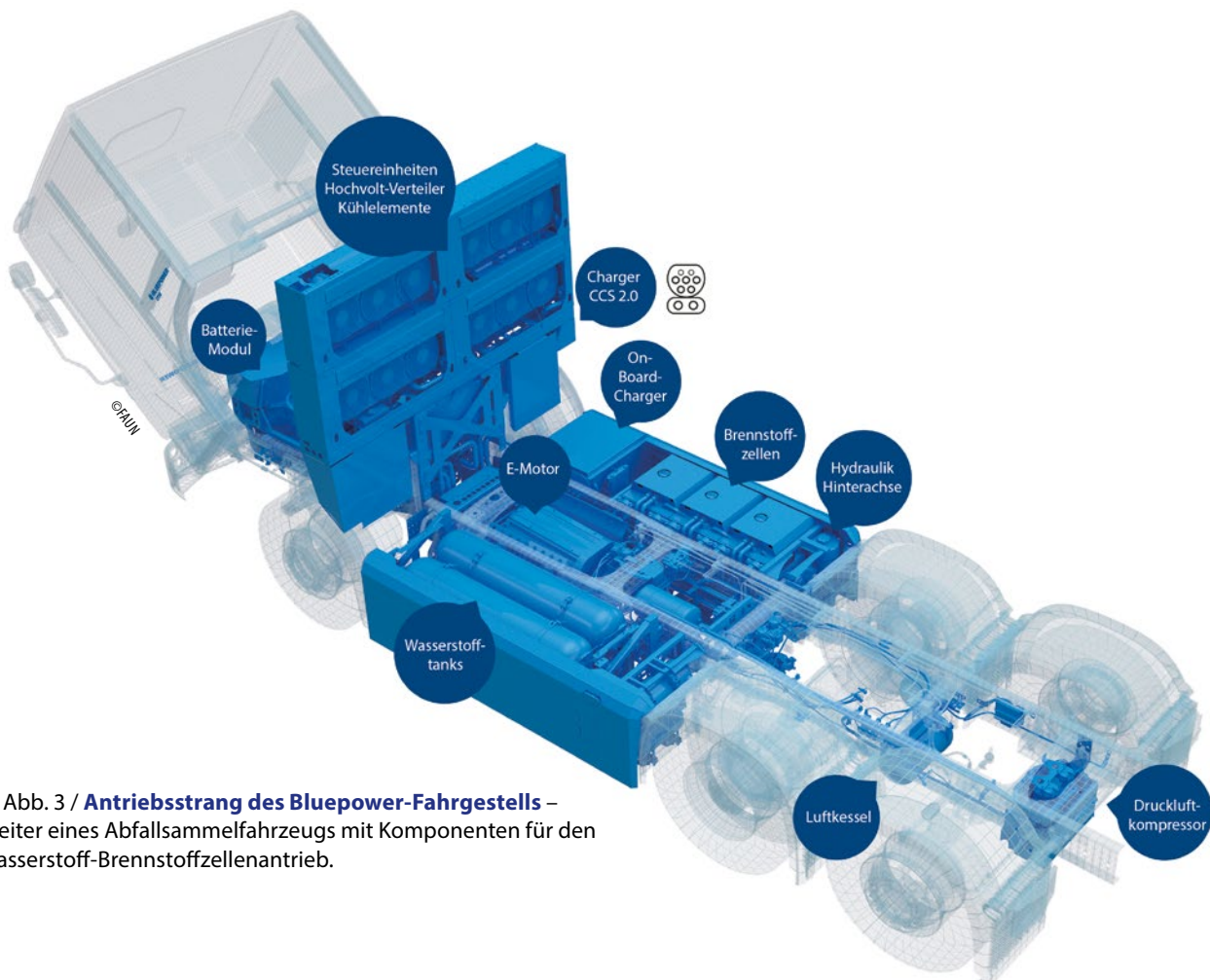
Hierbei ging man davon aus, dass mindestens 10 t Nutzlast erforderlich sind. Weiterhin nahm man an, dass ein Fahrzeug mindestens zwei Sammeltouren am Tag schaffen muss, also rund 20 t Abfall einsammelt und zur Verarbeitungsanlage bringt. Die Randbedingungen waren wie folgt definiert: Das Entsor-

Auch in der Branche der Entsorgung und Straßenreinigung fahren täglich Lkws durch deutsche Landschaften und verrichten ihre Dienste. Deshalb treibt auch die Weiterentwicklung alternativer Antriebe die Hersteller um.

gungsfahrzeug als 3-Achser darf bei 27 t zulässigem Gesamtgewicht ein Leergewicht im fahrbereiten Zustand von 17 t, besser sogar 16 t, keinesfalls überschreiten, und zwar einschließlich aller Energiespeicher und der notwendigen Umwandlungssysteme.

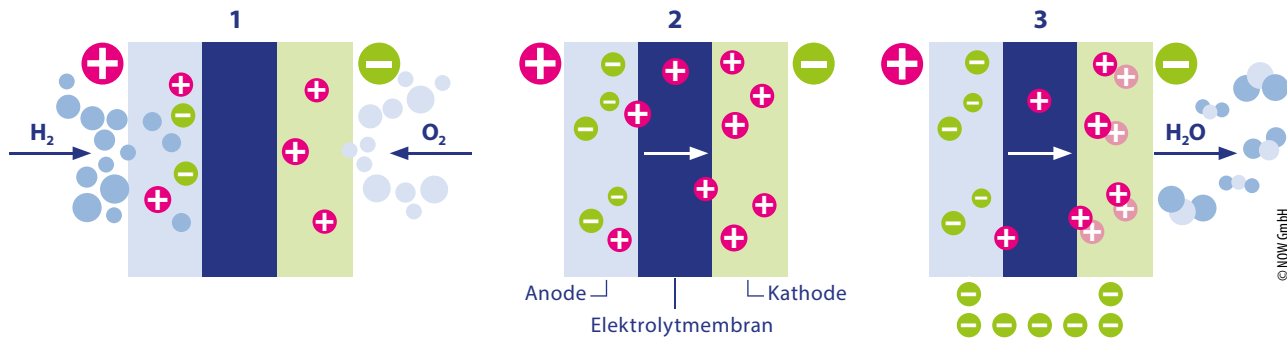
Antrieb für Abfallsammelfahrzeuge – Wasserstoff-Brennstoffzellen versus Batterie

Diese Anforderungen ließen sich aus Sicht von FAUN mit rein



► Abb. 3 / **Antriebsstrang des Bluepower-Fahrgestells** – Gleiter eines Abfallsammelfahrzeugs mit Komponenten für den Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb.

► Abb. 4 / **Funktionsprinzip** einer Brennstoffzelle.



Die Brennstoffzelle ist ein elektromechanischer Stromerzeuger. Aus Wasserstoff werden Strom, Wärme und Wasser.

Auf der Anoden-Seite wird Wasserstoff eingeleitet und auf der Kathoden-Seite Umgebungsluft. An der Anode wird der molekulare Wasserstoff (H_2O) in Wasserstoffkerne (H^+) und Elektronen aufgespalten.

Die H^+ wandern durch die Elektrolytmembran, die nur für sie durchlässig ist, auf die Seite des Sauerstoffs. Die Elektronen wandern von der Anode durch einen elektrischen Leiter zur Kathode.

Dieser Stromfluss treibt den Elektromotor an. Auf der Kathoden-Seite verbinden sich Sauerstoff, Elektronen und H^+ -Ionen zu H_2O , also Wasser.

bringen, sehr große und damit relativ schwere Batterien installiert werden. Diese schränken allerdings die Nutzlast unakzeptabel ein und mehr Fahrzeuge sowie Fahrerteams wären nötig.

Da die Reichweiten- und Einsatzzeitenprofile von Fahrzeugen mit FCEV-Antrieb deutlich höher sind [5], können Abfallsammelfahrzeuge mit FCEV-Ausstattung in modularer Bauweise an alle notwendigen Aufgabenstellungen ohne nennenswerte Nutzlastverluste angepasst werden.

Neben dem zu hohen Fahrzeuggewicht ist ein weiterer Nachteil größerer Batteriepakete die Anforderungen an die Lade-Infrastruktur. Hier ein Rechenbeispiel: Wir nehmen an, dass ein Fahrzeug mit einer Batterie mit 300 kWh Kapazität ausgerüstet ist, um seine tägliche Strecke zu schaffen. Tatsächlich genutzt werden können in diesem Beispiel davon nur 80 %, also 240 kWh. Soll diese Energie mit einem typischen Ladeanschluss mit 22 kW mittlerer Ladeleistung nachgeladen werden, sind dafür knapp 11 h Ladezeit notwendig. Für ein einzelnes Fahrzeug sicher kein Problem. Setzt ein Betriebshof aber 50 Fahrzeuge ein, dann beträgt die zu installierende Ladeleistung bereits 1,1 MW, was die vorhandene Infrastruktur vielerorts nicht hergibt oder nur nach umfangreicher Nachrüstung bereitgestellt werden kann.

Bei der Nutzung von Wasserstoff dauert das Betanken eines Fahrzeugs circa 5 bis 10 min, je nach Ausstattung der Tankstelle. Die kurze Betankungszeit – vergleichbar mit dem Betanken eines Diesel-Lkws – eröffnet die Möglichkeit, die Wasserstoff-Fahrzeuge in mehreren Schichten einzusetzen. Die Installation einer Wasserstofftankstelle ist mit vertretbarem Aufwand möglich.

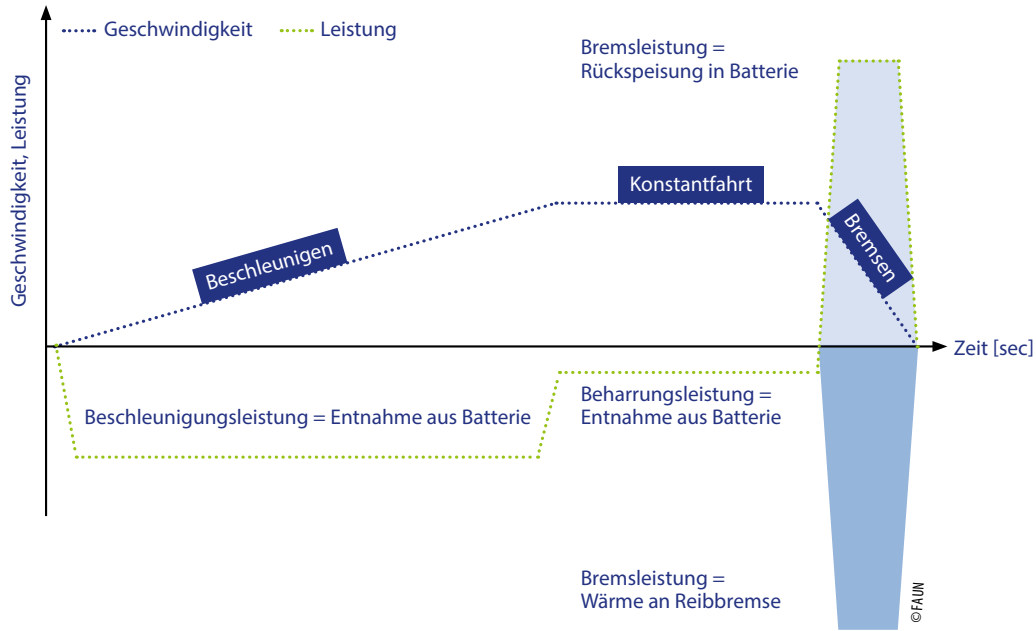
► INFO

WASSERSTOFF-PRODUKTION

Elektrolyse: Bei der Wasserelektrolyse wird mithilfe von elektrischem Strom Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Es gibt drei Verfahren der Wasserelektrolyse, die von Bedeutung sind:

- **Die alkalische Elektrolyse (AEL)** hat sich bereits seit vielen Jahren bewährt. Bisher realisierte Anlagen entstanden aufgrund der kontinuierlich benötigten Leistung meist in der Nähe von Großkraftwerken.
- **Die Membran-Elektrolyse** hat ihren Ursprung in der Brennstoffzellentechnik. Sie basiert auf dem umgekehrten Prozess in einer Brennstoffzelle und eignet sich besser als die alkalische Elektrolyse für den dynamischen Betrieb.
- **Die Hochtemperatur-Elektrolyse (HTES)** basiert auf den Umkehrreaktionen der Festoxidbrennstoffzelle (Solid Oxide Electrolysis, SOEL). Bei dieser Form der Elektrolyse wird ein Teil der Spaltungsenergie, die bei der Trennung von Sauerstoff und Wasserstoff benötigt wird, durch Hochtemperaturwärme (ca. 850 bis 1000 °C) bereitgestellt. Im Vergleich zu den anderen beiden Elektrolyseformen kann die Zellspannung um mehr als 0,5 V auf unter 1 V gesenkt und hohe strombezogene Wirkungsgrade erreicht werden. [7]

Plasmalyse: Eine neue Möglichkeit der Wasserstoffgewinnung, ist die Plasmalyse. Bei dieser Methode werden Schmutzwasser, etwa aus Kläranlagen, sowie die darin enthaltenen Stickstoffverbindungen mithilfe von regenerativ erzeugtem Strom in Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff aufgespalten. Zurück bleibt das gereinigte Wasser, das wieder in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt werden kann. Wasser-, Sauer- und Stickstoff werden in Gasmembrane geleitet und sortiert. Was übrig bleibt, ist der Wasserstoff, der in die Tanks gefüllt wird; Sauer- und Stickstoff werden in die Luft abgegeben. Als Abfallprodukte entstehen gereinigtes Wasser und Sauerstoff. Auch im Kostenvergleich zu anderen Wasserstoffherstellungsverfahren schneidet die Plasmalyse besser ab: Lediglich 3 Euro pro kg, im Vergleich zu 6 bis 8 Euro pro kg bei den herkömmlichen Verfahren, kostet die Wasserstoffherstellung. [8]



► Abb. 5 / **Energieerückgewinnung** durch elektrisches Bremsen.

Bei der Entwicklung der neuen Fahrzeuggeneration wurde außerdem darauf geachtet, die gewohnten Freiräume für den Fahrzeugaufbau uneingeschränkt beizubehalten. Ein Aufbau, der heute auf ein vergleichbares Fahrgestell mit 3.900 mm Radstand passt, passt auch in Zukunft auf das Fahrgestell für Wasserstoff-Brennstoffzellen-Abfallsammelfahrzeuge und -Kehrmaschinen.

H₂-Technologie im Abfallsammelfahrzeug

Für das Abfallsammelfahrzeug wird als Fahrzeugunterbau ein sogenannter „Gleiter“ verwendet. Dabei handelt es sich um einen Rohling ohne konventionellen Verbrennungsmotor, Tank, Motorblock, Getriebe oder Auspuffanlage. Am Gleiter werden sämtliche Komponenten für den Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb verbaut. (Abb. 3) Der Fahrzeugaufbau, für beispielsweise einen Drehtrommel- oder auch Pressplattenmüllwagen, bleibt identisch. Lediglich der Antrieb verändert sich, die hydraulischen Pumpen werden von einem E-Motor angetrieben, nicht mehr vom Nebenantrieb des Dieselmotors.

Der Wasserstoff wird in gasförmiger Form in die Tanks gefüllt und dort verlustfrei unter einem Druck von 700 bar gespeichert. Verbaut werden bis zu maximal vier Tanks mit einem jeweiligen Fassungsvermögen von 4 kg Wasserstoff. Die Wasserstofftanks sind mit Sensoren zur Temperaturüberwachung

ausgestattet, die dafür sorgen, dass die Tanks nicht überhitzen. Zudem sind sie beschusssicher, was bei der Zulassung der Tanks durch einen Beschusstest nachgewiesen werden musste. Sollte im Falle eines Unfalls das Gas entweichen, gibt es keine Explosion, sondern lediglich eine steil aufsteigende Stichflamme.

Als weitere Sicherheitsmaßnahme für den gefahrlosen Betrieb wurden sämtliche Bauteile, die mit Wasserstoff in Berührung kommen, zertifiziert und vom TÜV geprüft. Falls es doch einmal zur Undichtigkeit kommt, wird der ausströmende Wasserstoff gefahrlos abgeleitet.

Brennstoffzellen

Der Wasserstoff wird über eine Zuleitung in die Brennstoffzellen gepumpt. FAUN verwendet Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen (Proton Exchange Membrane = PEM). Sie sind gegenüber anderen Brennstoffzellenarten vorteilhafter, da sie eine hohe Leistungsdichte haben und kompakt verbaut werden können. Die PEM-Brennstoffzellen haben eine typische Betriebstemperatur von etwa 80 °C. Die freigesetzte Wärme kann zum Beispiel für die Fahrzeugheizung verwendet werden. Zudem besitzt diese Brennstoffzellenart eine hohe Lastflexibilität, was den Lastwechsel beim Beschleunigen und Verlangsamen erleichtert. Sie sind technisch ausgereift und zuverlässig, haben eine hohe Energieeffizienz und sind besonders geeignet für mobile Anwendungen wie

im Lastverkehr. Außerdem wird den PEM-Brennstoffzellen das bisher größte Kostensenkungspotenzial unterstellt. [6]

Die Brennstoffzelle fungiert als Energieumwandler, der die chemische Reaktionsenergie von Wasserstoff und Sauerstoff, der aus der Umgebungsluft angesogen wird, in elektrische Energie umwandelt. Diesen Prozess nennt man „kalte Verbrennung“ – eine umgekehrte Elektrolyse. Die Elektrolyse zerlegt Wasser mithilfe von elektrischer Energie in Wasserstoff und Sauerstoff. Die kalte Verbrennung wandelt Wasserstoff und Sauerstoff wieder zu Wasser um. Bei diesem chemischen Prozess wird zusätzlich Energie in Form von Strom und Wärme freigesetzt.

Als weitere Sicherheitsmaßnahme für den gefahrlosen Betrieb wurden sämtliche Bauteile, die mit Wasserstoff in Berührung kommen, zertifiziert und vom TÜV geprüft.

Die Brennstoffzelle besteht aus plattenförmigen Elektroden, der Anode (Pluspol) und der Kathode (Minuspol). Diese sind durch Elektrolyte getrennt, die Ionen-durchlässig sind. Die Elektrolyte bestehen bei der PEM-Brennstoffzelle, wie es der Name verrät, aus einer Polymer-Membran, einer dünnen, aber dennoch festen Kunststoffhaut.

Auf der Anoden-Seite wird Wasserstoff zugeführt, der in Wasserstoffkerne und Elektronen aufgespalten wird. Die positiv geladenen Wasserstoffkerne wandern direkt durch die Elektrolyten-Membran zur Kathode, wo sich der Sauerstoff befindet. Die Elektronen nehmen einen Umweg von der Anode durch einen Leiter zur Kathode. Hierbei entsteht elektrische Energie, die zum Antrieb für den Elektromotor benötigt wird. In der Kathode reagieren die Elektronen mit Sauerstoff und den Wasserstoff-Ionen zu Wasser und geben dabei Wärme ab. Das Wasser wird dann in Form von Wasserdampf abgegeben. (Abb. 4) Die Brennstoffzelle arbeitet somit schadstofffrei.

Da eine einzelne Brennstoffzelle zu wenig elektrische Energie erzeugt, bedarf es meist mehrerer, die zu Stacks zusammengefasst werden. Für das Abfallsammelfahrzeug können maximal drei Brennstoffzellenstacks mit einer Leistung von jeweils 30 kWh verbaut werden, sodass eine Gesamtleistung von 30, 60 oder 90 kWh gewonnen wird. Das mag wenig klingen, reicht im Betrieb aber vollkommen aus. Denn Leistungsspitzen beim Anfahren werden

über die Batterieleistung abgedeckt. Die unterschiedlichen Leistungskategorien bestimmen die mögliche Dauergeschwindigkeit des Fahrzeugs. Ein Abfallsammelfahrzeug mit 90 kWh ist für den Betrieb auf der Autobahn bestens gerüstet.

Die Reichweite hängt von der Anzahl der Tanks ab, sieht man vom Fahrverhalten des Fahrers einmal ab. Mit einer vollständigen Ausrüstung von vier Tanks wird eine Reichweite von circa 240 km (nach WHVC) möglich. Genaue Angaben werden derzeit nach einem genormten Messverfahren (WHVC-Zyklus) ermittelt. Stimmen die derzeit vorliegenden Annahmen und Simulationsergebnisse, müsste ein Abfallsammelfahrzeug mit voller Ausstattung alle zwei bis zweieinhalb Tage tanken.

Batterie und Elektromotor

Der erzeugte Strom fließt über den Hochvoltverteiler in die Batterien, die sich direkt unter dem Fahrerhaus befinden. Von dort werden die elektrischen Verbraucher, insbesondere der E-Motor mit der benötigten Energie versorgt. Der Hochvoltverteiler inklusive der Kühlelemente und Steuerungseinheiten ist direkt hinter dem Fahrerhaus verbaut, ein Platz, der sonst größtenteils ungenutzt bleibt.

Die Batterien basieren auf Nickel-Mangan-Cobalt-Chemie und haben eine Lebensdauerendekapazität von 85 kWh, bei einer installierten „Neukapazität“ von 115 kWh. Das Gewicht der Batterien beträgt insgesamt 960 kg.

Diese Batteriekapazität von 85 kWh reicht genau für die Sammelleistung von 10 t Abfall. Bei Fahrzeugen, bei denen aus Kostengründen auf die Brennstoffzellen verzichtet wurde, kann zwischen den zwei Touren während der Mittagspause innerhalb von 45 min nachgeladen werden, sofern ein Hochleistungs-ladegerät mit circa 150 kW Spitzenleistung zur Verfügung steht. Das erübrigt sich natürlich bei Fahrzeugen mit Brennstoffzellen. Die Batterien sind so konzipiert, dass die Kapazität von 85 kWh auch noch nach acht Jahren zur Verfügung steht.

Bremsenergie nutzbar machen

Bei der Sammlung von Rest- oder Wertstoffen wird ein Müllfahrzeug sehr häufig gestoppt. Dies kann in dicht besiedelten Gebieten alle paar Meter sein. Mit konventionellen Fahrgestellen geht dabei viel Bremsenergie verloren und es entsteht Feinstaub beim Bremsvorgang. Die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeuge werden elektrisch angetrieben und elektrisch gebremst, die Bremsenergie wird in der Batterie rekuperiert. So

wird die bei konventionell gebremsten Fahrzeugen in Form von Wärme verlorene Energie für den Antrieb des Fahrzeugs nutzbar gemacht. (Abb. 5) Dadurch benötigt das Fahrzeug bis zu 40 % weniger Energie, ist CO₂- und NOX-frei und emittiert weniger Feinstaub in die Luft.

Die Zukunft – null Emission und Kreislaufwirtschaft

Beim Fahren mit Abfallsammelfahrzeugen und Kehrmaschinen mit Wasserstoff-Brennstoffzelle ist die lokale Emission gleich Null. Lediglich Wasserdampf wird ausgestoßen. Aber auch den ökologischen Fußabdruck der Wasserstoffgewinnung und -herstellung gilt es zukünftig zu optimieren. Ziel muss es sein, grünen Wasserstoff zu produzieren, bei dem regenerativer Strom für den Herstellungsprozess verwendet wird. Ein Herstellungsprozess ist die Elektrolyse. Dieses Verfahren kann in jeder Müllverbrennungsanlage zum Zuge kommen. Und hier schließt sich der Kreis: Der Müll wird mit Wasserstoffantrieb gesammelt und aus dem gesammelten Müll wird der benötigte Wasserstoff gewonnen. Somit ist keine Abhängigkeit vom Wasserstofftankstellennetz gegeben. Die meisten Kunden aus der Entsorgungsbranche, die planen, sich ein Wasserstofffahrzeug anzuschaffen, haben ebenso die Absicht, eine eigene Produktion von Wasserstoff aufzubauen. Die Kosten für die Energiebereitstellung sind dabei in etwa vergleichbar mit Diesel. 

Literaturhinweise

- [1] A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. Online: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf, aufgerufen am 11.09.2020
- [2] Bisher einziger Nachteil bei der Verwendung von Wasserstoff ist der geringere Well-to-Wheel-Wirkungsgrad, an dessen Optimierung verstärkt gearbeitet wird.
- Bis 2025 müssen die CO₂-Emissionen im Durchschnitt um 15 % und bis 2030 um 30 % gesenkt werden, sonst drohen hohe Strafen. Mit dem Wasserstoff-Lkw in die Zukunft. Online: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/boerse/wasserstoff-lkw-101.html>, aufgerufen am 14.09.2020
- [3] Die Nationale Wasserstoffstrategie. Online: <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html>, aufgerufen am 11.09.2020
- [4] BMVI investiert 23,5 Millionen Euro in Wasserstoffmobilität. Online: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2019/079-scheuer-nip-wasserstoff.html>, aufgerufen am 11.09.2020

INFO

VORTEILE VON FCEV AUF EINEN BLICK

- Anforderungsgerechte Reichweiten und Einsatzzeiten ohne Nutzlastverluste
- Emissionsfrei – lediglich Wasserdampf wird ausgestoßen.
- Geräuscharmer Betrieb
- Lebensdauer von zwölf Jahre wie auch bei den konventionellen Fahrzeugen

- [5] Ein ADAC-Test aus 2019 mit einem Wasserstoff-Pkw ergab eine Reichweite von 480 km. Wasserstoff-Busse erreichen circa 300 km Reichweite. Test Toyota Mirai: Wasserstoff an Bord. Online: <https://www.adac.de/der-adac/motorwelt/reportagen-berichte/auto-innovation/brennstoffzellenauto-toyota-mirai/>, aufgerufen am 17.09.2020. Brennstoffzellen-Linienbus. Online: <https://infoportal.mobil.nrw/technik/busse-mit-elektrischem-antrieb/brennstoffzellen-linienbus.html>, aufgerufen am 17.09.2020
- [6] Materialien und Komponenten von Membranbrennstoffzellen – Brennstoffzellenentwicklung. Online: <https://www.uni-due.de/energietechnik/de/bzentwicklung.php>, aufgerufen am 28.09.2020
- [7] Wie wird Wasserstoff hergestellt?. Online: <https://www.euwid-energie.de/wie-wird-wasserstoff-hergestellt/>, aufgerufen am 17.09.2020
- [8] Plasmalyse: Kraftstoff aus Abwasser und erneuerbaren Energien. Online: <https://www.internationales-verkehrswesen.de/plasmalyse-kraftstoff-aus-abwasser/>, aufgerufen am 17.09.2020



DR. JOHANNES F. KIRCHHOFF

ist geschäftsführender Gesellschafter der KIRCHHOFF-Gruppe und der KIRCHHOFF Ecotec GmbH in Iserlohn, Deutschland. Zur KIRCHHOFF Ecotec gehören die FAUN- und ZOELLER-Gruppe – zwei Global Player in der Herstellung von Fahrzeugen für die Entsorgungslogistik und Straßenreinigung. In diesen Bereichen setzt sich Dr. Kirchhoff bereits seit Jahren für die Weiterentwicklung alternativer Antriebs-technologien, insbesondere dem Wasserstoffantrieb, ein.

DREI FRAGEN AN: MICHAEL ZAHLTEN

Michael Zahlten ist Geschäftsführer des im Sommer gegründeten Hamburg Institute for Innovation, Climate Protection and Circular Economy GmbH (HiiCCE). Das Institut sieht sich als Impulsgeber und Vordenker auf dem Gebiet der Kreislaufwirtschaft und führt die Kompetenzen der Stadtreinigung Hamburg, der Arbeitsgruppe Sustainable Resource and Waste Management der Technischen Universität Hamburg und der ehemaligen JOMA Umwelt-Beratungsgesellschaft mbH unter einem Dach zusammen.

► **Herr Zahlten, das HiiCCE soll als Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Forschung sowie praktischer Anwendung im Bereich Ressourcen- und Klimaschutz arbeiten. Welche Idee steckt dahinter?**

Der Akademische Senat der Technischen Universität Hamburg hat in seiner Sitzung am 23. Juni 2021 beschlossen, HiiCCE die akademische Bezeichnung „Wissenschaftliche Einrichtung an der Technischen Universität Hamburg“ zu verleihen. Diese Würdigung ist für uns eine außerordentliche Ehre und erfüllt uns gleichermaßen mit Stolz und Verpflichtung. Als erstes kommunales Unternehmen verfügt damit unser Gesellschafter, der Konzern Stadtreinigung Hamburg, über ein eigenes wissenschaftliches Institut mit Hochschulanbindung. HiiCCE wird von einem hochkarätigen wissenschaftlichen Beirat sowie von Frau Professorin Dr. Kerstin Kuchta als wissenschaftliche Leiterin unterstützt. So können wir Unternehmen und Organisationen regional, national und international eine fundierte inhaltliche, wissenschaftliche und praktische Kompetenz für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft bieten und setzen neue Maßstäbe in der Circular Economy.

► **Mit welcher Intention und welchen Zielen ist dies verbunden?**

Die Gesellschaft steht vor großen Herausforderungen, nicht zuletzt auch durch das globale Müllproblem. HiiCCE gibt darauf richtungweisende Antworten, die auf jahrzehntelangen Erfahrungen in Abfallwirtschaft, Umweltberatung und Wissenschaft basieren. Hauptaufgabe ist die Erarbeitung von kundenspezifischen Problemlösungen in den Bereichen Klimaschutz sowie Kreislauf- und Ressourcenwirtschaft. Wir stellen uns den komplexen Herausforderungen mit dem Ziel ganzheitlicher und maßgeschneiderter Konzepte, auch in Kooperation mit wissenschaftlichen Einrichtungen. Wir sind überzeugt, dass unser gemeinsames Wirken neue Impulse setzen und HiiCCE gleichermaßen Impulsgeber und Vordenker auf diesen zukunftsrelevanten Gebieten werden kann.



► **Können Sie uns einen Einblick geben in konkret anstehende Projekte und Aufgaben?**

Eine zentrale Aufgabe ist der Klima- und Ressourcenschutz im Bereich der Entsorgungswirtschaft. Hier werden derzeit gemeinsame Projekte bearbeitet, die das Ziel verfolgen, die abfallwirtschaftlichen Prozesse in allen Bereichen wie Sammlung, Transport, Behandlung sowie Verwertung und Entsorgung klimaneutral zu machen und dabei Stoffkreisläufe zu schließen. Ein besonderes Augenmerk gilt auch dem Schließen von Kohlenstoffkreisläufen durch Verwertung von Abgas aus Behandlungsanlagen für biogene Reststoffe mittels Carbon Capture and Utilization (CCU). Ziel ist es, in Zusammenarbeit mit Wissenschaft und Wirtschaft überregionale Lösungen zu entwickeln, um aus regenerativ erzeugtem Wasserstoff sowie zurückgewonnenem regenerativen Kohlenstoff zukünftig synthetische klimaneutrale Kraft- und Rohstoffe für den nachhaltigen fossilfreien Umbau der Gesellschaft zu erzeugen. ➡

WIRTSCHAFTLICHKEIT VON SCHWEREN NFZ MIT WASSERSTOFFANTRIEB

DIRK BECKER / FALKO BERG / MARTIN ROTHBART / RAOUL SCHROEDER

Um die globalen Klimaziele zu erreichen, müssen die Effizienz der gesamten Energieumwandlungskette sowie der Anteil erneuerbarer Energien am globalen Energiemix erhöht werden. Erneuerbare Energien haben die Herausforderung der Fluktuation und damit Zeiträume, in denen keine Energie erzeugt werden kann. Es wird sich ein signifikanter Bedarf an chemischen Energieträgern ergeben, insbesondere grüner Wasserstoff wird in der Zukunft als sauberer Kraftstoff und Energieträger eine zentrale Rolle einnehmen. Japan, Deutschland, Südkorea und die USA sind seit vielen Jahren aktiv und entwickeln und verfolgen umfassende Wasserstoffstrategien.

Für mehrere Anwendungsfälle, wie die Speicherung und den Transport von grüner Energie, für den Antrieb großer Fahrzeuge und den emissionsfreien Fernverkehr, wird Wasserstoff als eine attraktive Option der Zukunft angesehen. (Abb. 1) Hauptkostentreiber für Langstrecken Anwendungen sind neben den Personalkosten und Kosten für die Straßenbenutzungsgebühren überwiegend die Kraftstoffkosten. Batterie-elektrische Lkws scheinen aufgrund der Ladekosten und Ladedauer im Langstreckenverkehr aktuell nur bedingt eine Alternative zu sein. (Abb. 2)

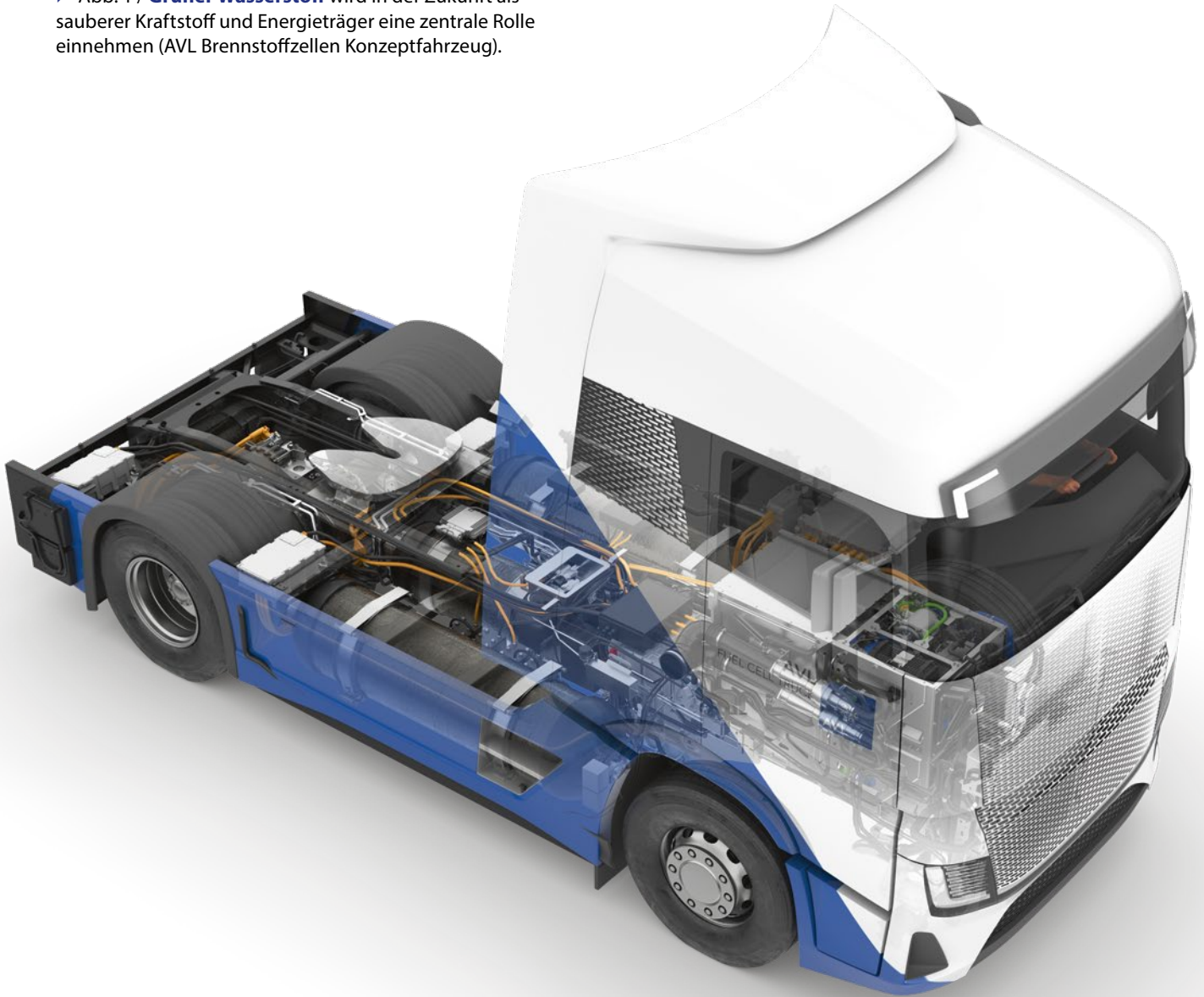
Ab dem Jahr 2030 weisen brennstoffzellenbetriebene Fahrzeuge für Straßen-Lkws die niedrigsten Gesamtbetriebskosten auf. Einen großen Einfluss haben hier in Zukunft sicherlich die Entwicklung der Straßenmaut und die zukünftige CO₂-Zertifikatspreisentwicklung in der globalen Betrachtung. (Abb. 3)

Der Einsatz von Wasserstoff in Verbrennungsmotoren liegt in einem vergleichbaren Kostenbereich und würde die Reduzierung fossiler Energieträger für den Straßenverkehr unterstützen, jedoch bedarf hier das Thema Stickoxid-Emissionierung besonderer Aufmerksamkeit und entsprechender Gegenmaßnahmen.

Der Einsatz von Wasserstoff in Verbrennungsmotoren würde die Reduzierung fossiler Energieträger für den Straßenverkehr unterstützen, jedoch bedarf auch hier das Thema Stickoxid-Emissionierung besonderer Aufmerksamkeit und entsprechender Gegenmaßnahmen.

AVL hat sich vor diesem Hintergrund der technischen Herausforderung der Entwicklung und Integration eines PEM-Brennstoffzellensystems (BZS) in eine 4x2-Sattelzugmaschine angenommen. Im Folgenden werden die systemische Umsetzung sowie fahrzeugseitige Integration neben deren funktionalen und geometrischen Randbedingungen aufgezeigt.

► Abb. 1 / **Grüner Wasserstoff** wird in der Zukunft als sauberer Kraftstoff und Energieträger eine zentrale Rolle einnehmen (AVL Brennstoffzellen Konzeptfahrzeug).



Fahrzeugseitig ist bei einem Brennstoffzellenantrieb die Auslegung des Hochtemperatur-Kühlsystems eine der wesentlichen Herausforderungen.

Grundsätzlich lassen sich folgende zwei Integrationsansätze eines BZS als Antriebseinheit in ein Nutzfahrzeug abgrenzen:

1. „Dedicated Fuel Cell System“: Integration eines BZS in ein bestehendes Nutzfahrzeug mit möglichst geringem Eingriff in die Fahrzeugarchitektur. Hierbei gilt es, den frei werdenen Bauraum durch den Entfall der Motor-Getriebeeinheit möglichst effizient auszunutzen („BZS-Architektur folgt der Fahrzeugarchitektur“).
2. „Dedicated Fuel Cell Truck“: Entwicklung eines neuen Zugfahrzeugs unter maximaler Berücksichtigung der funktionalen Anforderungen des BZS sowie aller elektrischen Antriebskomponenten („Fahrzeugarchitektur folgt der BZS-Architektur“).

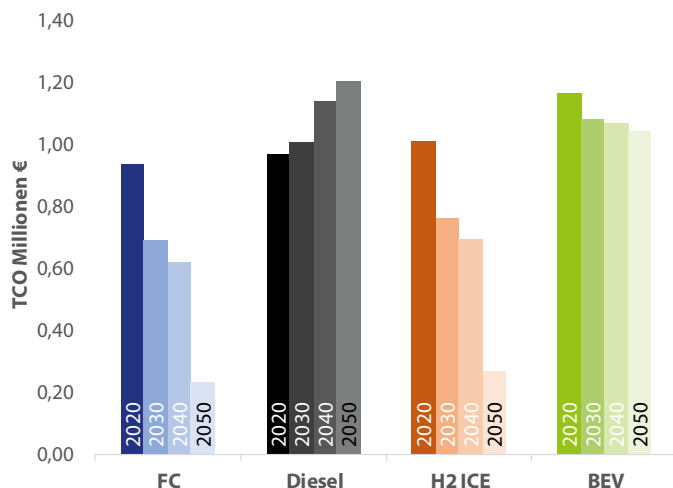
Ansatz 1.) hat als Enabler neuer Antriebstechnologien klar den Vorteil, den kurzfristigen Neuentwicklungsaufwand aufseiten der NFZ-OEM gering zu halten und den ohnehin kostenintensiven Umstieg auf neue Antriebssysteme so zu erleichtern. Die Einstiegsschwelle wird folglich herabgesetzt beziehungsweise

es es können mit einer einheitlichen Fahrzeugplattform verschiedene Antriebssysteme integriert und damit unterschiedliche Kundenanforderungen bedient werden. Im konkreten und hier dargestellten Anwendungsfall wird daher der Ansatz „Dedicated Fuel Cell System“ verfolgt.

Das technisch-wirtschaftliche Optimum innerhalb des gegebenen Einbauraums ergab sich zu zwei elektrisch parallel geschalteten, identisch aufgebauten BZS mit je 155 kW Nennleistung. An diese beiden BZS ist eine 50-70 kWh-Leistungsbatterie gekoppelt. Durch den mechanischen Verbund dieser drei Systeme (2 x BZS plus Batterie) kann ein kompaktes und in sich steifes Powerpack realisiert werden, bei dem im Gegensatz zu einer Einzellagerung der Systeme keine Einzelschwingwege dieser drei zueinander berücksichtigt werden müssen. Hierdurch entfällt das Risiko gegenläufiger Schwingungsamplituden und damit die Anforderung eines entsprechenden Freigangs der Systeme zueinander. Zusätzlich ist eine Montage und Lagerung der Antriebseinheit vergleichbar einem konventionellen Antriebssystem darstellbar.

Zielführend und für die Realisierung eines kompakten BZS-Powerpacks war die Entscheidung, einige Komponenten der BZ-Peripherie (sogenannte Balance of Plant, „BoP“) fahrzeugseitig und damit dezentral zu verorten. Beispielsweise sind DC/DC-Wandler, Luftfilter, Ansaug- und Abgasgeräuschdämpfer sowie der Ionentauscher keine integralen Bestandteile der BoP. Diese lassen sich abseits des BZS in fahrzeugseitige Einbauräume platzieren, womit die volumetrische Leistungsdichte des BZS im „Motorraum“ entsprechend hoch ausfällt. Der Inte-

► Abb. 2 / TCO Fernverkehr Lkw – **Sensitivitätsanalyse** 2020–2050.



TCO Millionen €				
Jahr	FC	Diesel	H2 ICE	BEV
2020	0.94	0.97	1.01	1.17
2030	0.69	1.00	0.76	1.08
2040	0.62	1.14	0.69	1.07
2050	0.23	1.20	0.27	1.04

© AVL

Unter den gegebenen Randbedingungen ist der PEMFC-angetriebene Langstrecken-Lkw ab 2030 kostenmäßig die bevorzugte Lösung und aufgrund von Anreizen (Steuern, Maut) wohl sogar in näherer Zukunft wettbewerbsfähig.

► INFO

grationsaufwand je Fahrzeugvariante ist damit gegenüber einer zentralen Anordnung zwar leicht erhöht, hingegen profitiert die Bauraumaussnutzung auf Gesamtfahrzeugebene erheblich.

Fahrzeugseitig ist bei einem Brennstoffzellenantrieb die Auslegung des Hochtemperatur-Kühlsystems eine der wesentlichen Herausforderungen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass kaum Abwärme über das „Abgas“, sondern nahezu ausschließlich über das Kühlmittel, und im Vergleich zum Verbrennungsmotor auf deutlich niedrigerem Temperaturniveau, abgeführt wird. Dies erfordert ein ausgeklügeltes Thermomanagement auf Systemebene sowie fahrzeugseitig entsprechend groß dimensionierte Kühlerflächen mit leistungsstarken Lüftern. Auch spielt eine möglichst geringe Verblockung der Kühlerabluftführung eine zentrale Rolle. Aus diesem Grund ist bei der gewählten Anordnung dem Lüfter die BoP und nicht der Stack folgend angeordnet. Dies ermöglicht durch eine im Vergleich zu einem Stackgehäuse offenere Struktur einen geringeren Strömungswiderstand und damit die freiere Abströmung der Kühlerabluft.

Der wesentliche Treiber einer BZS-Architektur ist neben diversen funktionalen Anforderungen der verfügbare Einbauraum der Zielanwendung. Im konkreten Anwendungsfall ist dies der frei werdende Bauraum des Motor-Getriebeverbundes einer 4x2-Sattelzugmaschine. Dieser kann vereinfacht durch die dynamischen begrenzenden Kabinenboden (oben) beziehungsweise Achsquerträger (unten), seitlich durch die tordierenden Längsträger, nach vorne durch das entkoppelte Kühler-Lüfterpaket und nach hinten durch den starren Kabinenquerträger beschrieben werden. Diese

Die Architektur des AVL HyTruck Brennstoffzellensystems lässt sich in drei Bereiche gliedern (Abb. 4):

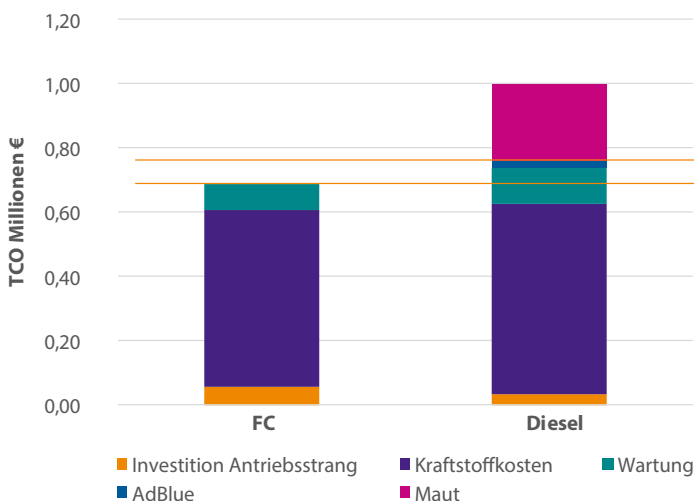
1. das Stackgehäuse mit den beiden integrierten, liegenden Zellreihen
2. das zentrale Medienverteilersystem (Media Supply Unit MSU)
3. die Peripherie der Brennstoffzelle („BoP“)

Begrenzungen bilden einen schmalen, aber langen und hohen Bauraum und geben so den Formfaktor für ein BZS bereits grob vor.

Betrachtet man ein einzelnes BZS, so lassen sich neben den fahrzeugseitigen Anforderungen eine Reihe von geometrischen und funktionalen Architekturtreibern identifizieren, von denen im Folgenden einige ausgewählte beschrieben werden.

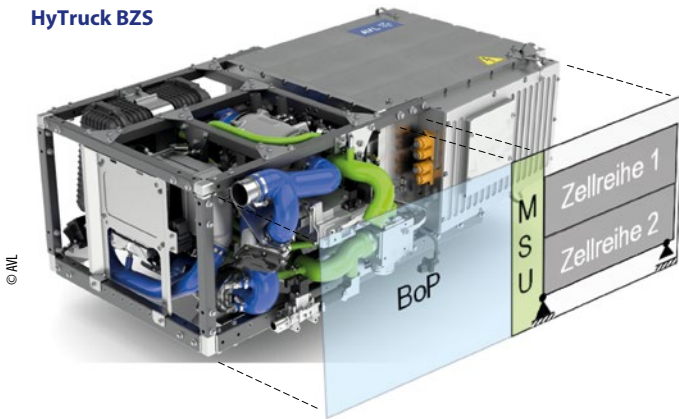
Die Leistungsskalierung eines Brennstoffzellensystems erfolgt zum einen über die Anzahl der gestapelten Zellen (beziehungsweise deren aktiver Fläche), zum anderen über die Anzahl der Zellreihen im BZS. Um die hohe geforderte Nennleistung von je 155 kW zu erreichen, sind für den spezifischen Anwendungsfall zwei Zellreihen zu je 314 Einzelzellen erforderlich. [1] Hierdurch ist die Länge des Stacks beziehungsweise des Stackgehäuses bereits festgelegt.

► Abb. 3 / **Einfluss der Straßenmaut** beziehungsweise Mautbefreiung auf die Kostenbewertung für Lkw Langstrecke, Investition 2030.



Der Einfluss der Maut ist bei dieser Anwendung ganz erheblich, aber auch ohne die Mautbefreiung können Brennstoffzellen-elektrische Lkw wettbewerbsfähig sein.

HyTruck BZS



► Abb. 4 / Prototyp und Prinzipanordnung des **AVL HyTruck BZS**.

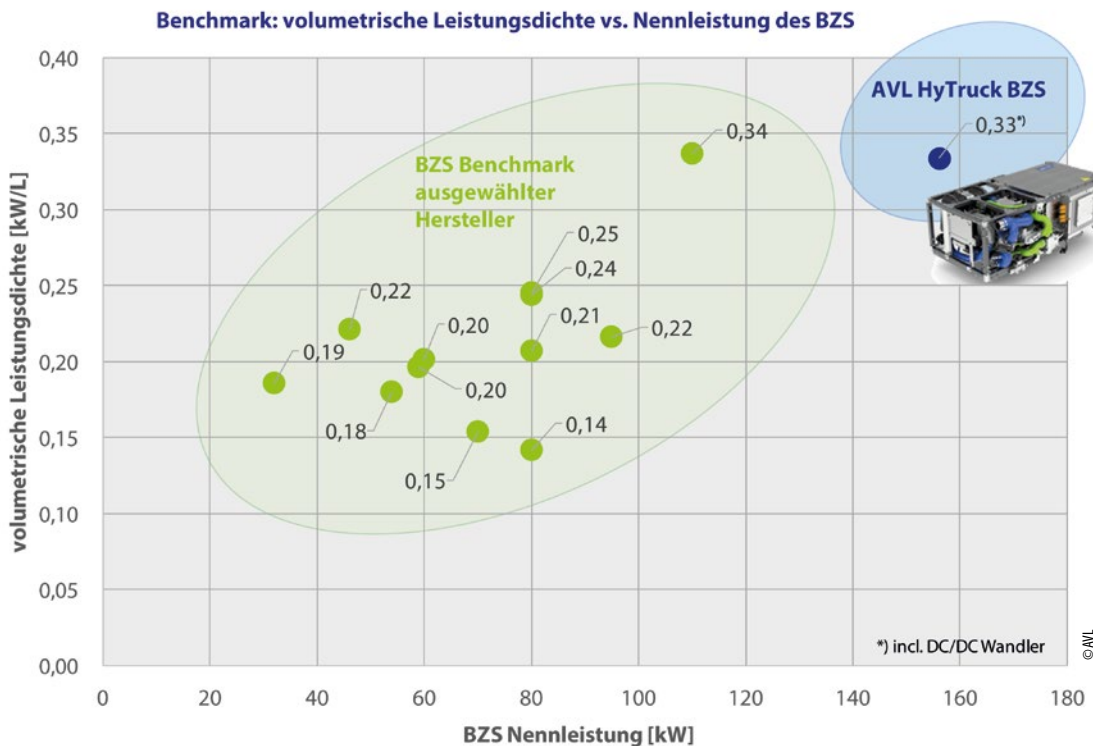
Grundsätzlich empfehlen sich zwei Anordnungen für die BoP relativ zum Stackgehäuse: entweder seitlich oder unterhalb positioniert. Dies ist im Wesentlichen den funktionalen Anforderungen der Medienzuführung und -abführung geschuldet. Auf der Kathoden- sowie Anodenseite der Brennstoffzelle ist ein Ausstrag von Produktwasser durch einen stetig fallenden Verlauf der Gaskanäle zu gewährleisten. Die Medienführung des Kühlsystems ist steigend mit einer Entlüftung des Stacks an höchster geo-

dätischer Stelle zu gestalten. Zusätzlich ist nach dem Austritt aus dem Prozessluftbefeuchter ein kurzes Leitungsrouting bis zum Stackeintritt empfehlenswert, um ein Rückkondensieren der befeuchteten Luft an den kühleren Wandungen der Medienführung zu minimieren. Große Komponenten des Kathodenpfades wie Kompressor, Wärmetauscher oder Befeuchter mit entsprechend hohen Leitungsquerschnitten und dadurch großen Krümmungsradien der Luftführungselemente sind wesentliche Treiber der Komponentenanzahl innerhalb der BoP.

Zur Erfüllung von NVH-Anforderungen sind einzelne Bauteile, besonders in mobilen Anwendungen, entkoppelt zu lagern (vergleiche Kompressor oder Wasserpumpe), um einen Körperschalleintrag in die Rahmenstruktur zu minimieren. Ebenso sind gegebenenfalls Einlass- und auslassseitige Schalldämpfer im Prozessluftpfad (hier fahrzeugseitig angebracht) zu berücksichtigen.

Aus elektrischer Sicht sind insbesondere DC/DC- und DC/AC-Wandler sowie die massiven HV-Kabelstränge und deren Verlegewege frühzeitig zu berücksichtigen. Eine Anpassung der Spannungslagen der elektrischen BoP-Komponenten an das Fahrzeugspannungsniveau reduziert die Anzahl der erforderlichen Spannungswandler und damit ebenso Systemkosten und Integrationsaufwand. Der Kompressor benötigt für den Betrieb

► Abb. 5 / **Systemische Leistungsdichte** des AVL HyTruck BZS im Vergleich zum Benchmark.



in der Regel einen platzintensiven DC/AC-Wandler, der entweder in den Kompressor integriert oder dezentral verbaut werden kann. Je nach Bauraumgegebenheit bietet eine maßgeschneiderte, integrierte Lösung in mehreren Belangen gewisse Vorteile, wohingegen ein dezentral angebrachter Wandler mehr geometrische Freiheiten bietet. Um kurze Kabelverlaufswege zu realisieren, lassen sich Spannungswandler vorzugsweise fahrzeugseitig in unmittelbarer Nähe des BZS oder seitlich beziehungsweise auf dem Stackgehäuse positionieren.

Die Schnittstelle zwischen BoP und den Stacks bildet die MSU. Dieses hoch integrierte, innovative Bauteil ist wesentlich dafür verantwortlich, dass mit dem AVL HyTruck BZS hohe volumetrische Leistungsdichten von 0,334 kW/l auf Systemniveau erreicht wurden. (Abb. 5)

Wesentliches Merkmal der aus einem Spezialkunststoff gefertigten MSU ist die umfassende Funktionsintegration: Diese ist sowohl ein tragendes Gehäuseteil und Festlager für den Stack, sorgt aber auch gleichzeitig durch innen liegende Verteilerstrukturen für eine parallele, homogene Medienversorgung der beiden Zellreihen. Zusätzlich sind in einer Vorsatzebene wesentliche Komponenten wie H₂-Injektor und Ejektor, Wasserabscheider, Drosselklappen oder Überdruckventile kompakt und nah am Stack montiert. Dies gewährleistet zum einen kurze Wege mit geringen Strömungsverlusten, zum anderen durch die Funktionsintegration auch hohes Potenzial für Leichtbau und Kosteneinsparung. Bereits in der Entstehungsphase der MSU wurde das Thema Herstellkosten intensiv beleuchtet und durch einen frühzeitigen und konsequenten Design-to-cost-Ansatz eine einfache Herstellbarkeit mit geringen Produktionskosten berücksichtigt.

Zusammenfassung

Die Gesamtbetriebskosten hängen stark von den Randbedingungen der Produktion, des Transports, der Verteilung und der Nutzung von Wasserstoff ab. Ab 2030 zeigen alle Zukunftsszenarien einen Kostenvorteil von Wasserstoffanwendungen – speziell brennstoffzellenelektrischen Anwendungen.

Mit dem AVL BZS System konnte durch eine innovative MSU und eine optimierte BoP-Architektur eine hohe Leistungsdichte bei einem günstigen Formfaktor dargestellt und in eine Zielanwendung integriert werden. Nebenbei wurden die hohen Kühlleistungsanforderungen auf System- und Fahrzeugebene erreicht. In Kombination mit einer entsprechend dimensionierten HV-Leistungsbatterie ist so ein Powerpack entstanden, welcher für alle Anwendungen einer Sattelzugmaschine vorbereitet ist. 

Mitwirkende

Dipl. Ing. Bernhard Kometter, Ing. Michael Gröger, Ing. Michael Poll, Dr. techn. Johannes Mayr, alle AVL List GmbH, Graz, Österreich

Literatur

[1] ATZ Expertenforum Hanau 2020, "Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Stack Development – the handshake between simulation and design", Falko Berg Oktober 2020



DIPL.-ING. DIRK BECKER

ist Head of Fuel Cell & Design bei AVL List GmbH in Graz, Österreich.



DIPL.-WIRTSCH.-ING. FALKO BERG

ist Manager PEM System bei AVL List GmbH in Graz, Österreich.



DIPL.-ING.(FH) MARTIN ROTHBART

ist Senior Product Manager Energy & Sustainability bei AVL List GmbH in Graz, Österreich.



DIPL.-ING. RAOUL SCHROEDER

ist Manager Component Design & Integration Fuel Cell and Engine bei AVL List GmbH in Graz, Österreich.

ZERTIFIZIERUNG JA, ABER EFFIZIENTER UND TRANSPARENTER

RAINER FRIEDEL

Zertifizierungen unterstützen bei der Umsetzung wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Ziele – sowohl Unternehmen als auch Verbraucher bedienen sich zunehmend dieses Instruments. Zertifikate erleichtern Produkten und Unternehmen den Marktzugang. Die Wirtschaft stützt sich auf Zertifizierungen, und auch bei Verbrauchern dienen Zertifikate zur Orientierung und zur Kaufentscheidung.

Zertifizierung hat sich in den letzten drei Jahrzehnten zu einem nicht mehr entbehrlichen Instrument entwickelt, um gesellschaftlich formulierte Ziele, vorrangig in der Wirtschaft, voranzutreiben. Dabei ist über den Zeitraum eine deutliche Veränderung der Ziele festzustellen. In den 1990er-Jahren ging es vorrangig um Ziele, die eng mit den unmittelbaren Unternehmensinteressen verbunden sind. Zum Beispiel um zertifizierte Qualitätsmanagementsysteme, die die Verlässlichkeit von Lieferanten in der Wertschöpfungskette erhöhen und den Aufwand für Lieferantenkontrollen reduzieren. Danach entstanden eine Reihe von Produktzertifizierungssystemen (zum Beispiel EU-Öko-VO), die dem Verbraucherschutz dienen. Mit dem verstärkten Umweltbewusstsein entstanden dann zertifizierbare Umweltmanagementsysteme (zum Beispiel EMAS und ISO 14001), die sich Zielen zuwandten, welche über die unmittelbaren Unternehmensinteressen hinausgehen und den Unternehmens-Pionieren eine Plattform bieten, ihr gesellschaftliches Engagement öffentlich zu machen und hierfür zur Verstärkung das vertrauensbildende Instrument der Zertifizierung zu nutzen.

Die Vorteile der Zertifizierung in der Lebenspraxis lassen sich relativ genau nach den Anwendungsumfängen und Steigerungsraten von Zertifizierungen beurteilen. Die Internationale Standardorganisation (ISO) gibt in ihrem letzten Bericht Anwendungsumfänge für die Anzahl vergebener Zertifikate bekannt. (Tab. 1)

Zertifizierung hat sich in den letzten drei Jahrzehnten zu einem nicht mehr entbehrlichen Instrument entwickelt, um gesellschaftlich formulierte Ziele, vorrangig in der Wirtschaft, voranzutreiben.

Aus Tabelle 1 lassen sich zwei Beobachtungen ableiten:

- Die am längsten eingeführten Zertifizierungsverfahren haben die höchsten Anwenderzahlen.
- Die später herausgegebenen Standards ISO 28000 (im Jahr 2015) sowie ISO 37001 (im Jahr 2016) haben bisher, bezogen auf die Anzahl von Unternehmen, die theoretisch einen hohen Nutzen aus der Anwendung ziehen könnten, eine noch ziemlich geringe Verbreitung gefunden.

Parallel zur Zertifizierung von ISO-Standards für Managementsysteme hat sich auch die Produktzertifizierung sprunghaft entwickelt. (Abb. 1) Solche Zertifizierungssysteme werden in der Regel von privat organisierten Systemträgern entwickelt und angeboten. Eine EU-Veröffentlichung berichtet davon, dass

► Tab. 1 / Anzahl von Zertifikaten und Standorten für ausgewählte ISO-Managementstandards. Die in der Tabelle enthaltenen Ziffern sind die zuletzt von der ISO veröffentlichten Daten.

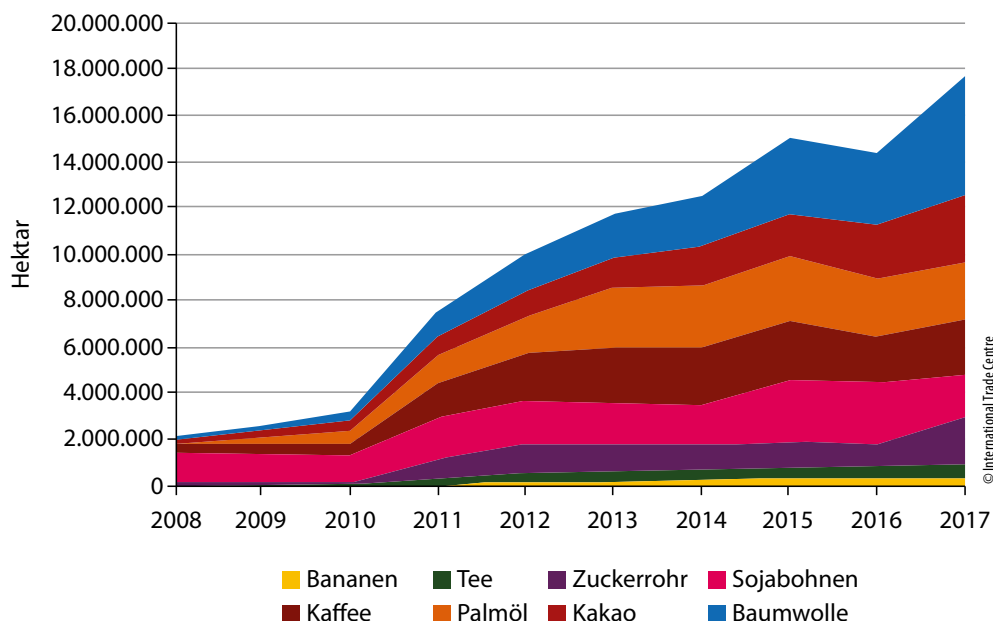
ISO-Nr. der Standards	Anwendungsgebiet	Insgesamt gültige Zertifikate	Gesamtzahl der Standorte
9001	Qualitätsmanagement	883.521	1.217.972
14001	Umweltmanagement	312.580	487.950
ISO/IEC 27001	Informationssicherheit	36.362	68.930
22000	Lebensmittelsicherheit	33.502	39.651
13485	Medizinprodukte	23.045	31.508
45001	Arbeits- und Gesundheitsschutz	38.654	62.889
50001	Energiemanagement	18.227	42.215
22301	Betriebsfähigkeit einer Organisation	1.693	6.231
ISO/IEC 20000-1	Servicemanagement in der IT	6.047	7.778
ISO 28000	Sicherheit der Lieferkette	1.874	2.403
ISO 37001	Korruptionsbekämpfung	872	4.096
ISO 39001	Verkehrssicherheit	864	1.852

Quelle: ISO

allein in der Lebensmittelproduktion über 450 Zertifizierungssysteme in der EU angewendet werden. Davon hat allerdings die weit überwiegende Mehrheit nur regionale oder sehr spezifische Bedeutung.

Für Öko-Textilien sind weltweit mehr als 70 Zertifizierungssysteme verfügbar. Auch hier wird die weit überwiegende Anzahl der Zertifikate auf der Basis von weniger als fünf Systemen vergeben.

In der letzten Dekade sind die Zertifizierungssysteme zur Zertifizierung gesellschaftlicher Ziele wie Nachhaltigkeit, Klimaschutz und soziale sowie ethische Verantwortung von Unternehmen dazugekommen. Oft haben diese gesellschaftlichen Ziele inzwischen auch Eingang in diverse Produktzertifizierungssysteme und Managementzertifizierungssysteme gefunden.



► Abb. 1 / Ausgewählte Produkte zertifiziert nach Nachhaltigkeitsstandard (Minimum möglich), 2008–2017. [1]

Zertifizierung bringt hohen Nutzen

Analysen der Systemträger sowie wissenschaftliche Untersuchungen unabhängiger Experten zeigen, dass mit Zertifizierungssystemen die gestellten Ziele in einem hohen Grad erreichbar sind.

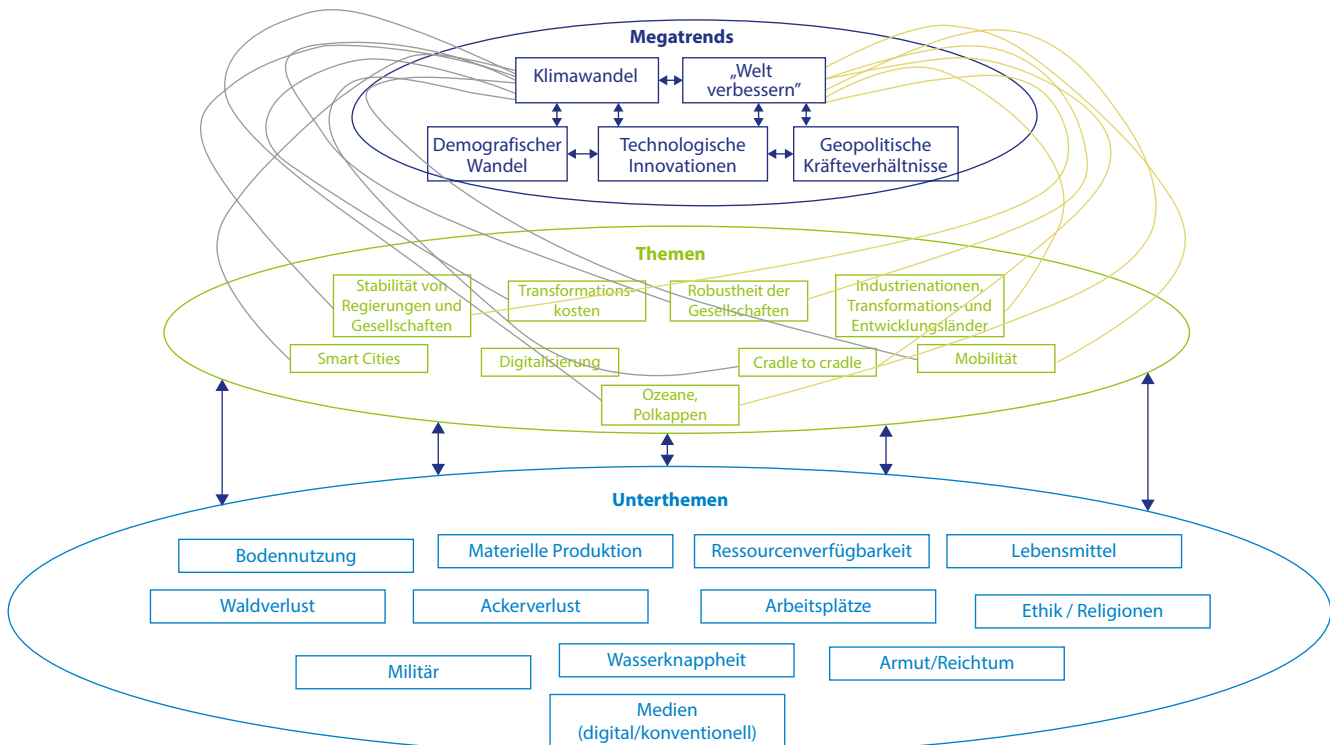
- **Bio-Lebensmittel:** In der Bio-Branche ist in Deutschland und der EU die Wettbewerbsverzerrung durch Täuschung und Betrug fast völlig zum Erliegen gekommen.
- **Fischbestände:** Durch MSC ist es bei mehreren bedrohten Fischarten durch das Zusammenwirken des Systemträgers mit den zuständigen Fischereien und wissenschaftlichen Experten sowie den vor Ort tätigen Fischereien gelungen, Bestände wieder aufzubauen, die wegen Überfischung stark zurückgegangen waren.
- **Waldbewirtschaftung:** Durch die weltweite Anwendung von FSC ist die Übernutzung von Wald nachweisbar eingeschränkt worden und die Prinzipien der nachhaltigen Waldwirtschaft bekamen enormen Bedeutungszuwachs bei den Waldbewirtschaftern und Holznutzern.
- **Nachhaltige Agrarrohstoffe:** Ähnlich ist auch der Erfolg von ISCC bei der Identifizierung und Eindämmung des direkten und indirekten Landnutzungswechsels zu bewerten. Nur durch

Für die Nutzer der Zertifizierung (Gesellschaft, Unternehmen, Verbände und Regierungen), die an Transparenz und Effektivität interessiert sind, besteht die Gefahr, dass die Übersicht verloren geht.

die Zertifizierung können Unternehmen, die aus Profitgründen wertvolle Flächen mit einem hohen Wert für die biologische Vielfalt dienende Flächen (zum Beispiel bewaldete Flächen, Naturschutzgebiete oder Grünland mit großer biologischer Vielfalt) in Ackerland umwandeln, identifiziert und durch Ausschluss aus der Wertschöpfungskette empfindlich bestraft werden. Sehr viele Zertifizierungssysteme können solche Erfolgsgeschichten präsentieren.

Dennoch gibt es auch berechtigte Kritik, insbesondere von unabhängigen werteorientierten Gruppen (Naturschutz, Klimaschutz, Nachhaltigkeit, soziale Verantwortung). Durch de-

► Abb. 2 / Mapping der Zusammenhänge zwischen den ausgewählten Trends und Themen



ren unverzichtbare, nicht nachlassende Hinterfragung und Initiative bleiben die Anstrengungen hoch, die Zertifizierungssysteme noch besser zu machen und die Zertifizierung mit noch mehr Transparenz durchzuführen.

Vom Instrument der Pioniere zum Zertifizierungsdschungel

Inzwischen entstand aus dieser sehr erfreulichen Entwicklung ein sogenannter „Zertifizierungsdschungel“. Für große Teile der Zielgruppen von Zertifizierung geht der Überblick verloren. Einerseits scheint es, als würden insbesondere durch die hohe Komplexität des Klimawandels die realen Wirkungslinien immer komplizierter, was einfache Zertifizierungssysteme überfordert und komplexe Zertifizierungen kaum praxisrelevant sein lässt. (Abb. 2)

Es finden sich immer wieder Gruppen, die neue Zertifizierungssysteme entwickeln und auf den Markt bringen. Für die Nutzer der Zertifizierung (Gesellschaft, Unternehmen, Verbände und Regierungen), die an Transparenz und Effektivität interessiert sind, besteht die Gefahr, dass die Übersicht verloren geht. Im Folgenden werden wir die Trends besprechen, wie eine solche unerwünschte Entwicklung vermieden werden kann. Das Positive am Interesse vieler Gruppen, durch Zertifizierung gesellschaftliche Entwicklungen voranzubringen, ist, dass mit solchen privaten Zertifizierungssystemen inzwischen durchaus Aufgaben wahrgenommen werden, die auch der staatlichen Überwachung zuzuordnen sind. Beispiele: staatenübergreifende Regeln zur Nachhaltigkeit, zum Klimaschutz, zu sozialem Verhalten von Unternehmen. Hier sind offenbar die Nationalstaaten weniger in der Lage, internationale Vereinbarungen zu finden, als es nicht-staatliche Organisationen leisten können. So nehmen heute global funktionierende privatrechtlich organisierte Zertifizierungs- und Berichterstattungssysteme Aufgaben auf globaler Ebene wahr und überwachen und zertifizieren Zigttausende Unternehmen weltweit. (Tab. 2)

Die Initiatoren und Träger von Zertifizierungssystemen

Generell kann man beobachten, dass es drei Gruppen gibt, die Standards für Zertifizierungssysteme hervorbringen. Nationale und internationale Standardorganisationen: Die Standardorganisationen erstellen und veröffentlichen lediglich Standards. Sie stellen keine Zertifizierungssysteme zur



INTERNATIONALE STANDARDORGANISATION (ISO)

Im deutschsprachigen Alltag werden die Begriffe Standard und Norm weitgehend synonym verwendet. Jedoch bestehen bei dem englischen Wort „standard“ und dem deutschen Wort „Norm“ in der Fachsprache gewisse Unterschiede. Das Deutsche Institut für Normung (DIN) übersetzt deshalb den englischen Namen der „International Standard Organisation, ISO“ in die deutsche Sprache mit „Internationale Organisation für Normung (ISO)“ und benennt sich selbst als „Deutsches Institut für Normung“. Die Dokumente, die die ISO unter dem englischen Begriff „standard“ entwickelt und vertreibt, heißen in der deutschen Übersetzung des DIN „Norm“. Die Situation betrifft auch andere Sprachen. Der ausgeschriebene Name des CEN (Comité Européen de Normalisation) wird aus dem Französischen ins Englische übersetzt mit „European Committee for Standardization“. Um auch Lesern, die nicht täglich mit dieser Thematik befasst sind, das Lesen zu vereinfachen, verwenden wir hier den Alltagsbegriff „Standard“ und übersetzen aus der englischen Sprache nicht mit „Norm“.

Verfügung, mit denen die Einhaltung ihrer Standards überprüft und bestätigt werden kann.

Zertifizierungsstellen dürfen, ohne Einholung einer Zustimmung bei der herausgebenden Standardorganisation, ein eigenes Zertifizierungssystem entwickeln, das geeignet ist, die Einhaltung des Standards durch eigene Audits zu überwachen und bei Einhaltung der Standardkriterien eigene Zertifikate an die überwachten Organisationen (Unternehmen und andere Organisationen) zu vergeben. Schwerpunkt der zertifizierbaren Standards der Standardorganisationen sind Managementsysteme für verschiedenste Zwecke. Staaten: Auch Staaten entwickeln zertifizierbare Standards und erlauben deren Zertifizierung. Die weiteste Verbreitung in der Welt hat wohl die Sammlung von Vorschriften für die Produktion von Bio-Lebensmitteln erreicht, die dann in der Form als nationaler Rechtsakt veröffentlicht wird.

Beispiele:

- EU-Verordnung 2092/91 über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel sowie nachfolgende Rechtsakte der EU. Zu diesem Thema haben viele Staaten der Welt eigene nationale Rechtsvorschriften veröffentlicht.

► Tab. 2 / Beispiele privatrechtlich organisierter Zertifizierungs- und Berichterstattungssysteme

Zertifizierungssystem	Aktionsgebiet	Überwachungsgegenstand
GRI	global	Nachhaltigkeit und soziale Verantwortung im Unternehmen
FSC	global	Verantwortungsvolle Waldbewirtschaftung
ISCC	global	Einhaltung der Nachhaltigkeitsparameter der EU-VO für Biomasse und Bioenergie
MSC	global	Sicherung nachhaltigen Fischfangs auf den Weltmeeren und in Aquakultur
GOTS	global	Nachhaltige Textilproduktion vom Baumwollfeld bis zum Laden
IFS	global	Lebensmittelsicherheit von Agrarrohstoffen für die Lebensmittelerzeugung
QS	global	Sicherheit von Lebensmitteln vom Acker bis zur Ladentheke
HACCP	global	Einhaltung der gesetzlich vorgegebenen Vorschriften für die Lebensmittelsicherheit

Quelle: Central Union Academy

• Auch die „Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen“ hat den Charakter eines zertifizierbaren Standards.

Vergleichbar zur Handhabung der ISO-Standards dürfen die staatlichen Rechtsvorschriften durch jede Zertifizierungsstelle als Grundlage für ein eigenes Zertifizierungssystem genutzt und angewendet werden. Die Staaten behalten sich vor, das von den Zertifizierungsstellen entwickelte System sowie die Zertifizierungsstelle für die Anwendung zuzulassen und zu überwachen. Um die korrekte Anwendung solcher Zertifizierungssysteme im internationalen Handel zu überwachen, beantragen Zertifizierungsstellen auch bei den jeweilig zuständigen Stellen im Ausland die Zulassung und sind dann berechtigt, nach verschiedenen nationalen Rechtsvorschriften in den Ländern, in denen sie eine Zulassung haben, zu arbeiten. Die Überwachung staatlicher Vorschriften durch private Organisationen hat sich als gut funktionierendes Instrument entwickelt.

Privatrechtlich organisierte Träger: Formal darf jede Person oder Organisation für jedes von ihr als geeignet bewertete Thema ein Zertifizierungssystem entwickeln und auf den Markt bringen.

Die Initiatoren für neue Zertifizierungssysteme kommen aus verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen. Meistens sind es interdisziplinäre Gruppen aus mehreren Sphären. Hier einige Beispiele:

- Umwelt- und andere Interessenverbände: FSC, MSC
- Industrie- und Handelsverbände: GlobalG.A.P., RSPO, GOTS, EFISC
- Investoren: Deutscher Nachhaltigkeitskodex (DNK)
- Wissenschaft: Stop-Climate-Change
- Regierungen: Bio, Nachhaltige Biomasse, EMAS

Zur Qualitätssicherung können die Systemträger sich an ISO-Standards orientieren, welche die Ansprüche an ein Zertifizierungssystem und dessen Anwendung definieren. Es ist auch möglich, dass Systemträger ihr System bei einer Akkreditierungsstelle akkreditieren lassen. Beide Möglichkeiten sind fakultativ und werden wenig bis gar nicht genutzt. So entscheidet allein der Markt über den Nutzen. Das hat sich generell bewährt, führt jedoch auch in den Zertifizierungsdschungel.

Der Systemträger sollte im System ein Verfahren beschreiben, mit dem sich Zertifizierungsstellen bei ihm um Zulassung bewerben können. Die Zertifizierungsstellen sollen ausschließlich in Systemen tätig sein, für das sie vom Systemträger zugelassen sind. Der Ehrenkodex der Zertifizierungsstellen besagt, dass ein Systemträger nicht in seinem eigenen System Zertifizierungen durchführt, weil ansonsten Interessenkonflikte zu vermuten sind.

Bei der Anwendung von Zertifizierungssystemen sind oft deutliche Unterschiede zwischen privaten und staatlichen Überwachungsverfahren festzustellen. In der Regel (nicht immer!) werden private Systeme schlanker und effektiver gemanagt und sind in ihrer Wirksamkeit zumindest gleichwertig. Staatlich gemanagte Systeme haben strukturell den Ansatz, in eine Spirale von Aufwands- und Kostensteigerung zu geraten, weil „der Staat nicht wirtschaftlich denkt“.

Zukunftstrend 1: Zertifizierung erfasst weitere gesellschaftliche Entwicklungen

Die Zertifizierung wird sich noch weiter von ihrem bisherigen Gegenstand der Konformitätsbestätigung für Qualitätsparameter von Produkten, Dienstleistungen und Prozessen fortentwickeln zu neuen Kernthemen. Diese ergeben sich aus den

Hauptrichtungen der weiteren Entwicklung der Gesellschaft, zum Beispiel Klimaschutz, Nachhaltigkeit, Natur- und Tierschutz, Gerechtigkeit, faire soziale Verhältnisse, Beitrag zum Frieden und Gewährleistung von Verbraucherrechten.

Zukunftstrend 2: Weitere Professionalisierung der Prozesse

Entwickler und Anbieter von Zertifizierungssystemen tragen eine große Verantwortung, durch Vermeidung von zu vielen und zu schwachen Zertifizierungssystemen den Wert von Zertifikaten zu verspielen. Bei der Weiterentwicklung der Zertifizierung sollten nachfolgende Aspekte eine Rolle spielen.

Professioneller Aufbau und Umgang: Wie bei allen Produkten und Dienstleistungen gibt es auch bei Zertifizierungssystemen erhebliche Qualitätsunterschiede. Der Weltmarkt wird ganz überwiegend von Systemen bestimmt, die eine hohe fachliche Qualität verkörpern und von den Systemträgern mit hoher Sorgfalt verwaltet werden.

Daneben gibt es eine sehr große Zahl meist lokaler oder auf Nischenprodukte ausgerichteter Zertifizierungssysteme. In dieser Gruppe ist der Anteil schwacher Systeme deutlich größer als in der vorgenannten Gruppe. Die schwachen Systeme schädigen den Wert der Zertifizierung, weil Anwender und Nutzer so Vertrauen verlieren.

- Auditierungsfähige Formulierung der Kriterien

Ein gerade neu veröffentlichtes Zertifizierungssystem versucht, Kriterien so zu formulieren, dass sie ein relativ breites Themenspektrum abdecken sollen. Dies macht sie unspezifisch und nicht eindeutig bewertbar.

- Gegenseitige Anerkennungen durch die Inhaber von Zertifizierungssystemen

Für bestimmte Produktgruppen gibt es die häufige Situation, dass Unternehmen für verschiedene Zwecke eine ganze Reihe von Zertifikaten gleichzeitig benötigen können. Zum Beispiel kann eine Ölmühle, die aus Raps und Sonnenblumen Speiseöl herstellt, den Bedarf haben, sich gegen ISO 9001 (Qualitätsmanagement) und/oder ISO 14001 (Umweltmanagement) und/oder ISO 50001 (Energiemanagement) und/oder ISCC (nachhaltiges Agrarprodukt) und/oder IFS (sicheres Lebensmittel) und/oder QS (sichere Lebensmittelkette) und/oder Halal (muslimische Speisevorschriften) und/oder Koscher (jüdische Speisevorschriften) zertifizieren zu lassen. Für solche nicht seltenen Fälle sollten die Systeminhaber in deutlich höherem Umfang als bisher in ihrem System die ge-

Bei der Anwendung von Zertifizierungssystemen sind oft deutliche Unterschiede zwischen privaten und staatlichen Überwachungsverfahren festzustellen.

gegenseitige Anerkennung von Systemen oder Systemteilen ermöglichen, um das Zertifizierungsmanagement in den Unternehmen zu vereinfachen.

- Digitalisierung zur Kostenminderung für Zertifikatsnutzer
Corona hat in den Jahren 2020/21 die „remote audits“ in die Breite gebracht, die zum Ziel haben, vieles ohne den Auditor vor Ort zu erledigen. Manche dieser Schritte weisen in die Zukunft. Andere sind der Krisensituation geschuldete Hilfsmittel, deren weitere Anwendung die Basis der Zertifizierung, das Vertrauen in ihre objektive Ergebnisfeststellung, untergraben könnten.

Zukunftstrend 3: Einfach und kostengünstig zu managende Zertifizierungssysteme

Die Kategorie Kosten ist für Unternehmen, die über die Hinwendung zur Zertifizierung nachdenken, ein erstrangiges Thema. Dabei werden die tatsächlichen Kosten meistens weit überschätzt.

Höhere betriebliche Kosten können entstehen für zwei Sachverhalte:

- Für das Personal, welches das Management des Zertifizierungssystems im Unternehmen durchführt. Hier sind die Kosten besonders hoch, wenn vorher weder Einweisung noch Schul-

► INFO

ZERTIFIZIERUNGSSYSTEM IWTS

Das Besondere an diesem System ist, dass bereits der zu überwachende Prozess komplett auf Rechnern abläuft. Das erreichte Ergebnis gibt jedoch den kräftigen Impuls, nun auch andere Zertifizierungsverfahren mit diesem neu gewonnenen Blick zu betrachten. <https://iwts-standard.com>

▶ INFO

ISO-MANAGEMENTSYSTEME

Im Jahr 2012 hat die ISO mit der Veröffentlichung der ISO/IEC 2012-Direktive einen Weg beschritten, über eine gemeinsame Grundstruktur der Managementsysteme deren gemeinsame Nutzung wesentlich zu vereinfachen. Seitdem gibt es in den Standards eine einheitliche Folge der Hauptkapitel sowie gleiche Begriffe und Definitionen. Standardtextpassagen in den Managementsystem-Standards sind weitere Elemente zur Vereinheitlichung der verschiedenen Texte.

lung stattfinden, weil Kenntnisse zum effektiven Management der Aufgaben fehlen. Die Schulungskosten für einen Tag sind mit höchster Wahrscheinlichkeit deutlich niedriger als die Kosten für Ineffektivität des Zertifizierungs-Management-Teams für ein ganzes Jahr.

- Für betriebliche Kosten, wenn durch die Implementierung eines Zertifizierungssystems bestimmte Veränderungen im Produktionsprozess notwendig werden (andere Rohstoffe, andere Herstellungsverfahren usw.). Diese Maßnahmen können aber sachlich der Herstellung der Voraussetzungen für marktgerechte Erzeugnisse zugerechnet werden und wären möglicherweise auch ohne Zertifizierung erforderlich. Hier ist eine Kosten-Nutzen-Analyse durchzuführen, bei der alle Einflussfaktoren berücksichtigt werden müssen.

Zukunftstrend 4: Kontinuierlicher Wissenszuwachs bei Anwendern

Fragt man bei Gesprächen mit Unternehmen, die Zertifizierungen anwenden, nach dem Nutzen der Zertifizierung, so wird insbesondere in Ländern, wo dieses Instrument noch neu ist, auf das Zertifikat als Nutzenfaktor verwiesen. Dabei wird völlig übersehen, dass es zwei Vorteile gibt, die bereits Nutzen im Unternehmen stiften, bevor die erste Zertifizierung erfolgt:

- Die Implementierung der Anforderungen des Zertifizierungssystems in das Unternehmen: Nützliche Zertifizierungssysteme werden üblicherweise von Teams erarbeitet, in denen das weltweit führende Know-how zum Fachgebiet versammelt ist. Die Implementierung dieser Vorschriften hebt in einem ein-

Wie bei allen Dienstleistungen gibt es auch bei Zertifizierungssystemen erhebliche Qualitätsunterschiede.

zigen großen Schritt die Prozessqualität im Unternehmen auf Spitzenniveau. Hier sind die Kosten, bezogen auf den Nutzen, meist vernachlässigbar.

- Die internen und externen Audits: Hierbei werden regelmäßig existierende Schwachstellen aufgedeckt und diese können beseitigt werden. Damit wird der kontinuierliche Verbesserungsprozess in Gang gesetzt, der auch nach Jahren regelmäßiger Anwendung immer wieder neue nützliche Verbesserungen der betrieblichen Prozesse hervorbringt.

Forschung und Lehre: Die Erfahrungen aus drei Jahrzehnten Zertifizierungsarbeit betreffen auch den Stand der Theorie und Forschung zur Zertifizierung. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse sprechen sehr dafür, dass sowohl eine interdisziplinäre Grundlagenforschung als auch eine vergleichende Anwendungsforschung dringend notwendig sind. Dazu sollte auch der Aufbau eines universitären Lehrstuhls für Zertifizierung gehören. Außerdem lassen sich zwei weitere Aspekte hinzufügen:

- Es sollte nicht nur eine gute technische und prozessuale Gestaltung der Zertifizierung in den Zertifizierungssystemen und bei den prüfenden Zertifizierungsgesellschaften geben. Auch die Kenntnisse und Verhaltensweisen in den zertifizierten Unternehmen sollten unter anderem durch Aus- und Weiterbildung dazu beitragen, die Eigenverantwortung des Unternehmens für die Sicherung von Vertrauen und Glaubwürdigkeit weiter zu erhöhen („ehrbarer Kaufmann“).
- Zur akademischen Betrachtung gehört eine systematisch aufgebaute Lehre, die den wissenschaftlichen Nachwuchs bedarfsgerecht, problembewusst und branchentypisch ausbildet.

Zukunftstrend 5: Vertrauen erhalten

Diese Überschrift mag etwas absurd klingen, ist doch das Vertrauen der Beteiligten und Betroffenen in den Zertifizierungsprozess eine der Grundsäulen dieses Verfahrens seit seinem Anwendungsbeginn.

Dabei spielt nicht nur eine Rolle, dass die sich sprunghaft ausweitende Medienlandschaft zu fast jedem Thema eine große Zahl zum Teil widersprüchlicher Informationen liefert. Damit wird es immer schwieriger zu vertrauen. Vertrauen kann nur dann aufrechterhalten werden, wenn die Grundlagen des gesamten Zertifizierungsprozesses (von den definierten Anforderungen bis hin zu den Methoden der Überprüfung und Bewertung) für alle Stakeholder und Interessenten transparent sind.

Literaturhinweis

[1] The State of Sustainable Markets 2019. Statistics and Emerging Trend, International Trade Centre (Hrsg.), 2019



RAINER FRIEDEL

Dr. habil. Friedel gründete 1990 eine eigene Zertifizierungsgesellschaft in Berlin, die er 2007 in die Control Union Certifications (CUC; Sitz Rotterdam; etwa 100 Zertifizierungsbüros in etwa 70 Ländern) überführte und als deutsche Filiale der CUC weiterentwickelte. Seit 2014 ist er Leiter der Control Union Academy und befasst sich mit Weiterbildung, Entwicklung und Forschung. Sein Know-how gibt er weiter in Büchern, Vorlesungen an verschiedenen Universitäten und in der praktischen Beratungstätigkeit für Unternehmen, Verbände und Regierungen.

PERSPEKTIVE HOMBURG

GEWERBE- UND INDUSTRIEFLÄCHEN

FÜR IHR INNOVATIVES UNTERNEHMEN

GEWERBEPARK ZUNDERBAUM

- bedeutender Wirtschafts- und Wissenschaftstandort
- Aufbau eines Wasserstoffkompetenzzentrums
- optimale Anbindung an die Autobahnen A6 und A8
- Wirtschaftsförderung als Ansprechpartner vor Ort

MIT WACHSTUM GEGEN DEN KLIMAWANDEL?

► Standpunkt 1

Wir streben danach, den Weg zum Ziel immer so exakt wie möglich zu definieren, da wir glauben, damit das Ziel am schnellsten erreichen zu können. Das Problem: Niemand kennt den genauen und effizientesten Weg zu einer klimaneutralen Industrienation. Klare Richtungsanweisungen führen deshalb zu Irrwegen, da sich eine offene Volkswirtschaft ständig ändert und technologischer Wandel nicht vorhersehbar ist. So sind dezentrale und auf Eigennutzen ausgerichtete Prozesse klar effizienter als eine zentrale Steuerung. Nicht Intentionen und Verbote, sondern Anreize und damit Preise sollten die Steuerungsinstrumente der Umweltpolitik sein.

Ziel von Wachstum ist es, mehr Güter beziehungsweise Güter mit einem höheren Mehrwert mit immer weniger Ressourcen für immer mehr Menschen zu produzieren. Erfolgreiche Ressourcenschonung durch technologischen Wandel führt demnach zu Wachstum. Entscheidend ist, dass alle Kosten in der Wachstumsrechnung mit aufgenommen sind. Werden Ressourcen verbraucht, ist das Wachstum niedriger, als es die finalen Güter andeuten würden. Diese Art der Berechnung findet jedoch nicht statt: So wird zum Beispiel von einer Ölproduktion gesprochen. Es ist jedoch keine Produktion, sondern eine Abnutzung von Ressourcen, die von der Wertschöpfung abgezogen und nicht hinzugeführt werden müsste. Doch viele Ressourcen werden nicht verbraucht, sondern nur umgewandelt. Bei einer richtigen Bepreisung ergeben sich hieraus Anreize für Recycling und höhere Effizienz. Niemandem ist geholfen, wenn Rohstoffe wie Eisenerz oder Kupfer im Boden bleiben.

Wir müssen aufhören, Wachstum zu verteufeln. Ein iPhone 13 mag ähnlich viele Ressourcen verbrauchen wie ein iPhone 4. Es bringt aber einen deutlich höheren Nutzen, mehr Wertschöpfung und damit Wachstum. Technologischer Wandel und Information sind entscheidendere Wachstumstreiber als Rohstoffe. Was bestimmt den Wert eines Autos, eines Pharmaprodukts oder von

Software? Sicherlich nicht Rohstoffe. Wer nun argumentiert, wir hätten genug Wachstum und Wohlstand, sollte bedenken: Wann hätten Wachstum und damit der Drang zu Verbesserungen aufhören sollen? Vor oder nach Einführung von grünem Wasserstoff, Fotovoltaikanlagen und Krebsforschung?

Luft und Meere werden verschmutzt, der Regenwald abgeholzt. Warum? Weil die Kosten nicht den Verursachern in Rechnung gestellt werden. Denn niemand fühlt sich für diese Ressourcen verantwortlich, da sie kein quantifiziertes Eigentum darstellen. Ein Wachstum, das wesentliche Umweltkosten berücksichtigt, braucht deshalb nicht mehr Staatseingriffe, sondern konkrete Eigentumsrechte, damit Klimasünder konsequent in die Verantwortung genommen werden können. Anhaltende Verschwendung kann in einer freien Volkswirtschaft nicht stattfinden, wenn Eigentumsrechte klar definiert sind und technologischer Wandel sowie Wachstum belohnt werden. Wer das nicht glaubt, sollte Ressourcennutzung, Lebensstandard und Umweltbelastungen in planwirtschaftlich regierten Ländern anschauen. ↩

Dezentrale und auf Eigennutzen ausgerichtete Prozesse sind klar effizienter als eine zentrale Steuerung.



DR. KLAUS BAUKNECHT

ist als Chefvolkswirt der IKB Deutsche Industriebank AG verantwortlich für die volkswirtschaftlichen Analysen, Prognosen und Einschätzungen der Bank. Zudem lehrt der promovierte Volkswirtschaftler an der Nelson Mandela University in Südafrika.

► Standpunkt 2

Wir haben uns daran gewöhnt, dass sich die Nationen auf internationalen Konferenzen mit vollmundigen Zielen übertrumpfen, um die Emissionen von Treibhausgasen bis etwa Mitte des Jahrhunderts auf Netto-Null abzusenken. Angesichts der Tatsache, dass der Primärenergieverbrauch der Menschheit bis dato noch zu rund 80 % an fossilen Energien hängt, sind das verwegene Ankündigungen. Zumal die Wege zum Ziel noch weitgehend im Dunkeln bleiben.

Immerhin verspricht die technikorientierte Strategie aus Energiewende, E-Autos, „grünem“ Wasserstoff und Kohlendioxid-Abscheidung Innovationen, zukunftsste Jobs und Wirtschaftswachstum. Damit kann die Politik die Verantwortung auf die Ingenieure schieben und sich aus dem unangenehmen Teil der Diskussion heraushalten.

Die Frage ist, ob sich der Klimawandel rein technisch zähmen lässt. Klimaschutz nach dieser Vorstellung verspricht, dass alles Angenehme (Wohlstand, Arbeitsplätze, Produktivitätsgewinne, steigende Einkommen) bleibt, wie es ist, dass dabei aber keine Ressourcen übernutzt und keine Treibhausgase produziert werden. Aus schmutzigem Wachstum machen wir grünes und alles wird gut. Aber das ist eine Milchmädchenrechnung. Allein die Energiewende erfordert gewaltige Infrastrukturen mit Stahltürmen, Betonfundamenten, Kupferleitungen, Lithiumspeichern und den üblichen Folgeschäden an der Umwelt. Stehen die ganzen Wind- und Solarparks einmal, können sie (wenn man Reparatur-, Neubau- und Entsorgungsmaßnahmen ausklammert) Energie ohne weiteren Ressourcenverbrauch liefern. Damit sind sie der fossilen Energieversorgung klar überlegen. Aber mit dem so erzeugten Strom soll dann ja weiteres „grünes“ respektive „nachhaltiges“ Wachstum generiert werden. Dafür müssen die Unternehmen eine steigende Zahl von Gütern und Dienstleistungen herstellen, was wiederum nicht ohne Ressourcen- und Naturverbrauch möglich ist. Jedes wirtschaftliche Wachstum hat einen Mehrerwerb von Geld zur Folge, das letztlich in Investitionen für weiteres Wachstum oder in irgendeine Form von Konsum mündet. Nachhaltiges Wachstum sei ein Oxymoron, ein Widerspruch in sich, hat Hubert Markl, der ehemalige Präsident der Max-Planck-Gesellschaft, einmal festgestellt.

Wir haben uns in eine fatale Abhängigkeit von Wachstum manövriert und wollen dessen Kollateralschäden durch weiteres Wachstum bewältigen.

Ein Argument lautet, Wachstum sei notwendig, um den Klimaschutz zu finanzieren. Das ist korrekt und genauso brauchen wir es, um die Kosten des demografischen Wandels, das Bedienen der Schulden oder den Wiederaufbau an der Ahr zu stemmen. Wir haben uns also in eine fatale Abhängigkeit von Wachstum manövriert und wollen dessen Kollateralschäden durch weiteres Wachstum bewältigen. Das hat etwas Schizophrenes.

So wichtig neue, effizientere und rohstoffschonende technische Möglichkeiten auf dem Weg zu einem umweltverträglichen Dasein sind, ohne Suffizienz als zweites Standbein wird der Klimaschutz scheitern. Suffizienz bedeutet, Energie und Material einzusparen, weil sie gar nicht erst zum Einsatz kommen. Suffizienz steht für Verzicht, Einschränkung, Bescheidenheit. In einem Land, in dem jede Bürgerin und jeder Bürger im Schnitt noch immer über 10 t CO₂-Äquivalente verantworten, muss die Suffizienz auf die Tagesordnung. Bis auf internationale Klimakonferenzen oder in Koalitionsverhandlungen hat sich das leider noch nicht herumgesprochen. ↩



DR. REINER KLINGHOLZ

ist Demografie-Experte und Buchautor. Von 2003 bis 2019 war der promovierte Chemiker Direktor des Berlin-Instituts für Bevölkerung und Entwicklung. Anfang des Jahres erschien sein Fachbuch „Zu viel für diese Welt – Wege aus der doppelten Überbevölkerung“.

NACHHALTIGE INDUSTRIE

Forschung | Technologie | Wirtschaft

VORSCHAU

Die nächste Ausgabe NACHHALTIGE INDUSTRIE erscheint im März 2022.



© Peter Steffen / dpa / picture alliance

IMPRESSUM

NACHHALTIGE INDUSTRIE

Forschung | Technologie | Wirtschaft

Springer Vieweg | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Postfach 1546 · 65173 Wiesbaden · Abraham-Lincoln-Straße 46 · 65189 Wiesbaden

Amtsgericht Wiesbaden, HRB 9754, UStIdNr. DE811148419

Geschäftsführer Stefanie Burgmaier, Andreas Funk, Joachim Krieger

Gesamtleitung Produktion Ulrike Drechsler



ISSN (Print) 2662-7493 | ISSN (Online) 2662-7507

HERAUSGEBER

Prof. Dr. Martin Faulstich

CORPORATE SOLUTIONS CHEFREDAKTEUR

Markus Bereszewski (V.i.S.d.P.)

tel +49 611 7878-122 · fax +49 611 787878-122

markus.bereszewski@springernature.com

REDAKTION

Annika Dammann

te +49 611 7878-159 · fax +49 611 787878-159

annika.dammann@springernature.com

Christiane Imhof M. A.

tel +49 611 7878-154 · fax +49 611 787878-154

christiane.imhof@springernature.com

Martina Klein

tel +49 611 7878-295 · fax +49 611 787878-296

martina.klein@springernature.com

Alexandra Pisek M. A.

tel +49 611 7878-139 · fax +49 611 787878-139

alexandra.pisek@springernature.com

REDAKTIONSANSCHRIFT

Abraham-Lincoln-Straße 46 · 65189 Wiesbaden,

Postfach 1546 · 65173 Wiesbaden

CSWiesbaden@springer.com

ANZEIGEN

LEITER MEDIA SALES

Volker Hesedenz

tel +49 611 7878-269 · fax +49 611 787878-269

volker.hesedenz@springernature.com

CORPORATE SOLUTIONS

SALES MANAGERIN

Nina Ziss

tel +49 611 7878-124 · fax +49 611 787878-124

nina.ziss@springernature.com

ANZEIGENDISPOSITION

Petra Steffen-Munsberg

tel +49 611 7878-164 · fax +49 611 787878-164

petra.steffen-munsberg@springernature.com

LEITER VERTRIEB + MARKETING

Jens Fischer

jens.fischer@springernature.com

tel +49 611 7878-340 · fax +49 611 787878-340

PRODUKTMANAGEMENT

Melanie Engelhard-Gökalp

tel +49 611 7878-315 · fax +49 611 787878-315

melanie.engelhard-goekalp@springernature.com

SONDERDRUCKE

Anja Trabusch

tel +49 611 7878-298 fax +49 611 787878-298

anja.trabusch@springernature.com

PRODUKTION + LAYOUT

Kerstin Brüderlin

tel +49 611 7878-173 · fax +49 611 787878-173

kerstin.bruederlin@springernature.com

Alle angegebenen Personen sind postalischunter der Adresse des Verlags erreichbar.

DRUCK

LUC GmbH · Ludgerstr. 13 · 59379 Selm

BEZUGSMÖGLICHKEITEN

Bestellbar über:

CSWiesbaden@springer.com

oder

Redaktion Nachhaltige Industrie

Abraham-Lincoln-Straße 46 · 65189 Wiesbaden

Postfach 1546 · 65173 Wiesbaden

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck: Die Zeitschrift sowie alle in ihr enthaltenen Beiträge einschließlich sämtlicher Abbildungen, Grafiken und Fotos sind urheberrechtlich geschützt. Sofern eine Verwertung nicht ausnahmsweise ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf jedwede Verwertung eines Teils dieser Zeitschrift der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Verlags. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Nachdrucke, Bearbeitungen,

Übersetzungen, Mikroverfilmungen, öffentliche Zugänglichmachung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung von Teilen dieser Zeitschrift in Datenbanken und anderen elektronischen Systemen und die Verbreitung oder Verwertung über elektronische Systeme.

Die Artikel der Nachhaltigen Industrie sind mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Die Redaktion übernimmt jedoch keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der abgedruckten Inhalte. Für den Inhalt der Werbeanzeigen ist das jeweilige Unternehmen beziehungsweise die jeweilige Gesellschaft verantwortlich.

Für unverlangt eingesendete Manuskripte, Fotos und Illustrationen wird keine Gewähr übernommen.

EU-DATENSCHUTZGRUND-VERORDNUNG (EU-DSGVO)

Falls Sie die Zeitschriften ATZ, ATZelektronik, ATZproduktion, MTZ oder Innovative Verwaltung nicht im Abonnement beziehen, erhalten Sie diese auf der gesetzlichen Grundlage von Artikel 6 Absatz 1 lit.f DSGVO. Wenn Sie die kostenlose Leseprobe künftig nicht mehr von uns erhalten möchten, genügt eine kurze formale Nachricht per Fax an: 06123/92 38 244 oder eine E-Mail an leseprobe@vuservice.de.

Wir werden Ihre personenbezogenen Daten dann nicht mehr für diesen Zweck verarbeiten. Die Verarbeitung Ihrer Daten ist gemäß den Bestimmungen der DSGVO. Weitere Infos dazu finden Sie im virtuellen Datenschutzbüro der Bundesländer unter www.datenschutz.de.

Gültige Version

Die gedruckte und die elektronische Fassung eines Beitrags können sich unterscheiden. Maßgeblich ist die Online-Version („Version of Record“) unter <https://www.springerprofessional.de/nachhaltige-industrie/18028278>

Ihr direkter Draht zur Nachhaltigen Industrie

REDAKTION

☎ +49 611 7878-159

KUNDENSERVICE

☎ +49 6221 345-4303

ANZEIGEN

☎ +49 611 7878-269

Die Springer-Verlag GmbH ist Alleingeschäftlerin der Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, die ihrerseits eine Gesellschaft ist, die im Alleineigentum der Springer Nature Three GmbH steht. Alleingeschäftlerin der Springer Nature Three GmbH ist die Springer Nature Deutschland GmbH, die ihrerseits im Alleineigentum der Springer Nature One GmbH steht. Die Gesellschafter der Springer Nature One GmbH sind die Springer Nature AG & Co. KGaA (73,116%), die Springer Nature One GmbH (0,284%) sowie die GvH Vermögensverwaltungsgesellschaft XXXIII mbH (26,001%) und die Springer Science+Business Media Galileo Participation S.a.r.l. (0,599%). Die Aktionäre der Springer Nature AG & Co. KGaA sind Springer Science+Business Media Galileo Participation S.a.r.l. (47%) und die GvH Vermögensverwaltungsgesellschaft XXXIII mbH (53%).

© Springer Vieweg | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden 2021

Springer Vieweg ist ein Imprint der Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, die ein Teil der Fachverlagsgruppe Springer Nature ist.

Springer Vieweg

MEHR WISSEN.

Digital,
interaktiv,
mobil.

inkl.
PDF-
ARCHIV!

2x
GRATIS
TESTEN!

WASSER UND ABFALL

UMWELT – ENERGIE – RECHT

Agenda 21 – Gewässerbewirtschaftung, Kreislaufwirtschaft, Luftreinhaltung und Klimaschutz Seite 14
Interview: Geschichten vom Gelingen müssen erzählt werden Seite 20
Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Leitprojekt einer zukunftsfähigen Politik Seite 12

Nachhaltigkeit

WASSER UND ABFALL

UMWELT – ENERGIE – RECHT

Agenda 21 – Gewässerbewirtschaftung, Kreislaufwirtschaft, Luftreinhaltung und Klimaschutz Seite 14
Interview: Geschichten vom Gelingen müssen erzählt werden Seite 20
Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Leitprojekt einer zukunftsfähigen Politik Seite 12

Nachhaltigkeit

Mehr erfahren durch aktuelle Berichterstattung branchenübergreifend zu den Themen **Wasser, Abfall, Energie, Umwelt und Recht**. Informieren Sie sich zehn Mal im Jahr mit den aktuellen Ausgaben zum Vorteilspreis sowie exklusiv für alle Abonnenten kostenlos das digitale und interaktive E-Magazin und das PDF-Archiv mit allen Fachbeiträgen seit 1999.

www.wasserundabfall.de

WASSER UND ABFALL

WASSERWIRTSCHAFT

Das Fachmagazin für Wasser und Umwelt.



Alles zu den Themen:

Wasserkraft, Turbinen und Kleinwasserkraft,
Trinkwasser, Grundwasser und Gewässer,
Ökologie, Boden, Rohre, Pumpen,
Armaturen und Behälter,
Messtechnik und Hydromechanik,
Hydraulik, Wasserbau und Wasserwirtschaft,
Hydrologie und Energie.

JETZT
2
AUSGABEN
kostenlos
TESTEN!

DIGITAL
INTERAKTIV
MOBIL



Fundierte Berichte aus Forschung und Wissenschaft — WasserWirtschaft bietet hohe technologische Kompetenz durch praxisnahe Fachbeiträge. Nutzen Sie den Vorteil der zehn Printausgaben im Jahr zum Vorzugspreis und exklusiv dem **interaktiven e-magazin** mit der beeindruckenden **Wissensdatenbank des Onlinearchivs** mit pdf-Download.

www.meinfachwissen.de/wawi