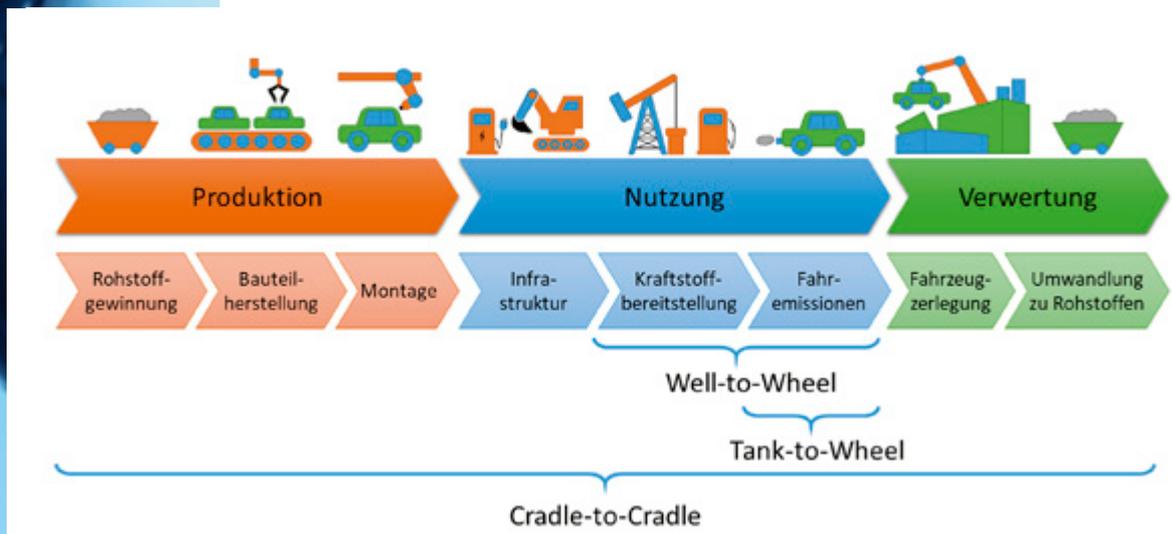




Die Rolle von Wasserstoff in der zukünftigen Mobilität

Für die Reduzierung von Treibhausgasemissionen und die Bewältigung der Herausforderungen des Klimawandels bietet grüner Wasserstoff als sauberer und effizienter Energieträger eine vielversprechende Lösung. In allen Sektoren wird der Wasserstoff dabei eine wesentliche Rolle spielen, fossile Brennstoffe zu ersetzen. Im Folgenden wird die Rolle von Wasserstoff in der zukünftigen Mobilität genauer betrachtet.

Da mit Wasserstoff bei der Verbrennung oder der Nutzung in Brennstoffzellen lediglich Wasserdampf emittiert wird, ohne dass schädliche Treibhausgase freigesetzt werden, ist Wasserstoff die umweltfreundliche Option schlechthin für die Reduzierung der Luftverschmutzung und den Kampf gegen den Klimawandel.



Deshalb gewinnt Wasserstoff aktuell als alternativer Energieträger zunehmend Bedeutung bei Nutzfahrzeugen. Auch im Schienenverkehr mit Strecken ohne elektrifizierte Oberleitungen kann Wasserstoff zum Einsatz kommen. Für den Flugverkehr werden langfristig Kraftstoffe das traditionell eingesetzte Kerosin ersetzen, die auf Basis von Wasserstoff zu eFuels aufbereitet werden. Schon jetzt hat das EU-Parlament verpflichtende Vorgaben für die Fluggesellschaften beschlossen, dem Kerosin zukünftig einen Mindestanteil an synthetischen Treibstoffen beizumischen [1].

CO₂-Bilanz der unterschiedlichen Antriebstechnologien von Fahrzeugen

Für die Prüfstandsuntersuchungen zur Ermittlung der CO₂-Emissionen gemäß den gesetzlichen Vorgaben treibt das Fahrzeug stehend mit seiner Antriebsachse eine Prüfrolle an. Dabei wird ein vorgegebenes Fahrprofil von der Fahrer*in im sogenannten WLTP-Test abgefahren. Dieser als »Tank-to-Wheel« bezeichnete Test ermittelt für ein rein elektrisch angetriebenes Fahrzeug keine CO₂-Emissionen, wobei bei einem mit Kraftstoff betriebenen Verbrennungsmotor natürlich CO₂ entsteht. Jedoch gilt es, die CO₂-Bilanz für die gesamte Life-Cycle-Prozesskette für Fahrzeuge zu betrachten, **BILD 1**. In dieser

BILD 1 Darstellung der kompletten CO₂-Life-Cycle-Prozesskette für Fahrzeuge [2] (© FH SWF)

»Im Vergleich zu Batterien bietet Wasserstoff eine deutlich höhere Energiedichte, was bedeutet, dass mehr Energie pro Kilogramm gespeichert werden kann. Dies ermöglicht eine längere Reichweite und schnellere Betankungszeiten, was besonders für den Einsatz in Fahrzeugen entscheidend ist.«

Ein weiterer Vorteil von Wasserstoff ist seine hohe Energiedichte. Im Vergleich zu Batterien bietet Wasserstoff eine deutlich höhere Energiedichte, was bedeutet, dass mehr Energie pro Kilogramm gespeichert werden kann. Dies ermöglicht eine längere Reichweite und schnellere Betankungszeiten, was besonders für den Einsatz in Fahrzeugen entscheidend ist.

istock | gleitfrosch | Hannibal [M]



BILD 2 Möglichkeiten der Wasserstoffanwendung in der Mobilität (© FH SWF)

»Die direkte Verbrennung von Wasserstoff im Verbrennungsmotor bietet ein vielversprechendes Potenzial für eine saubere und nachhaltige Alternative zu herkömmlichen Verbrennungsmotoren.«

Cradle-to-Cradle Analyse werden auch die entstehenden CO₂-Emissionen während der Produktion, Nutzung und Verwertung eines Fahrzeugs ermittelt. Solange z. B. Batterien für ein Elektrofahrzeug unter dem Einsatz fossiler Energien produziert werden, bieten rein elektrisch betriebene Fahrzeuge (BEV: batterie electric vehicle) je nach Einsatzfall nicht immer Vorteile gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Inwieweit mit Wasserstoff als Energieträger angetriebene Fahrzeuge eine positive Cradle-to-Cradle-CO₂-Bilanz aufweisen, ist zurzeit schwer bewertbar.

Konzepte des Wasserstoffeinsatzes in der Mobilität

In **BILD 2** sind die Möglichkeiten aufgezeigt, wie Wasserstoff in der Mobilität zum Antrieb von Fahrzeugen verwendet werden kann.

Direkte Verbrennung von Wasserstoff im Verbrennungsmotor

Durch überschaubare technische Maßnahmen können Verbrennungsmotoren für eine reine Wasserstoffverbrennung angepasst werden. Wasserstoff wird bei Drücken von 700 bar in Pkw getankt. Insofern sind die Tanksysteme auf diese hohen Drücke anzulegen. Tanksysteme

für Wasserstoff sind jedoch in den letzten Jahren derart weiterentwickelt worden, dass Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und Wasserstoffverbrennung sicher betrieben werden können. Die Tanks bestehen aus einem Metallinnenbehälter, der mit einem Karbon-Verbundwerkstoff ummantelt ist, sodass Drücke von ca. 900 bar ausgehalten werden.

In Pkw sind bisher wenige Antriebskonzepte mit direkter Wasserstoffverbrennung bekannt. Die Entwicklungsaktivitäten hierzu bewegen sich im Bereich der Nutzfahrzeuge, die traditionell mit Dieselmotoren betrieben werden. Insbesondere die sehr gute Emissionierung bei der Wasserstoffverbrennung bescheinigt diesen Konzepten eine hervorragende Zukunftsperspektive. Die Fa. Deutz wird Ende 2024 Stationärmotoren in Serie haben, ein Teil der Komponenten kommt vom Zulieferer Mahle aus Stuttgart [3]. Auch die Fa. Keyou aus München ist in diesem Umfeld sehr aktiv und hat den zweiten Kunden für den Lkw-Antrieb mit direkter Wasserstoffverbrennung gewonnen [4]. Die Fa. Keyou rüstet für ihre Kunden Dieselmotoren auf einen Wasserstoffbetrieb um. Seit Mai 2023 werden Lkw-Prototypen der Fa. Mercedes-Benz in der Region München getestet. Jetzt gibt es mit Rheinkraft International mit Sitz in Duisburg den zweiten Interessenten. Das Unternehmen ist spezialisiert auf den Transport von Stahl.

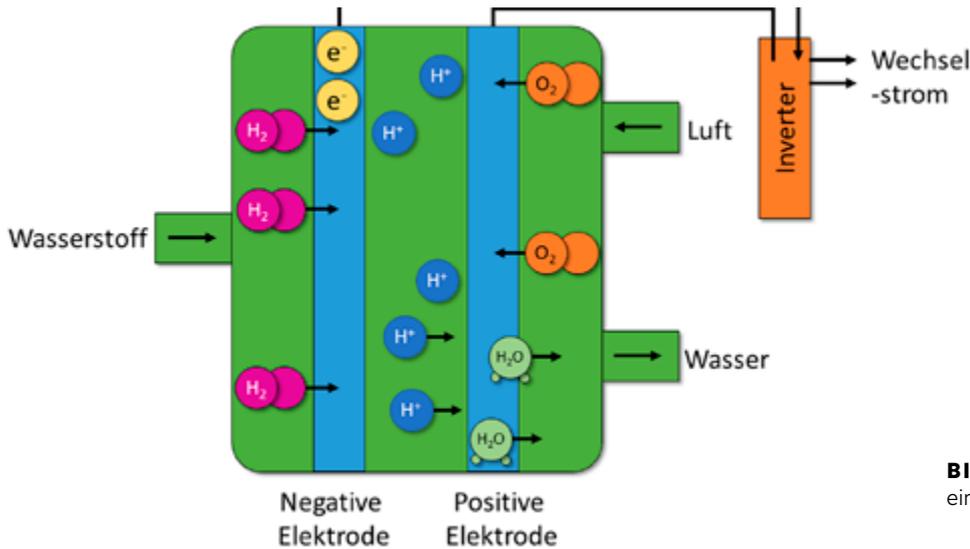


BILD 3 Prinzipdarstellung des Aufbaus einer Brennstoffzelle (© FH SWF)

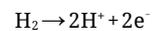
Die direkte Verbrennung von Wasserstoff im Verbrennungsmotor bietet ein vielversprechendes Potenzial für eine saubere und nachhaltige Alternative zu herkömmlichen Verbrennungsmotoren. Mit der richtigen Infrastruktur, Technologieentwicklung und mit Investitionen können die Herausforderungen überwunden werden, um die breite Akzeptanz und Nutzung dieser Technologie zu fördern. Natürlich besteht hierbei ähnlich wie bei rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen die Herausforderung der Bereitstellung eines flächendeckenden Wasserstofftankstellennetzes. Es liegt an der Gesellschaft sowie an der Politik, dieses Potenzial zu erkennen, damit Wasserstoff für die direkte Verbrennung auch nutzbar wird.

Brennstoffzellenantrieb

Die zweite Möglichkeit der Nutzung von Wasserstoff in Fahrzeugen ist die Verwendung von Brennstoffzellen zur Stromerzeugung, **BILD 3**. Mit dem Strom erfolgt dann der elektrische Antrieb des Fahrzeugs über eine Batterie. In einer Brennstoffzelle wird Wasserstoff zu elektrischer Energie umgewandelt. Wasserstoff und Sauerstoff werden einem Paket (Stack) aus einzelnen aufeinandergeschichteten Zellen (Bipolarplatten) separat dem Stack zugeführt. In den einzelnen Zellen des Stacks befinden sich in der Regel eine Membran aus Polymer-Kunststoff und zwei seitlich angebrachte Elektroden, die Kathode und die Anode. Kathode und Anode sind in der Regel mit Platin

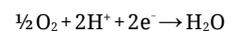
beschichtet und wirken katalytisch auf die elektrochemische Reaktion. Die Bipolarplatten bestehen aus beschichteten sehr dünnen Edelstahlblechen.

Um den Energiewandel vorzunehmen, wird der Wasserstoff über die Anode – der negativ geladenen Elektrode – dem Stack zugeführt und durch deren katalytische Funktion in Elektronen und Protonen wie folgt zerlegt:



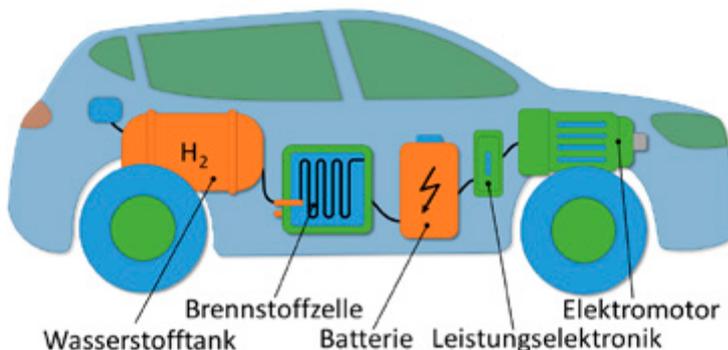
Die positiv geladenen Wasserstoff-Protonen durchdringen eine Membran zur positiv geladenen Kathode hin, wo sie mit dem aus der Luft stammenden Sauerstoff zu Wasserdampf reagieren. Die aus dem Wasserstoff abgespalteten Elektronen fließen aus dem Stack ab und liefern außerhalb der Brennstoffzelle dabei den gewünschten Strom, der über die Leistungselektronik geregelt zur Ladung der Batterie führt.

Der Wasserdampf kondensiert zu Wasser und wird über den Auspuff abgeführt. An der Kathode erfolgt folgende chemische Reaktion:



Brennstoffzellen-Pkw

BILD 4 Schematischer Aufbau eines Fahrzeugs mit Brennstoffzelle (© FH SWF)



In **BILD 4** sind die wesentlichen Komponenten eines Brennstoffzellen-Fahrzeugantriebs dargestellt.

Die Brennstoffzelle produziert eine Gleichspannung, die über die Leistungselektronik zu einer Drei-Phasen-Wechselspannung zur Versorgung der Elektromotoren gewandelt wird.



BILD 5 Müllfahrzeug der Fa. Faun aus Osterholz Scharmbeck an einer Wasserstofftankstelle [7] (© Faun)

Brennstoffzellenkonzepte in Serie

Zum Einsatz der Brennstoffzellentechnologie in Pkw sind zahlreiche Entwicklungen in den letzten 20 Jahren gelaufen. In Serie sind die Firmen Toyota und Hyundai [5, 6]. Die deutschen Automobilhersteller haben sich auf andere Antriebskonzepte konzentriert. Pkw mit Brennstoffzellenantrieb sind technisch sehr aufwendig und kostenintensiv, sodass in den nächsten Jahren in diesem Segment nicht mit einem Trend im Pkw-Bereich zu rechnen

ist. Im Nutzfahrzeugsbereich sieht es anders aus. So sind zahlreiche Müllfahrzeuge und Kehrmaschinen der Fa. Faun im Serienbetrieb, **BILD 5** [6].

Weltweit ging 2022 rund um Bremervörde das erste Personenzug-Netz mit Wasserstoffantrieb in Betrieb, **BILD 6**. Die Züge fahren täglich auf dem 123 Kilometer langen Netz. Die Antriebstechnik basiert auf Brennstoffzellen, die mit Wasserstoff und Sauerstoff gespeist Strom erzeugen und diesen in einer Batterie speichern. Mit dem Strom aus der Batterie heraus werden die Elektromotoren des

Schienenantriebs betrieben. Für die Wasserstoffversorgung wurde erstmalig eine Tankstelle für die Züge gebaut. Langfristig soll grüner Wasserstoff aus einem neu zu errichtenden Elektrolyseur für die Versorgung stammen. Der Fahrgastbetrieb in Bremervörde ist mit fünf Zügen gestartet, weitere neun Züge sollen folgen [8].

BILD 6 Personenzug mit Wasserstoff mittels Brennstoffzellenantrieb betrieben [8] (© Landesnahverkehrsgesellschaft Niedersachsen mbH)



Wasserstoffbasierte alternative Kraftstoffe

In **BILD 7** sind die Kraftstoffarten sowie Wasserstoff als Kraftstoff selbst aufgezeigt, die aus Wasserstoff generiert werden können. Aus der Beimischung und einer chemischen Prozessumsetzung von Wasserstoff mit Kohlendioxid lassen sich eFuels allgemein, eMethanol und eMethan herstellen. Da das für diesen Prozess benötigte Kohlendioxid z.B. durch »Air Capturing« der Umgebungsluft entnommen werden kann und durch die nachfolgende Verbrennung im Verbrennungsmotor wieder emittiert wird, handelt es sich um einen Kreislauf der CO₂-Umsetzung [9]. Wenn Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen gewonnen wird, kann er als Rohstoff für eFuels dazu beitragen, den CO₂-Fußabdruck des Verkehrssektors zu reduzieren. Die Verwendung von CO₂ aus industriellen Prozessen, bei denen ohnehin CO₂ entsteht, oder das Herauslösen von CO₂ aus der Atmosphäre zur Herstellung von eFuels schließt den Kohlenstoffkreislauf und lässt diese Kraftstoffe im Idealfall als weitestgehend CO₂-neutral betrachten.

BILD 8 Herstellung von eFuels [2] (© FH SWF)

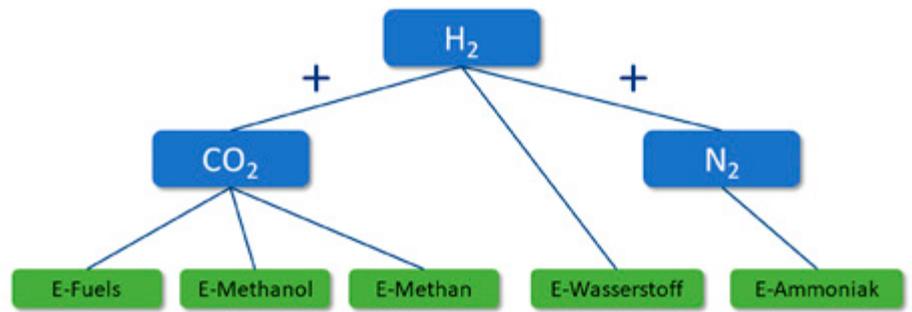
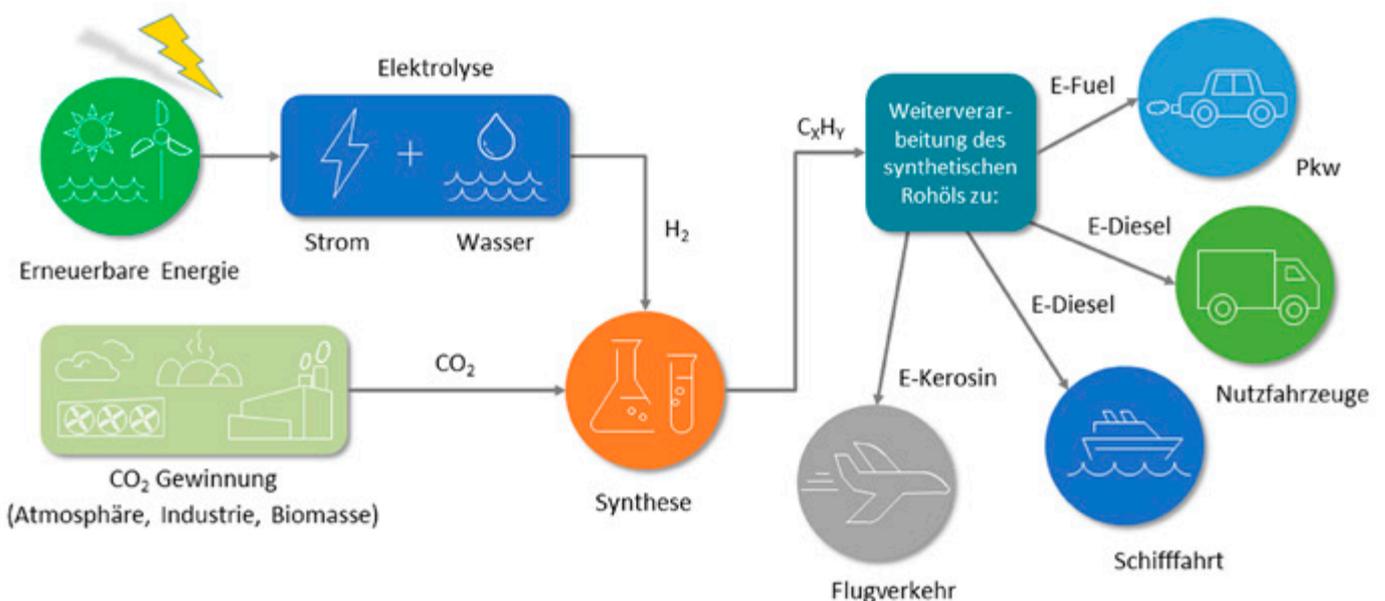


BILD 7 Wasserstoffbasierte alternative Kraftstoffe [2] (© FH SWF)

Politisch ist dieser Kreislauf als CO₂-neutral akzeptiert. Die so gewonnenen Kraftstoffe können in herkömmlichen Verbrennungsmotoren verwendet werden, ohne dass große Bauteiländerungen an den Fahrzeugen oder an der Infrastruktur nötig sind. Dies macht sie zu einer attraktiven Option für die Dekarbonisierung des Verkehrssektors, insbesondere für Bereiche, in denen der Einsatz batterieelektrischer Fahrzeuge begrenzt ist, wie z. B. im Luft- und Schiffsverkehr oder im Schwerlastverkehr.

In **BILD 8** ist der Herstellungsprozess von eFuels schematisch dargestellt. Die großen Global Player der Energieversorgung haben längst begonnen, das in eFuels steckende Potenzial zu erkennen. Viele Konzerne planen

z. B. die Produktion von synthetischen Kraftstoffen (Jet Fuels) für den Flugbetrieb. Dabei fallen auch eFuel-Produkte an, die im Verbrennungsmotor als synthetischer eDiesel oder als eBenzin eingesetzt werden können.

Trotz ihrer vielversprechenden Vorteile stehen eFuels noch vor einigen Herausforderungen, darunter die Kosten der Produktion und die Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom. Die Skalierung der Produktion und die Entwicklung kostengünstiger Herstellungsverfahren sind entscheidend, um die breite Akzeptanz von eFuels zu fördern. Zudem ist in Europa gegenüber den Ländern, die über ausreichend Wind oder Sonnenenergie verfügen, die Produktion von eFuels wirtschaftlich weniger interessant.

»Der Arbeitsmarkt muss sich zukünftig dem Wasserstoff-Boom anpassen. Schon heute ist das Fehlen von Fachkräften in der Industrie ein großes Problem. Insofern müssen jetzt an den Hochschulen Konzepte für eine sinnvolle Ausbildung von Ingenieuren und Facharbeitern entwickelt werden.«

Herausforderung der Aufteilung des vorhandenen Wasserstoffs in den Sektoren

In Zukunft wird allein grüner Wasserstoff, aus regenerativen Quellen erzeugt, eine Rolle spielen. Europa wird auf die Länder angewiesen sein, in denen ausreichend Sonne und Wind zur Verfügung steht, um grünen Wasserstoff in großen Mengen möglichst kostengünstig zu produzieren. Deshalb werden auch eFuels ähnlich wie heute Rohöl importiert werden. Aber auch dezentrale Konzepte in Regionen mit weniger effizienter Wasserstoffproduktion in Europa sind sinnvoll. Zwangsläufig stillgesetzte Windkraftanlagen im Fall des Stromüberschusses können über eine intelligente Vernetzung Elektrolyseure betreiben, womit Wasserstoff erzeugt und gespeichert werden kann. Auch ist mit dem Einsatz von Kleinanlagen zur autarken Wasserstoffversorgung zu rechnen, um zum Beispiel Wohngebäude im Winter mit dem im Sommer produzierten Wasserstoff beheizen zu können.

Da es viele Jahre dauern wird, die Wasserstoffproduktion hochzufahren, ist während dieser Phase mit einem Verteilungskampf zwischen den Anwendungen in den unterschiedlichen Sektoren zu rechnen. So wird sicherlich der Energiebedarf in der Stahlproduktion, der allgemeinen Industrienutzung von Wasserstoff oder in der Gebäudeheiztechnik Priorität vor der Anwendung von Wasserstoff in der Massenmobilität mit Pkw haben. In der Mobilität werden aus Emissionsgründen vermutlich die Nutzfahrzeugkonzepte Vorrang vor Pkw haben, um so z. B. den Dieselmotor emissionsbedingt in den Ballungszentren zu substituieren.

Hierbei ist die Politik gefordert, Vorgaben für eine sinnvolle Verteilung des Wasserstoffs kunden- und marktgerecht aufzustellen. Unternehmen wie Porsche, die angekündigt haben, einen Teil ihrer Fahrzeuge zukünftig langfristig mit eFuels zu betreiben, sollten Perspektiven erhalten, wie diese Intention umgesetzt werden kann. Zum Beispiel könnte die Eigenproduktion von eFuels hierfür berücksichtigt werden. Ferner ist der Pkw-Bestandmarkt an konventionellen Fahrzeugen

mit Verbrennungsmotortechnik so groß, dass der Übergang hin zum CO₂-neutralen Fahren mittels alternativer Kraftstoffe ebenfalls durch die Politik geregelt sein sollte.

Förderung für Hochschul- ausbildung zu Wasserstoff- technologien

Der Arbeitsmarkt muss sich zukünftig dem Wasserstoff-Boom anpassen. Schon heute ist das Fehlen von Fachkräften in der Industrie ein großes Problem. Insofern müssen jetzt an den Hochschulen Konzepte für eine sinnvolle Ausbildung von Ingenieuren und Facharbeitern entwickelt werden. Dabei sind die zu tätigen Investitionen für die benötigte Laborausstattung so hoch, dass sie aus dem Budget der Hochschulen allein nicht zu finanzieren sind. Auch ist die Bereitschaft der Industrieunternehmen eher gering, sich derzeit dabei finanziell mit einzubringen, da aufgrund der wirtschaftlichen Lage in Europa die Unternehmen derzeit finanziell selbst nicht stabil aufgestellt sind.

Ohne die finanzielle Förderung des Bundes und/oder der Länder wird es nicht gehen, die für die Ausbildung benötigten Laborausstattungen anzuschaffen. Des Weiteren ist es in der Wasserstoff-Hochschulausbildung sinnvoll, größere zentral angelegte Ausbildungskapazitäten einzurichten, um eine effiziente Investitionsverwendung zu realisieren. Parallel sind die Hochschulen aufgefordert, Studiengänge zu Wasserstofftechnologien anzubieten, in denen durch die Ingenieurabschlüsse die Voraussetzung für ihre Absolvent*innen geschaffen werden, dass die ausgebildeten Ingenieur*innen verantwortliche Tätigkeiten im Umfeld der Wasserstofftechnologien in den Unternehmen übernehmen dürfen.

In den zentralisierten Ausbildungsstätten oder Instituten sollte die Möglichkeit geschaffen werden, auch Handwerker und aus dem Beruf stammende Ingenieure je nach Anwendung und Bedarf weiterzubilden und nachzuqualifizieren. Mehrere Professor*innen sollten in diesen Einrichtungen eine gemeinsame Zielsetzung verfolgen und sich durch unterschiedliche

Forschungsschwerpunkte ergänzen, sodass Investitionen für Gebäude, Laboreinrichtungen und die Infrastruktur nach Möglichkeit effizient genutzt werden können. Damit entwickeln sich diese Einrichtungen zu Kompetenzzentren, die im Bereich der Wasserstoffforschung international wettbewerbsfähig sind.

In **BILD 9** sind Vorschläge für Laboreinrichtungen bzw. Prüfstandeinrichtungen schematisch dargestellt, mit denen insbesondere die Erforschung von Mobilitätskonzepten mit Wasserstoff möglich ist.

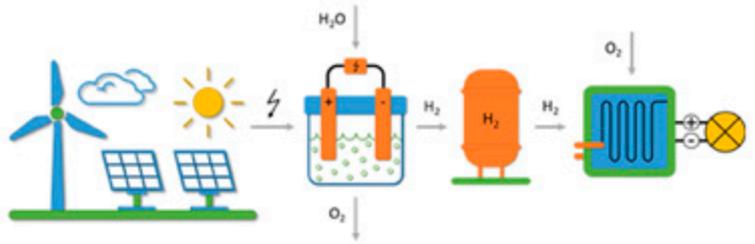
Fazit und Ausblick

Wasserstoff ist in der Natur in Wasser gebunden unbegrenzt verfügbar. Durch Elektrolyse lässt sich Wasserstoff aus Wasser abspalten und der gewonnene grüne Wasserstoff kann vielseitig genutzt werden. Langfristig wird nur der aus regenerativen Quellen erzeugte Wasserstoff eine Rolle spielen.

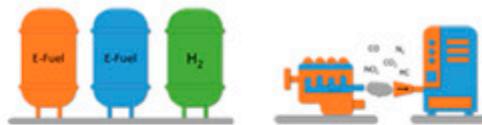
Die Antriebstechnologien von Kraftfahrzeugen der Zukunft werden je nach Einsatzfall der angeforderten Mobilität sehr vielschichtig sein. Neben sinnvollen Szenarien für rein elektrisch und hybrid betriebene Fahrzeuge kommt langfristig dem Medium Wasserstoff als Energiequelle für den Fahrzeugantrieb eine wachsende Bedeutung zu. Die Verwendung von Wasserstoff als Energieträger für Brennstoffzellen eignet sich besonders für schwere Nutzfahrzeuge, Busse und Schwerlasttransporte, die für batterieelektrische Lösungen weniger geeignet sind. Darüber hinaus wird es ein dazu konkurrierendes Anwendungsgebiet für die Nutzung von Wasserstoff in Verbrennungsmotoren von Nutzfahrzeugen geben. Für beide Fälle sind sichere Tanksysteme in den Fahrzeugen entwickelt worden. Mittelfristig werden Pkw-Antriebe aus Gründen der Verfügbarkeit nicht mit Wasserstoff als Energieträger betrieben. Es ist zu erwarten, dass aufgrund hoher Kosten

BILD 9 Vorschläge für Laboreinrichtungen und Arbeitsschwerpunkten der Wasserstofftechnologien an Hochschulen (© FH SWF)

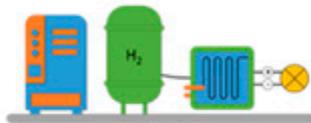
Demonstrator Wasserstoffprozesskette



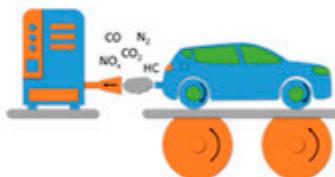
Verbrennungsmotorenprüfstand



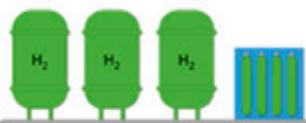
Brennstoffzellenprüfstand



Abgasrollenprüfstand



Wasserstoffspeicherung



Komponenten Wasserstoffleitung



Gebäudeheizung mit Wasserstoff



für die Batterien der BEV-Fahrzeuge auch Hybridkonzepte mit kleineren preiswerteren Batterien vermehrt zum Einsatz kommen [10]. Dabei besteht die Möglichkeit, für den verbrennungsmotorischen Betrieb dieser Fahrzeuge eFuels einzusetzen, womit ein CO₂ neutrales Fahren möglich ist.

Langfristig werden auch eFuels in großen Massen verfügbar sein, mit denen der Bestand an Verbrennungsmotoren weiter CO₂-neutral betrieben werden kann. Auch für Neufahrzeuge besteht dann die Option diese Technologien zu nutzen, sodass die Perspektive des Verbrennungsmotors nach wie vor nicht hoffnungslos ist. Japan stellt sich als Zielsetzung der eigenen Personenkraft-Mobilität im Jahr 2050 vor, dass ca. 60 % der Fahrzeuge einen reinen BEV-Antrieb haben und ca. 40 % der Pkw mit eFuel und Verbrennungsmotoren angetrieben werden [11]. Auch China hält am Verbrennungsmotor als Alternative zur Elektromobilität fest. Wasserstoff, Ammoniak, flüssige Biokraftstoffe und erneuerbare synthetische Kraftstoffe sollen zum Einsatz kommen [12].

Eine nachhaltige und kohlenstoffarme Zukunft erfordert eine ganzheitliche Betrachtung aller Sektoren der Wirtschaft, einschließlich Verkehr, Industrie, Energieerzeugung und Gebäude. Mit Wasserstoff besteht die einzigartige Möglichkeit, diese Sektoren zu dekarbonisieren und den Ausstoß von Treibhausgasen zu reduzieren.

Um den Technologietransfer in Richtung Wasserstoff zu ermöglichen müssen Fachkräfte für den neuen Arbeitsmarkt in puncto Wasserstofftechnologien an den Hochschulen ausgebildet werden. Auch sollten im Beruf stehende Ingenieure nachqualifiziert werden. An der Fachhochschule Südwestfalen hat sich seit Anfang 2022 der Arbeitskreis »Wasserstofftechnologien« aus Expert*innen über alle Standorte hinweg gebildet. Aus dieser Initiative heraus wird die Ringvorlesung »Wasserstofftechnologien« mit aus der Industrie kommenden Expert*innen durchgeführt, um damit einen sinnvollen Baustein dieser Qualifizierung anzubieten [13].

Für Hochschulen stellt der Transformationsprozess hin zu Wasserstoffanwendungen eine große

Herausforderung dar, da dafür erhebliche Investitionen für Laboreinrichtungen nötig sind. Die Politik ist hierbei gefordert, diesen Teil mit zu übernehmen, damit für die zukünftige Ingenieurausbildung das industrielle Potenzial der Wasserstoffanwendung gehoben werden kann. Die Bildung von Kompetenzzentren in der Hochschullandschaft ist empfehlenswert, um nach Möglichkeit interdisziplinär Wasserstoffanwendungen sektorenübergreifend zu betrachten und damit innovative Technologien durch gezielte Grundlagen- und angewandte Forschung zu entwickeln. Nur so lässt sich industriell eine Wettbewerbsfähigkeit darstellen. ■

Quellen

- [1] n.n.: EU-Parlament verabschiedet Vorgaben zu E-Fuels im Flugverkehr. ZEIT ONLINE, AFP, dpa, 13.09.2023
- [2] Hannibal, W.: Fahrzeugantriebe im Jahr 2030. Zeitschrift Moment, EJOT Magazin 02/2021 Seite 8 bis 15, 2021
- [3] n.n.: Mahle gewinnt Serienauftrag für Verbrennungsmotoren. Online: <https://newsroom.mahle.com/press/de/press-releases/mahle-gewinnt-serienauftrag-fur-wasserstoffmotoren-99328>, aufgerufen 17. April 2024
- [4] Günnel, T.: Alternative Antriebe – Keyou gewinnt zweiten Kunden für Wasserstoff-Lkw. Online: <https://www.automobil-industrie.vogel.de/keyou-wasserstoff-verbrennungsmotor-nachfrage-abnehmer-ace7e0ac6ca985ba94c27bd3181fafeec/>, aufgerufen 21. September 2023
- [5] n.n.: Mirai, Willkommen in der Zukunft. Online: https://www.googleadservices.com/pagead/aclk?sa=L&ai=DChcSEwiPUBHhx8mFAXU5goMHHTTHCEgYABAAGgJlZg&gclid=EA1alQobChMlj7mx4cfJhQMVOYKDBx00xwhIEAAYASAAEgJDC_D_BwE&ohost=www.google.com&cid=CAASJuRomYZKENelta6400QI70gnOSUnWGQIHui_jpcj4kiY8xfab6YV&sig=AOD64_16Ej80bxAVoukPLY_k79hQB6nLiQ&q&adurl&ved=2ahUKEWjBs6jhx8mFAXWITeUKHS9RDH8Q0Qx6BAGEEAM&nis=8Toyota, aufgerufen 17. April 2024
- [6] n.n.: Brennstoffzellen-SUV fährt als Future Utility Vehicle in die Zukunft. Online: <https://www.hyundai.news/de/modelle/alternative-antriebe/nexo/pressemappe/der-hyundai-nexo-pressestext.html>, aufgerufen 17. April 2024
- [7] n.n.: Nutzfahrzeuge mit H2-Brennstoffzellen-Antrieb.

Online: <https://www.faun.com/wordpress/wp-content/uploads/2021/09/BLUEPOWER-Nutzfahrzeuge.pdf>, aufgerufen 17. April 2024

- [8] n.n.: Weltpremiere: Erstes Netz mit 14 Wasserstoffzügen nimmt in Niedersachsen Betrieb mit Passagieren auf. Online: <https://www.alstom.com/de/press-releases-news/2022/8/weltpremiere-erstes-netz-mit-14-wasserstoffzuegen-nimmt-niedersachsen>, aufgerufen 17. April 2024
- [9] n.n.: E-Fuels als Ergänzung zur E-Mobilität auf dem Weg zur CO₂-Neutralität. Online: <https://media.porsche.com/mediakit/innovation-sustainability-performance/de/innovation-sustainability-performance/synthetic-fuels>, aufgerufen 17. April 2024
- [10] Hannibal, W.: Plug-in Hybrids will become Mainstream in Passenger Car Drives. Motortechnische Zeitschrift MTZ, 82, 68 (2021)
- [11] Shimo, D.; Morinaga, S.; Okazawa, H.; Kobayashi, T.; Minamoto, H.; Fukuda, D.; Yamagushi, T.: MAZDA e-SKYACTIV D 3.3L Diesel Engine. 32. Aachen Kolloquium Sustainable Mobility, 10.10.2023
- [12] Mollner, C.: China hält bis 2060 an Verbrennungsmotoren fest. Online: <https://www.auto-motor-und-sport.de/verkehr/china-setzt-weiter-auf-verbrennungsmotoren/>, aufgerufen 17. April 2024
- [13] Hannibal, W.: Ringvorlesung Wasserstofftechnologien. Online: <https://www.youtube.com/watch?v=lasH45KYUIQ>, aufgerufen 17. April 2024



PROF. DR.-ING. WILHELM HANNIBAL
Sprecher des Studiengangs Automotive Engineering an der Fachhochschule Südwestfalen in Iserlohn (© FH SWF)