

DStGB

DOKUMENTATION N^o 165



Wasserstoff im kommunalen Einsatz

Ein Beitrag zu Klimaschutz
und kommunaler Wert-
schöpfung



DStGB
Deutscher Städte-
und Gemeindebund
www.dstgb.de

EWE

FAUN
KIRCHHOFF GRUPPE

westenergie

INHALTSVERZEICHNIS

Gemeinsames Vorwort aller Partner	3	III Die Rolle von Wasserstoff in den Sektoren	14
Vorstellung der Partner	4	1 Stromsektor	14
I Einleitung	5	2 Verkehrssektor	14
1 Bundespolitische Rahmenbedingungen	5	Beispiel für wasserstoffbetriebene Nutzfahrzeuge	16
2 Bedeutung für Kommunen, kommunale Unternehmen und kommunale Wertschöpfung	5	Beispiel für die Betankung wasserstoffbetriebener Nutzfahrzeuge	16
3 Anwendungsbereich kommunale Energiewende	5	3 Wärmesektor	18
4 Anwendungsbereich Wärmewende	6	4 Industrie	20
5 Anwendungsbereich regionaler Verkehr	6	IV Regionales Energiesystem Wasserstoff	21
6 Wasserstoffstrategien in Bund und Ländern	7	1 Vorteile eines regionalen Ansatzes	21
II Grundlagen der Technologie	8	Beispiel regionales Ökosystem „Wasserstoff“	21
1 Erzeugungsverfahren	8	2 Anwendungsfelder in Kommunen	23
2 Farbenlehre des Wasserstoffs	8	3 Wertschöpfungseffekte in den Kommunen (insbesondere Wirtschaftsförderung)	23
3 Wasserstofffolgeprodukte	9	V Nächste Schritte: Ermittlung des Infrastrukturbedarfs und Akquise von Fördermitteln	24
4 Wasserstofftransport und -speicherung	10	VI Weitere Praxisbeispiele der Partner	25
5 Wasserstoffanwendung	12	Beispiel 1 EWE – integrierter Ansatz: Energiewende zum Anfassen (Gasspeicher Huntorf)	25
Beispiel Westenergie:		Beispiel 2 Westenergie – Smart Quart Kaisersesch: Systemlösung zur Sektorenkopplung Mobilität, Wärme und Strom	25
Systemlösung Power-to-Gas Ibbenbüren	13		

IMPRESSUM

Herausgeber:

Deutscher Städte- und Gemeindebund (DStGB)

Redaktion:

Timm Fuchs, Beigeordneter (DStGB),

Finn-Christopher Brüning, Referatsleiter (DStGB)

Autoren:

Finn-Christopher Brüning (DStGB), Dietmar Ewering (Westnetz GmbH), Timm Fuchs (DStGB), Thomas Götze (EWE), Lea Kuhlmann (EWE), Florian Lindner (Westenergie AG), Paul Schneider (EWE), Moritz Voormann (Westenergie AG), Dennis Wilken (EWE), Sebastian Wimmer (Westenergie AG)

Gestaltung und Satz:

W&S Epic GmbH, Burgwedel

Bildnachweise:

Gettyimages (Titel); malp/stock.adobe.com (S. 5); Westenergie (S. 8); FnB-Gas (S. 10); BNetzA, HaaseEngineering Linde, LBGR Brandenburg (S. 11); BZ Basel, JFsPic/stock.adobe.com, janni/stock.adobe.com (S. 12); Westenergie (S. 13); H₂Mobility (S. 15); Faun Gruppe (S. 16); EWE (S. 17); scharfsinn86/stock.adobe.com (S. 18); Avacon, Remeha (S. 19); swb/Die Typonauten (S. 20); EWE (S. 21); EWE (S. 22); NOW GmbH (S. 24); EWE (S. 25); E.ON (S. 26).

GEMEINSAMES VORWORT ALLER PARTNER

Wasserstoff ist mehr als ein Hype. Grüner Wasserstoff ist die Antwort auf die Frage, wie eine Industrienation wie Deutschland bei Erhalt von Wertschöpfungsketten und Arbeitsplätzen die Transformation zu Klimaneutralität erreichen kann. Wir haben jetzt die Chance, den Wandel zu einer nachhaltigen, kohlenstoffarmen, klimaneutralen Wirtschaft zu beschleunigen. Und grüner Wasserstoff spielt hierbei eine entscheidende Rolle.

Die Wasserstoffstrategie ist nicht nur mit Blick auf die Klimaziele für 2030 und 2045 zwingend erforderlich, um ein klimaneutrales Land zu werden. Eine Schlüsselrolle kommt dabei der Gewinnung von grünem Wasserstoff aus erneuerbarer Energie zu. Die Nationale Wasserstoffstrategie kann das wichtigste Innovationsprogramm der kommenden Jahre werden. Denn Deutschland erlebt nicht nur einen Strukturwandel innerhalb der Energiewirtschaft, bedingt durch den Atomausstieg sowie das Ende der Kohleverstromung. Zugleich sind wir inmitten eines massiven Strukturwandels in wichtigen Industriesparten wie der Automobilbranche durch den Antriebswechsel hin zur Elektromobilität.

So falsch es dabei wäre, sich frühzeitig auf nur eine Antriebstechnologie zu beschränken, so falsch ist eine vorzeitige Festlegung auf nur einen Energieträger. Wasserstoff wird vor allem in ländlichen Gebieten mit seinen rund 50 Millionen Einwohnern, aber auch zunehmend im städtischen Bereich die verlässliche Alternative in Fragen von Mobilität und Transport sein.

Deutschlands Energie- und Verkehrswende findet insbesondere vor Ort, in den Kommunen und Regionen statt. Wir sollten gemeinsam daran arbeiten, dass die damit verbundene Wertschöpfung in der Fläche verbleibt. Denn ihre dezentrale Ausrichtung hat die deutsche Wirtschaft stets robust gemacht und für nachhaltiges Wachstum und Wohlstand gesorgt. Das setzt allerdings voraus, dass die Förderpolitik von Bund und Ländern so ausgestaltet wird, dass die Potenziale der Wasserstoffwirtschaft in der Fläche Deutschlands im Interesse gleichwertiger Lebensverhältnisse gezielt aktiviert werden.

Bei der Umsetzung der Ausrichtung der Nationalen Wasserstoffstrategie wird darauf zu achten sein, dass sie nicht zu sehr auf die Sektoren Industrie und Verkehr fokussiert wird, mithin jene, die vermeintlich die größten und am schnellsten zu erreichenden CO₂-Einsparungspotenziale versprechen. Gerade die Kommunen und ihre Partner in der kommunalen Energiewirtschaft haben einen hohen Anspruch zur CO₂-Reduktion und verfügen über ausreichend vorhandene Infrastrukturen im Bereich der Gas- und Wärmeversorgung, um CO₂-Einsparungen bei vertretbarem Aufwand realisieren zu können. Gerade der Wärmesektor als der größte Sektor im Energiebereich wurde im Rahmen der Energiewende als auch Wasserstoffstrategie bislang zu wenig berücksichtigt.

Auch im internationalen Kontext gilt es, jetzt die richtige Weichenstellung vorzunehmen. Deutschland und Europa arbeiten daran, den Anschluss an die Batteriezellenfertigung nicht zu verlieren. Alle maßgeblichen Akteure in Bund, Ländern und Kommunen sowie der Wirtschaft müssen sich gemeinsam darauf konzentrieren, das Thema Wasserstoff schnell voranzubringen. Aufgrund seiner Wertschöpfungstiefe bietet Wasserstoff das Potenzial, einen Transformations- und Innovationsprozess unserer Wirtschaft zu bewirken.

Gemeinsam fordern wir von Bund und Ländern die bestmöglichen Voraussetzungen, um den Markthochlauf der Wasserstoffwirtschaft zu schaffen, im Interesse der Wettbewerbsfähigkeit unseres Landes und guter Lebensbedingungen für die Menschen in unseren Kommunen.

Berlin, im Dezember 2021



Dr. Gerd Landsberg



Katherina Reiche



Stefan Dohler



Patrick Hermanspann



Dr. Gerd Landsberg,
Hauptgeschäftsführer
des Deutschen Städte-
und Gemeindebundes



Katherina Reiche,
Vorstandsvorsitzende
Westenergie AG



Stefan Dohler,
Vorstandsvorsitzender
EWE AG



Patrick Hermanspann,
Vorsitzender der
Geschäftsführung
CEO FAUN Gruppe
FAUN Umwelttechnik GmbH
& Co. KG

VORSTELLUNG DER PARTNER



1 DStGB

Der Deutsche Städte- und Gemeindebund (DStGB) vertritt die Interessen der deutschen Städte und Gemeinden. Auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene gibt der Verband den Kommunen eine starke Stimme und greift die Themen auf, die Bürgerinnen und Bürger vor Ort bewegen. Durch 17 Mitgliedsverbände sind 11 000 große, mittlere und kleinere Kommunen über den DStGB organisiert und vernetzt. Der Deutsche Städte- und Gemeindebund arbeitet parteiunabhängig und ohne staatliche Zuschüsse. Die Besetzung der Organe orientiert sich an dem Votum der Wähler bei den Kommunalwahlen. Der DStGB arbeitet als kommunale Interessenvertretung durch kontinuierliche Kontaktpflege zu politischen Entscheidungsträgern auf Bundesebene und in der Europäischen Union sowie durch gezielte Einbindung kommunalrelevanter Themen und Positionen in politische Entscheidungsprozesse. Des Weiteren ist der DStGB kommunales Informationsnetzwerk, Koordinierungsstelle sowie Vertretungsorgan für seine Mitglieder.



2 EWE

Als innovativer Dienstleister ist EWE in den Geschäftsfeldern Energie, Telekommunikation und Informationstechnologie aktiv. Mit über 9100 Mitarbeitenden und 5,6 Milliarden Euro Umsatz im Jahr 2020 gehört EWE zu den großen Energieunternehmen in Deutschland. Das Unternehmen mit Hauptsitz im niedersächsischen Oldenburg befindet sich überwiegend in kommunaler Hand. Es beliefert im Nordwesten Deutschlands, in Brandenburg und auf Rügen sowie in Teilen Polens rund 1,4 Millionen Kundinnen und Kunden mit Strom, rund 0,7 Millionen mit Erdgas sowie rund 0,7 Millionen mit Telekommunikationsdienstleistungen. EWE nimmt eine Vorreiterrolle in den Bereichen Klimaschutz und digitale Teilhabe ein. Dafür investiert der Konzern in den kommenden Jahren über eine Milliarde Euro in die Erweiterung der Glasfaserinfrastruktur, vier Milliarden Euro in die Errichtung neuer Windkraftanlagen und ist führend im Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur. Mehr über EWE auf <http://www.ewe.com>



3 FAUN – KIRCHHOFF Gruppe

Die FAUN Gruppe bewegt seit 1845 die Faszination für Fahrzeuge, Technik und Mobilität. Heute produziert das Unternehmen aus Osterholz-Scharmbeck (Niedersachsen) schwerpunktmäßig Müllfahrzeuge und Kehrmaschinen. Seit mehr als 15 Jahren beschäftigt sich der Fahrzeughersteller mit alternativen Antrieben für einen klimaneutralen Lastverkehr. Bis 2025 will FAUN mehr als die Hälfte der jährlich produzierten Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieb ausrüsten. Weltweit arbeiten 2000 Mitarbeitende in elf Werken in sieben Ländern für FAUN. FAUN gehört zu den führenden Anbietern in Europa und ist Teil der weltweit agierenden KIRCHHOFF Gruppe, die 60 Werke in 21 Ländern unterhält und in den Geschäftsbereichen Automotive, Werkzeuge, Fahrzeugumbauten und Kommunaltechnik aktiv ist.



4 Westenergie

Die Westenergie AG ist der führende Energiedienstleister und Infrastrukturanbieter in Deutschland mit rund 10 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Die 100-prozentige E.ON-Tochter vereint alle Aktivitäten des Konzerns in den Feldern Kommunen, Konzessionen und Netzkooperationen in Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Niedersachsen. Die Westenergie-Gruppe verantwortet und betreibt rund 175 000 km Stromnetze mit rund 4,7 Millionen Stromentnahmestellen, 24 000 km Gasnetze mit rund 450 000 Ausspeisepunkten sowie 10 000 km Breitband- und 5000 km Wassernetze. Damit schafft Westenergie eine sichere Versorgung und beständige Wertschöpfung, die in den Regionen bleibt. Das Energieunternehmen hat es sich zum Ziel gesetzt, die intelligente Energielandschaft der Zukunft aktiv mitzugestalten. Westenergie bietet deshalb ganzheitliche Dienstleistungen sowie Netz- und Infrastrukturlösungen für moderne Kommunen und entwickelt diese maßgeschneidert im engen Dialog mit ihnen, insbesondere in ihren 1400 Partnergemeinden. Im Bereich Netzservice entwickelt Westenergie intelligente Lösungen für die Netzinfrastruktur von Kommunen, Unternehmen, Netzbetreibern und Stadtwerken.

Einleitung

1 BUNDESPOLITISCHE RAHMENBEDINGUNGEN

Das Bundeskabinett hat am 10. Juni 2020 die mit 9 Milliarden Euro unterlegte Nationale Wasserstoffstrategie beschlossen. Deutschland soll so zum modernsten Ausrüster von Wasserstofftechnik weltweit werden.

Der Einsatz von Wasserstoff soll darüber hinaus ein wichtiger Baustein sein, um die Ziele aus dem Pariser Klimaschutzabkommen zu erreichen. Aktuell hat die Bundesregierung mit ihrer Strategie insbesondere die energieintensive Industrie und den Verkehrssektor – auch mit Blick auf den europäischen Green Deal – als Profiteure der Wasserstoffstrategie im Fokus. Jedoch sollten die kommunalen Wertschöpfungspotenziale keineswegs unterschätzt werden.

Die Nationale Wasserstoffstrategie¹ der Bundesregierung verfolgt insbesondere folgende Kernpunkte:

- Zunächst sollen Wasserstofftechnologien als Kernelemente der Energiewende etabliert werden, um mit Hilfe erneuerbarer Energien Produktionsprozesse zu dekarbonisieren.
- Weiter sollen mit ihr die regulativen Voraussetzungen für den Markthochlauf der Wasserstofftechnologien geschaffen werden.
- Deutsche Unternehmen und ihre Wettbewerbsfähigkeit sollen gestärkt werden. Hierfür sollen Forschung sowie Entwicklung und der Technologieexport rund um innovative Wasserstofftechnologien forciert werden.
- Außerdem soll die zukünftige nationale Versorgung mit CO₂-freiem Wasserstoff und dessen Folgeprodukte gesichert und gestaltet werden.

2 BEDEUTUNG FÜR KOMMUNEN, KOMMUNALE UNTERNEHMEN UND KOMMUNALE WERTSCHÖPFUNG

In den Kommunen ist Interesse, Potenzial und vielerorts auch bereits Know-how vorhanden, um die Wasserstoffstrategie umzusetzen. Wasserstoff kann ein Wegbereiter in den Kommunen werden, der nicht nur die Stickoxid- und CO₂-Belastung in vielen Ballungszentren deutlich reduziert, sondern auch die Entwicklung energieautarker Quartiere möglich macht. Hinzu kommt, dass Wasserstoff ein großes Potenzial bietet, neue Wertschöpfungsketten gerade im



ländlichen Raum zu schaffen. Eine dezentrale Wasserstoff-erzeugung wird lokales Wirtschaftswachstum, Arbeitsplätze und Steuereinnahmen generieren. Die Herstellung der Komponenten für Erzeugung, Nutzung und Transport von Wasserstoff bietet viele Möglichkeiten, um künftig zur regionalen Wertschöpfung beizutragen, die in diesen Bereichen tätigen Unternehmen zu stärken beziehungsweise neue Unternehmensgründungen anzureizen. Wasserstoff steht somit nach Aussage der Bundesregierung auch für eine Wiederbelebung der Konjunktur (Europäisches Recovery Programm), für wirtschaftliches Wachstum und für zukunftsfähige Arbeitsplätze in Deutschland.

Zur Umsetzung der Wasserstoffstrategie wird der Bund erhebliche Fördermittel bereitstellen. Viele Bundesländer werden die Bundesstrategie durch zusätzliche Mittel – auch für deren Landesprogramme – ergänzen. Aus kommunaler Sicht ist darauf zu achten, dass dabei im Interesse gleichwertiger Lebensverhältnisse die entsprechenden Wertschöpfungspotenziale in der Fläche gestärkt werden.

3 ANWENDUNGSBEREICH KOMMUNALE ENERGIEWENDE

Für „überschüssigen“ Strom aus der erneuerbaren, volatilen Energieerzeugung fehlen jedoch derzeit noch Speichertechnologien, die es erlauben, diesen langfristig und in größeren Mengen vorzuhalten. vielerorts muss deshalb die Produktion von grünem Strom immer wieder abgeregelt werden, da die Kapazitäten der Stromnetze für den Transport an Orte mit hohem Strombedarf nicht ausreichen.

Langfristig werden schwankende, zeitweilig aussetzende Stromerzeuger wie PV-Anlagen und Windkraftanlagen das Stromsystem noch stärker als bisher beeinflussen. Um den „überschüssigen“ grünen Strom nicht abregeln zu müssen, bietet sich eine Umwandlung in Wasserstoff an, um diesen zwischenspeichern und zu einem späteren Zeitpunkt bedarfsgerecht wieder zur Verfügung zu stellen.

¹ Alle Ziele und Maßnahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie sind zu finden unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=16



Umgekehrt kann es wetterbedingt auch dazu kommen, dass zu wenig Strom in das Netz eingespeist wird. Grüner Wasserstoff könnte dann auch wieder verstromt werden. Aktuell dürfte dieser Verfahrenspfad kaum wirtschaftlich sein. Auf längere Sicht wird das Stromsystem damit aber stabil gehalten, notwendige regulierende Eingriffe werden reduziert.

Einige Stadtwerke beziehungsweise Zweckverbände setzen bereits erfolgreich Wasserstoff im ÖPNV, bei Abfallfahrzeugen oder sonstigen Werksfahrzeugen ein. Diese Möglichkeiten müssen im Rahmen der Wasserstoffstrategie stärker Berücksichtigung finden. Neben den Fernnetzbetreibern verfügen auch die Gemeinden in Deutschland häufig über die Netzinfrastrukturen, um Wasserstoff von der Fläche in die Städte zu transportieren. Erste Untersuchungen zeigen, dass die Umstellung der Erdgasnetze für den Transport von H₂ technisch in Schritten bis 2050 möglich und wirtschaftlich realistisch ist². Außerdem ist dieses der schnellste und kosteneffizienteste Weg für den Aufbau einer flächendeckenden H₂-Infrastruktur.

4 ANWENDUNGSBEREICH WÄRMEWENDE

Daneben wurde im Rahmen der Energiewende der Wärmebereich bislang zu wenig in der nationalen Wasserstoffstrategie berücksichtigt. Die Wärmewende in den Kommunen bietet das größte Potenzial, die nationalen Klimaziele entscheidend voranzubringen. Wasserstoff kann auch hier ein Baustein für den Energiemix einer erfolgreichen Wärmewende sein.

Eine Option für die Dekarbonisierung ist der Einsatz klimaneutraler Gase, insbesondere da der Gebäudebestand nur unzureichend modernisiert ist und werden kann. Insbesondere in Altbauten ist ein wirtschaftlicher Einsatz von Wärme über beispielsweise Wärmepumpen derzeit nur eingeschränkt möglich. Für diesen Gebäudetyp bleibt die klassische Gaszentralheizung mit den bereits vorhandenen Konvektionsheizkörpern das Mittel der Wahl. Der größte Hebel zur CO₂-Reduktion ist der Einsatz grüner Gase. Auch hier bietet sich die Nutzung von Wasserstoff im Rahmen der städtebaulichen Planung an. Auf der anderen Seite ist die Erneuerungsquote im Altbestand mit lediglich 0,6 bis ein Prozent zu niedrig, um den Gebäudepark auf

elektrifizierte Wärmequellen umzustellen. Bei der aktuellen Modernisierungsquote würde es zwischen 100 und 170 Jahre dauern, den Altbestand für niederkalorische Wärme zu ertüchtigen.

5 ANWENDUNGSBEREICH REGIONALER VERKEHR

Mit Blick auf den Verkehrssektor bedeutet die Wasserstoffstrategie unter anderem, die Beschaffung von H₂-betriebene Fahrzeuge zu fördern. Damit erfolgt ein Beitrag zur nationalen Umsetzung der europäischen Clean Vehicles Directive (CVD), die Quoten zur Beschaffung von sauberen und emissionsfreien Fahrzeugen im kommunalen Verkehr vorgibt. Ein maßgeblicher Vorteil wasserstoffbetriebener Busse im Vergleich zum batterieelektrischen Fahrzeug ist ihre höhere Reichweite. Gerade für Regionalbuslinien könnten Wasserstoffbusse bei der Umstellung der Fuhrparks daher in Frage kommen. Im Schwerlastverkehr für Langstreckentransporte sowie auf Schiene und Wasser kann der Einsatz von Wasserstoff einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung von CO₂ und NO_x in den Städten leisten. Darüber hinaus sind Förderungen im Zuge des Infrastrukturaufbaus wie etwa einer bedarfsgerechten Betankungsinfrastruktur zu erwarten, deren Entwicklung später auch den Pkw-Bereich unterstützen dürfte.

Im Verkehrsbereich gibt es mit der E-Mobilität und Biokraftstoffquoten bereits Ansätze zur Dekarbonisierung. Im zukünftigen Verkehrssystem wird dem Energieträger Wasserstoff eine Schlüsselrolle zukommen. Immer dort, wo über lange Distanzen viele Personen oder schwere Güter transportiert werden, ist der Einsatz von Wasserstoff als Kraftstoff zumeist die vorrangige Dekarbonisierungsoption.

² <https://www.dvgw.de/themen/energiewende/wasserstoff-und-energiewende>

Zusammenfassung

Wasserstoff kann in verschiedenen Energiesektoren einen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten. In Verkehr und Industrie werden erste Anwendungen kurz- bis mittelfristig zu sehen sein. Die Funktion als Energiespeicher in einem komplett dekarbonisierten Energiesystem ergibt sich erst langfristig. Der Wärmemarkt spielt dabei eine besondere Rolle, da ähnlich wie in anderen Sektoren ein Wettbewerb zwischen Technologien für die CO₂-Vermeidung vorherrschen und der Einsatz unterschiedlicher Technologien maßgeblich von den Rahmenbedingungen abhängen wird. Wesentlichen Einfluss wird dabei der Gebäudebestand und deren geografische Lage haben.

6 WASSERSTOFFSTRATEGIEN IN BUND UND LÄNDERN

In vielen Teilen des Landes arbeiten die Kommunen bereits an der „Verkehrswende“. Parallel zu den Aktivitäten des Bundes haben die Länder das Potenzial des Wasserstoffs bereits erkannt und entwickeln landeskonforme Wasserstoffstrategien³. Zuletzt haben die Länder im Bundesrat den Bund mit einem Entschlussantrag aufgefordert, die Anpassung eines regulatorischen Rahmens für Wasserstoffnetze kurzfristig noch in dieser Legislaturperiode anzustoßen.⁴

In der Praxis betreiben bereits viele Länder großflächige Projekte, in denen Möglichkeiten der Kreislaufwirtschaft gezielt mit Wasserstoff erprobt werden. Wasserstoffprojekte in Deutschland gehen über die Gemeindegrenzen hinaus und verfolgen einen regionalen Ansatz. Insofern bietet Wasserstoff die Möglichkeit, interkommunale Aktivitäten mit Mitteln des Bundes und der Länder zu fördern und damit auch die Chance, Flächenkonflikte zu verringern.

Gerade das Projekt „Westküste 100“ als Beispiel macht deutlich⁵, dass eine koordinierende Funktion der Länder notwendig ist. In Schleswig-Holstein wird das bundesweit erste Reallabor der Energiewende mit dem Schwerpunkt Wasserstofftechnologie entstehen. Das Reallabor

Westküste 100 verfolgt das Ziel, schrittweise eine regionale Wasserstoffwirtschaft im industriellen Maßstab aufzubauen. Partner des Reallabors, also der Versuchswirtschaft, sind hier unter anderem Industrie, Stadtwerke, erneuerbare Anlagenbauer und die Wissenschaft.

Neben Initiativen der Länder beziehungsweise der regionalen Unternehmen hat der Bund 25 Wasserstoffregionen in Deutschland benannt. Mit der Fördermaßnahme „HyLand – Wasserstoffregionen in Deutschland“⁶ unterstützt das Bundesverkehrsministerium bereits seit 2019 diese neun Regionen dabei, ein passendes Wasserstoffkonzept zu entwickeln und ein Netzwerk wichtiger Akteure zur Umsetzung aufzubauen.

Die teilnehmenden Regionen: KielRegion, Rügen-Stralsund, Landkreis Schaumburg, Lausitz, Weimar und Weimarer Land, Landkreis Marburg-Biedenkopf, Neustadt an der Waldnaab, Reutlingen sowie Ostallgäu/Fuchstal/Kaufbeuren. Die strukturelle Vielfalt dieser Regionen ist dabei beachtlich. Während Rügen-Stralsund ein klassisches Küstenland und damit eine Windregion ist, handelt es sich bei Ostallgäu/Fuchstal/Kaufbeuren sowie dem Landkreis Schaumburg um eher mittelständisch geprägte Regionen. Auch vom Strukturwandel bedrohte Regionen wie die Lausitz und Reutlingen werden berücksichtigt. Dies zeigt die Skalierbarkeit der Wasserstoffproduktion unabhängig von regionalen Besonderheiten, insbesondere für die unterschiedlichen Sektoren.

³ <https://www.bundestag.de/resource/blob/679420/8c47214bdf99af198a6d4dfb35d0c6dd/WD-8-134-19-pdf-data.pdf>; <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/deutschland-wird-wasserstoffland.html>

⁴ [https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2020/0601-0700/647-20\(B\).pdf;jsessionid=4A4A91F79DDBB86F3DB2FB5252A32382.1_cid374?__blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2020/0601-0700/647-20(B).pdf;jsessionid=4A4A91F79DDBB86F3DB2FB5252A32382.1_cid374?__blob=publicationFile&v=1)

⁵ <https://www.energieforschung.de/spotlights/reallabore>

⁶ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2021/042-scheuer-deutschland-wird-wasserstoffland.html>

II Grundlagen der Technologie

Im folgenden Abschnitt soll erläutert werden, wie Wasserstoff erzeugt wird, welche Varianten und welche Folgeprodukte es gibt und wie Transport bzw. Speicherung erfolgen können.

1 ERZEUGUNGSVERFAHREN

Wasserstoff kann in verschiedenen technologischen Verfahren erzeugt werden.

a Dampfreformierung

Der Großteil des heute benötigten Wasserstoffs in der chemischen Industrie wird mittels Reformierung erzeugt. Dabei werden großtechnisch fossile Energieträger verfeuert und mit Wasserdampf zur Reaktion gebracht. Es entsteht Wasserstoff (H_2), Kohlenstoffmonoxid (CO) und Kohlenstoffdioxid (CO_2).

Der Wirkungsgrad der Dampfreformierung liegt in der Größenordnung von etwa 75 bis 90 Prozent, abhängig vom genauen Verfahren. Generell kann bei diesem Verfahren anstelle von fossilem Erdgas auch erneuerbares Biomethan aus Biogasanlagen verwendet werden.

b Wasserelektrolyse

Im Kontext der Energiewende steht die Wasserelektrolyse als Methode zur Wasserstofferzeugung im Fokus. Über Strom aus erneuerbaren Energiequellen kann Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt werden. Bei allen Elektrolysearten wird an zwei sogenannten Halbzellen eine Gleichspannung angelegt, die das Wassermolekül teilt. Halbzellen sind elektrochemische Einheiten, die entweder die Kathode oder die Anode enthalten. In den beiden Halbzellen laufen je nach Elektrolysetyp unterschiedliche Reaktionen ab. Auf der Kathodenseite entsteht unabhängig vom Elektrolyseprozess Wasserstoff, auf der Anodenseite Sauerstoff.

Aktuell stehen drei Elektrolyseverfahren zur Verfügung:

- Alkalische Elektrolyse
- PEM-Elektrolyse (Proton-Exchange-Membrane)
- Hochtemperaturelektrolyse

Neben der klassischen Wasserelektrolyse kommen in der chemischen Industrie für die Grundstofferzeugung ebenfalls klassische Elektrolysen zum Einsatz. Zur PVC-Herstellung



Stacks der PEM-Elektrolyse

wird beispielsweise eine Kochsalzlösung elektrolysiert. Neben Wasserstoff entsteht dabei das für die PVC-Herstellung benötigte Chlorgas. Der Wasserstoff ist dabei nur Nebenprodukt.

c Pyrolyse

Generell sind Pyrolyseverfahren bereits lange erprobt. Im Kontext der Wasserstofferzeugung werden auch vermehrt Methanpyrolyse und Plasmapyrolyse diskutiert. Hierbei wird Erdgas in Wasserstoff und Kohlenstoff zerlegt. Obwohl diese Art von Wasserstoff, ähnlich zur Dampfreformierung, aus fossilen Quellen erzeugt wird, entweicht der Kohlenstoff nicht aus dem Prozess und bleibt in Form von elementarem Kohlenstoff zurück.

Zusammenfassung

Heute existiert eine Vielzahl von Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff. Je nach Anwendungsfall haben diese ihre Berechtigung. Aktuell wird lediglich elektrolytisch erzeugter Wasserstoff als nachhaltig betrachtet, obwohl andere Verfahren ebenso ohne CO_2 -Fußabdruck arbeiten könnten.

2 FARBENLEHRE DES WASSERSTOFFS

Ein transparentes Bild der Klimafreundlichkeit von Wasserstoff bieten die verschiedenen Varianten von Wasserstoff, die zurzeit in der Diskussion stehen: grau, blau, türkis und grün. Die unterschiedlichen Farb-Bezeichnungen geben Auskunft über die Art der Produktion des jeweiligen Wasserstoffs.

Grauer Wasserstoff: „Grauer Wasserstoff“ wird auf Basis fossiler Kohlenwasserstoffe produziert. Hauptsächlich wird für die Produktion von grauem Wasserstoff Erdgas bei der Dampfreformierung eingesetzt. Mit der Produktion wird ebenso CO_2 frei, was zur Namensgebung beiträgt.

Blauer Wasserstoff: „Blauer Wasserstoff“ ist in der Herstellung sehr nahe am grauen Wasserstoff. Allerdings wird beim blauen Wasserstoff das entstehende CO_2 mittels



Abscheidungs- und Speicherungsverfahren eingefangen und nicht an die Umgebung abgegeben (engl. Carbon Capture and Storage, CCS). Deshalb ist blauer Stoff auch unter bestimmten Voraussetzungen als klimaneutral zu betrachten. Blauer Wasserstoff wird häufig in Zusammenhang mit erdgasexportierenden Ländern diskutiert.

Türkiser Wasserstoff: „Türkiser Wasserstoff“ wird über die thermische Spaltung von Methan (Methanpyrolyse) hergestellt. Anstelle von CO₂ in einer klassischen Dampfreformierung entsteht dabei fester Kohlenstoff. Voraussetzungen für die Klimaneutralität des Verfahrens sind die Wärmeversorgung des Hochtemperaturreaktors aus erneuerbaren oder klimaneutralen Energiequellen und die dauerhafte Bindung des Kohlenstoffs.

Grüner Wasserstoff: „Grüner Wasserstoff“ wird durch Wasserelektrolyse produziert, wobei für die Elektrolyse ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien zum Einsatz kommt. Diese Art von Wasserstoff ist von der Stromerzeugung bis zur Produktion des Wasserstoffs klimaneutral. Ebenso kann grüner Wasserstoff aus Biomethan gewonnen werden, welches im Rahmen der Dampfreformierung zu Wasserstoff umgesetzt wird.

Orangefarbener Wasserstoff ist definiert als aus Bioenergie hergestellter Wasserstoff. Hierbei handelt es sich um CO₂-neutrale Energie, die aus organischen Stoffen gewonnen wird und in verschiedenen Formen wie Biomasse, Biokraftstoff, Biogas und Biomethan vorliegen kann. Diese werden üblicherweise aus Abfällen und Reststoffen aus der Land- und Forstwirtschaft, aus Haushalten und der Industrie gewonnen. Nach der Nutzung wird der Kohlenstoff, der einst von den organischen Stoffen gespeichert wurde, wieder in die Umwelt abgegeben.⁷

Zusammenfassung

Jede heute diskutierte Art von Wasserstoff hat seine Vor- und Nachteile. Entscheidend für den Markthochlauf von Wasserstoff sind die politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen. Um abzuwägen, welche Farbe gefördert werden soll, müssen Faktoren wie Umwelteinflüsse, Kosten, aber auch der Zeitrahmen und die Klimaziele berücksichtigt werden.

3 WASSERSTOFFFOLGEPRODUKTE

Wasserstoff kann neben seiner Nutzung in Reinform auch mittels CO₂ weiter veredelt werden. Neben geeigneten CO₂-Quellen müssen bestimmte technische Verfahren Wasserstoff und CO₂ zu Folgeprodukten umsetzen.

a CO₂-Quellen

Es stehen prinzipiell drei Quellen zur Verfügung, aus denen CO₂ gewonnen werden kann. Neben biogenen und industriellen Quellen kann CO₂ auch durch Abtrennung aus der Luft gewonnen werden.

■ Biogene Quellen

Ein klassischer Fall für biogene CO₂-Quellen sind Biogasanlagen. Erfolgt in der Biogasanlage die Aufbereitung auf einspeisefähiges Methan, so entsteht dort CO₂. Das CO₂ entstammt dem Fermentierungsprozess in der Biogasanlage und wird über Abscheider extrahiert.

■ Industrielle Quellen

Im Gegensatz zu biogenen Quellen kommen industrielle CO₂-Quellen sehr häufig vor. Zahlreiche großindustrielle Prozesse emittieren CO₂ in die Atmosphäre. Die größten CO₂-Produzenten neben fossilen Kraftwerken sind unter anderem Kraftwerke, Zementwerke, die hier als CO₂-Quelle genutzt werden können.

■ Abtrennung aus der Luft

Neben den biogenen und industriellen Punktquellen kann CO₂ direkt aus der Luft gewonnen werden. Der Ursprung dieses CO₂ ist entweder biogen oder industriell. Der meist erprobte Prozess zur Abtrennung von CO₂ aus der Luft ist das Verflüssigungsverfahren.

b Synthetisches Erdgas

Aus CO₂ und Wasserstoff kann synthetisches Erdgas erzeugt werden. Hierfür stehen zwei Verfahren zur Verfügung.

■ Katalytische Methanisierung

Im katalytischen Verfahren werden CO₂ und Wasserstoff mittels Katalysatoren zur Reaktion gebracht. Hierfür wird als Anlagenkonzept ein klassischer Plattenreaktor verwendet, in dem die beiden Ausgangs-Gase miteinander reagieren und dabei künstlich erzeugtes Methan entsteht. Die Reaktion zwischen CO₂ und Wasserstoff ist stark exotherm auf hohem Temperaturniveau.

⁷ Quelle: https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2021/01/IKEM_Kurzstudie_Wasserstoff_Farbenlehre.pdf, Seite 10

■ Biologische Methanisierung

Vergleichbar der katalytischen Methanisierung läuft die biologische Methanisierung. Hierbei werden ebenso Wasserstoff und CO₂ zur Reaktion gebracht. Die Umwandlung in Methan erfolgt dabei rein biologisch durch Mikroorganismen, zum Beispiel Bakterien oder Archaeen (einzellige Organismen). Die Mikroorganismen werden dabei entweder in Rührbehältern und Rieselbettreaktoren gehalten. Sobald die Organismen mit Wasserstoff und CO₂ versorgt werden, erfolgt die Umsetzung zu Methan.

c Herstellung von langkettigen Kohlenwasserstoffen

Neben der Produktion von künstlichem Methan über die katalytische oder biologische Methanisierung können bei der Reaktion von CO₂ und Wasserstoff auch langkettige Kohlenwasserstoffe erzeugt werden. Dabei wird wieder CO₂ und Wasserstoff zur Reaktion gebracht. Mittels anderer Katalysatoren als bei der katalytischen Methanisierung werden dabei längere Moleküle produziert, wie beispielsweise Ethan oder Benzin und Diesel. Ebenso ist die Erzeugung von Methanol möglich.

Zusammenfassung

Wasserstoff ist der Ausgangsstoff für verschiedene Derivate. Klassisch wird zur Erzeugung von Wasserstofffolgeprodukten CO₂ (oder auch CO) verwendet. Mittels chemischer Reaktionen wird der reine Wasserstoff mit CO₂ zu anderen Produkten umgesetzt. Bekanntestes Beispiel ist künstlich erzeugtes Methan. Je nach Ursprung des CO₂ können die Folgeprodukte klimaneutral sein.

Disclaimer: Bei der Karte handelt es sich um eine schematische Darstellung, die hinsichtlich der eingezeichneten Speicher und Abnehmer keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

4 WASSERSTOFFTRANSPORT UND -SPEICHERUNG

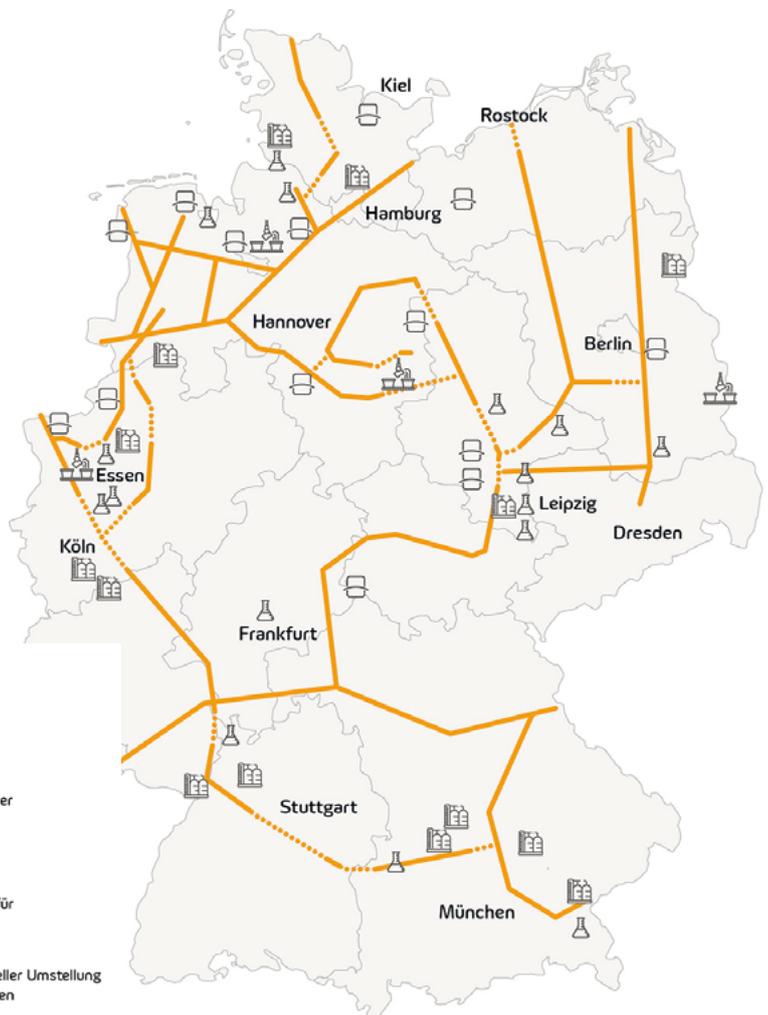
Wasserstofflogistik ist immer dann erforderlich, wenn Wasserstoff nicht vor Ort beim Abnehmer produziert wird. Für den Transport von Wasserstoff stehen verschiedene Technologien zur Verfügung, die Erzeugung und Abnahme verbinden.

a Pipelinetransport

Wasserstoff kann über längere Strecken effizient über Pipelines transportiert werden. Hierfür können konventionelle – wasserstofftauglich gemachte – Erdgaspipelines verwendet werden. Die Nutzung von Erdgaspipelines für den Transport von Wasserstoff hängt im Wesentlichen von den entlang der Pipeline verbauten Materialien ab. Die FNB-Gas (Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas) plant in ihrem Netzentwicklungsplan bereits heute ein deutschlandweites Wasserstoffnetz:

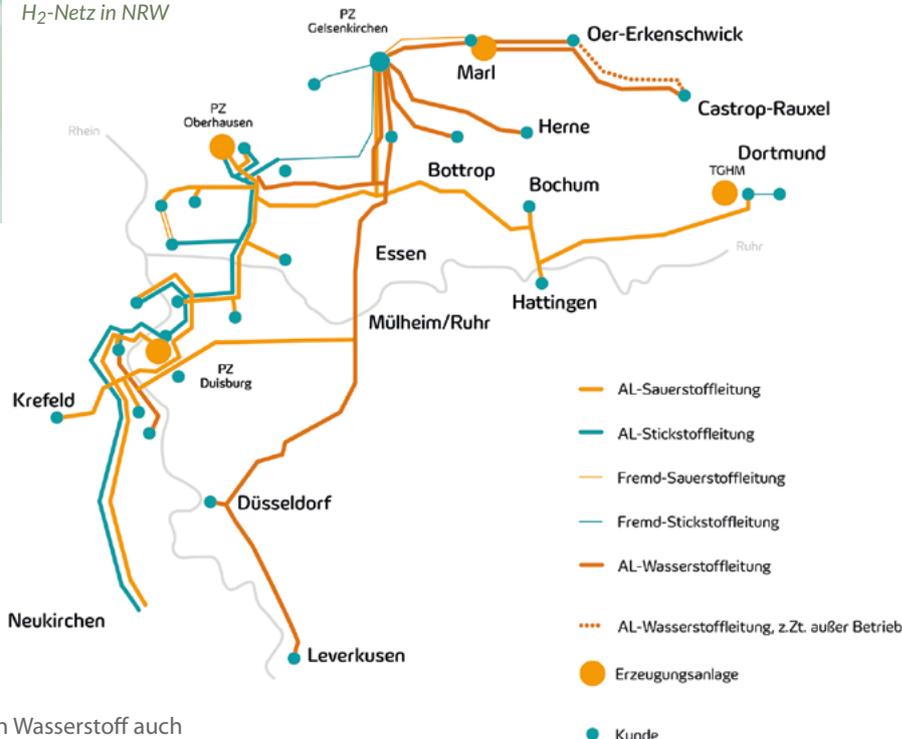
Geplantes H₂-Netz der Fernleitungsnetzbetreiber Gas

-  Stahlindustrie
-  Raffinerie
-  Potenzielle Kavernenspeicher
-  Chemie
-  Mögliche Neubaubereiche für H₂-Leitungen
-  H₂-Leitungen nach potenzieller Umstellung bestehender Erdgasleitungen





H₂-Netz in NRW



Neben der sogenannten Umstellung von Pipelines gibt es auch dezentrierte H₂-Netze, die H₂-Erzeuger und Abnehmer miteinander verbinden. So existiert beispielsweise in Nordrhein-Westfalen ein etwa 240 km langes Wasserstoffpipelinesystem, das Chemiebetriebe untereinander verbindet.

b Trailertransport

Neben dem Transport über Pipelines kann Wasserstoff auch über Trailer transportiert werden. Zum Einsatz kommen dabei entweder Druckgastrailer oder Flüssiggastrailer.

Der Druckgastrailer ist dabei die häufigste anzutreffende Form beim Trailertransport. Eine Wechselbrücke ist bei dieser Technologie mit Druckbehältnissen ausgestattet. Diese kann mit Wasserstoff befüllt werden.



H₂-Trailer

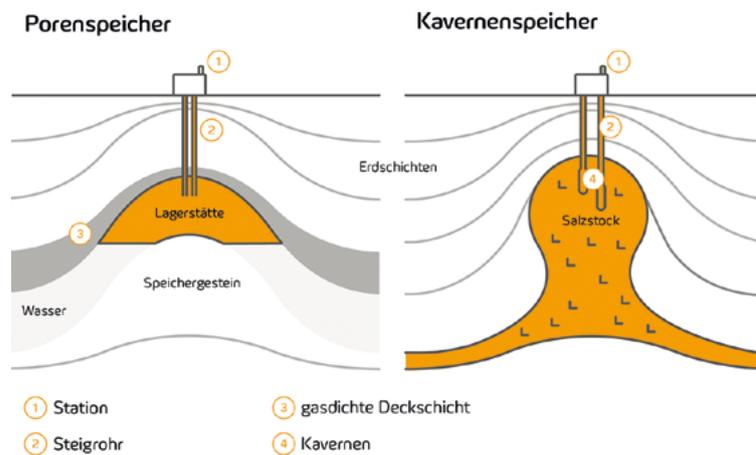
Typischerweise werden die Trailer bei 200 bis 300 bar betrieben. Damit lassen sich ca. 500 kg Wasserstoff transportieren.

Wird Wasserstoff in flüssiger Form über Trailer bewegt, erhöht sich dadurch die Kapazität auf ca. vier Tonnen. Flüssiger Wasserstoff kommt nur auf sehr langen Transportdistanzen und in großen Mengen zum Einsatz. Eine weitere Transportmöglichkeit sind die sogenannten Wasserstoffträgermedien. So wird beispielsweise bei LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier) eine organische Flüssigkeit genutzt, um Wasserstoff chemisch zu binden und damit zu speichern. Mittels Energie wird der Wasserstoff bei Bedarf wieder vom Trägermedium gelöst.

c Speicherung

Für die Versorgung von Abnehmern ist gegebenenfalls eine (Zwischen-)Speicherung von Wasserstoff erforderlich. Dies erfolgt üblicherweise unter Druck wie beim Transport. Hier gibt es drei Technologien, die genutzt werden können.

Im heutigen Erdgasnetz werden zur Strukturierung des Erdgasbezugs Unterspeicher eingesetzt. Aktuell verfügt Deutschland über ein Speichervolumen von ca. 23 Milliarden Kubikmeter. Zum Einsatz kommen dabei in überwiegender Zahl entweder Kavernen- oder Porenspeicher.



Vergleich von Poren- und Kavernenspeicher

Kavernenspeicher finden sich überwiegend in Norddeutschland. Dies liegt an den dort in großem Umfang vorkommenden Salzstöcken. In die Salzstöcke wird mittels Wasserzirkulation ein Hohlraum gesohlt, der dann zur Speicherung zum Beispiel von Erdgas genutzt werden kann.

Porenspeicher benötigen geeignete geologische Formationen, die meist in leeren Erdgaslagerstätten zu finden sind. Im Gegensatz zu Kavernenspeichern existiert hier kein großer Hohlraum, sondern poröses Gestein, das zur Verpressung von Erdgas genutzt wird.

Generell sind Kavernenspeicher zur Speicherung von Wasserstoff besser geeignet als Porenspeicher. In Porenspeichern kann es durch Wechselwirkungen zwischen Wasserstoff und organischem Material zu einer Blockade im porösen Gestein kommen, sodass das Speichervolumen nicht mehr genutzt werden kann. Zusätzlich zur großtechnischen Speicherung unter Tage erfolgt die Speicherung klassisch in Druckspeichern. Hier wird, wie beim Trailertransport, der Wasserstoff in Druckbehälter verpresst.



Liegender Druckbehälter

Typischerweise finden sich diese Speicher direkt beim Wasserstoffverbraucher. So ist beispielsweise eine H₂-Tankstelle immer mit dieser Art von Speichern ausgestattet.

5 WASSERSTOFFANWENDUNG

a Brennstoffzelle

Brennstoffzellen funktionieren in umgekehrter Richtung wie ein Elektrolyseur. Wasserstoff und Sauerstoff werden kontrolliert miteinander zur Reaktion gebracht. Dabei wird Strom erzeugt und es entsteht Wasser. Brennstoffzellen bestehen ebenso wie Elektrolyseure ebenfalls aus zwei Halbzellen und einer Membran. Auf der Anodenseite wird Wasserstoff gespalten und auf der Kathodenseite mit Sauerstoff zu Wasser

umgewandelt. Bereits in den 1950er-Jahren wurden erste Brennstoffzellen eingesetzt. Heute werden Brennstoffzellen vor allem in der Mobilität oder im Wärmebereich eingesetzt.

b Blockheizkraftwerk (BHKW)

Wasserstoff kann neben Brennstoffzellen auch über BHKWs in Strom und Wärme gewandelt werden. Ein BHKW funktioniert dabei wie ein klassischer Verbrennungsmotor. Wasserstoff und Sauerstoff aus der Luft werden in einem

geeigneten Mischungsverhältnis in den Brennraum der Hubkolbenmaschine eingeblasen und durch Zündung in Wasser(-dampf) umgewandelt. Die dadurch entstehende Energie wird über die Kolben auf eine Welle übertragen, die einen Generator antreibt und somit Strom erzeugen kann. Da die Abwärme im Verbrennungsmotor hohe Temperaturen aufweist, wird diese im Rahmen einer Kraft-Wärme-Kopplung nutzbar gemacht.



c Therme

Wasserstoff kann aber auch ausschließlich zur Wärmeerzeugung verwendet werden. Dafür werden aktuell von verschiedenen Herstellern H₂-Brennwert-Thermen entwickelt. Erste Prototypen sind in Versuchsprojekten in der Erprobung. Bei den Geräten muss zwischen Thermen, die reinen Wasserstoff, und Thermen, die Wasserstoff-Erdgasgemischen umsetzen können, unterschieden werden. Bei der Beimischung von Wasserstoff sind konstruktionstechnisch Grenzen gesetzt, da Wasserstoff gegenüber Erdgas andere Verbrennungseigenschaften aufweist. Neben einem geänderten Zündverhalten ist insbesondere die Überwachung der bei der Verbrennung auftretenden Flamme eine Herausforderung an die Konstruktion. Aktuell ist davon auszugehen, dass ab einer Beimischung von mehr als 20 Prozent (hier differieren die Angaben der Hersteller) ein komplett anderer Aufbau der Brennkammer und der Flammüberwachung angewendet werden muss.

Zusammenfassung

Für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft verfügt Deutschland über ausreichende Infrastrukturen. Der Transport des Wasserstoffs zum Abnehmer kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen. Für die großtechnische Speicherung von Wasserstoff stehen aktuell über die an das Gasnetz angeschlossenen Kavernenspeicher genügend Salzstöcke zur Verfügung. Für die Anwendung von Wasserstoff in den Bereichen Industrie, Verkehr, Wärme und Strom ist Deutschland infrastrukturseitig bereits heute gut aufgestellt.



Brennstoffzellenheizung

BEISPIEL WESTENERGIE: SYSTEMLÖSUNG POWER-TO-GAS IBBENBÜREN

Im Projekt „PtG Ibbenbüren“ zeigt Westenergie, wie erneuerbarer Strom über eine innovative Wasserstofftechnologie hocheffizient zwischengespeichert und bedarfsgerecht wieder zur Verfügung gestellt werden kann. Die Power-to-Gas-Demonstrationsanlage ist Teil der Versorgungsstrukturen vor Ort. Gasseitig ist sie verbunden mit dem Erdgas-Hochdrucknetz zur Versorgung der Region Ibbenbüren. Stromseitig ist sie an das örtliche Verteilnetz angeschlossen. Im Betrieb der Power-to-Gas-Anlage kommt ausschließlich grüner Strom zum Einsatz. In der Anlage wird elektrische in gasförmig gebundene und CO₂-freie Energie umgewandelt. Bisher war es nur machbar, aus Gas Strom zu erzeugen. Nun erfolgt auch eine Energieumwandlung in umgekehrter Richtung. Damit wird es möglich, ein zukünftiges Überangebot an erneuerbarer Energie dem Stromnetz zu entnehmen und gasförmig in bereits vorhandene Erdgasspeicher einzulagern.

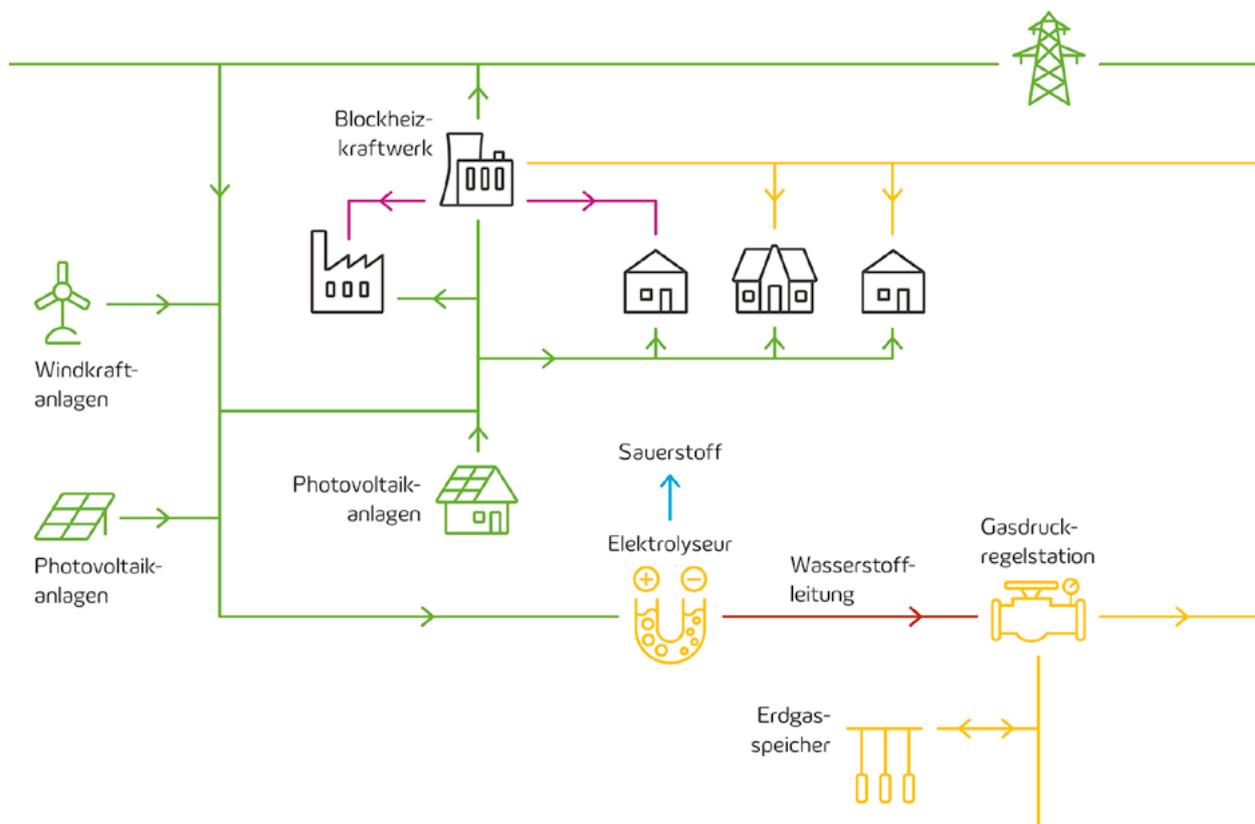
Ersetztes Erdgas kann gespeichert werden

In Zeiten zu hoher Stromerzeugung aus Photovoltaik oder Windkraft erzeugt die Power-to-Gas-Anlage Wasserstoff

über die Elektrolyse mit ausschließlich grünem Strom. Dieser grüne Wasserstoff wird an der benachbarten Erdgasdruckregel- und Messanlage an der Groner Allee in das Erdgasnetz eingebracht und bei der Belieferung der Erdgaskunden im Ibbenbürener Raum genutzt. Gleichzeitig muss nun weniger Erdgas aus dem vorgelagerten Netz nach Ibbenbüren transportiert werden. Es entsteht dort also ein Energieüberschuss, der in Erdgasspeichern eingelagert werden kann.

Effizienter Speicherprozess

In Zeiten niedriger regenerativer Stromerzeugung können die eingelagerten Gasmengen den Erdgasspeichern wieder entnommen und über das Gasnetz nach Ibbenbüren transportiert werden. Dort folgt dann die Rückverstromung. In Ibbenbüren wird dazu ein Blockheizkraftwerk in der Heizzentrale des Fernwärmenetzes genutzt. Der erzeugte Strom wird in das örtliche Netz eingespeist. Die anfallende Abwärme gelangt in das Fernwärmenetz und wird zudem in der Gasdruckregel- und Messanlage genutzt. Dadurch steigt die Gesamteffizienz des Stromspeicherprozesses deutlich.



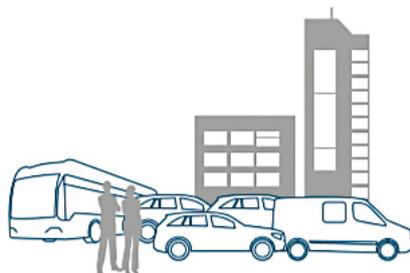
III Die Rolle von Wasserstoff in den Sektoren

1 STROMSEKTOR

Der Stromsektor hat in den vergangenen Jahren eine grundlegende Veränderung erfahren. Mehr und mehr Anlagen zur Erzeugung von erneuerbaren Energien wurden errichtet, um den Zielen der Klimapolitik gerecht zu werden. Durch den Wandel des Systems von großen Energieanlagen hin zu kleinen dezentralen Erzeugern ergeben sich viele Möglichkeiten und Notwendigkeiten für die Nutzung von Wasserstoff. Im Vergleich zur Batteriewirtschaft liegt der Vorteil bei der Nutzung von Wasserstoff darin, dass dieser zeitlich unbegrenzt beispielsweise in Kavernen gespeichert und somit auch während möglicher „Dunkelflauten“ – also wenn weder die Sonne scheint noch der Wind weht und keine Solar- und Windenergie erzeugt werden kann – wiederverwendet werden kann. Er bietet damit einen hohen Grad der Versorgungssicherheit.

Erste Analysen eines unserer Partner haben für das niedersächsische Gebiet gezeigt, dass zur Überbrückung einer „Dunkelflaute“ von sieben Tagen in Gesamtdeutschland ein Energiespeicher von ca. 30 bis 50 TWh benötigt wird. Die Speicherkapazitäten von 37 Kavernen (aktuell 270 Kavernen in Deutschland) sind in der Lage, 22 TWh bereitzustellen. Darüber hinaus stehen in Gesamtdeutschland Speicherkapazitäten von über 150 TWh bereit. Dadurch verfügt Deutschland über das Potenzial, der regenerative Energiespeicher für ganz Europa zu sein.

Wasserstoff mit seinen vielen Anwendungsfällen



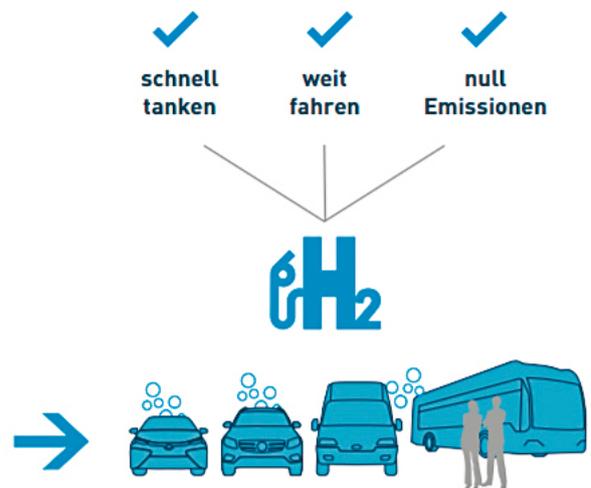
Modernes Flottenmanagement: Klimaschutz ist heute Notwendigkeit und Imagerträger. Dabei sollen Kosten, Nutzen und Komfort vergleichbar mit Gewohntem bleiben.

Weiterhin bietet sich die Elektrolyse als Technologie der Sektorenkopplung an, wodurch sich Synergieeffekte entwickeln können. Wasserstoff, der mittels Elektrolyse und grünem Strom erzeugt wird, kann perspektivisch auch den Verkehrs- und Wärmesektor dekarbonisieren und somit eine zusätzliche Auslastung generieren.

2 VERKEHRSSSEKTOR

Der Verkehrssektor hat es in den vergangenen Jahren nicht geschafft, seine CO₂-Emissionen zu reduzieren. Stattdessen sind diese sogar noch zeitweise gestiegen. Ca. 30 Prozent der gesamten CO₂-Emissionen der EU sind auf den Verkehr zurückzuführen, der Straßenverkehr macht hierbei einen Anteil von 72 Prozent aus. Stetig neue CO₂-Emissionsziele der EU zielen darauf ab, den Schadstoffausstoß zu senken. Hierzu bedarf es Möglichkeiten, diese Entwicklung umzukehren. Der Einsatz von Wasserstoff besitzt ein großes Potenzial, Emissionen zu reduzieren.

Zur Marktaktivierung für alternative Antriebsformen und Kraftstoffe stehen in den nächsten Jahren mehrere Milliarden Euro an Förderungen von Bund und Ländern zur Verfügung. Städte, Landkreise und Gemeinden können sie zum Teil bereits heute abrufen und damit zu einer klimafreundlichen Zukunft und einem lokalen, emissionsneutralen Ökosystem beitragen.



Wasserstoffautos erfüllen genau das: tanken in 3 Minuten für 500 –750 km Reichweite bei null Emissionen und mit vergleichbaren Kosten – Wasserstoff ist Elektromobilität ohne Einschränkung.

Mit dem derzeitigen Preis von Wasserstoff an der Tankstelle ist er als Kraftstoff bereits heute konkurrenzfähig zum regulären Benzinpreis. In der Zukunft werden durch Skalierungseffekte oder technologischer Fortschritt niedrigere Wasserstoffgestehungskosten erwartet. Dadurch ergeben sich viele Anwendungsmöglichkeiten für Wasserstoff im Verkehrssektor, wobei durch grünen Wasserstoff keine CO₂-Emissionen im Fahrbetrieb emittiert werden. Dem gegenüber stehen zunächst hohe Produktionskosten der Fahrzeuge. Aber dennoch: Die zukünftigen ökonomischen und ökologischen Möglichkeiten liegen auf der Hand. Darüber hinaus entsteht durch die verbindliche, in den nächsten Jahren steigende CO₂-Bepreisung eine klimapolitisch gesteuerte Verteuerung fossiler Kraftstoffe.

Welche konkreten Anwendungsfälle es bei den einzelnen Fortbewegungsmitteln gibt, beschreiben die folgenden Abschnitte.

a ÖPNV

Verringerte Verkehrs- und Umweltbelastungen durch weniger Pkw, höhere Energieeffizienz als beim Individualverkehr und geringerer Flächenbedarf – das sind nur einige Vorteile des ÖPNV gegenüber anderen Verkehrsmitteln. Zudem besteht gerade in Ballungszentren vor dem Hintergrund der Verkehrssituation und unsauberer Luft dringender Handlungsbedarf, Bürgern attraktivere ÖPNV-Angebote zu unterbreiten. Die nationale Umsetzung der Clean Vehicles Directive beginnend ab diesem Jahr (2021) wird die Anschaffung sauberer und emissionsfreier Busse und damit den Wandel zu alternativen Antrieben im straßengebundenen ÖPNV weiter beschleunigen. Auch der Einsatz von Wasserstoff bietet hierbei das Potenzial zur Reduzierung des lokalen Lärm und Schadstoffausstoßes, wenn die Antriebstechnologie auf grünen Wasserstoff umgestellt wird. Inzwischen wurden

bereits erste Modellprojekte von Wasserstoffbussen umgesetzt. Außerdem zeigt sich, dass immer mehr Fahrzeughersteller das Potenzial erkannt haben und die Entwicklung von Wasserstoffbussen vorantreiben. Die verwendete Technologie beschränkt sich dabei zunächst vollständig auf den Einsatz von Brennstoffzellen⁸.

Der Bedarf an Wasserstoff im ÖPNV ist durch das vorgegebene Streckennetz sehr gut zu ermitteln. Dadurch kann die Wasserstoffinfrastruktur optimal auf diesen Bedarf ausgelegt und somit durch eine effiziente Auslastung eine schnellere Versorgung erreicht werden.

Zur Betankung der Flotte kann eine eigene Wasserstofftankstelle beispielsweise auf dem jeweiligen Betriebsgelände eines Verkehrsunternehmens errichtet werden. Neben der höheren Reichweite ist dies ein wichtiger Vorteil gegenüber der Elektromobilität, da somit ein unmittelbarer Wiedereinsatz der Fahrzeuge möglich ist.

b Schwerlastverkehr / Schwere Nutzfahrzeuge

Nach aktuellen Zahlen des Kraftfahrtbundesamts gibt es in Deutschland rund 225 000 Lkw über zwölf Tonnen zGM (zulässige Gesamtmasse), die in unterschiedlichen Einsatzgebieten betrieben werden. Hinzu kommen etwa 220 000 Sattelzugmaschinen mit verschiedenen Aufliegern. Von diesem Bestand werden aktuell unter 0,3 Prozent nicht mit Benzin oder Diesel betrieben. Diese Fahrzeuge greifen auf Kraftstoffe wie LPG oder CNG zurück oder fahren hybrid beziehungsweise rein batterieelektrisch.

Mit Blick auf die Angaben der EU, nach denen 2018 ca. 26 Prozent der CO₂-Emissionen durch Schwerlastkraftwagen und Busse emittiert wurden, lässt sich auch für Deutschland der Handlungsbedarf ableiten.

⁸ Siehe Kapitel II.

BEISPIEL FÜR WASSERSTOFFBETRIEBENE NUTZFAHRZEUGE

Einen zielführenden Beitrag für den Einsatz klimaschonender Kommunalfahrzeuge leistet in diesem Kontext unter anderem die FAUN Gruppe. Die dort entwickelten und gebauten Fahrzeuge werden mit Wasserstoff angetrieben. Basis für die Abfallsammelfahrzeuge und Kehrmaschinen ist ein batterieelektrisches Fahrgestell, das zusätzlich mit Brennstoffzellentechnologie ausgestattet wird.

Die Brennstoffzelle wandelt den Wasserstoff in elektrische Energie, diese wird von der Batterie aufgenommen und versorgt alle Komponenten des Fahrzeugs (Elektromotor, Steuerung, Aufbau, etc.). Als Abgas entsteht lediglich Wasserdampf. So werden die Fahrzeuge nicht nur leiser im Fahr- oder Sammelbetrieb, sondern ermöglichen zudem eine CO₂-freie Sammeltour. Das Fahrzeugkonzept ist modular auf- oder abbaubar, so dass die Betreiber maßgeschneiderte Fahrzeuge für jedes Einsatzgebiet hinsichtlich Reichweite und Nutzlast erhalten.

Die Fahrzeuge werden auf den jeweiligen Bedarf vorab angepasst. Ein Fahrzeug kann maximal mit drei Brennstoffzellen-Modulen à 30 kW und mit bis zu vier Tanks à 4,2 kg Wasserstoff bestückt werden. Mit dieser Maximalausstattung von 90 kW und 16,8 kg H₂ können an einem Tag zwei Touren mit zehn Tonnen Sammelgut



Wasserstoff-Müllfahrzeuge im Testeinsatz in Bremen

gefahren werden. Ohne Stop+go und Abfallsammelvorgänge läge die Reichweite bei bis zu 400 km.

Die Nachfrage nach wasserstoffbetriebenen Kommunalfahrzeugen kommt vor allem von Entsorgern, die mit Biogas- oder Müllverbrennungsanlagen Strom erzeugen, den sie für die Produktion von Wasserstoff mittels Elektrolyse verwenden können. Auch hier zeigen sich die Vorteile einer Kreislaufwirtschaft, da der abtransportierte biogene Müllanteil den Treibstoff für die nächsten Touren liefert. Die Fahrzeuge können ebenso an dem öffentlich zugänglichen H₂-Tankstellen-Netz aufgetankt werden. 2021 wurden 20 Fahrzeuge ausgeliefert und befinden sich im Einsatz. Für 2022 sind 100 Wasserstoff-Lkw geplant.

BEISPIEL FÜR DIE BETANKUNG WASSERSTOFFBETRIEBENER NUTZFAHRZEUGE

Die oben dargestellten wasserstoffbetriebenen Nutzfahrzeuge werden mit 700 bar betankt. Allerdings ist die Druckstufe allein nicht entscheidend. Denn im Gegensatz zu Wasserstoff-Pkw benötigt beispielsweise ein



Getankt wird der Wasserstoff mit 700 bar in der herkömmlichen Geschwindigkeit

Müllfahrzeug doppelt bis dreimal mehr Menge an Wasserstoff. Für Nutzfahrzeuge, die teilweise auch mit 350 bar auftanken, gibt es bis dato nur wenige Stationen. Aktuell werden Betankungstests durchgeführt und notwendige Technologien ausgelotet, um zu gewährleisten, dass die Wasserstoff-Fahrzeuge auch allzeit einsatzbereit sind. Die Entwicklungsarbeit und Optimierung des Konzeptes soll stetig fortgesetzt werden, um den Markthochlauf in dieser Nische weiter voranzubringen.

Für die Zukunft strebt die Branche an, den Antrieb für andere Anwendungen, beispielsweise im Güterverkehr nutzbar zu machen, um auch auf diesem Wege die Treibhausmissionen weiter zu senken. Um die Klimaziele für die kommenden Jahrzehnte zu erreichen, wird die Dekarbonisierung des Schwerlastverkehrs unumgänglich sein.

Zwei regulatorische Maßnahmen werden die allgemeinen Bestrebungen der Politik in diesem Zusammenhang besonders begünstigen: Zum einen die CO₂-Bepreisung, die sich auf Kraftstoffe niederschlägt. Durch die Verteuerung der fossilen Kraftstoffe werden sich die Total Costs of Ownership⁹ (TCO) für Flottenbetreiber, die auf Diesel und Benziner

setzen, in den kommenden Jahren erhöhen. Dies wird einen Umstieg auf emissionsfreie Fahrzeuge fördern. Eine weitere Maßnahme, die sich positiv auf die TCO auswirken würde, ist die Mautbefreiung für Lkw über 7,5 Tonnen mindestens bis 2023, die im Sinne des § 2 Nr. 1 des Elektromobilitätsgesetzes (EmoG)¹⁰ als elektrisch betrieben gelten. Je nach Euronorm und Fahrprofil der Bestands-Lkw können sich

⁹ Total Cost of Ownership ist ein Berechnungsverfahren, das Verbrauchern und Unternehmen helfen soll, alle anfallenden Kosten von Investitionsgütern abzuschätzen.

¹⁰ Gesetz zur Bevorzugung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge.

Einsparungen um ca. 20000 Euro pro Jahr und Fahrzeug ergeben.

Zum anderen werden die ab 2025 eingeführten Treibhausgas (THG)-Flottengrenzwerte der EU dazu führen, dass bei den Lkw-Herstellern kurzfristig ein Umdenken im Hinblick auf Antriebsstränge und -systeme stattfinden muss, da sonst empfindliche Strafen für das Überschreiten der Grenzwerte drohen.

Diese Bestrebungen werden zur Reduktion der CO₂- und NO_x-Belastung beitragen. Dennoch ist es besonders im lokalen Bereich wichtig, in gesamtheitlichen Ökosystemen zu denken. Voraussichtlich wird nur durch einen parallelen Ausbau von Infrastruktur und Fahrzeugabsätzen die Wasserstoffwirtschaft in Deutschland nachhaltig erfolgreich sein.

c Personenkraftwagen

Die aktuelle Situation im Individualverkehr steht am Beginn einer wegweisenden und notwendigen Änderung. Zwischen 1991 und 2018 nahm die Pkw-Gesamtfahrleistung in Deutschland um 29 Prozent zu¹¹. Durch die zunehmende Belastung der Ballungszentren (CO₂ und NO_x) und den somit vielerorts drohenden Fahrverboten wächst der politische und gesellschaftliche Druck auf ölbasierte Kraftstoffe zusätzlich.

Hersteller werden weiterhin durch CO₂-Quoten dazu gezwungen, umweltfreundlichere Fahrzeuge zu produzieren, wodurch in den vergangenen Jahren der elektrische Antrieb stark in den Fokus geraten ist. Dabei liegt der Schwerpunkt derzeit auf Batterie-Elektromobilität (BEV) und mittel- bis langfristig auf BEV und Brennstoffzellen-Elektromobilität (FCEV). Wasserstoff wird neben den batterieelektrischen Fahrzeugen in Zukunft einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Mobilität auf Grundlage elektrischer Antriebe auch im Individualverkehr leisten. Dafür bedarf es auf lange Sicht, neben notwendigen ökonomischen Anreizen, zusätzlich einer bedarfsgerechten Wasserstoff-Infrastruktur. Eine aktuelle Übersicht über die vorhandenen Wasserstofftankstellen und die aktuellen Fahrzeugmodelle bietet der Service von H₂-Mobility¹².

Schaut man sich die Vorteile des Wasserstoff-Autos einmal genauer an, fallen zunächst die offensichtlichen Vorteile auf, wie etwa die mit klassischen Verbrennern vergleichbare



Wasserstoffauto, Typ Hyundai NEXO

Reichweite. Anders als bei batterieelektrischen Autos bestehen geringe Tankzeiten. Diese Vorteile können beispielsweise Kommunen nutzen, um ihre Flottenemissionen drastisch zu reduzieren. Gleichzeitig ist keine wesentliche Umstellung im Nutzerverhalten zu verlangen, was zu einer größeren Akzeptanz bei der Umstellung des kommunalen Fuhrparks auf CO₂-freie Fahrzeuge führen dürfte. Diverse Förderprogramme des Bundes senken die Anschaffungskosten eines Brennstoffzellenautos¹³. Der hohe Anschaffungspreis dürfte jedoch für viele Kommunen trotz aller Förderung gegenwärtig ein Hindernis darstellen.

d Schienenverkehr

Wasserstoff bietet im Schienenverkehr, gerade hinsichtlich des Fernverkehrs, einige Vorteile. Mit ca. 13000 km ist ein wesentlicher Teil des Streckennetzes der Bahn in Deutschland weiterhin nicht elektrifiziert und somit auf fossile Energieträger, in diesem Fall Diesel, angewiesen. Zur Dekarbonisierung eben dieser nicht elektrifizierten Streckenabschnitte können perspektivisch Wasserstoffzüge zum Einsatz kommen. Siemens Mobility und Deutsche Bahn zusammen entwickeln zusammen für diesen Anwendungsfall ebenfalls ein wasserstoffbetriebenes Zugmodell. Reichweiten von bis zu 600 km bieten hierbei entscheidende Vorteile beispielsweise gegenüber einem möglichen batterieelektrisch betriebenen Zug. Erste Untersuchungen bestätigen, dass bereits der Einsatz eines Zuges zwischen Tübingen und Pforzheim die CO₂-Emission um bis zu 330 Tonnen pro Jahr reduzieren könnte.

11 BMVI: Verkehr in Zahlen 2019/2020.

12 www.h2live.de

13 Siehe Kapitel V.



Symbolbild Wasserstoffzüge/-bahn

Ähnlich wie im Busverkehr könnten hier eigene Wasserstofftankstellen eingerichtet werden, die ein Auftanken der Züge in kurzer Zeit ermöglichen. Diese könnten wiederum an zentralen Stellen errichtet werden, sodass auch andere Wasserstoffanwender hiervon profitieren.

Ein anschauliches Praxisbeispiel bieten in diesem Kontext die Initiativen des Landkreises Düren¹⁴. Neben der Errichtung einer Wasserstoffinfrastruktur und dem geplanten Bau einer Wasserstofftankstelle war dort zu Beginn des Jahres 2020 ein Wasserstoffzug des Herstellers Alstom erfolgreich unterwegs zu Vorführfahrten auf der Rurtalstrecke.

e Schiffsverkehr

Im maritimen Bereich wird zwischen Binnenschifffahrt und Seeschifffahrt unterschieden. Für letzteren Fall gibt es erste perspektivische Überlegungen, Wasserstoff als Grundlage zur Herstellung von weiterverarbeiteten Produkten, beispielsweise Methanol und Ammoniak, zu benutzen. Mit diesem Kraftstoff können große Containerschiffe angetrieben und so Emissionen gerade in den Häfen beziehungsweise Schiffsverkehr in den Städten reduziert werden. Innerhalb der Binnenschifffahrt gibt es bereits erste Bewegungen zur Implementierung der Wasserstofftechnik. Projekte wie RH2INE oder H2SHIPS wollen erste Wasserstoffschiffe auf den Flüssen fahren lassen oder kümmern sich um die Entwicklung und Prüfung von Wasserstoff-Betankungssystemen und -antrieben.

¹⁴ https://www.kreis-dueren.de/aktuelles/presse/presse_dat.php?pm=aktuelles/presse/verkehr/2020_02_18_Zug_um_Zug_Kreis_Dueren_setzt_Wasserstoff-Initiative_fort_.php

Zusammenfassung

Die vor dem Hintergrund von Klimaschutz, sauberer Luft und europäischer Beschaffungsquoten anstehende Umstellung des Verkehrs auf alternative Antriebe wird in den nächsten Jahren die Kosten für den Nahverkehr in die Höhe schnellen lassen. Mit Blick auf die kommunale ÖPNV-Finanzierung und drohende Tarifierhöhungen sollten Kommunen und Verkehrsunternehmen ihre Fahrzeugflotten über Förderprogramme erneuern. Auch für weitere kommunale Fuhrparks gilt es, frühzeitig den Umstieg auf alternative Antriebe vorzubereiten, die Technologie zu prüfen und mögliche Fördermittel zu akquirieren.

3 WÄRMESSEKTOR

Der beschlossene Klimaschutzplan der Bundesregierung umfasst auch den Wärmemarkt. Das darin erhaltene Energiekonzept fordert einen nahezu klimaneutralen und bezahlbaren Gebäudebestand bis zum Jahr 2045 und legt zudem fest, dass der Gebäudebereich im Jahr 2030 nur noch 67 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente ausstoßen soll, was eine Minderung von 68 Prozent gegenüber dem Vergleichsjahr 1990 bedeutet. Um die Ziele im Gebäudesektor zu erreichen, ist neben der verstärkten Errichtung energieeffizienter Gebäude der Anteil der erneuerbaren Energien am Wärmeverbrauch sukzessive zu erhöhen. Der EE-Anteil im Wärmemarkt wächst seit mehreren Jahren nur noch wenig und erreichte einen Anteil von etwa 15 Prozent. Erdgas (mit einem Anteil von 47 Prozent) und Heizöl (26 Prozent) sind in Deutschland weiterhin die am häufigsten zum Heizen genutzten Energieträger in Wohnungen. Um das Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2050 zu erreichen, müssen fossile Energieträger durch CO₂-freie Energiequellen ersetzt werden.

Als Lösung auf dem Weg zur Dekarbonisierung des Wärmesektors wird häufig die Elektrifizierung beziehungsweise die Nutzung von Technologien wie Wärmepumpen genannt. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass eine energetische Sanierung beim Einbau einer Wärmepumpe im Gebäudebestand signifikant umfangreicher und kostenintensiver ist als ein Tausch einer alten Heizung gegen eine neue klimafreundliche. Insbesondere in Altbauten und Bestandsgebäuden können durch die Nutzung klimaneutraler Gase – die dazu notwendige Erdgasinfrastruktur vorausgesetzt – die Klimaziele erreicht werden. Das in

Projektbeispiel 1:

Zusammen mit den Projektpartnern, der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut (EBI) und dem Gas- und Wärme-Institut e.V. (GWI), startet Avacon in der Modellregion Fläming (im südwestlichen Brandenburg und östlichen Sachsen-Anhalt) ein Pilotprojekt zur Beimischung von bis zu 20 Prozent Wasserstoff ins Gasnetz. Wasserstoff wird in ein bestehendes Gasnetz eingespeist und trägt zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen und damit zur Dekarbonisierung des Sektors Wärme bei.



Beimischung von Wasserstoff in das Erdgasnetz

Deutschland flächendeckend sehr gut ausgebautes Erdgasnetz bietet über die Möglichkeit der Substitution des Brennstoffs Erdgas durch klimaneutrale Gase eine parallele Handlungsoption, die einen deutlich geringeren Ressourcenaufwand insbesondere bei den Wärmenutzern und Endanwendern der Gasversorgung mit sich bringt.

In diesem Zusammenhang kommt grünem Wasserstoff neben Biomethan und synthetischen Gasen eine besondere Bedeutung zu, da mit seiner Nutzung im großen Umfang CO_2 - und NO_x -Emissionen im Wärmesektor vermieden werden können. Die vorhandene Gasinfrastruktur übernimmt dabei eine essentielle Funktion, da sie ideale Voraussetzungen bietet, um klimaneutralen Wasserstoff aufzunehmen und zum angeschlossenen Wärmekunden zu transportieren. Neben der möglichen Umstellung von Erdgas- zu reinen Wasserstoffleitungen wird eine Beimischung von 20 Prozent H_2 in die bestehenden Netze technisch für möglich erachtet. Auch der Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie (BDH) bestätigt, dass der Gerätebestand im Wärmemarkt mit einem Wasserstoffanteil von zehn Prozent sicher und mittelfristig mit 20 Prozent effizient betrieben werden kann. Ohne technische Anpassungen wird die Umstellung jedoch nicht erfolgen

Projektbeispiel 2:

Im niederländischen Rozenburg setzt das Unternehmen REMEHA einen ersten Brennwertkessel ein, der mit reinem Wasserstoff betrieben wird. Da der Kessel die gleichen Abmessungen wie ein herkömmliches Wandgerät auf Erdgasbasis hat, ist er unter Voraussetzung einer bestehenden H_2 -Infrastruktur ohne größere Umbau- oder Sanierungsmaßnahmen einsetzbar. In 2021 sollen auch erste Projekte in Deutschland realisiert werden.



Remeha Hydra, 100 Prozent Wasserstoff-Wandgerät

können. Weiter werden von den Geräteherstellern aktuell erste Geräte entwickelt, die mit 100 Prozent Wasserstoff und somit völlig CO_2 -neutral betrieben werden können.

Der Wärmesektor hatte im Jahr 2019 mit 1330 TWh einen Anteil von 53 Prozent des Endenergieverbrauchs in Deutschland. Damit die Wärmewende bezahlbar bleibt, sollte sie technologie- sowie anwendungsoffen ausgestaltet werden. Der weitere Ausbau strombetriebener Heiztechnologien gerade im Neubaubereich wird voranschreiten. Wasserstoff und seine Folgeprodukte können langfristig auf verschiedene Weise einen Beitrag zur Dekarbonisierung von Teilen des Wärmemarkts leisten.

Zusammenfassung

Gerade für städtebauliche Quartierslösungen sowie energieintensive kommunale Einrichtungen wie etwa Sporthallen bietet grüner Wasserstoff die konkrete Chance zur Wärmewende. Bei älteren, insbesondere denkmalgeschützten Baukomplexen dürfte der Einsatz grüner Gase die ökologische Alternative für Wärmepumpen sein.



BEISPIEL ERZEUGUNG VON GRÜNEM WASSERSTOFF FÜR DAS STAHLWERK ARCELORMITTAL BREMEN SOWIE FÜR DEN VERKEHRSEKTOR

In dem Projekt HyBIT (Hydrogen for Bremen's Industrial Transformation) haben sich ArcelorMittal Bremen (AMB), EWE, Stadtwerke Bremen und die Universität Bremen zusammengeschlossen, um die Erzeugung von grünem Wasserstoff für das Stahlwerk ArcelorMittal Bremen sowie für den Verkehrssektor (repräsentiert durch die Verbindung zu dem Projekt Hyways for Future) zu realisieren. In einem ersten Schritt soll auf dem Gelände von AMB ein Elektrolyseur mit einer Leistung von zwölf Megawatt errichtet werden, der zum einen das Stahlwerk mit Wasserstoff beliefert, zum anderen eine H₂-Trailerabfüllstation bespeist. Sukzessive soll die Elektrolyse-Kapazität erweitert, eine Anbindung an den Kavernen-Speicher in Huntorf umgesetzt und die an AMB gelieferte H₂-Menge erhöht werden (bis zu 255 000 Nm³/h ab 2038).

Neben den Erdgas-Transportnetzen, die die Großindustriekunden mit Gas beliefern, ist der überwiegende Teil der Nutzer mit ca. 1,6 Millionen industriellen und gewerblichen Letztverbrauchern an die Erdgas-Verteilnetze angeschlossen. Durch eine Umstellung der Erdgas-Verteilnetze auf die Durchleitung von Wasserstoff, käme dieser direkt bei den Letztverbrauchern an – ein wichtiger Schritt auf dem ohnehin anspruchsvollen Weg von Haushalt, Gewerbe und Industrie in die Klimaneutralität.

4 INDUSTRIE

Auch wenn der Industriesektor seine Emissionen in den vergangenen Jahren schon deutlich gesenkt hat, ist der Bereich mit ca. 188 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente (2016) nach der Energiewirtschaft der zweitgrößte Verursacher von Treibhausgasemissionen in Deutschland. Neben der Steigerung der Energieeffizienz vornehmlich durch die Nutzung bestehender Abwärmepotenziale soll der wachsende Einsatz erneuerbarer Energien zu einer weiteren Reduktion von Treibhausgasen führen. Insbesondere in den energieintensiven Bereichen Stahl/Metallindustrie, Glas oder Chemie ist Wasserstoff daher ein sehr interessanter Rohstoff und Energieträger der Zukunft. Als klimafreundlicher Energieträger kann Wasserstoff fossiles Gas ersetzen und damit entscheidend zur Erreichung der Klimaziele beitragen.

Vor allem in der Metall- und Chemieindustrie werden schon heute große Mengen Wasserstoff als Grundstoff eingesetzt, der jedoch überwiegend mittels Dampferformierung aus fossilem Erdgas hergestellt wird und somit eine schlechte Ökobilanz aufweist. Um CO₂-Emissionen zu vermeiden, kann grauer Wasserstoff mittelfristig durch grünen Wasserstoff substituiert werden, mit dem Vorteil, dass bestehende Prozesse weiter funktionieren. Dies gilt auch für Anwendungen von grünem Wasserstoff als Prozessgas.

So gibt es in der Stahlindustrie erste konkrete Projekte, in denen der eingesetzte Koks beziehungsweise Kohlenstaub durch grünen Wasserstoff ersetzt werden soll. Da bei der Verbrennung von Wasserstoff lediglich Wasserdampf emittiert wird, können hierdurch in der Stahlproduktion in einem ersten Schritt 20 Prozent CO₂ entfallen. Auf dem Weg zur Klimaneutralität des Industriesektors ist langfristig der vollständige Betrieb über grünen Wasserstoff anzustreben.

Zusammenfassung zu allen Sektoren

Wasserstoff wird als vielfältig einsetzbarer Energieträger eine Schlüsselrolle bei der Dekarbonisierung in den einzelnen Sektoren einnehmen. Gerade dort, wo es keine Alternativen wie die direkte Nutzung von erneuerbarem Strom gibt und die Wirtschaftlichkeit am schnellsten erreicht werden kann, wird der (grüne) Wasserstoff zuerst zur Anwendung kommen. Hierzu zählen die Sektoren Industrie und Verkehr. Mittelfristig ist jedoch auch der Einsatz im Wärmemarkt anzustreben, um hier die ambitionierten Dekarbonisierungsziele zu erreichen.

IV Regionales Energiesystem Wasserstoff

Der Aufbau einer ganzheitlich gedachten Wasserstoffwirtschaft verspricht, in Verbindung mit dem weltweiten Klimaschutz, eine Wertschöpfung für die jeweilige Region und ihre Kommunen. Das eröffnet zahlreiche Möglichkeiten für den regionalen Einsatz integrierter Wasserstoffsysteme. Die besten Chancen ergeben sich aus dem Aufbau eines ganzheitlichen sektoren-koppelnden Wasserstoff-Energiesystems, mit dem es gelingen kann, dauerhaft eine Reduktion von Lärm- und Umweltbelastung und damit eine einhergehende erhöhte Lebensqualität zu erreichen.

1 VORTEILE EINES REGIONALEN ANSATZES

Eine große Herausforderung besteht darin, Bedarf und Produktion von grünem Wasserstoff zu synchronisieren. Hierfür muss eine Wasserstoffwirtschaft aufgebaut werden, die die Bürgerinnen und Bürger zu wirtschaftlich attraktiven Konditionen beliefert. Das lässt sich am besten über regionale Ansätze lösen, da sich hier geschlossene Kreise zwischen Produzenten, Transporteuren und Verbrauchern

von Wasserstoff schneller realisieren lassen. Der Aufbau eines integrierten Wasserstoffansatzes kann bereits bei Planungsfragen, die für Kommunen ohnehin relevant sind, frühzeitig einbezogen werden, etwa bei der Festlegung von Infrastrukturstandorten (z.B. Tankstellen, Logistikzentren, Industrie- und Produktionsstandorte, Ausbau erneuerbarer Energien etc.).

BEISPIEL „REGIONALES ÖKOSYSTEM WASSERSTOFF“

Wie ein „regionales Ökosystem Wasserstoff“ in der Praxis aussehen kann, zeigt das Projekt *Hyways for Future* aus dem Norden Deutschlands.

Idee des Projektes ist der Aufbau einer mobilitätsbasierten grünen Wasserstoffnachfrage. Diese soll unter anderem durch den Bau von Wasserstofftankstellen und die Anschaffung von Brennstoffzellenfahrzeugen in den Großstädten der Region geweckt werden. Der Fokus liegt im ersten Schritt auf der (Schwerlast-)Mobilität samt Tankstelleninfrastruktur



Projektkarte Hyways for Future



und Brennstoffzellenfahrzeugen im Bereich ÖPNV, Entsorgung, Logistik und weiteren Flotten. Ziel ist es, regenerativ erzeugten, grünen Wasserstoff für den Betrieb des gesamten Verkehrssektors im Ems-Weser-Elbe-Gebiet zu etablieren. Den Verkehrssektor als Ausgangspunkt zu wählen, macht Sinn, da die jeweiligen Fahrzeuge bereits auf dem Markt verfügbar sind und der Schwerlastverkehr von Speditionen und Logistikunternehmen mittelfristig ein sehr aussichtsreicher Markt ist. Darüber hinaus soll grüner Wasserstoff emissionslos und hocheffizient an Industrie- und Speicherstandorten erzeugt werden. Ebenso sollen die Produktion und der Einsatz von grünem Wasserstoff in regionalen Industrieunternehmen eingeführt und ausgebaut werden.

Beabsichtigt ist, durch das Projekt *Hyways for Future* die wesentlichen Akteure in der Region zum Aufbau einer grünen Wasserstoffinfrastruktur über die gesamte Wertschöpfungskette zusammenzubringen: von der Erzeugung über den Transport bis zu den Anwendern aus allen Verkehrsbereichen und Branchen (Straße, Schiene, Schiff, Luft). Zudem will *Hyways for Future* die Städte Bremen, Oldenburg, Wilhelmshaven, Cuxhaven, Bremerhaven sowie die gesamte Umgebung als Wasserstoff-Modellregion positionieren. Damit wird ein Markthochlauf der Wasserstofftechnologie vorbereitet und der CO₂-Ausstoß der Region und Deutschlands massiv reduziert.

2 ANWENDUNGSFELDER IN KOMMUNEN

Neben dem im Beispiel „Regionales Ökosystem Wasserstoff“ beschriebenen aussichtsreichen Einsatz von Wasserstoff in der Mobilität, bietet auch die Nutzung in der Industrie viele Chancen. Egal ob chemische Industrie, Stahl- oder Zementindustrie – der sehr edle Energieträger Wasserstoff kann entweder in Reinform oder umgebaut zu synthetischem Methan (CH₄) überall zur Reduzierung von Emissionen eingesetzt werden.

Im kommunalen Zusammenhang gilt es hier, die individuellen Potenziale vor Ort zu prüfen und idealerweise mit dem Verkehrssektor zu kombinieren. Durch die Nutzung von Wärme und Sauerstoff in industriellen Prozessen können Industriestandorte Synergien für den Bau von Elektrolyseuren bieten. Gleichzeitig können diese Standorte ideal für den Bau einer Wasserstofftankstelle in der Nähe sein.

Das Dekarbonisierungspotenzial im kommunalen Energiemanagement ist zwar im Vergleich zu Industrie oder Verkehr eher gering und wurde deshalb in dem obigen Beispiel mit seinen Anknüpfungspunkten bisher nicht erwähnt, sollte aber aufgrund der Vorbild- und Multiplikatorenfunktion von Kommunen nicht vernachlässigt werden. Deshalb sollten auch für die Strom- und Wärmeversorgung der kommunalen Liegenschaften die unter Kapitel III vorgestellten Möglichkeiten des Einsatzes von Wasserstoff in Erwägung gezogen werden. Bereits heute sind Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in der Entwicklung, die für den Einsatz von Wasserstoff geeignet sind. Diese Anlagen bieten für die Strom- und Wärmeversorgung einen weiteren vielversprechenden Ansatz auf dem Weg zur klimaneutralen Kommune.

3 WERTSCHÖPFUNGSEFFEKTE IN DEN KOMMUNEN (INSBESONDERE WIRTSCHAFTSFÖRDERUNG)

Der Aufbau einer umfassenden Wasserstoff-Infrastruktur hat in der beschriebenen Modellregion in wirtschaftlicher, ökologischer und gesellschaftlicher Hinsicht enormes Wertschöpfungspotenzial. Dieses kann auf weitere Regionen, aber auch einzelne Städte und Gemeinden übertragen werden. Auch für den Arbeitsmarkt bietet die neue Wasserstoff-Wirtschaft Chancen. So ergeben sich neben dem Erhalt von Arbeitsplätzen auch zahlreiche neue Arbeitsplätze durch die Nutzung und die Umstellung bestehender sowie durch

die Etablierung neuer Geschäftsmodelle. Vorteilhaft ist zudem, dass die gesamte Wertschöpfungskette in Deutschland abgebildet werden kann. Es könnten sogar sämtliche Anwender und Betreiber im regionalen Umfeld liegen.

Eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung einer regionalen Wasserstoffwirtschaft kommt der Wirtschaftsförderung zu: Der Grundstein für die Umsetzung einer regional nachhaltigen Wasserstoffwelt liegt in der Vernetzung der Akteure vor Ort. Meist kann man auf bestehenden Netzwerken, Clustern und Arbeitsgruppen aufbauen. Standortkriterien für den Aufbau von Wasserstoffherstellungskapazitäten können neben verfügbaren erneuerbaren Energien auch industrielle Abnahmeschwerpunkte, ein Zugang zur Leitungsinfrastruktur oder die Nähe zu Verkehrs- und Energieknotenpunkten sein. Idealerweise kommen zu Beginn Erzeugung und Verbrauch räumlich möglichst nah zusammen. Ein Windrad oder eine Photovoltaikanlage könnte neben dem Betriebshof des ÖPNV erbaut werden.

Die Möglichkeit dieser engen interdisziplinären und sektorenübergreifenden Zusammenarbeit, die in einem Projektkonsortium gebündelt werden kann, ist die Besonderheit des regionalen Ansatzes. Verschiedenste Akteure aus der Forschungs- und Unternehmenslandschaft, Hersteller von Komponenten, Logistikunternehmen, Industrie und Anwender im kommunalen Umfeld kommen an einem Tisch zusammen, um sich über den Entwurf einer nachhaltigen Wirtschaft auszutauschen und sich bei der Umsetzung zu unterstützen. Über Unternehmensgrenzen hinaus können dadurch Technologien erprobt werden, die zu neuen, wettbewerbsfähigen Lösungen in den Bereichen Wasserstoffherzeugung, -speicherung, -transport und -nutzung führen. Neben diesen wirtschaftlichen Potenzialen für den Standort Deutschland als weltweiter Vorreiter der Energiewende steht primär die Zukunftssicherung einer emissionsreduzierten zukunftsfähigen Energieversorgung im Fokus.

Als Basis aller zukünftigen Wasserstoffaktivitäten sind allerdings Transparenz und Aufklärungsarbeit zu den Eigenschaften von Wasserstoff und dessen Einsatzmöglichkeiten notwendig. Auch dazu dient die vorliegende Broschüre.

V Nächste Schritte: Ermittlung des Infrastrukturbedarfs und Akquise von Fördermitteln

Für die Förderung von H₂-Technologien und deren Anwendung kommen verschiedene Fördermittel zum Einsatz. So gibt es sowohl auf EU-, Bundes- und Landes-Ebene entsprechende Möglichkeiten. Neben dem klassischen Zuschuss gibt es zum Beispiel auch eine Förderung über zinsgünstige Darlehen.

Generell sind verschiedene Bereiche förderberechtigt. Neben Kommunen können auch Hochschulen, Unternehmen, Privatpersonen, Verbände und Vereinigungen oder Forschungseinrichtungen eine finanzielle Unterstützung erhalten. Dabei werden klassische Infrastruktur und Forschung gefördert. Des Weiteren gibt es auch auf bestimmte Regionen zugeschnittene Fördermodelle. Ein Fokus liegt zum Beispiel auf Energieeffizienz und erneuerbaren Energien. Nebenstehend zwei Links für die Übersicht zu Fördermitteln.

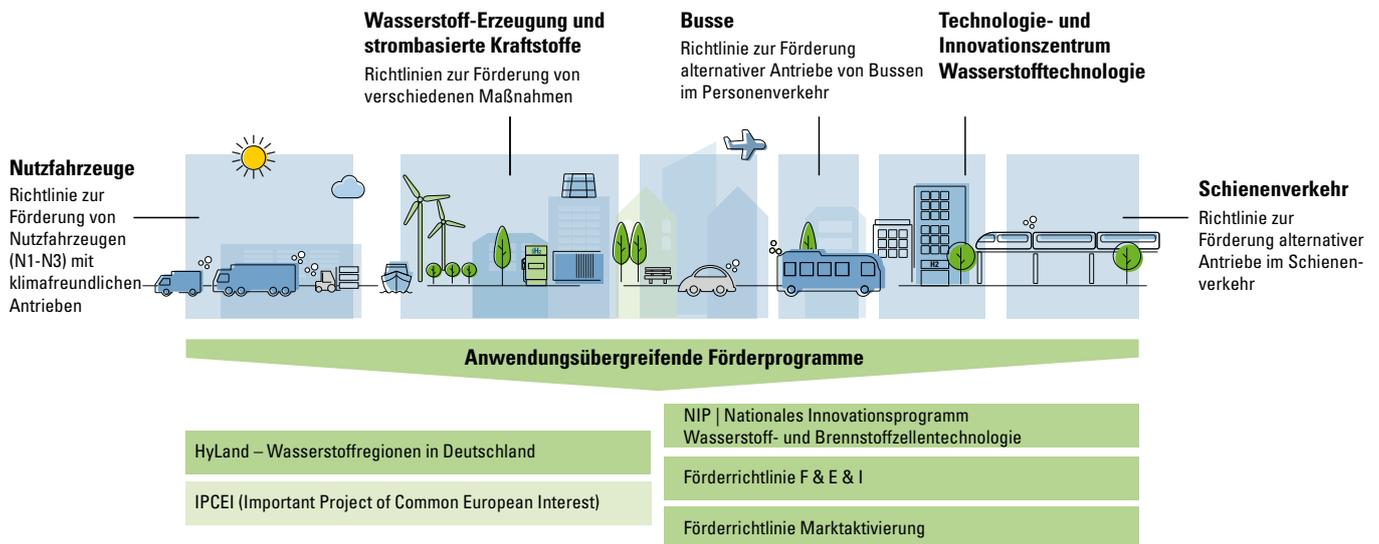


**Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie**



NOW GmbH

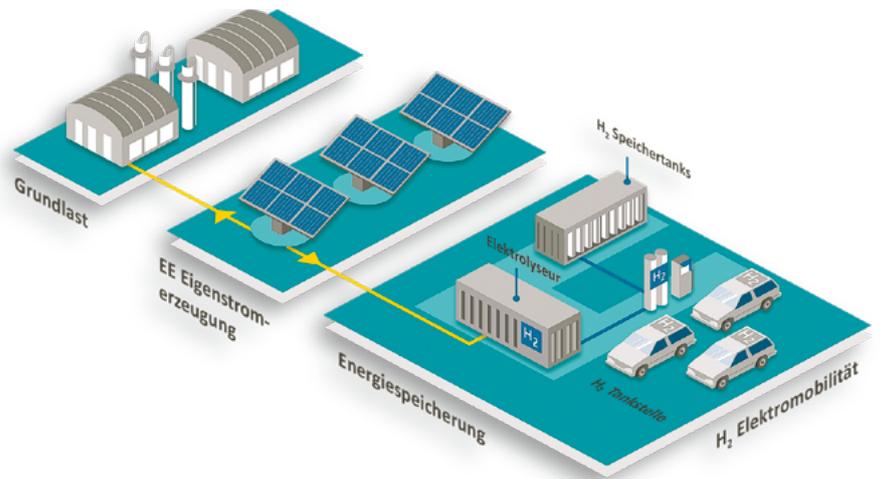
BMVI-Förderlandschaft Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie



Zusammenfassung

Aktuell steht eine Vielzahl von Fördermöglichkeiten im Umfeld von Wasserstoff zur Verfügung. Fördermittel müssen gezielt auf einzelne Projektvorhaben ausgewählt und adressiert werden.

VI Weitere Praxisbeispiele der Partner



BEISPIEL 1 EWE – INTEGRIERTER ANSATZ: ENERGIEWENDE ZUM ANFASSEN (GASSPEICHER HUNTORF)

Auf dem Gasspeicherstandort Huntorf im Landkreis Wesermarsch wird auf Energiespeicherung statt Abregelung gesetzt: Die Photovoltaikanlage auf dem Gelände deckt durch den vor Ort erzeugten Grünstrom die Grundlast des Speichers. Der Überschussstrom wird mittels eines auf dem Speichergelände stehenden Elektrolyseurs in Form von H_2 gespeichert und damit nutzbar gemacht. Diese gespeicherte Energie findet ihren Einsatz in der Mobilität: Dank der auf dem Gasspeicherstandort errichteten und an den H_2 -Speichertanks und damit an den Elektrolyseur angeschlossenen H_2 -Betriebstankstelle kann die H_2 -Fahrzeugflotte der EWE durch eigens hergestellten, grünen Wasserstoff betankt werden. In Summe bildet das Projekt Power2Hydrogen – Energiewende zum Anfassen die ganzheitliche H_2 -Wertschöpfungskette ab und ist damit Vorzeigeprojekt in Deutschland. Das Faszinierende ist, dass das Projekt im Kleinen abbildet, was in großem Maßstab durch Nutzung der Gaskavernen des Standorts als H_2 -Speicher möglich wäre.

BEISPIEL 2 WESTENERGIE – SMART QUART KAISERSESCH: SYSTEMLÖSUNG ZUR SEKTORENKOPPLUNG MOBILITÄT, WÄRME UND STROM

Erneuerbares Gas für Mobilität, Wärme und Industrie

Seit Januar 2020 setzt E.ON gemeinsam mit neun Partnern aus Industrie, Forschung und Kommunen das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte Projekt SmartQuart um. Das Projekt ist Teil des 7. Energieforschungsprogramms „Reallabore der Energiewende“ der Bundesregierung. An drei Standorten in Deutschland entstehen smarte Quartiere, die sich fast vollständig klimaneutral mit Energie versorgen. Zentrales Element des Projekts ist die intelligente Vernetzung der Energiesysteme innerhalb und zwischen den Quartieren. Insgesamt werden 60 Millionen Euro investiert. Das Wasserstoffquartier in Kaisersesch, Rheinland-Pfalz, setzt dabei auf erneuerbar produziertes Gas. Erneuerbarer Strom wird in einer Power-to-Gas-Anlage in grünen Wasserstoff umgewandelt und von Anwendern vor Ort im Mobilitäts-, Wärme- und Industriesektor genutzt.

Umsetzung der gesamten H_2 -Energie-Wertschöpfungskette

In der Verbandsgemeinde Kaisersesch wird durch den Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur die gesamte H_2 -Wertschöpfungskette von der Erzeugung, Umwandlung, Speicherung, Verteilung bis zur Nutzung in unterschiedlichen Anwendungsfällen demonstriert.

Wasserstoffinfrastruktur ermöglicht Sektorenkopplung entlang der gesamten Energie-Wertschöpfungskette



Smart Quart Kaisersesch

Windkraft- und PV-Anlagen in räumlicher Nähe sollen Strom entweder direkt zum Verbrauch oder zur Wasserstoffproduktion bereitstellen. Für die Einbindung des Verkehrssektors in das Projekt plant der ÖPNV Cochem-Zell, die Linie 713 (3 Busse mit ca. 135 000 Nutzwagenkilometern pro Jahr) auf 100 Prozent Wasserstoffbetrieb umzurüsten. An der Autobahn A48 soll dazu eine Wasserstofftankstelle errichtet werden. Im Wärmesektor sollen durch einen Projektpartner entwickelte H₂-Brennstoffzellen sowie H₂-Brennwertthermen bei Endkunden, wie dem Rathaus der Verbandsgemeinde und weiteren Industriekunden, eingesetzt werden. Zudem ist der Aufbau eines Fernwärmenetzes geplant, das durch ein H₂-Blockheizkraftwerk mit grüner Wärme versorgt werden soll. Die LOHC-Technologie wird darüber hinaus die Möglichkeit schaffen, den grün produzierten Wasserstoff im erweiterten Umkreis der Verbandsgemeinde zu nutzen.

Vollständig automatisierter Elektrolyseurbetrieb

Der Elektrolyseur ist das Herzstück und damit das essentielle Bauteil der Wasserstoffinfrastruktur. Die Power-to-Gas-Anlage wird mit einer Stromanschlussleistung von rund 1000 kW eine Wasserstoffproduktionsrate von ca. 200 Nm³/h erzielen, was einer Tagesproduktionsleistung von rund 400 kg H₂ entspricht. Um den mit Grünstrom produzierten Wasserstoff im Mobilitätssektor nutzen zu können, wird für die Wasserstofftankstelle eine Aufbereitung auf Qualität 5.0 mit einer sehr hohen Reinheit von 99,999 Prozent erfolgen. Der Elektrolyseurbetrieb wird vollständig automatisiert laufen. Der produzierte Wasserstoff wird in eine Hochdruck-Wasserstoff-Pipeline eingespeist und über einen neu geplanten Verteilnetzabschnitt an die Endkunden weitergeleitet.

Die Gesamtprojektlaufzeit im Quartier Kaisersesch umfasst fünf Jahre, aufgeteilt in eine dreijährige Planungs-, Genehmigungs- und Bauphase sowie einen zweijährigen Testbetrieb der Infrastruktur.

Diese Systemlösung bietet die Möglichkeit, Sektorenkopplung von Wärme, Strom und Mobilität für Gebäude- und Verkehrsinfrastrukturen im realen Umfeld umzusetzen, Erfahrungen mit einer Wasserstoffinfrastruktur inklusive Endanwendung zu sammeln und damit eine Blaupause für künftige Quartiere zu schaffen.


Aktuelles
Themen
Publikationen
Über uns
Kontakt
🔍

Sie sind hier: Publikationen » Dokumentationen

Dokumentationen



NEUE DOKUMENTATION Nr. 164
PERSPEKTIVEN FRIEDHÖFE IM WANDEL DER ZEIT

DStGB Dokumentation

Nr. 164 - Zukunft kommunaler Friedhöfe

Der Bundesverband Deutscher Bestatter e. V. und der DStGB veröffentlichen eine neue Dokumentation zur Perspektive kommunaler Friedhöfe zum Download als PDF-Dokument. [...mehr](#)



NEUE DOKUMENTATION
AUSLAUFENDE KONZESSIONSVETRÄGE

DStGB-Dokumentation

Nr. 163 - Auslaufende Konzessionsverträge: Dokumentation von DStGB, BET und BBH gibt Kommunen Hilfestellungen

Das Thema der auslaufenden Konzessionsverträge bleibt ein Dauerbrenner. Es ist rechtlich komplex und es stellen sich für die betroffenen Gemeinden ... [mehr](#)



NEUE DOKUMENTATION
BUNDESWEHR & KOMMUNEN

DStGB-Dokumentationen

Nr. 161 - Bundeswehr und Kommunen

Die neue DStGB-Dokumentation „Bundeswehr und Kommunen“ hebt gute Beispiele der Zusammenarbeit von Bundeswehr und Kommunen hervor und möchte zu ... [mehr](#)

Alle in dieser Reihe erschienenen Dokumentationen stehen unter www.dstgb.de/publikationen/dokumentationen zum Download zur Verfügung

BISHER IN DIESER REIHE ERSCHIENEN

No. 164	Zukunft kommunaler Friedhöfe	12/2021
No. 163	Auslaufende Konzessionsverträge	9/2021
No. 162	Bevölkerungsschutz in Städten und Gemeinden	8/2021
No. 161	Bundeswehr und Kommunen	8/2021
No. 160	Kommunale Außenbeleuchtung – draußen wird es digital	8/2021
No. 159	Freibäder in Kommunen	7/2021
No. 158	Förderung des Radverkehrs in Städten und Gemeinden	4/2021
No. 157	Kommunen innovativ	12/2020
No. 156	Infobaukasten Mobilfunk	10/2020
No. 155	Insektenschutz in der Kommune	10/2020
No. 154	Deutsche und Türkische Integrationskonzepte in Kommunen Integration als gesamtgesellschaftlicher Auftrag	9/2020
No. 153	Ernährung als kommunalpolitisches Thema auf die Agenda bringen	2/2020
No. 152	Einsatz von Gasbussen im ÖPNV	10/2019
No. 151	EU-Beihilferecht in der kommunalen Praxis	8/2019
No. 150	Vielfalt leben	3/2019
No. 149	Wasser in der Stadt	2/2019
No. 148	Mobilfunk – Gestern – Heute – Morgen	6/2018
No. 147	Bezahlbaren Wohnraum schaffen	3/2018
No. 146	Genossenschaften und Kommunen – erfolgreiche Partnerschaften (Neuaufgabe)	2/2018
No. 145	Elektromobilität bei kommunalen Nutzfahrzeugen	11/2017
No. 144	Auslaufende Konzessionsverträge	10/2017
No. 143	Kommunale Beleuchtung	9/2017
No. 142	Perspektiven des Breitbandausbaus – Ziele, Strategie, Technik	6/2017



DStGB
Deutscher Städte-
und Gemeinbund
www.dstgb.de

Marienstraße 6 · 12207 Berlin
Telefon 030 77307-0
Telefax 030 77307-200
dstgb@dstgb.de
www.dstgb.de

Konzeption:
W&S Epic GmbH · Schulze-Delitzsch-Straße 39 · 30928 Burgwedel
Telefon 05139 8999-0 · Telefax 05139 8999-50
info@ws-epic.de · www.ws-epic.de