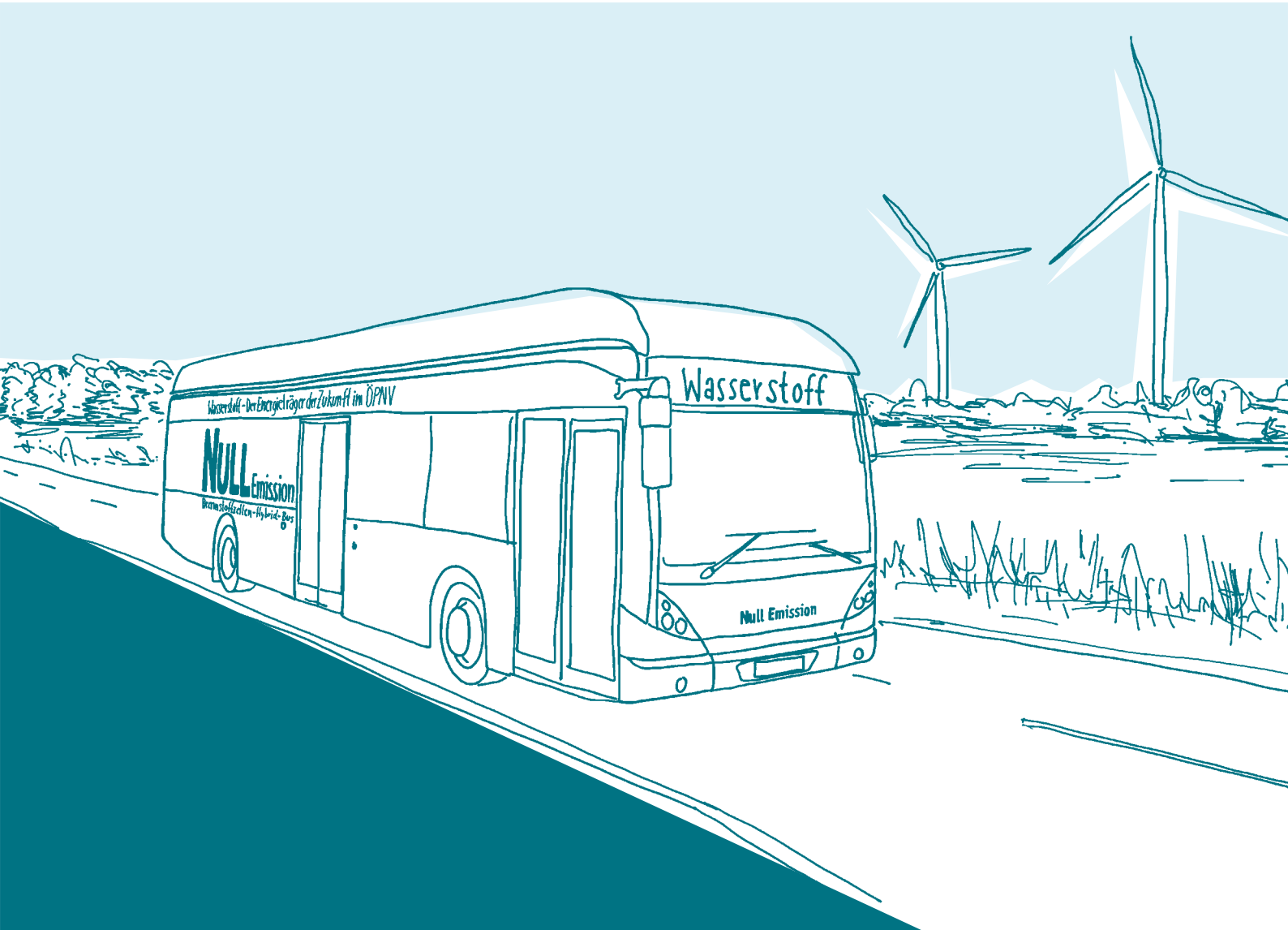
H2R Wasserstoff Rheinland

Stadt Brühl · Stadt Hürth · Stadt Köln · wesseling · Rheinisch-Bergischer Kreis · rhein-sieg-kreis



H2R – Wasserstoff Rheinland

FEINKONZEPT ZUM WETTBEWERB

Modellregion Wasserstoff-Mobilität NRW

Impressum

H2R – Wasserstoff Rheinland
Feinkonzept im Zuge des Wettbewerbsaufrufs der „Modellkommune/-region Wasserstoff-Mobilität NRW“

Eingereicht von:

Koordiniert durch:

Gefördert durch:

Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen

Erstellt durch das Konsortium:

Autoren:

Center of Automotive Management: Dr. Oliver Ehret
EMCEL: Momoko Kristuf, Johannes Kuhn, Lena Maier, Marcel Corneille, Nicolò Queirazza
Energy Transition Consulting: Dr. Martin Robinius, Prof. Dr. Detlef Stolten
HyCologne: Dr. Frank Benzel, Carsten Krause
Forschungszentrum Jülich: Bastian Gillessen, Dr. Martin Robinius, Dr. Jochen Linßen, Prof. Dr. Detlef Stolten
Karpenstein Longo Nübel Rechtsanwälte Partnerschaft mbB: Dr. Fabio Longo, Stephan Engel

August 2020

Vorwort

Im September 2018 rief das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie (MWIDE) des Landes Nordrhein-Westfalen den Wettbewerb „Modellkommune /-region Wasserstoff-Mobilität NRW“ aus. Ziel des Aufrufs war es, eine Kommune oder -region zu finden, die zeigt, wie Wasserstoffmobilität erfolgreich in die Praxis umgesetzt werden kann. Hierzu reichten wir, die Stadt Hürth zusammen mit den Städten Brühl, Köln und Wesseling sowie dem Rheinisch-Bergischen Kreis und dem Rhein-Sieg-Kreis, ein Grobkonzept zur „Wasserstoffregion Rheinland“ ein. Im Herbst 2019 kürte die Jury uns in der Region Rheinland neben der Region Düsseldorf/Wuppertal/Rhein-Kreis Neuss und dem Kreis Steinfurt zu den Finalisten und unterstützt die drei Regionen bei der Erstellung von Feinkonzepten.

Um die wichtigsten Inhalte des Feinkonzepts deutlich hervorzuheben, haben wir Kernaussagen und Handlungsempfehlungen an geeigneten Stellen zusammengefasst. Diese Zusammenfassungen dienen der Übersichtlichkeit und dem Unterstreichen wesentlicher Inhalte.

Danksagung:

Das Konsortium und die Gebietskörperschaften bedanken sich bei allen mitwirkenden Akteuren für ihre Unterstützung bei der Erstellung dieses Feinkonzepts.

Kurzzusammenfassung

Wasserstoff ist ein unverzichtbarer Energieträger und der Schlüssel zur Kopplung der Energiesektoren Verkehr, Strom- und Wärmeversorgung sowie Industrie. Die Nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung und der Wettbewerb „Modellkommune/-region Wasserstoffmobilität" des Landes NRW zielen darauf ab, durch die Nutzung von Wasserstoff dem Klimawandel entgegenzuwirken, Verkehrsemissionen zu senken und die heimische Wirtschaft fit für die Zukunft zu machen. Gemeinsam wollen wir – die Städte Brühl, Hürth, Köln und Wes-seling sowie der Rheinisch-Bergische Kreis und der Rhein-Sieg-Kreis – mit *H2R – Wasserstoff Rheinland* den weiteren Aufbau des Wasserstoffsektors aktiv mitgestalten und unterstützender Impulsgeber für Akteure sein. Im Zusammenschluss repräsentieren wir 2,1 Mio. Einwohner und 7 % der Gesamtfläche Nordrhein-Westfalens.

Um ausgehend von der H_2-Expertise und -Nutzung vor Ort den geeigneten Weg für den erfolgreichen Aufbau einer Wasserstoffregion zu zeichnen, haben wir ein Expertenteam mit der Erstellung des vorliegenden Feinkonzepts beauftragt. Darin wird dargestellt, wie wir den Markthochlauf der Wasserstofftechnologie in unserer Region vorantreiben wollen, um insbesondere im Mobilitätssektor, aber mit Blick auf die Sektorenkopplung auch darüber hinaus einen wesentlichen Beitrag zur Erfüllung der Klimaschutzziele zu leisten. Wir blicken auf beste Voraussetzung, da unsere Region bereits umfassend im Umgang mit Wasserstoff in den Sektoren Industrie und Verkehr vertraut ist. Zudem verleihen uns Umweltpolitik und die gleichgerichteten Interessen der teilnehmenden Kommunen erheblichen Rückenwind. Über 80 Akteure haben per Letter of Intent ihre Bereitschaft bekundet, die Weiterentwicklung von *H2R – Wasserstoff Rheinland* mit uns gemeinsam voranzutreiben. Dazu wurden ca. 100 Projekte und Maßnahmen auf allen Wertschöpfungsstufen eingebracht. Die geplanten Gesamtinvestitionen belaufen sich auf insgesamt 405 Mio. Euro. Die entworfene Roadmap weist den Weg zum weiteren Ausbau und zur Stärkung unserer Wasserstoffregion bis 2035 in den Kategorien Wasserstofferzeugung, -verteilung, -nutzung und -wissen. Definierte Meilensteine sind, neben der Einreichung des Feinkonzepts, der Betrieb von Europas größter Brennstoffzellenbusflotte, die Inbetriebnahme des 10 MW Elektrolyseurs sowie die Inbetriebnahme der Wasserstoffpipeline. In Abbildung 1 ist eine Übersicht zu den zentralen Punkten von H2R – Wasserstoff Rheinland dargestellt.

Die gesicherte Bereitstellung von bezahlbarem Wasserstoff ist Grundvoraussetzung, damit Akteure Geschäfts-modelle für Wasserstoffanwendungen entwickeln können. Die in unserer Region ansässigen Chemie- und Pet-rochemie-Unternehmen werden infolge der Dekarbonisierung ihrer Produktionsprozesse die Nutzung von grünem Wasserstoff in unserer Region massiv steigern. Um Synergien mit dem Mobilitätssektor zu schaffen, wird der Bau einer Wasserstoffpipeline rund um Köln unterstützt. Zudem wird zur wirtschaftlicheren Gestaltung von Mobilitätsanwendungen in der Anschubphase unmittelbar vorhandener Nebenproduktwasserstoff der Industrie genutzt. Durch die schrittweise Substitution des Nebenproduktwasserstoffs bis 2035 kann der CO_2-Fußabdruck um mehr als die Hälfte verringert werden. Dabei spielt neben der steigenden lokalen Erzeugung mit erneuerbaren Energien der Import von grünem und CO_2-armem Wasserstoff eine tragende Rolle. Hierzu wurden im Rahmen der Feinkonzepterstellung Technologiekonzepte entwickelt, die verschiedene Szenarien zum Aufbau der Modellregion darstellen. Je nach Technologiekonzept können jährlich bis zu 442 kt CO_2 eingespart werden. Durch die bereits heute vorhandenen Maßnahmen, ist eine jährliche Einsparung von bis zu 45,5 kt CO_2 erreichbar. Um eine attraktivere Nachfragesituation für die Anbieter von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen zu schaffen, wollen wir die in unserer Region operierenden Unternehmen dabei unterstützen, ihre Bedarfe zu bündeln. Damit verbessern wir auch die Voraussetzungen für privatwirtschaftliche Unternehmen wie Logistik- und Speditionsunternehmen sowie Mobilitätsdienstleister.

Insbesondere die regulatorischen Rahmenbedingungen bestimmen, wie stark der Impuls der öffentlichen Beschaffung für die Marktdurchdringung H_2-betriebener Fahrzeuge ausfällt. Hier müssen durch die Politik kurzfristig Änderungen erfolgen. Neben der Umsetzung der EU-Richtlinie zur Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge (Clean Vehicles Directive – CVD) sind Marktanreizprogramme für Fahrzeuge und Infrastruktur sowie klare Regelungen, die die Produktion von Wasserstoff mit Strom aus erneuerbaren Energien von gesetzlichen Strompreisbestandteilen wie der EEG-Umlage befreit, erforderlich.

Unser Feinkonzept soll anderen Regionen als Blaupause dienen. *H2R – Wasserstoff Rheinland* bietet aufgrund der Struktur und Lage mit Großstadt, Mittel- und Unterzentren sowie ländlichen Gebieten, mit Unternehmen von klein und mittelgroß (KMU) bis hin zu global Playern eine hohe Übertragbarkeit auf weitere Regionen. Der Anschluss und

die Kooperation mit weiteren Regionen erhöhen die Erfolgschancen, Wasserstoff als Energieträger und Kraftstoff zu etablieren. So kann insbesondere die geplante Pipeline einen zentralen Baustein in einer zukünftigen Energieversorgungstruktur darstellen.

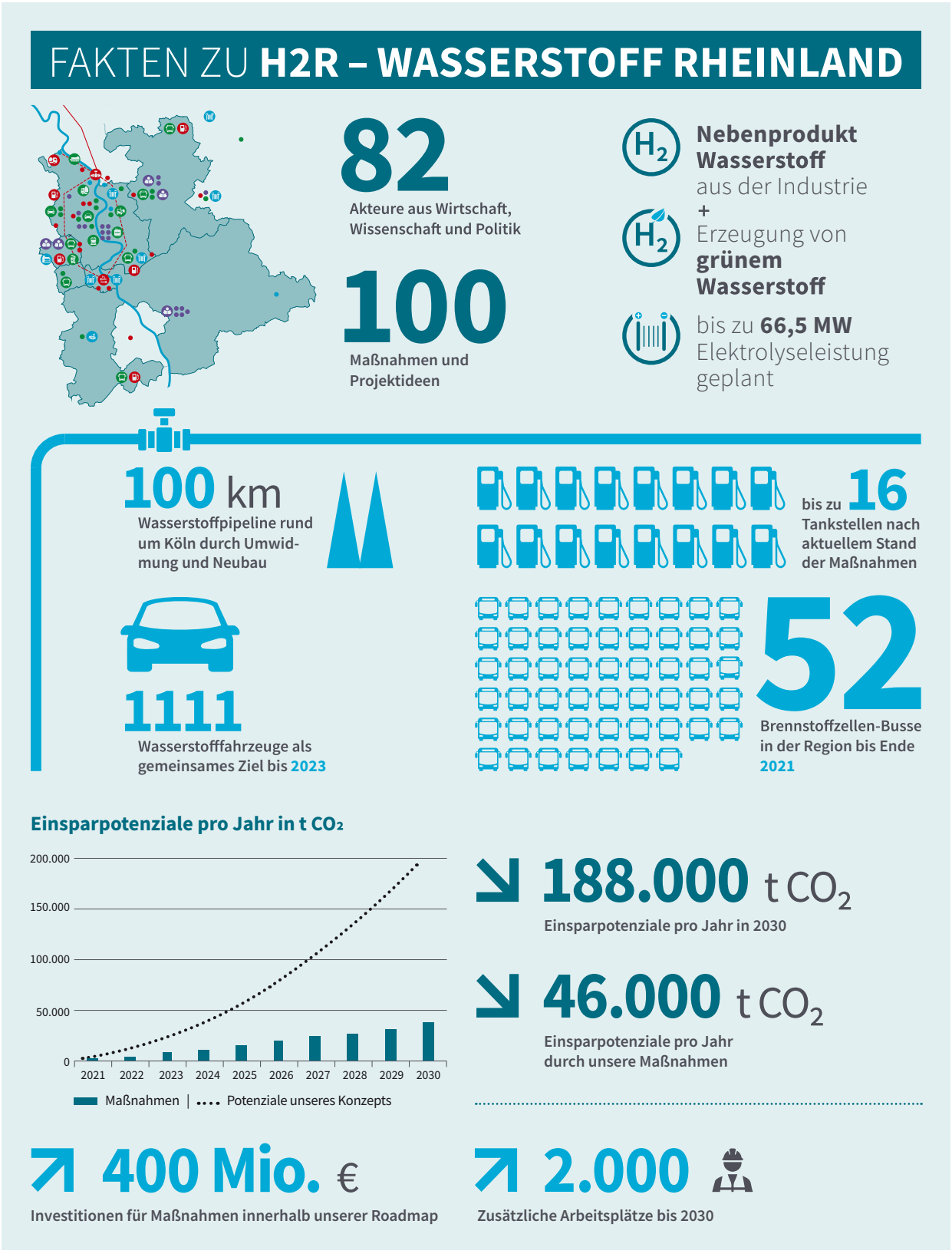


Abbildung 1 Daten und Fakten zu *H2R – Wasserstoff Rheinland*

Inhalt

Impressum 3

Vorwort 5

Kurzzusammenfassung 7

Abkürzungsverzeichnis 11

1. Unser Antrieb: Was wir erreichen wollen 13
1.1. Unser Primärziel: Mit Wasserstoffmobilität einen Beitrag zum Klimaschutz leisten 13
1.2. Anreize zur Marktmobilisierung der Wasserstofftechnologie in unserer Region 15

2. Die Ausgangslage: Potenziale im Rheinland 17
2.1. Die Region „Wasserstoff Rheinland“ 17
2.2. Die Potenziale unserer Region 23

3. Unser Konzept: Lösungen für den Aufbau einer Wasserstoffregion 35
3.1. Die Akteure im Rheinland sind bereit 35
3.2. Wir gehen die Herausforderungen der Wasserstoffmobilität an 44
3.3. Unser Technologiekonzept baut auf den Stärken der Region auf 48

4. Unsere Roadmap: Maßnahmen umsetzen und Ideen verwirklichen 51
4.1. Unsere Maßnahmen decken alle Aspekte einer Wasserstoffregion ab 52
4.2. Unser Fahrplan weist den Weg bis 2035 80

5. Kosten-Nutzen: Wirtschaftlichkeit und Mehrwerte unserer Maßnahmen 85
5.1. Kostenrechnung vorhandener Maßnahmen 85
5.2. Der Beitrag zum Klimaschutz 91
5.3. Schaffung regionaler Wertschöpfung 95

6. Unsere Impulse: Schritte zur erfolgreichen Umsetzung 97
6.1. Regulatorische Rahmenbedingungen anpassen 98
6.2. Kooperationen fördern und Skaleneffekte generieren 103
6.3. Neue Geschäftsmodelle für regionale Akteure entwickeln und fördern 105
6.4. Finanzierungsmöglichkeiten und Förderprogramme erarbeiten 106
6.5. Wissen multiplizieren und kommunizieren 108

7. Akzeptanz gegenüber Wasserstoff: Akzeptanzstärkung durch Kommunikation 111
7.1. Wissenschaftliche Befunde zur Akzeptanz gegenüber Wasserstoff und Brennstoffzellen 111
7.2. Akzeptanzsteigerung durch Kommunikation und Beteiligung 111

7.3. Kommunikation gegenüber Öffentlichkeit und Entscheidungsträgern 112
7.4. Vorbereitungen zur bedarfsorientierten Kommunikation 114
7.5. Akzeptanzmonitoring und -management 114
7.6. Handlungsempfehlungen zur Akzeptanzsicherung 115

8. Ausblick: *H2R – Wasserstoff Rheinland* hat Strahlkraft über die Region hinaus 117
8.1. Wir treiben die Wasserstoffregion voran 117
8.2. Unser Konzept bietet eine hohe Übertragbarkeit auf weitere Wasserstoffregionen 117
8.3. Wir bilden den Link zur Vernetzung von Wasserstoffregionen 118
8.4. Kooperationen mit anderen Regionen erhöht die Erfolgschancen 119

A. Anhang 123
A.1. Potenzialanalyse 123
A.2. Bedarfsanalyse 125
A.3. Stakeholder- und SWOT-Analyse 129
A.4. Lessons Learned 133
A.5. Technologiekonzepte 134
A.6. Wirtschaftlichkeit 140
A.7. Schnellcheck Wirtschaftlichkeit 148
A.8. Rechtliche Rahmenbedingungen 150
A.9. Forschungsfragen 153
A.10. Langfassung Akzeptanz 156
A.11. Rechtspaper 156

B. Steckbriefe 157

C. Absichtserklärungen 259
C.1. Absichtserklärungen der Auftraggeber 260
C.2. Absichtserklärungen der Unternehmen und Einrichtungen 260
C.3. Absichtserklärungen für den Bau einer H_2-Pipeline 261
C.4. Absichtserklärungen für die Anschaffung von BZ-Lkw 262
C.5. Memorandum of Understanding 262

D. Verzeichnisse 263
D.1. Abbildungsverzeichnis 263
D.2. Tabellenverzeichnis 266
D.3. Literaturverzeichnis 267

Abkürzungsverzeichnis

AWB	Abfallwirtschaftsbetriebe
BAV	Bundesanstalt für Verwaltungsdienstleistungen
BHKW	Blockheizkraftwerk
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
MWIDE	Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen
BZ	Brennstoffzelle
CNG	Compressed Natural Gas
CO_2	Kohlenstoffdioxid
DLR	Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum
DWV	Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband
DVWG	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
EEA	European Energie Award
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
GO	Guarantee of Origin
GVG	Gasversorgungsgesellschaft
HS-BRS	Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
H_2	Wasserstoff
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KVB	Kölner Verkehrsbetriebe
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LKW	Lastkraftwagen
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LNG	Liquefied Natural Gas
LOI	Letter of Intention
NOX	Stickoxide
NRW	Nordrhein-Westfalen
OVAG	Oberbergische Verkehrsgesellschaft
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverker
PEM	Polymer Electrolyte Membrane (Fuel Cell)
PKW	Personenkraftwagen
PM10	Feinstaub 10 µm

PtG	Power-to-Gas
PV	Photovoltaik
RBK	Rheinisch-Bergischer-Kreis
RSK	Rhein-Sieg-Kreis
RSAG	Rhein-Sieg-Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH
RSVG	Rhein-Sieg-Verkehrsgesellschaft mbH
RVK	Regionalverkehr Köln mbH
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
STEB	Stadtentwässerungsbetriebe AöR
SWOT	Stärken, Schwächen, Chancen, Risiken
TCO	Total Cost of Ownership
THG	Treibhausgase
TKG	Toyota Kreditbank GmbH
TRL	Technologiereifegrad

1. Unser Antrieb: Was wir erreichen wollen

„Hohe Lebensqualität und Klimaschutz in der Region durch emissionsfreie Mobilität – Wasserstoff macht's möglich". Diese Maxime drückt in aller Kürze aus, welchen Stellenwert wir der Wasserstofftechnologie bei der Verkehrswende einräumen. Deshalb wollen wir – die Städte Brühl, Hürth, Köln und Wesseling, der Rheinisch-Bergische Kreis und der Rhein-Sieg-Kreis – zu einer signifikanten Beschleunigung des Markthochlaufs der Wasserstofftechnologie beitragen und haben mit *H2R – Wasserstoff Rheinland* einen umfassenden Entwurf für die Weiterentwicklung der Wasserstoffnutzung in unserer Region erarbeitet. In dem vorliegenden Feinkonzept stellen wir dar, wie wir gemeinsam mit den Akteuren unserer Region über die bisher praktizierten Demonstrations- und Pilotprojekte hinaus großskalige und wirtschaftlich tragfähige Mobilitätslösungen auf Wasserstoffbasis entwickeln können, um so eine saubere Mobilität zu realisieren, eine höhere Wertschöpfung zu fördern und die Schaffung neuer Arbeitsplätze zu ermöglichen. Der Wettbewerb und die damit verbundene finanzielle Förderung durch das Land Nordrhein-Westfalen stellen hierbei einen bedeutenden Schritt in eine lebenswerte, umweltfreundliche und wirtschaftlich prosperierende Zukunft dar. Das Feinkonzept soll dabei helfen, die richtigen Wege zu finden. So haben wir ein in der Region verankertes fachkundiges Konsortium aus sieben hochkarätigen Spezialisten mit der Ausarbeitung dieses Feinkonzepts beauftragt. Im Zuge der Ausarbeitung konnten wir zahlreiche Akteure für den gezielten Ausbau der Wasserstoffmobilität in unserer Region hinzugewinnen. Damit schaffen wir die besten Voraussetzungen, die „Modellregion Wasserstoff-Mobilität NRW" zu werden.

Unsere Ambitionen gehen allerdings entschiedend über den Wettbewerbssieg hinaus. Aus den Ausführungen dieses Kapitels wird deutlich, dass wir Wasserstoff als unverzichtbaren Schlüssel zur Kopplung aller Energiesektoren betrachten und damit einen erheblichen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele leisten können. Gleichzeitig wollen wir von den positiven Effekten einer wachsenden Marktdurchdringung von Wasserstofftechnologien für unsere Region profitieren, vor allem in Bezug auf die Reduzierung von NO_x, Feinstaub und Lärm und mit Blick auf die positiven Arbeitsplatzeffekte, die aus der gesteigerten Wertschöpfung resultieren.

1.1. Unser Primärziel: Mit Wasserstoffmobilität einen Beitrag zum Klimaschutz leisten

Die Auswirkungen des Klimawandels zeigen sich in Form von Wetterextremen, Hungersnöten und steigendem Meeresspiegel immer deutlicher [1] [2]. Aus diesem Grund haben rund 175 Staaten das Pariser Klimaabkommen ratifiziert. Das Ziel dabei lautet, den Anstieg der globalen Temperatur auf 1,5 °C im Vergleich zur Vorindustrialisierung zu beschränken und bis zur zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts treibhausgasneutral zu sein [3]. Auch Europa hat das Pariser Klimaabkommen ratifiziert und die entsprechenden Temperaturziele in CO_2-eq-Ziele übertragen. Neben dem nun beschlossenen „Green Deal" will die Europäische Union (EU) die Emissionen bis zum Jahr 2030 um 40 % gegenüber dem Jahr 1990 reduzieren [4] [5]. Für die Erreichung dieser Zielsetzungen ist der Energieträger Wasserstoff ein unverzichtbares Element. Vor diesem Hintergrund hat die Präsidentin der Europäischen Kommission die „Allianz für sauberen Wasserstoff" angekündigt [6]. Begleitend zu den europäischen Zielen hat sich auch Deutschland Emissionsminderungsziele von 80 bis 95 % gegenüber 1990 bis zum Jahr 2050 gesetzt. Gleichwohl hat sich Deutschland auf dem Klimagipfel der UN im September 2019 auch dem ambitionierten Ziel der vollständigen Treibhausgasneutralität bis 2050 verpflichtet [7] [8]. Im Zuge dieses Vorhabens wird die Wasserstoffnachfrage umso mehr steigen, je höher die CO_2-Minderungsziele sind. Wie eine aktuelle Studie des Forschungszentrums Jülich zeigt, liegen hierbei die Vorteile für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende maßgeblich im Wasserstoff selbst.

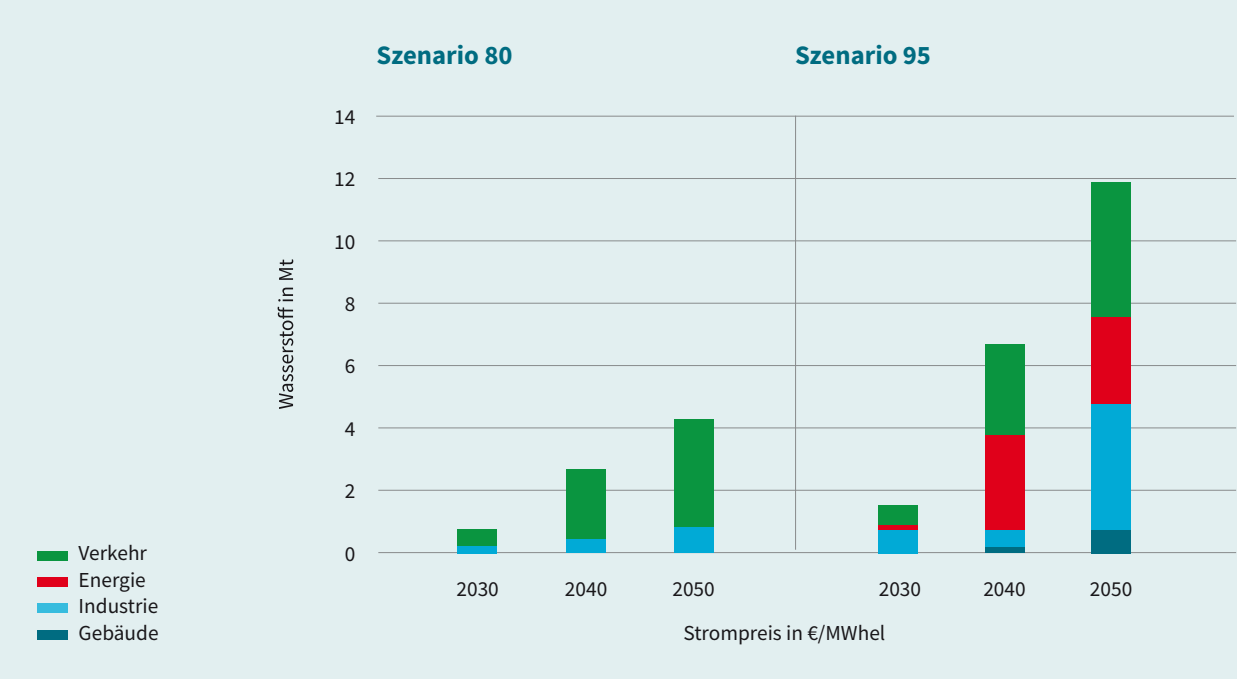


Abbildung 1-1 Energiebedingter Wasserstoffbedarf im Jahr 2050 je nach CO_2-Minderungsziel [9]

Wasserstoff hat die höchste Energiedichte (bezogen auf die Masse mit 33,33 kWh/kg gegenüber Methan mit 13,9 kWh/kg oder Benzin mit 12 kWh/kg), eignet sich daher als saisonaler Speicher für die erneuerbaren Energien und ermöglicht außerdem im Verkehr schnelle Betankungen und hohe Reichweiten. Für das Minderungsziel von 80 % CO_2-Reduzierung werden im Jahr 2050 in allen Sektoren in Deutschland mindestens 4 Millionen Tonnen und für das Minderungsziel von 95 % mindestens 12 Millionen Tonnen Wasserstoff benötigt (Abbildung 1-1) [9]. Insofern ist absehbar, dass Wasserstoff auch in Deutschland ein zentraler Energieträger werden wird. Deshalb hat die Bundesregierung im Juni 2020 eine Nationale Wasserstoffstrategie verabschiedet.

Unabhängig von den aktuellen Vorstößen der EU und der deutschen Bundesregierung hat sich Nordrhein-Westfalen bereits vor längerem an die Spitze der Wasserstoffbewegung gestellt. Im Mai 2019 wurde die vom Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie (MWIDE) des Landes NRW beauftragte „Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen“ vorgestellt. Sie belegt, dass Wasserstoff eine entscheidende Rolle im Transformationsprozess Richtung Treibhausneutralität spielt und ein regeneratives Energiesystem mit hohen Wasserstoffanteilen in NRW kostenmäßige Vorteile gegenüber alternativen Konzepten bietet [10]. In der Studie werden gerade durch den Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur bis 2050 auch signifikante Arbeitsplatzeffekte für NRW gesehen. Aufgrund der positiven Perspektiven entwickelt das MWIDE daher bis Ende 2020 mit wissenschaftlicher Unterstützung und unter Beteiligung verschiedener Experten eine Wasserstoff-Roadmap NRW.

Einen wichtigen Beitrag im Transformationsprozess in Richtung Treibhausgasneutralität liefert aus Sicht der Landesregierung der Einsatz von Wasserstoff im Mobilitätssektor, der aktuell mit fast 20 % zu den Treibhausgasemissionen in Deutschland beiträgt [11]. Das Netzwerk *Brennstoffzelle und Wasserstoff, Elektromobilität* der Energie-Agentur.NRW gestaltet daher zusammen mit Partnern und Netzwerkmitgliedern aus Wirtschaft, Wissenschaft und öffentlicher Hand aktiv die Etablierung des Systems Elektromobilität sowohl auf der Basis von Batterieelektrik als auch auf der Basis von Brennstoffzellen. Mit dem Wettbewerbsaufruf „Modellkommune/-region Wasserstoff-Mobilität NRW“ will die Landesregierung einen entscheidenden Beitrag zu einem breiteren Markteintritt der Wasserstofftechnologie im Mobilitätssektor leisten [12].

Die Notwendigkeit zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors motiviert uns in besonderem Maße, die Herausforderungen dieses Wettbewerbsaufrufs anzunehmen. Gleichzeitig spornt uns an, dass wir bereits in der ersten

Wettbewerbsphase mit unserem Grobkonzept überzeugen konnten. Uns ist bewusst, dass kommunale Einzelinitiativen eine viel zu geringe Wirkung für den Hochlauf der Wasserstofftechnologie entfalten würden. Daher haben wir uns zusammengeschlossen, um, erstens durch Vernetzung der vielfältigen Aktivitäten in den Städten und Kreisen mehr Durchschlagskraft zu erzielen, zweitens die dabei entstehenden Synergiepotenziale zu erschließen und, drittens ein umfängliches Know-how einzubinden und über intensiven Austausch weiterzuentwickeln. Gemeinsam mit dem von uns beauftragten Konsortium haben wir unter dem Titel *H2R – Wasserstoff Rheinland* einen Weg vorgezeichnet, wie die Akteure in unserer Region in den nächsten 15 Jahren die Wasserstofftechnologie insbesondere im Mobilitätssektor, aber auch in den Bereichen Erzeugung, Verteilung und Speicherung systematisch und kontinuierlich in unserer Region ausbauen und in der Praxis nutzen können. Dabei wollen wir alle Akteure in dem Bestreben unterstützen, um zum einen den Einsatz von Wasserstoffantrieben bei Fahrzeugen auf Straße, Schiene und Binnengewässern voranzutreiben und zum anderen die erforderliche Infrastruktur aufzubauen und für die Herstellung und Bereitstellung des benötigten Wasserstoffs Sorge zu tragen.

1.2. Anreize zur Marktmobilisierung der Wasserstofftechnologie in unserer Region

Begleitend zu der Hauptzielsetzung – die CO_2-Reduzierung im Verkehrssektor – verfolgen wir mit *H2R – Wasserstoff Rheinland* folgende Absichten:

- Wir wollen einen entscheidenden Beitrag zur Steigerung von Lebensqualität und Umweltschutz liefern, indem wir mit der Wasserstoffmobilität die Stickoxid-, Feinstaub- und Lärmbelastung signifikant reduzieren.
- Gleichzeitig wollen wir den Einsatz von Wasserstoff zur energetischen Kopplung der Sektoren Verkehr, Energiewirtschaft, Industrie sowie Heizung/Kühlung in unserer Region vorantreiben, um Effizienzpotenziale zu heben.
- Wir werden attraktive Anreize für neue Unternehmen und Wirtschaftszweige im Umfeld der Wasserstofftechnologie schaffen, um von den im vorliegenden Feinkonzept ermittelten positiven Arbeitsplatzeffekten profitieren zu können und den Strukturwandel infolge der auslaufenden Braunkohlenverstromung im angrenzenden Rheinischen Revier aktiv mitzugestalten.
- Wir wollen die Hersteller zur Entwicklung und Fertigung neuer Produkte motivieren, die einerseits für die Umstellung der kommunalen Fahrzeugflotten benötigt werden und andererseits die Bedarfe von Industrie- und Logistikunternehmen sowie des Individualverkehrs decken.
- Unser Vorgehen soll eine Blaupause für andere Städte, Kreise und Regionen werden, damit diese ihre eigenen Maßnahmen auf der Basis unserer Erfahrungen möglichst effizient vorbereiten und praktisch umsetzen können.

Nach unserer Überzeugung ist Wasserstoff ein unverzichtbarer Schlüssel zur Dekarbonisierung aller Energiesektoren. Speziell in unserer Region existieren bereits umfassende Erfahrungen mit Wasserstoff, insbesondere im Industrie- und Mobilitätssektor, auf denen der weitere Ausbau gegründet werden kann. Die Unternehmen von Chemie- und Petrochemie, die den Großraum Köln zu einer der führenden Chemieregionen in Europa machen, sind seit Jahrzehnten im Umgang mit Wasserstoff in ihren Produktionsprozessen vertraut. Dabei fällt Wasserstoff in bestimmten Produktionsprozessen auch als Nebenprodukt an, für den seit vielen Jahren sinnvolle energetische Nutzungsmöglichkeiten in unserer Region entwickelt und realisiert werden. Schon im Jahr 2011 initiierten u. a. die Städte Brühl und Hürth gemeinsam mit dem Netzwerk HyCologne und der Regionalverkehr Köln GmbH (RVK) die Einführung von Brennstoffzellenbussen, inklusive der dazugehörigen Betankungsinfrastruktur mit Nebenproduktwasserstoff aus der Chemie. Heute verkehren bereits 12 Brennstoffzellenbusse in der Region. Damit betreibt die RVK die größte Brennstoffzellenbusflotte Europas. Bis Ende 2021 werden insgesamt 52 Brennstoffzellenbusse im Flottenbetrieb der RVK eingesetzt. Das ist aber nur der Anfang. Im Zuge der Feinkonzepterstellung haben weitere ÖPNV-Anbieter ihr Interesse am Einsatz von Fahrzeugen mit Wasserstoffantrieb signalisiert.

Uns ist bewusst, dass die Energiewende nur durch Einsatz von grünem, d. h. regenerativ erzeugtem Wasserstoff gelingen kann. Grüner Wasserstoff steht allerdings unter den aktuellen regulatorischen Rahmenbedingungen noch nicht in ausreichenden Mengen für eine wirtschaftliche Nutzung zur Verfügung. Unser Konzept sieht daher vor, dass wir temporär den in unserer Region produzierten Nebenproduktwasserstoff nutzen, um den Markthochlauf der Wasserstofftechnologie zu beschleunigen und die erforderliche Infrastruktur aufbauen zu können. Sukzessive wollen wir den Nebenproduktwasserstoff in Relation zur zunehmenden Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit durch grünen Wasserstoff ersetzen. Dazu sollen die in unserer Region vorhandenen Möglichkeiten für die Wasserstoffproduktion mit erneuerbaren Energien geprüft und gleichzeitig der Aufbau der Infrastruktur vorangetrieben werden, der für den Transport und die Verteilung von extern bezogenem CO_2-armen und CO_2-freiem Wasserstoff erforderlich ist.

Im vorliegenden Feinkonzept haben wir die zahlreichen bereits existierenden Projektideen und teilweise auch umsetzungsreifen Maßnahmen regionaler Akteure zusammengeführt. Mit der daraus entwickelten Roadmap wollen wir zeigen, wie eine Wasserstoffwirtschaft in unserer Region systematisch aufgebaut und der Markthochlauf von Wasserstofftechnologien zeit- und kosteneffizient vollzogen werden kann. Angesichts des hohen Nutzens für unsere Region beabsichtigen wir, nach Beendigung des Wettbewerbs, die Akteure bei der Umsetzung dieser Roadmap zu unterstützen und Projekte umzusetzen.

Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

- Die Zielsetzung der deutschen Bundesregierung zur Reduzierung der CO2-Emissionen erfordert eine umfassende Umgestaltung des Energiesystems. Wasserstoff ist in diesem Transformationsprozess ein unverzichtbarer Energieträger und der Schlüssel zur Kopplung aller Energiesektoren, d. h. von Verkehr, Strom- und Wärmeversorgung sowie Industrie.
- Wir wollen den Markthochlauf der Wasserstofftechnologie in unserer Region vorantreiben, um insbesondere im Mobilitätssektor einen wesentlichen Beitrag zur Erfüllung der Klimaschutzziele zu leisten und die NOX-, Feinstaub und Lärmbelastung signifikant zu reduzieren. Dabei werden wir auch die Potenziale zur Sektorenkopplung nutzen und die erforderliche Infrastruktur für die Wasserstoffbereitstellung ausbauen.
- Speziell unsere Region ist im Umgang mit Wasserstoff in den Sektoren Industrie und Verkehr bestens vertraut. Auf dieser Basis wollen wir den Markthochlauf der Wasserstofftechnologie in unserer Region vorantreiben.
- Unter dem Titel H2R – Wasserstoff Rheinland werden wir im vorliegenden Feinkonzept darlegen, wie über die bisher praktizierten Demonstrations- und Pilotprojekte hinaus der Markthochlauf der Wasserstofftechnologie mit dem Ziel forciert werden kann, eine sauberere Mobilität und Industrie voranzubringen, die regionale Wertschöpfung zu steigern und neue Arbeitsplätze zu schaffen.

2. Die Ausgangslage: Potenziale im Rheinland

Unsere Region bietet die ideale Ausgangslage für eine Weiterentwicklung zur Modellregion für Wasserstoffmobilität. Die heterogenen geografischen Gegebenheiten und die verkehrstechnischen Strukturen erfordern vielfältige Mobilitätslösungen, die für viele Anwendungen in anderen Regionen als Blaupausen genutzt werden können. Die wirtschaftliche Attraktivität zieht kompetente Akteure aus Wirtschaft und Forschung an. Die gleichgerichteten umweltpolitischen Interessen der Städte und Kreise beschleunigen die Aktivitäten zur Reduzierung von Treibhausgasen und zur Verbesserung der Luftqualität in urbanen Räumen. Dies gilt speziell für Lösungen mit Wasserstofftechnologie, die gerade in unserer Region große Potenziale vorweisen kann. Dabei setzen wir nicht am Nullpunkt an, sondern können auf bereits vorhandene Erfahrungen in der chemischen Industrie, im ÖPNV und Mobilitätsbereich in dem bereits vorhandenen Netzwerk *HyCologne – Wasserstoff Region Rheinland e.V.* (HyCologne) zurückgreifen.

2.1. Die Region „Wasserstoff Rheinland“

In diesem Kapitel wird der Blick auf die Standortgegebenheiten, die Wirtschaftsstruktur und die Verkehrsinfrastruktur unserer Region gerichtet.[1] Darüber hinaus wird die umweltpolitische Situation der Region beschrieben, insbesondere in Bezug auf die Wasserstofftechnologie. Die dargestellten Aspekte bestimmen die Rahmenbedingungen für die im Folgekapitel beschriebenen Potenziale und nehmen Einfluss auf die Auswahl eines geeigneten Technologiekonzeptes sowie die weitere Ausgestaltung der Roadmap.

2.1.1. Unser Standort

Die Region der beteiligten Gebietskörperschaften Brühl, Hürth, Köln und Wesseling sowie der Rheinisch-Bergische Kreis und der Rhein-Sieg-Kreis (Abbildung 2-1) nimmt mit einer Fläche von ca. 2.140 km^2 ca. 7 % der Gesamtfläche des Landes Nordrhein-Westfalen ein und stellt mit 2,1 Mio. Einwohnern einen Anteil von 12 % der Gesamtbevölkerung in NRW.

In der Region herrscht ein hoher Kontrast zwischen urbanen und ländlichen Lebensräumen. Der Rhein-Sieg-Kreis und der Rheinisch-Bergische Kreis nehmen über drei Viertel der beschriebenen Fläche ein, haben allerdings die niedrigste Einwohnerdichte (Abbildung 2-2). Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich hierbei um Durchschnittswerte über die gesamte Kreisfläche handelt. Hier existieren sowohl urbane Strukturen mit relativ hohen Einwohnerdichten (z.B. Troisdorf, Sankt Augustin und Siegburg im Rhein-Sieg-Kreis sowie Bergisch Gladbach, Burscheid und Leichlingen im Rheinisch-Bergischen Kreis) als auch großflächige Natur- und Landschaftsschutzgebiete (Flächenanteile 78% im Rheinisch-Bergischen Kreis und 85% im Rhein-Sieg Kreis). Die Stadt Köln weist als viertgrößte Stadt Deutschlands mit 1,1 Mio. Einwohnern die fünffache Einwohnerdichte der Kreise auf.

Die Fläche zwischen den linksrheinischen Teilen der Stadt Köln und des Rhein-Sieg-Kreises wird durch die Städte Brühl, Hürth und Wesseling geschlossen, die zum Rhein-Erft-Kreis gehören. Insgesamt leben hier 145 Tsd. Einwohner. Wegen seines hohen Industrieaufkommens verfügt Wesseling als kleinste der beteiligten Gebietskörperschaften über eine deutlich höhere Einwohnerdichte als Brühl und Hürth.

Mit ihren vielfältigen geografischen Rahmenbedingungen bietet die Region eine ideale Ausgangslage für die Implementierung der Elektromobilität mit Wasserstoff, weil sowohl ländliche als auch städtische Bereiche in einem ganzheitlichen Konzept mitgeplant werden müssen.

[1] Die folgenden Darstellungen stammen im Wesentlichen aus projektinternen Erhebungen und Interviews sowie aus den Internetpräsenzen der beteiligten Städte und Kreise (www.bruehl.de, www.huerth.de, www.stadt-koeln.de, www.wesseling.de, www.rhein-sieg-kreis.de, www.rbk-direkt.de).



Abbildung 2-1 Übersicht der Region *H2R – Wasserstoff Rheinland*

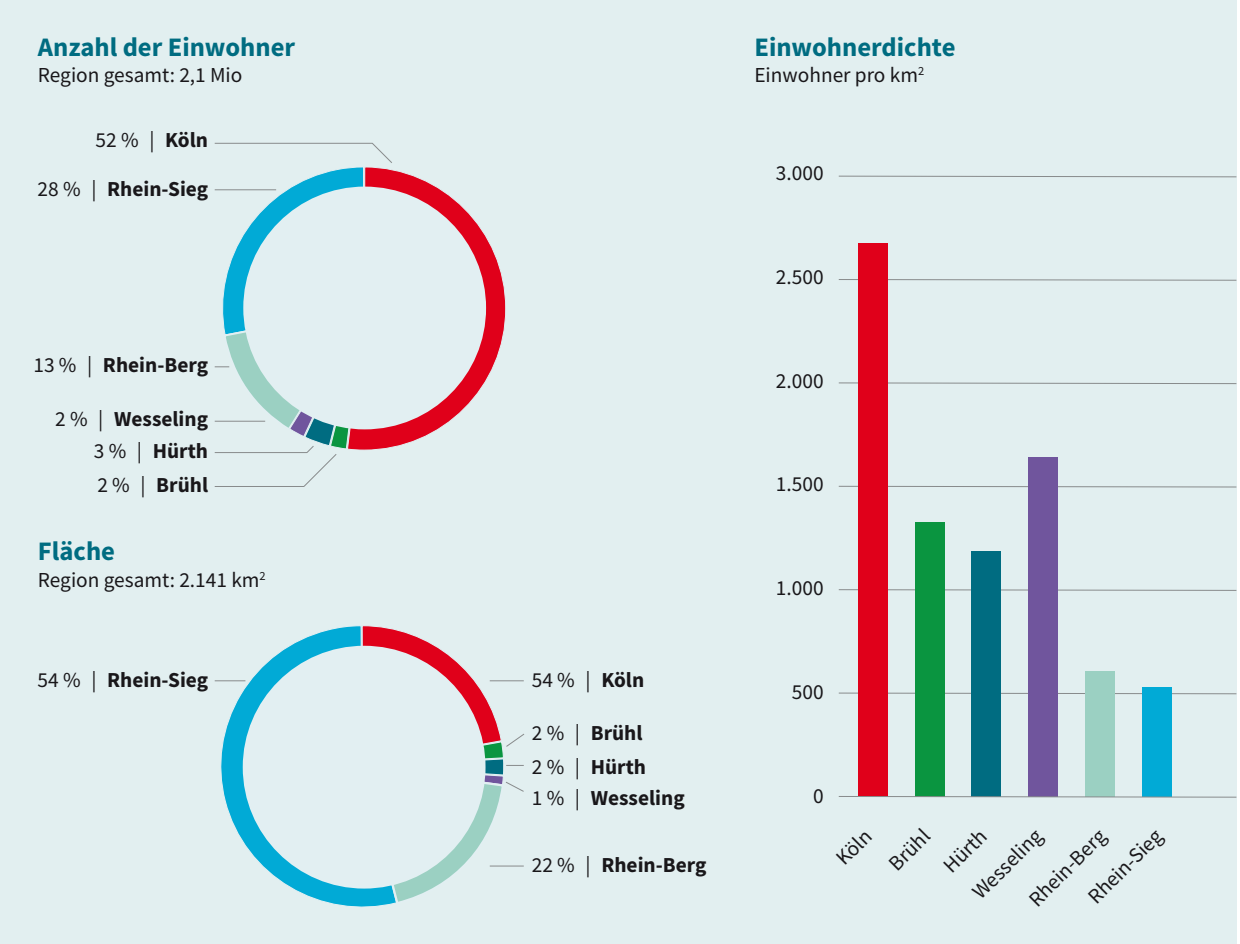


Abbildung 2-2 Flächen- und Einwohnerverteilung in der Region

2.1.2. Wirtschaftsstruktur und Verkehrserschließung

Die Region gehört zu den größten Chemiestandorten in Europa. In und um Köln sind große Unternehmen ansässig wie LANXESS, INEOS oder Bayer. Hürth beherbergt auf dem Knapsacker Hügel seit über 110 Jahren Produktionsstätten vieler global tätiger Unternehmen, z. B. Bayer, Clariant und Vinnolit. Wesseling ist überregional bekannt wegen seiner großen Chemie-, Raffinerie- und Petrochemiewerke, die u. a. von LyondellBasell, Shell Deutschland und Evonik Industries betrieben werden.

Weitere Schwerpunkte der Region liegen in unternehmensnahen Dienstleistungen, im Maschinenbau und im Automobilbau bzw. im Automotive-Bereich. Ford ist größter privater Arbeitgeber in Köln. Die DEUTZ AG ist einer der weltweit führenden Hersteller innovativer Antriebssysteme. Die Kernkompetenzen des Unternehmens liegen in der Entwicklung, Produktion, dem Vertrieb und Service von Diesel-, Gas- und elektrifizierten Antrieben, unter anderem für Bau- und Landmaschinen, Material-Handling-Anwendungen, stationären Anlagen sowie Nutz- und Schienenfahrzeugen [13]. Auch im Rheinisch-Bergischen Kreis liegt ein Schwerpunkt des produzierenden Gewerbes im Automotive-Bereich. Darüber hinaus haben die Hersteller Mazda, Nissan, PSA Peugeot Citroën, Renault, Toyota Deutschland und Volvo ihre deutschen Vertriebszentralen in der Region.

Die Wirtschaftsgeschichte der Städte Brühl und Hürth ist geprägt durch den großflächigen Abbau von Braunkohle, der Ende des 19. Jahrhunderts begonnen wurde. Die Tagebaue sind mittlerweile zwar rekultiviert, gleichwohl ist die Wirtschaft immer noch mit dem Rheinischen Revier verwoben. Auf dem Knapsacker Hügel werden beispielsweise noch heute Wärme, Dampf und Brennstoffe aus Rheinischer Braunkohle produziert. Insofern bestehen hier enge Verbindungen zum Strukturwandel im Rheinischen Revier.

Eine weitere nennenswerte Wirtschaftskraft zieht die Region aus Tourismus, Hotel- und Gastronomiegewerbe. Große Publikumsmagneten sind insbesondere die Stadt Köln, die Koelnmesse, der Brühler Freizeitpark Phantasialand und die Erholungsgebiete der beiden Kreise.

Die Region *H2R – Wasserstoff-Rheinland* verfügt zudem über zahlreiche namhafte Lehr-, Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen. Mit über 20 Hochschulen, darunter die Universität zu Köln, die Technische Hochschule Köln (TH Köln), die Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, die Rheinische Fachhochule Köln, die Fachhochschule der Wirtschaft sowie Großforschungseinrichtungen wie das Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt und vier Max-Planck-Instituten ist die Region ein ausgewiesener Wissenschafts- und Forschungsstandort.

Eine funktionierende Infrastruktur für Personen- und Güterverkehr ist von zentraler Bedeutung für die Wirtschaftskraft der Region. Mit den Autobahnanbindungen A1, A3, A4 und A61 ist die Region in alle Richtungen national und international an das Fernstraßennetz angeschlossen. Der schienengebundene Personenfernverkehr erfolgt über die ICE-Bahnhöfe Köln Hbf, Köln Messe/Deutz und Köln/Bonn Flughafen. Linksrheinisch liegt im Süden von Köln das DUSS-Terminal Köln Eifeltor als einer der wichtigsten Großumschlagsanlagen des kombinierten Verkehrs für Schiene und Straße in Europa. Ein großer Teil der Rohstoffe und Produkte der Chemischen und Petrochemischen Industrien wird über den Rhein transportiert und über werkseigene Hafenanlagen umgeschlagen. Darüber hinaus steht der öffentliche Rheinhafen Köln-Niehl im Kölner Norden als bedeutender Warenumschlagplatz zur Verfügung. Der Flughafen Köln/Bonn, an dem sich große Logistikzentren angesiedelt haben, spielt eine wichtige Rolle für die Luftfracht.

2.1.3. Klimaschutz und Luftreinhaltung in der Region

Mit der oben dargestellten Wirtschaftsstruktur ist der Kölner Raum die drittgrößte Industrieregion in Deutschland. Zusammen mit dem hohen Verkehrsaufkommen führt dies zu enormen Herausforderungen für den Klimaschutz und die Luftreinhaltung in der Region *H2R – Wasserstoff Rheinland*. Aktuell werden insgesamt 19,2 Mio. t CO_2 pro Jahr emittiert. Aufgrund seiner Größe und des hohen Industrialisierungsgrades trägt Köln mit der Hälfte zu dieser

Bilanz bei (Abbildung 2-3). In der prozentualen Verteilung der CO_2-Emissionen nach Sektoren spiegelt sich der Grad der Industrialisierung wider, die in den Städten Hürth und Wesseling den CO_2-Ausstoß dominiert.

Alle im Bündnis *H2R – Wasserstoff Rheinland* kooperierenden Städte und Kreise haben sich bereits vor Jahren den Klimaschutzzielen von EU und Bundesregierung angeschlossen und entsprechende Zielsetzungen, Strategien und Maßnahmenpläne in ihrer jeweiligen Kommunalpolitik verankert. Neben der freiwilligen Verpflichtung der meisten Gebietskörperschaften zur Einhaltung der CO_2-Minderungsziele der Bundesregierung engagieren sich die Städte und Kreise mit ambitionierten Programmen zur Reduktion der CO_2-Emissionen, z. B. die Stadt Köln mit den Programmen „SmartCity“ und „KölnKlimaAktiv 2022“, die Stadt Brühl mit dem Konzept „Klimafreundliche Mobilität“ und Hürth mit dem „Integrierten Klimaschutz- und Klimaanpassungskonzept“, der Rhein-Sieg-Kreis mit dem „Masterplan Energiewende“ und der Rheinisch-Bergische Kreis mit dem „Integrierten Klimaschutzkonzept“ und dem „Integrierten Mobilitätskonzept“. Darüber hinaus nehmen die Städte und Kreise am internationalen Qualitätsmanagement- und Zertifizierungsinstrument für kommunalen Klimaschutz, dem European Energy Award (EEA), teil. Der Rheinisch-Bergische Kreis hat für 2019 den EEA in Gold erhalten.

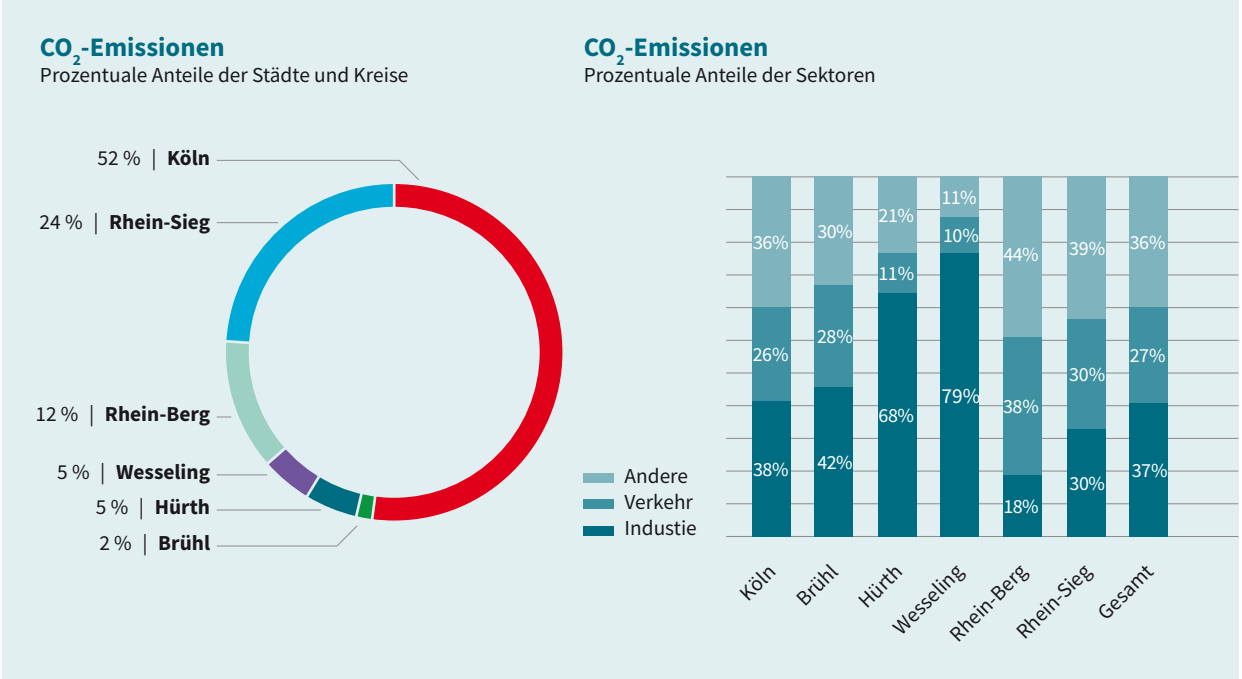


Abbildung 2-3 CO_2-Emissionen in der Region

Über die gesamte Region trägt der Verkehrssektor mit 27 % zu den Emissionen bei, die im Wesentlichen durch straßengebundene Fahrzeuge verursacht werden. Insgesamt sind in der Region 1,2 Mio. Fahrzeuge zugelassen, davon der überwiegende Anteil PKW (Abbildung 2-4). Fast 500 Tsd. Fahrzeuge sind allein in Köln gemeldet, allerdings ist die PKW-Dichte pro Einwohner – wie für Großstädte typisch – am niedrigsten. Bei allen anderen Gebietskörperschaften ist die PKW-Dichte deutlich höher, insbesondere in den ländlich geprägten Kreisen.

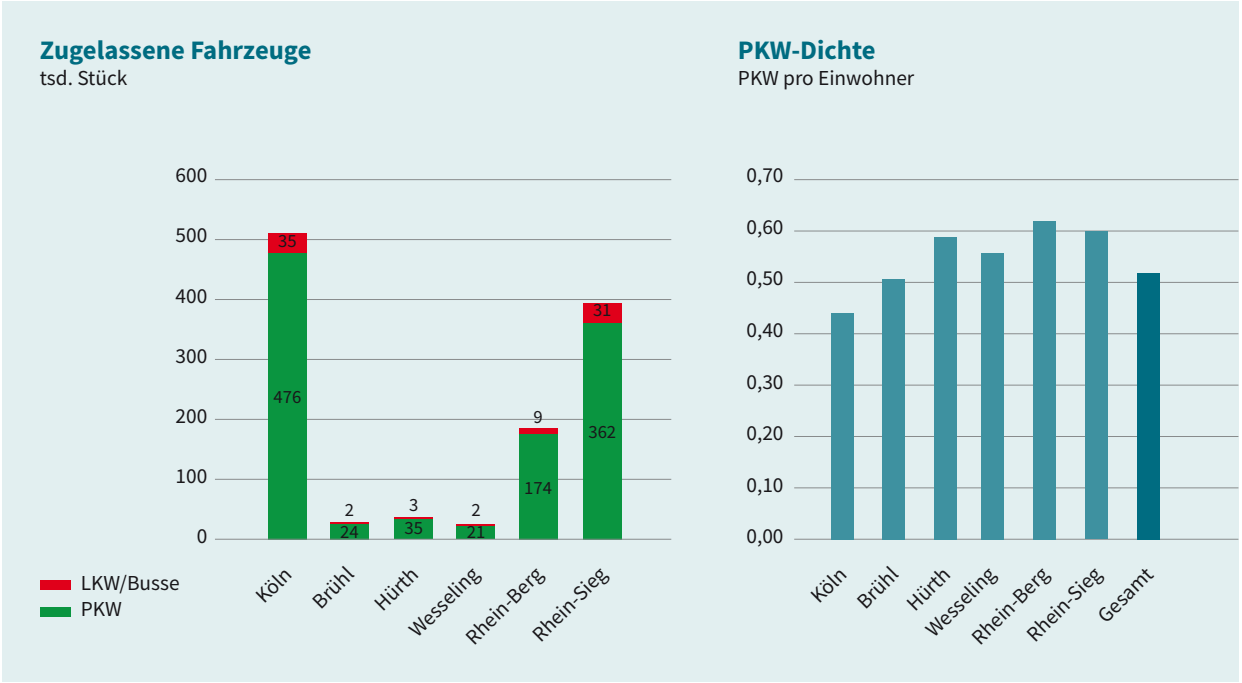


Abbildung 2-4 Straßengebundene Fahrzeuge in der Region

Da bisher der Verkehrssektor weder bundesweit noch regional nennenswerte CO_2-Reduktionen verzeichnet, sind gerade im Mobilitätsbereich zur Erreichung der Klimaschutzziele enorme Anstrengungen erforderlich. Hinzu kommt, dass insbesondere in den Ballungsräumen mit hoher Verkehrsdichte häufig die Grenzwerte für die Luftschadstoffe Feinstaub und Stickstoffdioxid überschritten werden. Hürth begegnet dieser Situation mit dem „Masterplan zur Verbesserung der Luftreinheit (Green City Plan Hürth)“, der Ansätze für eine nachhaltige und emissionsarme Mobilität beinhaltet. Das Land Nordrhein-Westfalen, die Stadt Köln und die Deutsche Umwelthilfe (DUH) haben sich erst kürzlich (Juni 2020) auf konkrete Maßnahmen zur Einhaltung des Imissionsgrenzwertes für Stickoxide verständigt, womit ein weiterer Rechtsstreit mit der DUH außergerichtlich beigelegt und drohende Fahrverbote für Dieselfahrzeuge vermieden werden konnten.[2]

Insgesamt besteht demnach ein großer Handlungsdruck zur Emissionsreduzierung im Verkehrssektor. Deshalb wollen wir, die an dem Zusammenschluss *H2R – Wasserstoff Rheinland* teilnehmenden Städte und Kreise, vorangehen und die in unserem Einflussbereich liegenden Fahrzeugflotten auf emissionsfreie oder zumindest emissionsarme Antriebe umstellen. Uns bestärkt in diesem Zusammenhang auch, dass die Europäische Union die sog. „Clean Vehicles Directive“ (CVD) [14] beschlossen hat, die den Mitgliedstaaten Quoten für die Beschaffung emissionsfreier ÖPNV-Busse und anderer Nutzfahrzeuge vorgibt. Mit der Unterzeichnung der “Declaration of intent on promoting large-scale deployment of clean, alternatively fuelled buses in Europe” durch Oberbürgermeisterin Henriette Reker in Anwesenheit von Maja Bakran, stellvertretende Generaldirektorin der Abteilung Mobilität und Verkehr der EU-Kommission, anlässlich der 2nd Zero Emission Bus Conference in der Kölner Flora am 27.11.2018, hat die Stadt Köln Ihre Ambitionen, den ÖPNV weiter auf alternative Antriebe umzustellen, nochmals unterstrichen.

Abbildung 2-5 zeigt, dass in unserer Region ca. 1000 Busse von verschiedenen Verkehrsunternehmen betrieben werden. Die Städte Brühl und Hürth setzen bereits seit 2011 mit der Regionalverkehr Köln GmbH (RVK) auf die Wasserstofftechnologie. Weitere Städte und Kreise der Region folgen diesem Ansatz und werden gemeinsam mit der RVK bis Ende 2021 52 Busse mit Brennstoffzellenantrieb im Einsatz haben. Spätestens ab 2030 werden bei der RVK nur noch emissionsfreie bzw. klimaneutrale Fahrzeuge in Betrieb genommen. Auch die anderen Verkehrsunternehmen werden ihre Flotten auf emissionsfreie oder emissionsreduzierte Antriebe umstellen. Wegen der jeweiligen Rahmenbedingungen werden dabei auch andere Antriebstechnologien zum Einsatz kommen. So wird man bei den

[2] Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Pressemitteilung vom 17.06.2020.

Kölner Verkehrs-Betrieben (KVB) beispielsweise bis Ende 2022 über 100 Busse mit Batterieantrieb beschaffen. Mit einer Machbarkeitsstudie prüft die KVB für den Betriebshof Hürth die Errichtung einer Wasserstofftankstelle sowie den Ausbau der Busflotte mit brennstoffzellen-betriebenen Bussen und deren Einsatz auf dafür wirtschaftlich geeigneten Linien. In anderen Unternehmen werden auch LNG-, CNG- und Hybridantriebe eingesetzt werden.

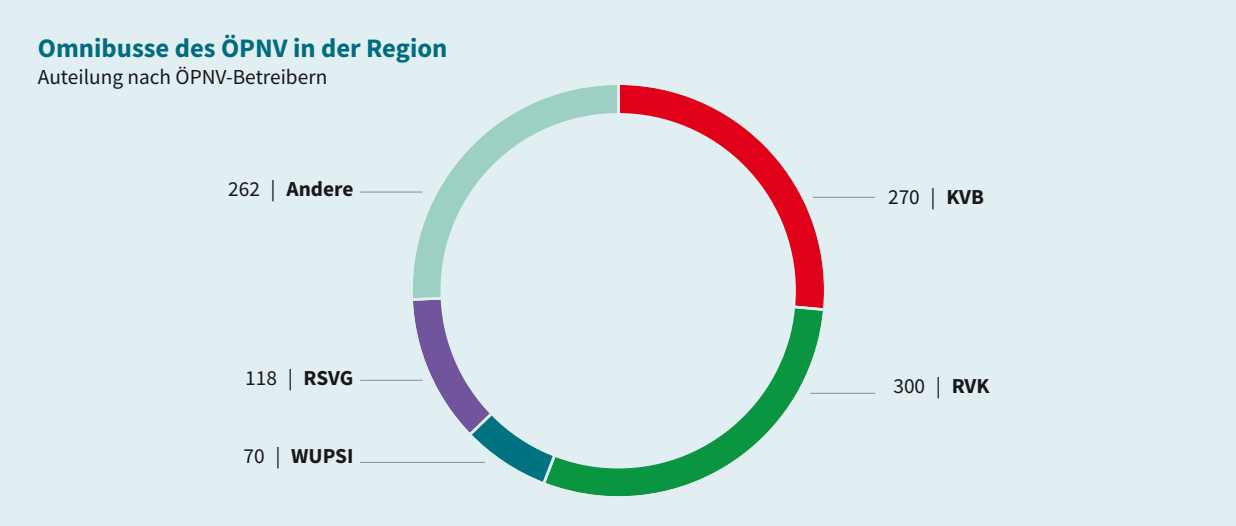


Abbildung 2-5 ÖPNV-Busse in der Region

Parallel zu den Omnibussen betreiben die kommunalen Betriebe in unserer Region mehr als 1.800 weitere Fahrzeuge, z. B. in Stadtwerken und Bauhöfen sowie für Abfallentsorgung, Straßenreinigung, Feuerwehr und Grünflächenpflege. Davon sind ca. 450 Fahrzeuge PKW, die übrigen Fahrzeuge sind Transporter unter 3,5 Tonnen, LKW über 3,5 Tonnen sowie Müll- und Sonderfahrzeuge. Auch für diesen Fahrzeugpark planen wir im Zuge der regelmäßig anstehenden Neufahrzeugbeschaffungen einen sukzessiven Austausch gegen emissionsfreie bzw. zumindest emissionsarme Antriebe. Dabei sehen wir dank unserer bereits vorliegenden Erfahrungen im ÖPNV große Potenziale für den Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen, u. a. wegen

- der hohen, mit konventionellen Fahrzeugen vergleichbaren Reichweiten
- der kurzen Betankungszeiten
- des flexiblen Einsatzes
- der effizienten Versorgung vieler Fahrzeuge mit einer Tankstelle
- des verhältnismäßig niedrigen Umstellungsaufwands und geringen Platzbedarfs in den Betriebshöfen

Trotz dieser Vorteile erfolgt zurzeit der Umstieg in vielen Fällen erzwungenermaßen auf batterieelektrische, Hybrid- oder Erdgasantriebe (CNG), weil deren Marktreife und Marktverfügbarkeit aktuell am weitesten vorangeschritten sind. Mit dem vorliegenden Feinkonzept wollen wir daher die Wasserstofftechnologie stärker in den Vordergrund rücken und deren Marktfähigkeit deutlich steigern.

2.1.4. Einstellung der Städte und Kreise zur Wasserstofftechnologie

Das Interesse der im Rahmen von *H2R – Wasserstoff Rheinland* kooperierenden Städte und Kreise an der Wasserstofftechnologie ist weitestgehend gleichgerichtet. Zu diesem Ergebnis kommt eine Befragung der beteiligten Kommunen im Zuge der Erarbeitung des Feinkonzepts. Ziel der Befragung war, die jeweiligen Erwartungen der Gebietskörperschaften an die Wasserstofftechnologie und deren perspektivische Entwicklung zu ermitteln. Die wichtigsten aus den leitfadengestützten Interviews resultierenden Aussagen sind im Anhang aufgeführt. Im Ergebnis ist festzuhalten, dass alle Städte und Kreise aktiv dazu beitragen wollen, die Region zum Vorreiter der Wasserstoffwirtschaft zu entwickeln. Daher ist die Nutzung der Potenziale der Wasserstofftechnologie in allen politischen Agenden

verankert, insbesondere in Bezug auf die Umstellung des ÖPNV. Alle Gebietskörperschaften verbindet die Erwartung, mit der Wasserstofftechnologie einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen zu leisten und gleichzeitig die regionale Wertschöpfung zu steigern. Des Weiteren werden Verringerungen der Schadstoffbelastungen in den Ballungsräumen sowie Lärmreduzierungen in den ländlichen Gebieten erwartet. Vorbehalte gegenüber der Wasserstofftechnologie bestehen nicht. Mögliche Akzeptanzprobleme in der Öffentlichkeit lassen sich aus Sicht der Städte und Kreise mit vertretbarem Aufwand lösen.

Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

› *H2R – Wasserstoff Rheinland* bietet mit dem strukturellen Gegensatz zwischen Stadt und Land, mit der Vielfalt an verkehrstechnischen Bedürfnissen und mit der Attraktivität für die Wirtschaft ideale Voraussetzungen als Modellregion für Wasserstoffmobilität.

› Der hohe Wasserstoffumsatz der chemischen Industrie, die schon heute größte BZ-Busflotte Europas, die umfangreiche wissenschaftliche Expertise und das breite Spektrum der beteiligten Akteure bilden wichtige Pfeiler für die weitere Stärkung unserer Wasserstoffregion.

› Die Umweltpolitik und die gleichgerichteten Interessen der das Feinkonzept *H2R – Wasserstoff Rheinland* vorlegenen Kommunen in Bezug auf die Wasserstofftechnologie, verleihen dem Markthochlauf erheblichen Rückenwind.

2.2. Die Potenziale unserer Region

In diesem Kapitel wollen wir das Potenzial aufzeigen, das sich durch Erzeugung, Verteilung und Nutzung von Wasserstoff in unserer Region eröffnet und welche Bedeutung dem Bereich H_2-Wissen bei der Unterstützung des Markthochlaufs von Wasserstoff zukommen kann. Die Möglichkeiten reichen von der Erzeugung grünen Wasserstoffs aus Photovoltaik- und Windstrom über die Verteilung des Wasserstoffs über eine Pipeline und über Trailer bis zur Nutzung von Wasserstoff in Brennstoffzellenfahrzeugen. Dazu vergleichen wir u. a. den Ausstoß klimaschädlichen Kohlendioxids und die gesundheitsschädlichen Stickoxid- und Feinstaubemissionen von wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellenfahrzeugen mit den Emissionen der heute üblichen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Die Ergebnisse bestätigen, dass Wasserstoff einen wesentlichen Beitrag dazu leisten kann, Lebensqualität und Attraktivität unserer Region als Wohn- und Arbeitsort, sowie als Wirtschaftsstandort nachhaltig zu steigern. Unsere Potenzialanalyse startet mit einer Betrachtung der für Wasserstofftechnologien geltenden technologischen und kommerziellen Rahmenbedingungen. Darauf aufbauend stellen wir jeweils die Nutzungs-, Erzeugungs- und Verteilungspotenziale in der Region vor.

2.2.1. Technologische und kommerzielle Rahmenbedingungen

Wasserstofftechnologien können wie in Abbildung 2-6 dargestellt entlang der Prozesskette in Technologien zur Erzeugung, Verteilung und Nutzung von Wasserstoff unterschieden werden.

Gängige Methoden der Wasserstofferzeugung sind die Dampfreformierung von Erdgas (z. B. in unseren Raffinerien), die elektrochemische Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff mittels elektrischen Stroms in der Wasserelektrolyse und die Erzeugung von Nebenproduktwasserstoff in der chemischen Industrie. Auch Biomasse bzw. Biogas kann perspektivisch über verschiedene Verfahren zur Wasserstofferzeugung genutzt werden. Der Nebenproduktwasserstoff der chemischen Industrie in unserer Region entsteht insbesondere in der Chloralkali-Elektrolyse zur Herstellung von Chlor- und Natronlaugen sowie in der Ethylenproduktion. So befinden sich regionale Anlagen zur Chloralkali-Elektrolyse im Chemiepark Knapsack in Hürth, im Chemiepark Lülsdorf im Rhein-Sieg-Kreis und im Chempark Dormagen im Kölner Norden. Ethylen wird in Anlagen des Chemieparks Wesseling und ebenfalls im Chempark Dormagen erzeugt. Da der hierbei entstehende Wasserstoff prozessbedingt mit Verunreinigungen behaftet ist, muss je nach Quelle eine unterschiedlich aufwändige Reinigung erfolgen. Diese Reinigung beinhaltet zum einen die Trocknung des Wasserstoffs, indem Wasser abgeschieden wird, und zum anderen die Abtrennung von Verunreinigungen, z. B. durch eine Druckwechseladsorption.

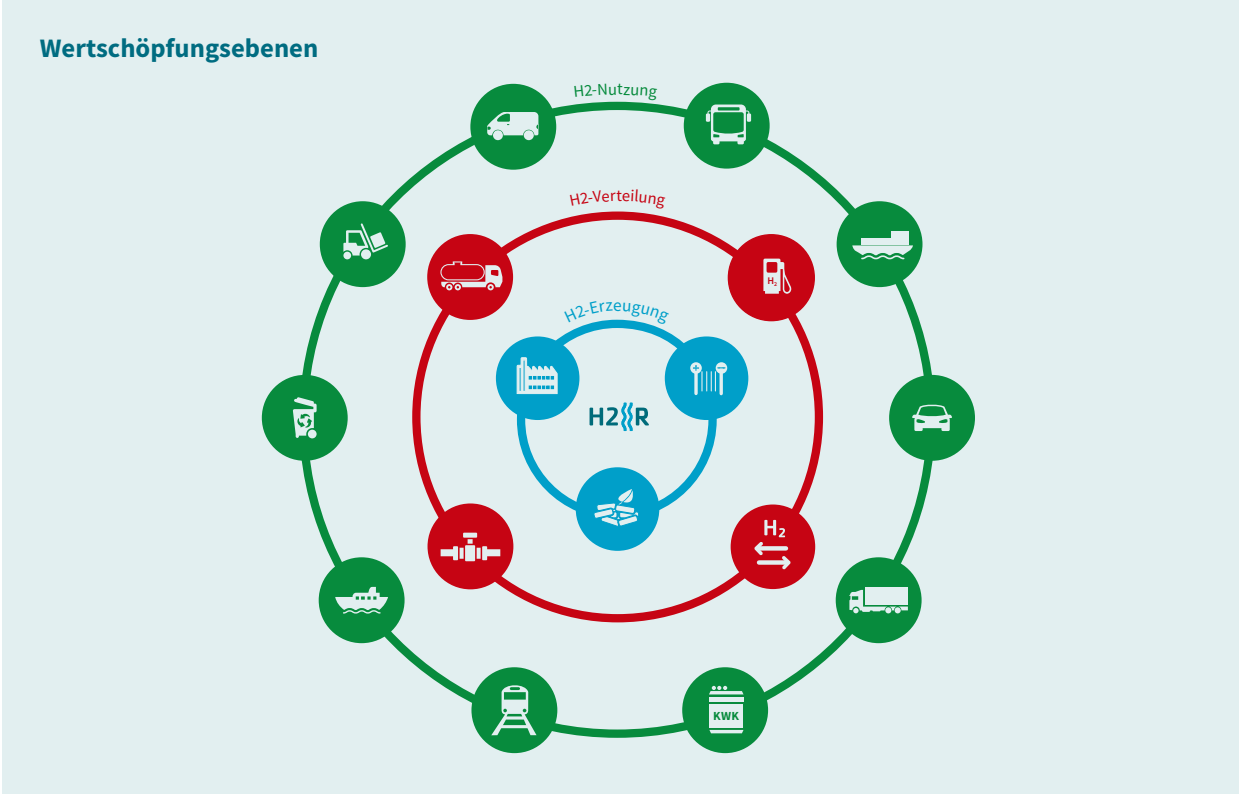


Abbildung 2-6 Schematische Darstellung von Erzeugung, Verteilung und Nutzung von Wasserstoff in *H2R – Wasserstoff Rheinland*

Der in der Region erzeugte Wasserstoff kann mit LKW-Trailern und/oder leitungsgebunden per Pipeline von den Erzeugungsstandorten an die H_2-Tankstellen verteilt werden. Dort erfolgt die Betankung der Brennstoffzellenfahrzeuge. Der Betankungsdruck für Busse und andere schwere Fahrzeuge muss beim aktuellen Stand der Technik typischerweise bei 350 bar, der für PKW bei 700 bar liegen, um eine geeignete Energiedichte erreichen zu können. Dazu muss der Wasserstoff stark komprimiert werden.

Die Nutzungsmöglichkeiten von Wasserstoff gehen jedoch über Straßenfahrzeuge wie PKW, Busse oder Nutzfahrzeuge hinaus, denn auch Züge, Schiffe und diverse Sonderfahrzeuge (Gabelstapler, Müllsammelfahrzeuge etc.) können mit Wasserstoff betrieben werden. Aufgrund der vielfältigen Herstellungsmethoden und seiner Transport- und Speicherfähigkeit eignet sich Wasserstoff außerdem für die Sektorkopplung und kann so zur Reduzierung von Kohlendioxidemissionen auch in anderen Sektoren wie etwa der Industrie beitragen [9]. Abbildung 2-7 gibt einen Überblick über die Technologiereifegrade (TRL – Technology Readiness Level) verschiedener

Wasserstofftechnologien, basierend auf der Auswertung verschiedener Literaturquellen und dem Expertenwissen der Ersteller dieses Feinkonzepts [15] [16] [17] [18] [19].

Technologiereifegrade (TRL)
verschiedener wasserstoffbasierter Technologien

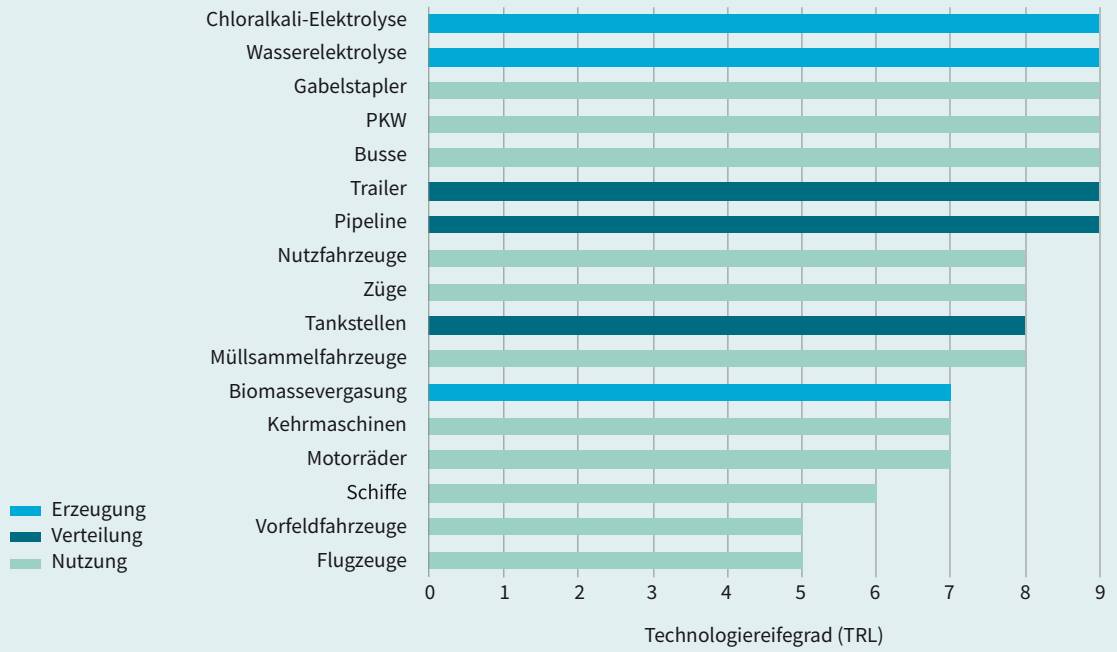


Abbildung 2-7 Technologiereifegrade (TRL) verschiedener wasserstoffbasierter Technologien[3]

Der Infokasten in Abbildung 2-8 fasst die Bedeutung der relevanten TRL zusammen. Je höher der Technologiereifegrad, desto ausgereifter ist die zugehörige Wasserstofftechnologie. Bei Reifegrad 9 handelt es sich um ein nachgewiesenermaßen erfolgreich eingesetztes Produkt.

Technologiereifegrade (TRL)

- TRL 5: Versuchsaufbau in Einsatzumgebung – wesentliche Technikelemente in relevanter Umgebung erprobt
- TRL 6: Prototyp in Einsatzumgebung – technische Machbarkeit im Anwendungsbereich nachgewiesen
- TRL 7: Prototyp im Einsatz – Demonstration beinahe maßstabsgetreu im betrieblichen Umfeld
- TRL 8: Qualifiziertes System mit Nachweis der Funktionstüchtigkeit im Einsatzbereich – Produkt
- TRL 9: Qualifiziertes System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes – Produkt

Abbildung 2-8 Beschreibung der genutzten Technologiereifegrade

Die Produktreife gilt sowohl für als Nebenprodukt der chemischen Industrie erzeugten Wasserstoff als auch für Wasserstoff aus der Wasserelektrolyse. Gleiches gilt für den Transport des Wasserstoffs mittels Trailern und Pipeline sowie für die Abfüllung in Fahrzeuge über Tankstellen. Im Bereich der Nutzungstechnologien sind Gabelstapler, PKW und Brennstoffzellenbusse heute mit TRL 9 ausgereift. Die Funktionstüchtigkeit der Verteilung des

[3] Die Technologiereifegrade beziehen sich auf eine Bandbreite verschiedener Detailtechnologien, so dass diese in der Art und Weise eines Indikators zu verstehen sind. So stellt es beispielsweise einen Unterschied dar, ob Züge für den Schienenpersonennahverkehr oder den Güterverkehr betrachtet werden, die wir hier beide unter der Technologie „Züge“ zusammengefasst haben.

Wasserstoffs über Tankstellen sowie der Nutzung von Wasserstoff in BZ-LKW, BZ-Zügen und BZ-Müllsammelfahrzeugen ist mit TRL 8 nachgewiesen. Andere Maschinen der Stadtreinigung wie Kehrmaschinen können ebenso wie Motorräder TRL 7, also der maßstabsgetreuen Prototypenphase zugeordnet werden. Gleiches gilt für die Erzeugung von Wasserstoff mittels Vergasung fester Biomasse. Darauf folgen wasserstoffbetriebene Schiffe mit TRL 6 sowie Vorfeldfahrzeuge auf Flughäfen und Flugzeuge selbst mit TRL 5. Technologisch sind viele Wasserstofftechnologien ausgereift oder nah an der Reife. Die aktuelle Herausforderung vieler Wasserstofftechnologien besteht jedoch häufig in der an die Technologieentwicklung anschließenden Kommerzialisierung.

Als Indikator für die Kommerzialisierung der verschiedenen Wasserstofftechnologien zeigt Abbildung 2-9 qualitativ die Zahl verfügbarer Technologieanbieter. Die Darstellung basiert auf einer Auswertung durch die Mitglieder des Verbands *Hydrogen Europe Industry* sowie des *Hydrogen Council*, ergänzt um die Expertise der Ersteller des vorliegenden Feinkonzepts. Stehen insbesondere für Systemkomponenten wie die Brennstoffzelle oder die Wasserelektrolyseure vergleichsweise viele Anbieter zur Verfügung, geht die Zahl der Anbieter kompletter Fahrzeuge für den Endverbraucher deutlich zurück. Wasserstoffflugzeuge, die heute von keinem Hersteller kommerziell bezogen werden können, bilden hier das Schlusslicht. Auch ist anzumerken, dass die Existenz von Anbietern keine schnelle Verfügbarkeit der Technologie bzw. des Produkts garantiert. Da viele Technologien zurzeit noch in kleiner Stückzahl außerhalb einer Serienproduktion erzeugt werden, sind teilweise Lieferengpässe und hohe Wartezeiten die Folge.

Unter Berücksichtigung der technologischen und kommerziellen Rahmenbedingungen ist zu klären, wie hoch das Potenzial zur Nutzung von Wasserstoff für Mobilitätsanwendungen in der Region ist, sowie ob und in welcher Menge der benötigte Wasserstoff erzeugt und verteilt werden kann. Auf diese Fragen wollen wir in den nächsten drei Abschnitten Antworten geben.

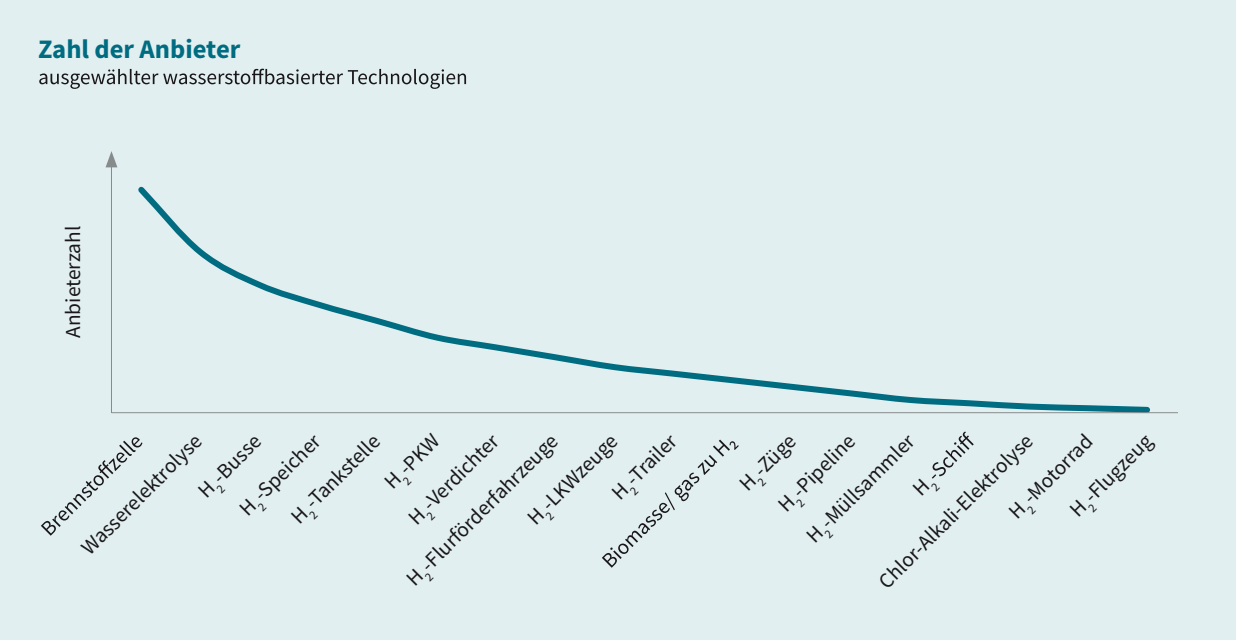


Abbildung 2-9 Zahl der Anbieter ausgewählter wasserstoffbasierter Technologien

2.2.2. Nachfrage

Zur Abschätzung der potenziellen Entwicklung der regionalen Wasserstoffnachfrage werden drei Marktdurchdringungsszenarien einer Analyse zukünftiger Wasserstoffmärkte des Forschungszentrums Jülich herangezogen. Unter Berücksichtigung der technologischen und kommerziellen Rahmenbedingungen identifizieren sie eine geringe, eine mittlere und eine hohe Marktdurchdringung für PKW, Busse, schwere Nutzfahrzeuge (SNF) und Züge für die Stützjahre 2023, 2030 und 2035 [20]. Die jeweilige Marktdurchdringung wird in Abbildung 2-10 vorgestellt.

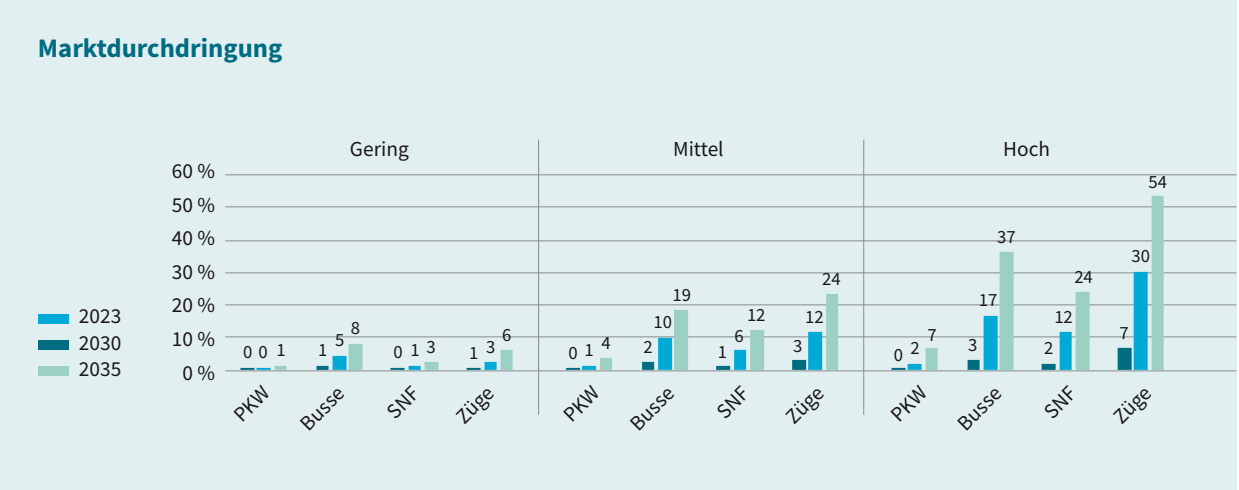


Abbildung 2-10 Marktdurchdringung verschiedener Wasserstofffahrzeuge für eine geringe, mittlere und hohe Marktdurchdringung. Züge im Vergleich zu dieselbetriebenen Triebwagen.

Die Analysen weisen kurzfristig insbesondere Busse als potente Technologie mit signifikanten Marktanteilen aus, während PKW im Vergleich geringe Marktanteile erreichen. Je nach Szenario erreichen PKW bis 2035 eine Marktdurchdringung von bis zu ca. 7 %, Busse können deutlich höhere Marktdurchdringungen von ca. 37 % erzielen, schwere Nutzfahrzeuge liegen bei ca. 24 % und Züge bei ca. 54 %. Wasserstoffzüge bieten die Möglichkeit, nicht elektrifizierte, also dieselgetriebene Triebwagen zu ersetzen. Die Auswertung zeigt, dass der Wasserstoff vor allem dort genutzt wird, wo batterieelektrische Lösungen wegen hoher Energiebedarfe technisch schwieriger umzusetzen sind.

Wir nutzen die jeweilige Marktdurchdringung, um das erzielbare Wasserstoffnachfragepotenzial in unserer Region abzuschätzen. Die verwendete Methodik ist im Anhang beschrieben (vgl. Kapitel A.1.1). Kern ist die Nutzung eines multivariaten linearen Regressionsmodells mit den folgenden Eingangsgrößen: Bevölkerungszahl, BIP, Beschäftigte und deren Vergütung, Einkommen privater Haushalte, Straßenlänge und Straßentyp sowie urbaner Flächenanteil. Die heutige Verkehrsleistung wird gemäß Bundesverkehrswegeplanung für den Straßenverkehr und gemäß Energiereferenzprognose für den Schienen- und Schiffsverkehr fortgeschrieben [21] [22]. So ergibt sich ein jährliches Wachstum der Personenverkehrsleistung für PKW von ca. 0,3 % und für Busse von ca. 0,4 % sowie der Güterverkehrsleistung schwerer Nutzfahrzeuge von ca. 0,9 %. Die Wasserstoffverbräuche der verschiedenen Fahrzeuge basieren im Wesentlichen auf Cerniauskas, S. et al. (2019) [20] und Herstellerdaten (Tabelle A-1). So ergibt sich das in Abbildung 2-11 dargestellte Nachfragepotenzial für Wasserstoff in unserer Region. Für Motorräder, leichte Nutzfahrzeuge (LNF) und Schiffe wird entweder aufgrund ihrer Vergleichbarkeit oder wegen ihres geringen TRL die geringe Marktdiffusion von PKW angenommen.



Abbildung 2-11 Wasserstoffnachfragepotenzial im Verkehrssektor der Region für verschiedene Marktdurchdringungen in t H_2 / a

Insbesondere schwere Nutzfahrzeuge treiben die absolute Wasserstoffnachfrage an. Sie erreichen zwar keine hohe Marktdurchdringung, besitzen aber in Anbetracht der Marktgröße, ihrer hohen jährlichen Fahrleistungen und ihrer hohen spezifischen Energiebedarfe einen ausgeprägten Hebel. Dies gilt es bei Auslegung einer Wasserstoffinfrastruktur ebenso mitzubedenken, wie die ausgeprägte Wachstumsphase der Wasserstoffnachfrage zwischen 2030 und 2035, für die in den zugrundeliegenden Betrachtungen nach 2035 eine weitere Beschleunigung erwartet wird [20]. Im geringen Marktdurchdringungsszenario werden bis 2035 jährlich ca. 5.700 t/a (2030: 2.300 t/a), im mittleren Szenario ca. 20.100 t/a (2030: 9.200 t/a) und im hohen Szenario ca. 38.600 t/a (2030: 17.30 t/a) nachgefragt. Die ca. 38.600 t/a H_2 des hohen Durchdringungsszenarios entsprechen einem Energieäquivalent von ca. 130 Mio. l/a Dieselkraftstoff[4] und können sich durch Sonderfahrzeuge wie Flurförderfahrzeuge, Müllsammelfahrzeuge oder Vorfeldfahrzeug weiter erhöhen, wie unsere Roadmap in Kapitel 4 darlegt.

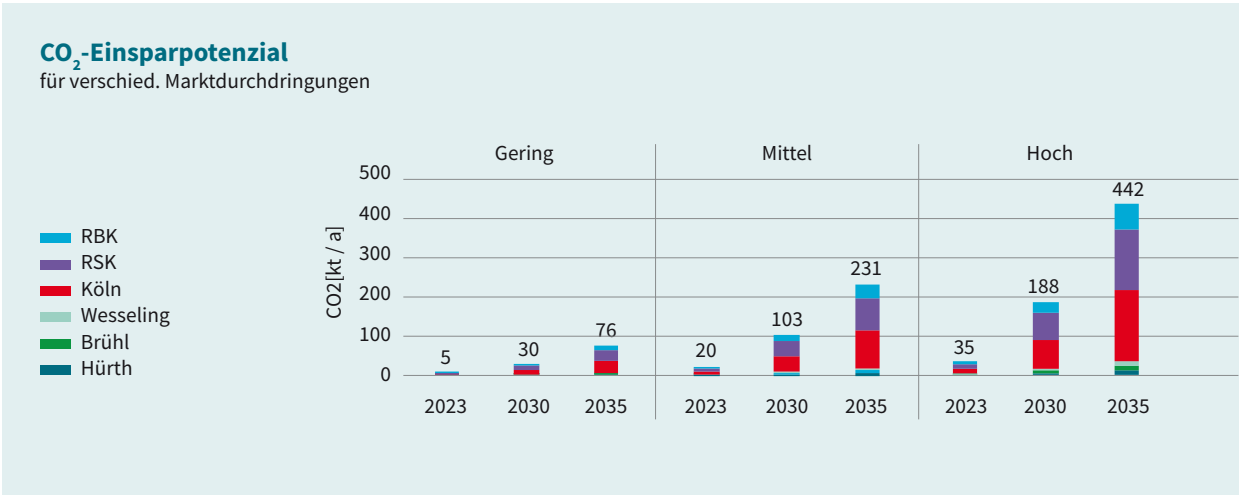


Abbildung 2-12 Einsparpotenzial klimaschädlichen Kohlendioxids für die jeweilige Marktdurchdringung in kt CO_2 / a (Tank-to-Wheel)

Mit Wasserstoff können wir deutliche Einsparungen klimaschädlichen Kohlendioxids erreichen, wie Abbildung 2-12 zeigt.[5] Die Stadt Köln kann im Jahr 2035 mit bis zu 182 kt CO_2/a bei hoher Marktdurchdringung von Wasserstoff die meisten Emissionen durch den Einsatz von Wasserstofffahrzeugen einsparen, gefolgt vom Rhein-Sieg-Kreis (RSK) mit 159 kt CO_2/a, dem Rheinisch-Bergischen Kreis (RBK) mit 65 kt CO_2/a, Brühl und Hürth mit 13 kt CO_2/a sowie Wesseling mit 10 kt CO_2/a. Mit einer jährlichen Gesamteinsparung von ca. 442 kt CO_2/a im Jahr 2035 kann

[4] Annahme: 1 kg Wasserstoff enthält ca. 33,33 kWh und ein Liter Diesel ca. 9,96 kWh Energie.

[5] Grundlage der auf die Betriebsphase des Fahrzeugs bezogenen Tank-to-Wheel-Emissionsdaten des konventionellen Straßenfahrzeugbestandes ist HBEFA 4.1, wie sie auch im Kontext der Stadtplanung genutzt wird [75]. Die Werte für den Schienen- und Schiffsverkehr stammen aus Breuer, J. et al. (2021) [70].

Wasserstoff demnach einen Beitrag zur Erreichung unserer kommunalen und regionalen Klimaschutzziele leisten. Im Vergleich zu den heute insgesamt in der Region jährlich ausgestoßenen 19,2 Mio. t CO_2 zeigt sich, wie konsequent die Transformation unseres regionalen Energiesystems in Richtung Klimaneutralität vorangetrieben werden muss, um die Pariser Klimaziele einzuhalten.



Abbildung 2-13 Einsparpotenzial für gesundheitsschädliches Stickoxid (NO_x) zur Verbesserung der lokalen Luftqualität in t NO_x/a

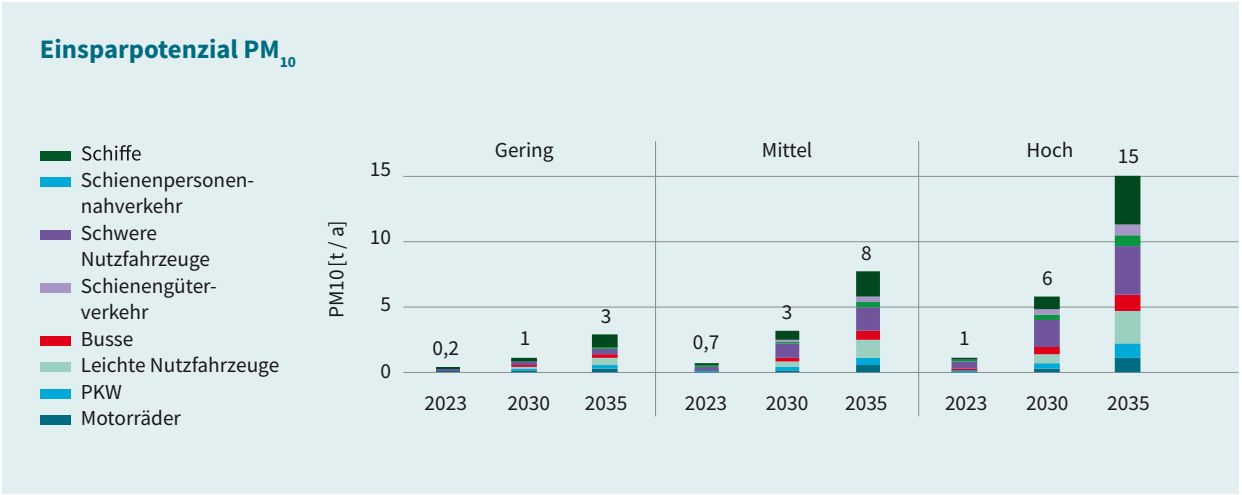


Abbildung 2-14 Einsparpotenzial für Feinstaub (PM_{10}) zur Verbesserung der lokalen Luftqualität in t PM_{10}/a

Die positiven Wirkungen der Nutzung von Wasserstoff beschränken sich nicht nur auf die Einsparung klimaschädlicher Kohlendioxidemissionen. Darüber hinaus kann die Nutzung von wasserstoffgetriebenen Fahrzeugen die Luftqualität in stark belasteten Städten verbessern, indem die Emissionen von Stickoxid (NO_x) und Feinstaub (PM_{10}) aus Verbrennungsmotoren vermieden werden. Abbildung 2-13 und Abbildung 2-14 fassen die erzielbaren verbrennungsbezogenen Einsparungen dieser Emissionen für unsere drei betrachteten Marktdurchdringungsszenarien zusammen. Insgesamt können also im Jahr 2035 bei hoher Marktdurchdringung von Wasserstoff bis zu 817 t NO_x/a (2030: 365 t NO_x/a) und 15 t PM_{10}/a (2030: 6 t PM_{10}/a) eingespart werden. Die höchsten Beiträge zur Reduzierung der Stickoxidemissionen leisten wasserstoffgetriebene schwere Nutzfahrzeuge, Schiffe und PKW. Zur Reduzierung der Feinstaubemissionen tragen insbesondere wasserstoffgetriebene Schiffe sowie schwere und leichte Nutzfahrzeuge bei.

2.2.3. Erzeugung

Nach Betrachtung der nachfrageseitigen Wasserstoffpotenziale und der damit verbundenen Einsparungen klima- und gesundheitsschädlicher Abgase, wollen wir auf unsere regionalen Erzeugungspotenziale eingehen. Neben der Erzeugung von Wasserstoff als Nebenprodukt der chemischen Industrie ist die Möglichkeit der Erzeugung von grünem Wasserstoff von Bedeutung. Ergänzend sehen beteiligte Unternehmen die Möglichkeit, an neuralgischen Punkten im Stromnetz Wasserstoff zu erzeugen. Abbildung 2-15 zeigt für die Jahre 2023, 2030 und 2035 das regionale Erzeugungspotenzial von grünem Wasserstoff, der aus Windenergie-, Freiflächen-PV- sowie Biomasseanlagen (EEG-Anlagen) mit angeschlossener Elektrolyse erzeugt werden kann, im Vergleich zum Nebenproduktwasserstoff. An dieser Stelle fließen nur EEG-Anlagen ein, deren EEG-Vergütungsphase für die Einspeisung von grünem Strom in den öffentlichen Strommix nach 20-jähriger Betriebszeit ausgelaufen ist (Post-EEG-Anlagen). Im Vergleich zum Nebenproduktwasserstoff sind die kurzfristig auf diese Weise erzielbaren Potenziale zur Erzeugung von grünem Wasserstoff mittels Post-EEG-Anlagen in der Region gering. Die Erzeugungspotenziale überschüssigen Nebenproduktwasserstoffs in der chemischen Industrie werden auf der Basis eines Austauschs mit den beteiligten Unternehmen für die betrachteten Jahre auf min. 2.600 t H_2/a geschätzt, was ungefähr 7 t H_2 pro Tag entspricht. Dieser Wert könnte nach Aussage regionaler Unternehmen auf ca. 15.000 t jährlich erweitert werden. Das Potenzial zur Erzeugung von Wasserstoff aus Post-EEG-Windenergieanlagen mit zu ergänzender Wasserelektrolyse liegt bei geringen 87 t H_2/a im Jahr 2035. Diese Anlagen stehen jedoch bereits im Jahr 2030 zur Verfügung. Für Post-EEG-Freiflächen-PV-Anlagen liegt das Potenzial bis 2035 bei bis zu ca. 500 t H_2/a (2030: 460 t H_2/a). Für Photovoltaikanlagen auf Dachflächen von Gebäuden wird angenommen, dass diese nach Wegfall der EEG-Förderung zur Deckung des Gebäudeeigenbedarfs und somit nicht zur Wasserstofferzeugung eingesetzt werden. Für Post-EEG-Biomasseanlagen lässt sich letztlich bis 2035 ein Potenzial von 1.080 t H_2/a ableiten, von denen im Jahr 2030 bereits 600 t H_2/a zur Verfügung stehen. Die Informationen der EEG-Anlagen, wie Leistung, Stromerzeugung und Jahr der Inbetriebnahme, sind dem EEG-Anlagenregister der Bundesnetzagentur zu entnehmen [23]. Für die Elektrolyse wird für 2023 ein spezifischer Energiebedarf von 56,7 kWhel/kg H_2 angesetzt, der bis 2035 auf 52,8 kWhel/kg H_2 sinkt (Tabelle A-2). Diese Werte beinhalten Energieaufwände für die Trocknung und Reinigung des erzeugten Wasserstoffs.

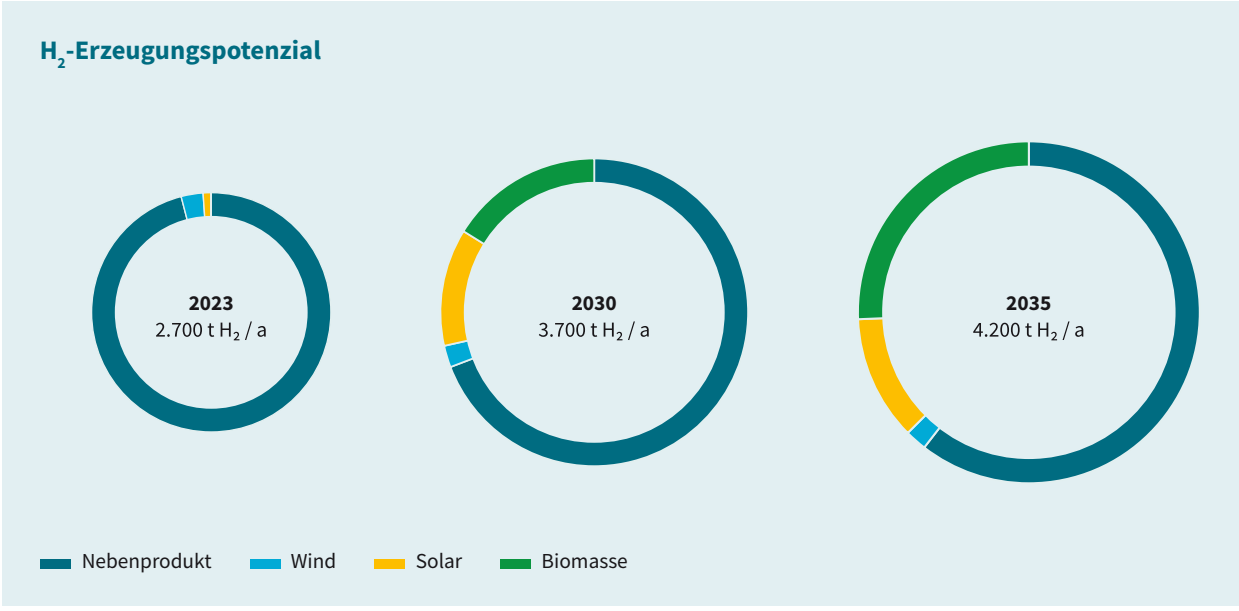


Abbildung 2-15 Wasserstofferzeugungspotenzial der Region in t H_2/a ohne neue EE-Anlagen.

Infobox Farben des Wasserstoffs

Das Element Wasserstoff ist farblos. Trotzdem existieren verschiedene Bezeichnungen wie grüner, grauer, blauer und türkiser Wasserstoff [76]. Sie beziehen sich auf die bei der Herstellung des Wasserstoffs entstehenden direkten und indirekten CO_2-Emissionen. Dies wird in Abbildung 2-16 dargestellt.

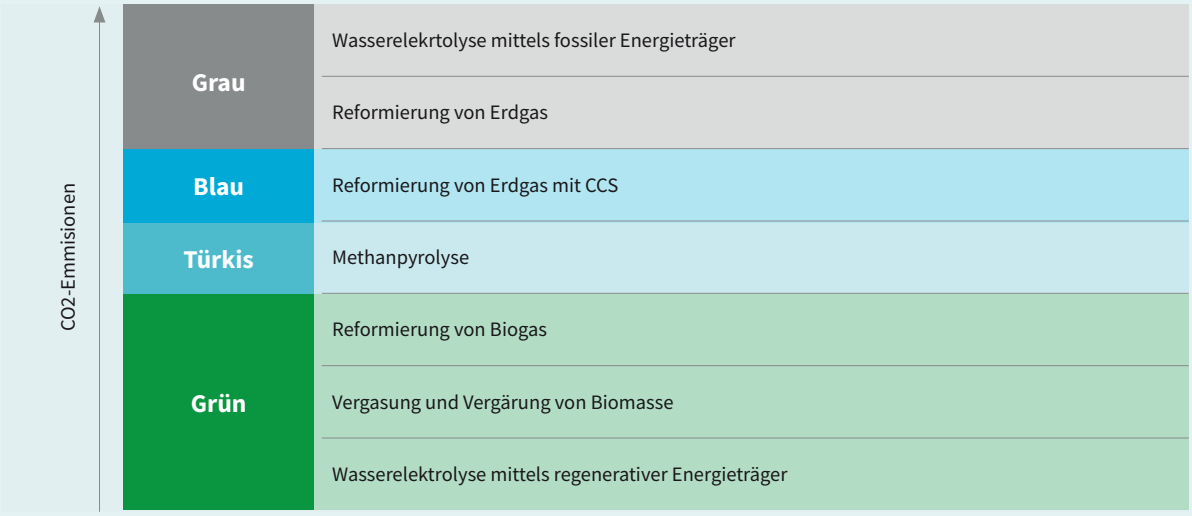


Abbildung 2-16 Farben des Wasserstoffs

Grüner Wasserstoff wird ausschließlich aus regenerativen Energieträgern erzeugt, typischerweise per Wasserelektrolyse. Weitere Möglichkeiten bestehen in der Vergasung und Vergärung von Biomasse sowie in der Reformierung von Biogas. Die genannten Verfahren gelten als CO_2-neutral.

Grauer Wasserstoff wird mittels fossiler Energieträger erzeugt. Gängigstes Verfahren in Deutschland ist die Dampfreformierung, bei der Erdgas unter Einfluss von Wasserdampf und Wärme in Wasserstoff und CO_2 umgewandelt wird. Auch die Elektrolyse mit dem aktuellen deutschen Strommix wird wegen hoher CO_2-Emissionen als grau bezeichnet. Ergänzung: Je nach Definition wird mit Kohle erzeugter Wasserstoff auch als brauner Wasserstoff beschrieben.

Blauer Wasserstoff ist in Bezug auf den Einsatz der Primärenergie mit der Herstellung von grauem Wasserstoff gleichzusetzen. Allerdings wird das frei gewordene CO_2 mithilfe der CCS-Technik (Carbon Capture Storage) unterirdisch gespeichert oder in der Industrie weiterverarbeitet. Dadurch kann der Wasserstoff bilanziell als CO_2-neutral betrachtet werden.

Türkiser Wasserstoff wird durch Methanpyrolyse hergestellt, bei der Methan in einem thermochemischen Verfahren in festen Kohlenstoff und Wasserstoff zerlegt wird. Sofern die Wärmeversorgung des Hochtemperaturreaktors aus regenerativen Energieträgern bereitgestellt wird, handelt es sich bilanziell um ein CO_2-neutrales Verfahren.

Nebenprodukt-Wasserstoff fällt In der chemischen Industrie bei bestimmten Prozessen, z.B. bei der Chloralkali-Elektrolyse, neben den gewünschten Zielprodukten an. Aktuell wird dieser Nebenprodukt-Wasserstoff je nach Definition entweder keiner Farbe oder der Farbe weiß zugeordnet.

Für die Bewertung des regionalen CO_2-Fußabdrucks der Wasserstofferzeugung ist es entscheidend, die spezifischen CO_2-Emissionen je kg Wasserstoff für die verschiedenen Wasserstoffquellen zu identifizieren. Für die Erzeugung von Wasserstoff auf der Basis von Biomasse ist zu beachten, dass sie entweder der Stromerzeugung in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) durch Einsatz eines Elektrolyseurs nachgeschaltet ist oder direkt erfolgen kann, z. B. durch Vergasung von trockener oder Vergärung von nasser Biomasse. Letztere Technologien werden heute noch im Rahmen von Forschung und Entwicklung verbessert, so dass hier noch Zeit bis zur Realisierbarkeit des vorhandenen Potenzials vergehen wird. Entsprechend den verschiedenen Möglichkeiten, Wasserstoff zu erzeugen, unterscheidet sich der CO_2-Fußabdruck (vgl. Abbildung 2-17). Die Methodik zur Ermittlung des jeweiligen CO_2-Fußabdrucks der weiteren Erzeugungspfade ist dem Anhang zu entnehmen (Kapitel A.1).

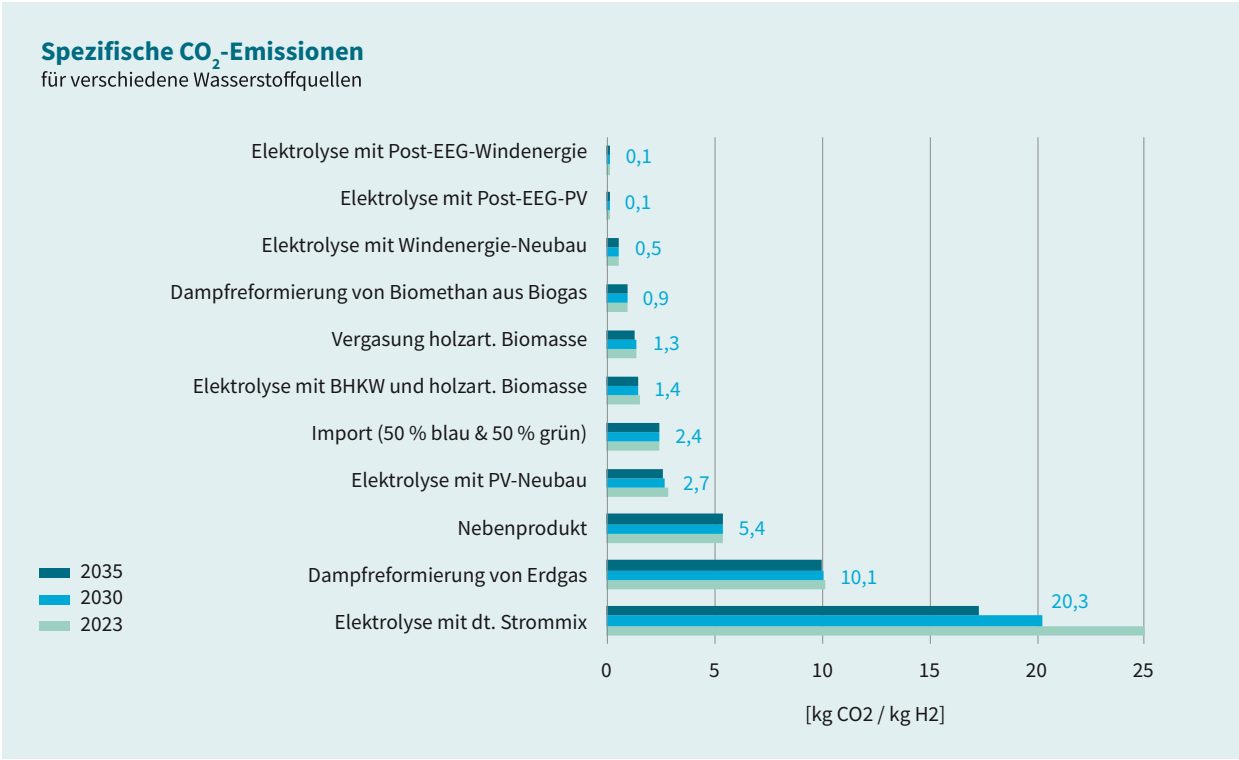


Abbildung 2-17 Spezifische CO_2-Emissionen für verschiedene Wasserstoffquellen in kg CO_2 / kg H_2

Die mit 25,0 kg CO_2/kg H_2 höchsten Emissionen im Jahr 2023 besitzt Wasserstoff aus der Wasserelektrolyse, die mit Strom aus dem öffentlichen Mix betrieben wird.[6] Dieser Wert reduziert sich durch einen zunehmenden Anteil von Stromerzeugungsanlagen auf der Basis erneuerbarer Energien im deutschen Strommix bis 2030 auf 20,3 kg CO_2/kg H_2 und bis 2035 auf 17,3 kg CO_2/kg H_2. Der in der Region vorhandene Nebenproduktwasserstoff aus der chemischen Industrie stellt mit spezifischen Emissionen von 5,4 kg CO_2/kg H_2 eine deutlich emissionsärmere Option dar. Diese Emissionen ergeben sich aus der erforderlichen Substitution des bisher thermisch verwerteten

[6] Exkurs: Wir weisen hier in der Regel die CO_2-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus aus. Dieser besteht aus den drei Phasen Bau, Betrieb und Rückbau. Für Nebenproduktwasserstoff und den blauen Teil des Importwasserstoffs können keine Emissionen für den Bau der Anlagen berücksichtigt werden. Der ausgewiesene CO_2-Fußabdruck beider Wasserstoffquellen kann sich deshalb in der Realität noch erhöhen. Zukünftige Forschung kann diese Lücke schließen. Die CO_2-Emissionen des blauen Wasserstoffs sind eng mit der CO_2-Abscheiderate der realisierten Anlagen verknüpft und können höher oder tiefer ausfallen. Auch die CO_2-Emissionswerte der Wasserstofferzeugung auf der Basis erneuerbarer Energien können sich zukünftig verbessern, weil ihnen zurzeit noch die Emissionen der heutigen, fossil geprägten Energiebereitstellung für den Bau der Anlagen zugerechnet werden. Da die Emissionen zur Anlagenproduktion im Rahmen einer Ökobilanzierung von Windenergie- und PV-Anlagen typischerweise auf eine Lebensdauer von 20 Jahren allokiert werden, können sie für Post-EEG-Anlagen vernachlässigt werden.

Wasserstoffs durch Erdgas. Der Import von aus gleichen Teilen grünem und blauem Wasserstoff verursacht ca. 2,4 kg CO_2/kg H_2, der Wasserstoff auf der Basis von Strom aus neugebauten PV-Anlagen ca. 2,7 kg CO_2/kg H_2. Besser schneiden nur die Erzeugung von Wasserstoff auf der Basis von Biomasse und durch Windenergieanlagen ab. Die geringsten Emissionen weisen mit 0,1 kg CO_2/kg H_2 Post-EEG-Windenergieanlagen und Post-EEG-PV-Anlagen auf.

Bei der Betrachtung der in der Region erzielbaren Wasserstofferzeugungspotenziale auf der Basis von Post-EEG-Windenergie, PV- und Biomasseanlagen zeichnet sich ein im Vergleich zur potenziellen Nachfrage geringes jährliches Potenzial von ca. 1.700 t H_2/a im Jahr 2035 (2030: 1.100 t H_2/a) ab. Um die Größenordnung der in der Region erzielbaren Wasserstoffpotenziale auf der Basis erneuerbarer Energien unter Beachtung eines gezielten Ausbaus abschätzen zu können, werden die Potenzialstudien des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW) für die Wind- und Solarenergie herangezogen [24] [25]. Diese Studien weisen Stromerzeugungspotenziale für jeden Kreis und jede Gemeinde aus. Zur Abschätzung des Wasserstofferzeugungspotenzials aus Biomasse ist die entsprechende Potenzialstudie nur eingeschränkt aussagekräftig, da hier Stromerzeugungspotenziale aus Biomasse ausgewiesen werden. Wie bereits angemerkt, finden sich direkte, effizientere Pfade von Biomasse bzw. Biogas zu Wasserstoff in der Entwicklung.

Da die Potenzialstudie darüber hinaus auch keine Gemeindewerte, wie für Hürth, Brühl und Wesseling erforderlich, ausweist, greifen wir zur Abschätzung der Biomassepotenziale auf Welder et al. (2018) [26] zurück. Mit den nachfolgend aufgeführten Anlagen können die in Abbildung 2-18 dargestellten Wasserstoffmengen produziert werden: Aus Windenergieanlagen lassen sich dieserart im Jahr 2035 bis zu ca. 44.300 t H_2/a, mit Freiflächen-PV bis zu ca. 47.200 t H_2/a, mit Biogas aus Landwirtschaft und Siedlungsabfällen bis zu ca. 7.900 t H_2/a und mit holzartiger Biomasse aus der Holzwirtschaft bis zu ca. 5.400 t H_2/a erzeugen. Das Gesamtpotenzial von 104.800 t H_2/a ist folglich im Vergleich zum identifizierten Nachfragepotenzial von bis zu 38.600 t H_2/a gemäß dem hohen Szenario für das Jahr 2035 als ausreichend zu betrachten. An dieser Stelle sei jedoch darauf hingewiesen, dass in vielen Fällen in Anbetracht der höheren Wirtschaftlichkeit eine direkte Einspeisung des Stroms aus diesen erneuerbaren Energieanlagen in das Stromnetz zu erwarten ist und nicht dessen Nutzung für die Erzeugung von grünem Wasserstoff.

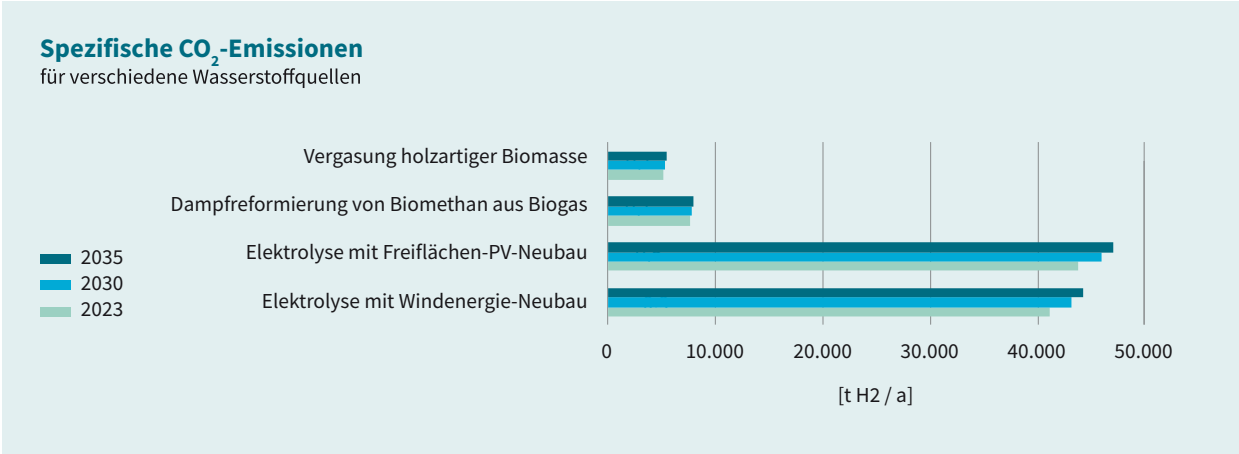


Abbildung 2-18 Zusätzliches Potenzial für grüne Wasserstofferzeugung in der Region

2.2.4. Verteilung

Mit Blick auf das Verteilungspotenzial besitzt die Region den strategischen Vorteil der Nähe zur bestehenden Rhein-Ruhr-Pipeline, die das nördliche Stadtgebiet Kölns mit der Stadt Marl im Ruhrgebiet verbindet. Eine Pipeline in unsere Region hinein besteht jedoch heute nicht, so dass kurzfristig nur ein Wasserstoffimport und -transport per Trailer erfolgen kann. Die Betankung von Fahrzeugen mit Wasserstoff kann an privaten Tankstellen (z. B. Busdepots der RVK) oder auch an öffentlichen Tankstellen (z. B. Flughafen Köln/Bonn) erfolgen. Soll mittelfristig ein großflächiger Roll-out erfolgen, so kann die Betankung von Fahrzeugen mit Wasserstoff in die bestehende Tankstellenlandschaft

der Region integriert werden. Die Region verfügt über einen Bestand von mindestens 257 Fahrzeugtankstellen, 4 Zugtankstellen und 7 Schiffstankstellen [27] [28] [29].

Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

- Viele Wasserstofftechnologien sind technisch ausgereift, stehen jedoch vor der Herausforderung der Kommerzialisierung. Die öffentliche Hand kann hier eine initiale Nachfrage schaffen. Die öffentliche Hand sollte die Kommerzialisierung durch Schaffung einer initialen Nachfrage nach Wasserstofftechnologien anschieben (z. B. Fuhrparkumrüstungen).
- Schwerlastanwendungen tragen überproportional zur Wasserstoffnachfrage von bis zu 38.600 t/a im Jahr 2035 bei. Daher ist insbesondere der Ausbau von Tankstellen, die einen Betankungsdruck von 350 bar bereitstellen können, zu forcieren.
- Wasserstoff spart im Jahr 2035 jährlich bis zu 442 kt Kohlendioxid ein. Seine Nutzung leistet einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung unserer kommunalen Klimaziele. Der Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen reduziert im Jahr 2035 die jährlichen Stickoxidemissionen um bis zu 817 t und die jährlichen Feinstaubemissionen um bis zu 15 t.
- Uns stehen täglich min. 7 t Nebenproduktwasserstoff aus Chloralkali-Elektrolyseanlagen zur Verfügung, welcher zu geringen Anteilen bereits zur Betankung von Brennstoffzellenbussen genutzt wird. Dieses Potenzial können wir kurzfristig bereitstellen. Der Nebenproduktwasserstoff soll kurzfristig für weitere Anwendungen abfüllbar gemacht werden.
- Das Potenzial für grünen Wasserstoff aus Post-EEG-Wind- und -Solarenergieanlagen, die nach 20 Jahren aus der EEG-Förderung fallen, ist in unserer Region begrenzt.
- Grüner Wasserstoff sollte entweder importiert und zertifiziert (Stichwort: CertifHy) oder durch gezielten Neubau erneuerbarer Energien in der Region selbst erzeugt werden. Zusätzlich könnten Elektrolyseure an netzneuralgischen Problemstellen eingesetzt werden.
- Im Kölner Norden endet die bestehende Rhein-Ruhr-Wasserstoffpipeline. Unsere Region kann hier an eine bestehende, überregionale Wasserstoffinfrastruktur angeschlossen werden.
- Zur Erreichung der Klimaziele sollte Wasserstoff dort genutzt werden, wo er schnell zur Reduktion der Treibhausgasemissionen beiträgt (z. B. Schwerlastanwendungen).
- Die Marktdurchdringung von Brennstoffzellenfahrzeugen sollte zur Verbesserung der Luftqualität zügig gesteigert werden (z. B. Anreize schaffen).

3. Unser Konzept: Lösungen für den Aufbau einer Wasserstoffregion

Mit unserem Konzept für eine Wasserstoffregion im Rheinland wollen wir die zentralen Herausforderungen der Wasserstoffwirtschaft und im Besonderen der Wasserstoffmobilität angehen:

- Bereitstellung von grünem oder CO_2-armen Wasserstoff (regionale Erzeugung und Import)
- Aufbau eines grundlegenden Tankstellennetzes (PKW und Nutzfahrzeuge)
- Gewährleistung der Versorgungssicherheit durch Redundanzen und Besicherung
- Schaffung eines Marktplatzes für Wasserstoff
- Gesteigerte Wasserstoffnachfrage durch Skalierung der Nutzer über Kooperationen
- Vernetzung der Akteure und Wissenstransfer
- Technologieentwicklung und -erprobung
- Kopplung der Energiesektoren Strom, Wärme, Industrie und Verkehr

Für die Umsetzung der genannten Punkte haben wir ein Technologiekonzept entwickelt, das die Schritte der Umsetzung im Einzelnen beschreibt.

3.1. Die Akteure im Rheinland sind bereit

Dieses Kapitel widmet sich der Akteurslandschaft, mit der wir unser Feinkonzept erfolgreich umsetzen wollen. Ergänzend zu den uns bereits seit längerem bekannten Akteuren unserer Region haben wir gemeinsam mit dem Konsortium viele weitere Akteure gewinnen können, die sich am systematischen Aufbau der Wasserstoffmobilität in unserer Region aktiv beteiligen wollen. Mit dem aktuellen Akteursportfolio haben wir eine ideale Ausgangsposition für die zügige Etablierung der Wasserstoffmobilität vor Ort gemäß unserer Roadmap und unserem Technologiekonzept.

Bereits seit 2007 vernetzen sich Akteure aus Politik, Industrie und Forschung über das in der Region ansässige Netzwerk *HyCologne – Wasserstoff Region Rheinland*, um Projekte in den Bereichen Wasserstoff und Brennstoffzelle umzusetzen. Unter anderem wurden dadurch der Einsatz von Nebenproduktwasserstoff aus der chemischen Industrie im ÖPNV und die frühe Erprobung von Bussen mit Brennstoffzellantrieb ermöglicht. Dieser Weg wurde konsequent weiterverfolgt, so dass wir mit dem kommunalen Verkehrsunternehmen RVK mit 52 Brennstoffzellenbussen im Jahr 2021 eine Spitzenstellung in Europa bei der Umstellung auf Wasserstoffantrieb im ÖPNV einnehmen werden. Nicht zuletzt hat uns diese gute Ausgangsposition dazu bewogen, am Wettbewerb „Modellregion Wasserstoff-Mobilität NRW“ teilzunehmen und im Hebst 2018 gemeinsam mit zahlreichen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft ein überzeugendes Grobkonzept einzureichen.

In der Fortsetzung dieses Vorhabens haben unsere ursprünglichen Partner des Grobkonzeptes CAM und HyCologne gemeinsam mit den Akteuren Energy Transition Consulting (ETC), EMCEL, Forschungszentrum Jülich, Frank Sreball Managementberatung sowie Karpenstein Longo Nübel Rechtsanwälte ein mit breiter Wasserstoff-Expertise ausgestattetes Konsortium gebildet, das wir mit der Erarbeitung des Feinkonzeptes beauftragt haben. Im Zuge dieser Zusammenarbeit konnten viele weitere Unternehmen und Forschungseinrichtungen hinzugewonnen werden, so dass heute 80 Partner per Letter of Intent (LOI) ihre Bereitschaft zur aktiven Beteiligung an dem Zusammenschluss

H2R – Wasserstoff Rheinland bekundet haben und in vielen Fällen auch konkrete eigene Ansätze, Projekte und Maßnahmen in die Roadmap einbringen.

Abbildung 3-1 zeigt eine Übersicht aller Partner, die bislang im H2R-Zusammenschluss aktiv sind. Die Segmentierung folgt dem Gedanken, dass zur Etablierung eines funktionierenden Marktes rund um die Themen Wasserstoffmobilität und -infrastruktur Anbieter und Nachfrager gehören (Segmente 1 und 2). Die Akteure aus Segment 3 sorgen für die Erfüllung der erforderlichen politischen, genehmigungsrechtlichen und finanziellen Voraussetzungen. Die Akteure des Segments 4 stellen den Akteuren Wissen bereit, bilden sinnvolle Netzwerke und unterstützen mit Verbandsarbeit. Bei der Grafik ist zu berücksichtigen, dass einige Akteure jeweils nur einem Segment zugeordnet wurden, in einigen Fällen Akteure aber auch mehrere Segmente abdecken können.

Ergänzend zu Abbildung 3-1 zeigt Abbildung 3-2 die wesentlichen Geschäftsaktivitäten der H2R-Akteure. Einige Beteiligte, insbesondere größere Unternehmen, decken neben den ausgewiesenen Geschäftsaktivitäten auch weitere Felder im Bereich Wasserstofftechnologie ab.

Abbildung 3-1 macht deutlich, dass wir uns mit dem breiten Spektrum der Unterstützer und deren Bedeutung eine sehr gute Ausgangsposition verschaffen. Im Folgenden wollen wir auf die Zusammensetzung des Akteursportfolios anhand der Segmentierung in Abbildung 3-1 detaillierter eingehen:

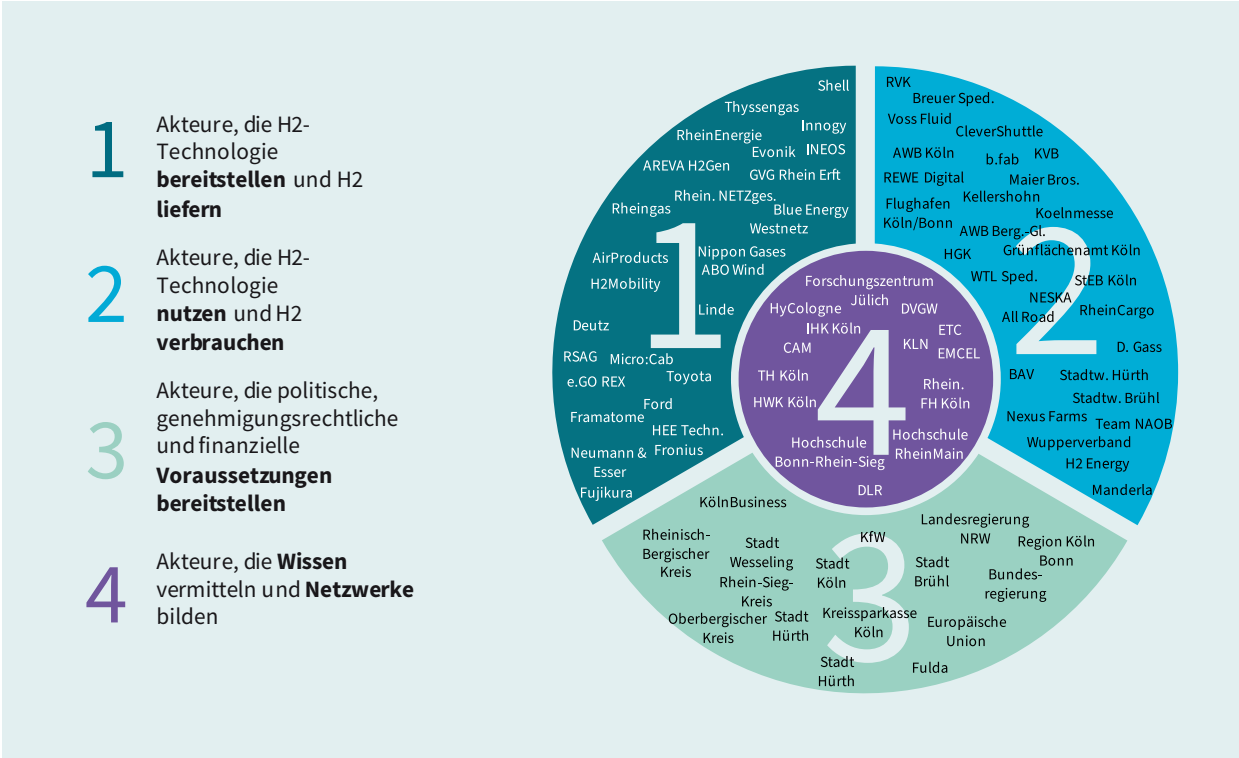


Abbildung 3-1 Übersicht der aktuellen Akteure

Geschäftsschwerpunkte der aktuellen Akteure			
Anlagen-/Komponentenhersteller	AREVA H_2Gen GmbH	**Forschung, Beratung, Engineering, Verbände**	Industrie- und Handelskammer zu Köln
	DEUTZ AG		Ingenieurbüro Manderla
	Framatome GmbH		Karpenstein Longo Nübel Rechtsanwälte Partnerschaft mbB
	Fronius Deutschland GmbH		KölnBusiness Wirtschaftsförderung GmbH
	Fujikura Technology Europe GmbH		Region Köln/Bonn e.V.
	NEUMAN & ESSER GmbH & Co. KG		Rheinische Fachhochschule Köln gGmbH (RFH Köln)
Betrieb kommunale Infrastruktur	Abfallwirtschaftsbetriebe Bergisch-Gladbach	**Gas Gewinnung & Verteilung**	TH Köln
	Abfallwirtschaftsbetriebe Köln GmbH		AirProducts GmbH
	Bergischer Abfallwirtschaftsverband		Evonik Industries AG, Lülsdorf
	Flughafen Köln/Bonn GmbH		Hydrogenious LOHC Technologies GmbH
	Grünflächenamt Köln		INEOS Manufacturing Deutschland GmbH
	Koelnmesse GmbH		GVG Rhein Erft GmbH
	Kreis Düren		H2 Mobility GmbH & Co. KG
	Oberbergischer Kreis		Linde AG
	RSAG AöR		Nippon Gases Deutschland GmbH
	Stadt Fulda		Rheingas Propan GmbH & Co. KG
	Stadtentwässerungsbetriebe Köln AöR		Rheinische NETZgesellschaft mbH
	Stadtwerke Brühl GmbH	**Logistik**	Shell Deutschland Oil GmbH
	Stadtwerke Hürth AöR		Thyssengas GmbH
	Wupperverband		Westnetz GmbH
Energie-wirtschaft	ABO Wind AG		All Road International GmbH
	Blue Energy Europe GmbH		Breuer Spedition Köln GmbH
	Innogy SE		Dietrich Gass oHG
	RheinEnergie AG		Häfen und Güterverkehr Köln HGK inkl. neska Schiffahrts-und Speditionskontor GmbH und RheinCargo GmbH & Co. KG (HGK)
Fahrzeug-hersteller	e.GO REX GmbH		REWE Digital GmbH
	Ford Motor Company		Spedition Kellershohn GmbH & Co. KG
	Microcab Industries		WTL Spedition und Transport GmbH
	Toyota Group	**Mobilitäts-Dienstleister**	GHT Mobility GmbH (CleverShuttle)
Forschung, Beratung, Engineering, Verbände	Center of Automotive Management (CAM)		Kölner Verkehrs-Betriebe AG (KVB)
	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.		Regionalverkehr Köln GmbH (RVK)
	DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V.		Rheinfähre Köln-Langel Hitdorf GmbH
	EMCEL GmbH	**Sonstiges**	b.fab GmbH
	ETC Energy Transition Consulting GmbH		H2 Energy AG
	Forschungszentrum Jülich GmbH - IEK 3		Kreissparkasse Köln
	FRANK SREBALL Ingenieurbüro (KVP24)		MAIER BROS GmbH
	Handwerkskammer zu Köln (HWK Köln)		Nicolaus-August-Otto-Berufskolleg
	HEE Technologies GmbH		NEXUS Farms
	Hochschule Bonn-Rhein-Sieg (HBRS)		Voss Fluid GmbH
	Hochschule RheinMain (HRM)		
	HyCologne Wasserstoff Region Rheinland e.V.		

Abbildung 3-2 Geschäftsschwerpunkte der aktuellen Akteure

Akteure, die Wasserstofftechnologie und Wasserstoff anbieten (Segment 1, Abbildung 3-1)

In diesem Segment sind gleich mehrere namhafte Lieferanten technischer Gase vertreten, die bei der Bereitstellung von Wasserstoff eine tragende Rolle spielen, u. a. Air Products, Linde und Nippon Gases. Eine Monopolsituation wird durch die Beteiligung veschiedener Anbieter auf diesem Gebiet vermieden, und die Perspektive der Region, mit ausreichenden Mengen Wasserstoff versorgt zu werden, wird gestärkt. Darüber hinaus nehmen die großen Chemie- und Petrochemieunternehmen in unserer Region einen ausschlaggebenden Part beim Ausbau der Wasserstofftechnologie ein. Diese Unternehmen produzieren in großem Maßstab Wasserstoff, teilweise auch als Nebenprodukt, der heute bereits für Mobilitätszwecke eingesetzt wird. So prüft z.B. INEOS, welche Möglichkeiten bestehen, Nebenproduktwasserstoff zum Export bereitzustellen. Es ist abzusehen, dass im Zuge der Dekarbonisierung der Industrieprozesse der bisher überwiegend graue Wasserstoff, ebenso der Nebenproduktwasserstoff, sukzessive durch grünen Wasserstoff ersetzt wird, der auch für Mobilitätsanwendungen genutzt werden kann. Die Nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung verschafft dieser Entwicklung weiteren Rückenwind. Shell Deutschland, zu deren aktuellen Großprojekten die Realisierug und Inbetriebnahme eines 10-MW-Elektrolyseurs

zählt, hat in diesem Zusammenhang bereits ihre Unterstützung der H2R-Initiative bekundet und die Realisierung bedeutender Maßnahmen angekündigt. Wir sind sicher, dass weitere Chemie- und Petrochemieunternehmen diesem Ansatz folgen werden.

Dem Projekt *HyPipCo* von HyCologne ist es zu verdanken, dass renommierte Betreiber von Erdgas-Transport- und Verteilnetzen, Erzeuger technischer Gase sowie Chemie- und Petrochemieunternehmen gemeinsam mit wissenschaftlichen Institutionen den Bau einer Pipeline für Wasserstoff im Großraum Köln prüfen (Air Liquide, Evonik, Gasversorgungsgesellschaft (GVG) Rhein Erft, Innogy, Linde, Neuman & Esser, Nippon Gases, Propan Rheingas, RheinEnergie, Rheinische NETZgesellschaft, Stadtwerke Brühl, Stadtwerke Hürth, Thyssengas, Westnetz, Forschungszentrum Jülich, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg). Dabei spielt die Erfahrung der Gasnetzbetreiber sowie die eventuelle Nutzung bzw. Umwidmung vorhandener Pipelineinfrastrukturen eine besondere Rolle.

Auch die in der Region ansässigen Fahrzeughersteller werden einen wichtigen Beitrag leisten. Die Toyota-Gruppe nimmt eine Pionierstellung bei der Herstellung von Serienfahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb ein. Darüber hinaus trägt der Konzern auch mit anderen Geschäftsfeldern im Bereich der Wasserstofftechnologie zur Roadmap von Region *H2R – Wasserstoff Rheinland* bei, u. a. mit Betankungssystemen, Intralogistik, Spezialfahrzeugen, Mobilitätskonzepten und Finanzierungsmodellen. Ford ist ein global tätiger Fahrzeughersteller, der regelmäßig den Einsatz von Brennstoffzellentechnologie für die eigene Modellpalette prüft und hierzu Forschung und Entwicklung betreibt. Das Unternehmen e.GO REX entwickelt Konzepte für die Vergrößerung der Reichweite batterieelektrischer PKW und Nutzfahrzeuge mittels Brennstoffzellen. Darüber hinaus ist Microcab Industries aus Großbritannien, ein Spin-out der Coventry University, in Zusammenhang mit der Entwicklung einer Transporterplattform im 3,5 t-Segment sehr an einem Austausch und Kooperation mit den Partnern von *H2R – Wasserstoff Rheinland* interessiert.

Wie bereits dargestellt, sehen wir im Wasserstoff einen idealen Energieträger zur Schaffung innovativer Energiesysteme. Hierzu leisten Projektentwickler für alternative Energiekonzepte, wie ABO Wind, Blue Energy Europe, HEE Technologies, der Wupperverband und EMCEL einen wichtigen Beitrag. Als Errichter von Elektrolyseanlagen haben AREVA H2Gen sowie Linde mit ITM Power ihre Unterstützung gegenüber *H2R – Wasserstoff Rheinland* bekundet. Die DEUTZ AG prüft, inwieweit die Entwicklung ihres H_2-Verbrennungsmotors für den Offroad-Bereich, z.B. bei Baumaschinen vorangetrieben werden kann. Des Weiteren bringen die Firmen Framatome, Fronius Deutschland sowie Neuman & Esser ihre Kompetenzen in das Projekt ein.

Nutzer der Wasserstofftechnologie (Segment 2, Abbildung 3-1)

Unter den potenziellen Nutzern der Wasserstofftechnologie stehen angesichts des Mobilitätsschwerpunktes im Förder-Wettbewerb die Mobilitätsdienstleister besonders im Fokus. Wie bereits beschrieben, haben wir gemeinsam mit dem ÖPNV-Dienstleister RVK einen großen Vorsprung bei der Wasserstoffmobilität erarbeitet. Schon heute betreibt die RVK mit 12 Bussen die größte BZ-Busflotte Europas. Bis Ende 2021 werden durch die RVK bis zu 52 Fahrzeuge im Einsatz sein. Auch die KVB (Kölner Verkehrs-Betriebe AG) prüft Optionen zur Nutzung der Wasserstofftechnologie bei einem ihrer ÖPNV-Subunternehmen. Außerdem untersucht die Stadt Köln in Zusammenhang mit einem innerstäftischen Shuttle-Service, u.a. den Einsatz von Brennstoffzellenbussen. Neben dem klassischen ÖPNV überlegt der Ride-Sharing-Anbieter CleverShuttle, inwieweit Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieb marktreif und für sein Geschäftsmodell zukünftig in Köln einsetzbar sind.

Darüber hinaus haben relevante Betreiber kommunaler Infrastruktur ihr Interesse an der Zusammenarbeit mit *H2R – Wasserstoff Rheinland* bekundet, u. a. die Abfallwirtschaftsbetriebe der Städte Hürth, Bergisch-Gladbach und Köln, das Grünflächenamt Köln, der Flughafen Köln/Bonn, die Koelnmesse sowie die Stadtentwässerungsbetriebe Köln (StEB). Bei diesen Akteuren liegt der Schwerpunkt auf der Umstellung ihrer zum Teil recht umfangreichen Fahrzeugflotten. Hier sind häufig Spezialfahrzeuge im Einsatz, z. B. Abfallsammelfahrzeuge, Flurförderzeuge, Schlepper, Saugwagen und Spezialtransporter, für die angesichts der hohen Energieintensität, der erforderlichen Reichweite, der Einsatzkontinuität oder wegen nicht realisierbarer Ladeinfrastruktur besondere Vorteile in der

Wasserstofftechnologie gesehen werden. Einige Akteure, etwa der Flughafen Köln/Bonn, die Koelnmesse, die StEB sowie die RVK untersuchen in Kombination mit der Wasserstoffmobilität innovative Infrastruktur- und Energiekonzepte, in denen die Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff als Kopplungsprodukt zwischen verschiedenen Energieformen zum Tragen kommt. Im Bereich nachhaltige Energieversorgung möchten beispielsweise die Maier Bros. die Nutzungsmöglichkeiten von Wasserstoff zur nachhaltigen Energieversorgung in Filmproduktionen untersuchen.

Im Bereich Logistik haben die verbundenen Unternehmen Häfen- und Güterverkehr Köln (HGK), neska Schifffahrts- und Speditionskontor sowie RheinCargo Ideen und Ansätze für die Nutzung der Wasserstofftechnologie entwickelt. Die Maßnahmen beziehen sich auf den Fährbetrieb über den Rhein, auf den schienengebundenen Güterverkehr und auf Nutzungsmöglichkeiten im Hafen und in den Betriebswerken. Auch REWE Digital denkt über den Einsatz von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen für die Verteil- und Auslieferlogistik nach. Überdies werden sich weitere Logistik- und Speditionsunternehmen mit der Option einer Umstellung auf Wasserstoffantriebe befassen, u. a. All Road International, Breuer Spedition Köln, Digass Dietrich Gass, Kellershohn und WTL Spedition und Logistik. Das Schweizer Unternehmen H2 Energy AG unterstützt unser Projekt hinsichtlich der Logistik mit seinen Erfahrungen aus der aktuell laufenden Einführung von 1.600 Brennstoffzellenschwerlastern in der Schweiz. Die Firma VOSS Fluid ist insbesondere am Thema der wasserstoffbasierten Intralogistik interessiert, ein H_2-Einsatzbereich, der mit der Umstellung von Flurförderzeugen auf Brennstoffzellenantrieb auch im Fokus der Startaktivitäten bei der Koelnmesse steht.

Akteure, die die politischen, genehmigungsrechtlichen und finanziellen Voraussetzungen schaffen (Segment 3, Abbildung 3-1)

Viele der in den H2R-Zusammenschluss eingebrachten Maßnahmen und Ansätze lassen sich nur weiterverfolgen und realisieren, wenn bestimmte politische und genehmigungsrechtliche Voraussetzungen erfüllt sind. Als Städte und Kreise fühlen wir uns mit Blick auf unser Feinkonzept im Rahmen des Förderwettbewerbs besonders verpflichtet, die Akteure bei der Gestaltung ihrer Aktivitäten bestmöglich zu unterstützen, indem wir unseren Einfluss bei landes- und bundespolitischen Fragestellungen im Sinne der Gesamtzielsetzung des Zusammenschlusses *H2R – Wasserstoff Rheinland* geltend machen. Auch werden wir bei der Beantragung von Fördermöglichkeiten auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene unterstützend zur Verfügung stehen. Weiterhin werden wir eine Vernetzung der Akeure anstreben, um Beschaffungsallianzen (beispielsweise von Fahrzeugen) zu ermöglichen. Bezüglich der Finanzierung von Projekten bietet die Kreissparkasse Köln an, geeignete Finanzierungsinstrumente zu entwickeln. Mit Blick auf die jüngst verabschiedete Nationale Wasserstoffstrategie erwarten wir politische, rechtliche und finanzielle Unterstützung seitens der Bundesregierung. Außerdem ist zu prüfen, inwieweit für bestimmte Aktivitäten Fördermittel der Europäischen Union beantragt werden können.

Akteure, die Spitzenforschung betreiben, Wissen vermitteln, Netzwerke bilden (Segment 4, Abbildung 3-1)

Alle bisher genannten und im späteren Projektverlauf hinzukommenden Akteure profitieren von der Zusammenarbeit mit führenden Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen. Das Forschungszentrum Jülich, die TH Köln, die Rheinische Fachhochschule Köln, die Hochschule Bonn-Rhein-Sieg sowie die Hochschule RheinMain verfügen über international anerkannte Expertise im Bereich Wasserstofftechnologie und haben ihre Beteiligung teils mit Eigenaktivitäten, teils mit dem Angebot zur Bereitstellung von Know-how bekundet. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) mit Hauptsitz in Köln ergänzt die exzellente Wasserstoffexpertise von *H2R - Wasserstoff Rheinland*. Rechtliche Fragestellungen, insbesondere im Energierecht, können mit Unterstützung der Kanzlei Karpenstein Longo Nübel Rechtsanwälte (KLN) geklärt werden. Weitere Beratungen rund um das Thema Transformations- und Umsetzungsanalysen im Hinblick auf die Energiewende insbesondere mithilfe von Wasserstoff können von der Energy-Transition-Consulting (ETC) bereitgestellt werden. Für die Entwicklung von Mobilitätslösungen steht das Center of Automotive Management (CAM) mit seinem fundierten Branchen-Know-how zur Verfügung. Das Netzwerk *HyCologne – Wasserstoff Region Rheinland* unterstützt bereits heute eine große Zahl der genannten H2R-Akteure

bei der Umsetzung von Maßnahmen im Bereich Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie und will den Akteuren auch in Zukunft mit seinen nationalen und internationalen Kontakten zur Verfügung stehen. Der H2R-Zusammenschluss wird von dem Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW), von der Industrie- und Handelskammer zu Köln (IHK) sowie von der Handwerkskammer zu Köln (HWK) unterstützt.

Als konkrete Bausteine für die Entwicklung unserer Roadmap wurden dem H2R-Zusammenschluss von vielen Akteuren zahlreiche Maßnahmen gemeldet, die in der Prüfung, der Planung oder bereits der Umsetzung sind. Weitere Akteure stehen mit ihren Kompetenzen für die Maßnahmenumsetzung zur Verfügung.

Abbildung 3-3 legt dar, in welchen Wertschöpfungsstufen die Akteure Maßnahmen gemeldet haben. Die in derechten Säule aufgeführten Akteure wirken an Maßnahmen anderer Akteure mit oder bieten *H2R – Wasserstoff Rheinland* ihre Unterstützung an. Die Wertschöpfungsstufe Erzeugung steht zwar anzahlmäßig zurück, enthält aber bedeutende Maßnahmen, auf die wir unser Konzept stützen. Insgesamt ist aus der Abbildung 3-3 das Fazit zu ziehen, dass in der aktuellen Phase in allen Wertschöpfungsstufen genügend Akteure mit Maßnahmen als Grundstock für die erfolgreiche Fortführung des Vorhabens *H2R – Wasserstoff Rheinland* bereitstehen. Gleichwohl streben wir an, die Akteure zur Initiierung weiterer Maßnahmen zu motivieren. Dabei ist auch eine Vielzahl kleinerer erwünscht, mit denen auch leicht zu hebende Potenziale erschließen lassen. Selbst die Generierung „unreifer“ Maßnahmen, die sich z.B. aufgrund regulatorischer Vorgaben (noch) nicht realisieren lassen, ist willkommen. Sie bilden Ersatzpotenzial für evtl. entfallende Maßnahmen und steigern die thematische Durchdringung bei allen Beteiligten und in der Öffentlichkeit.

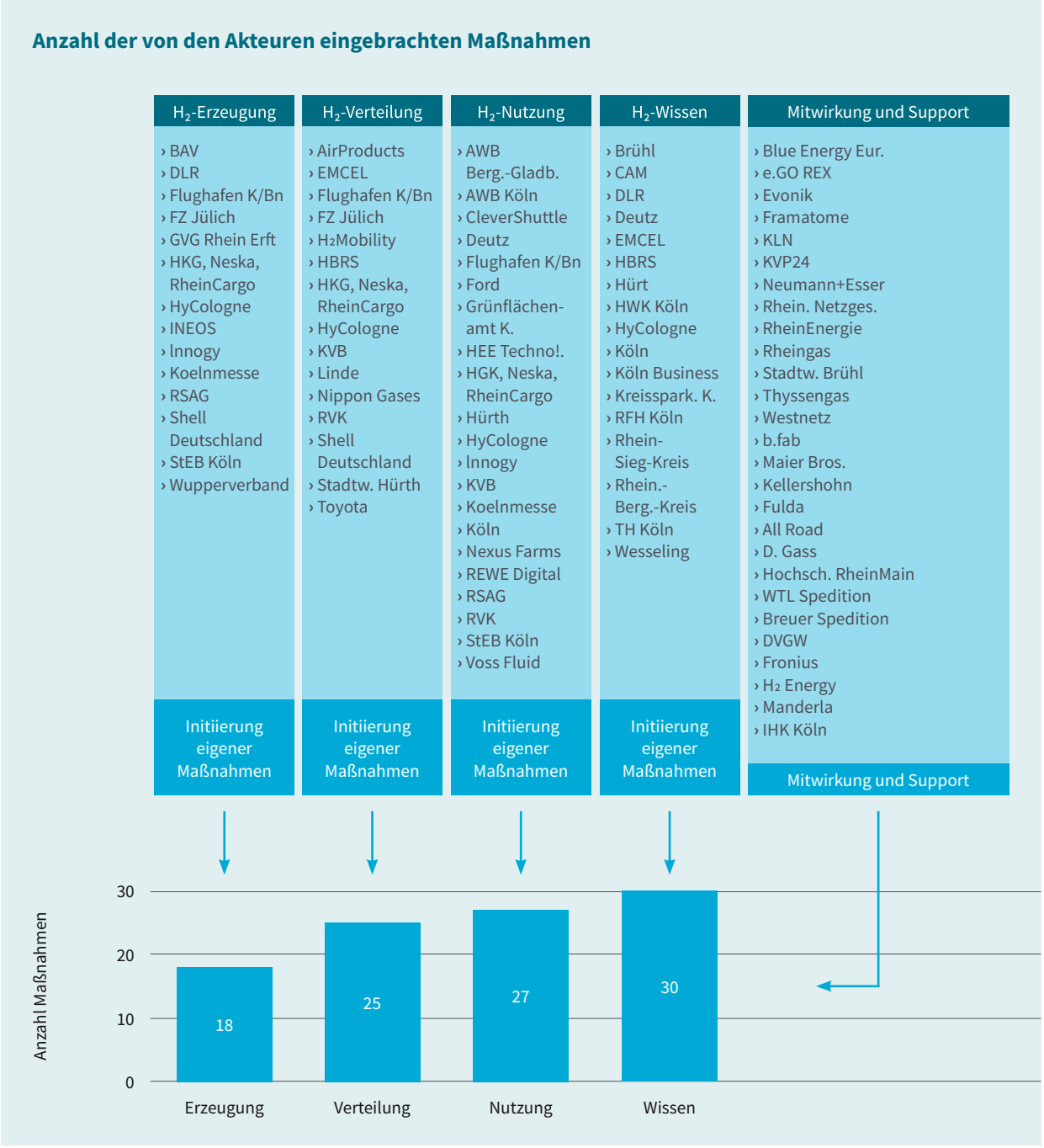


Abbildung 3-3 Anzahl der von den Akteuren eingebrachten Maßnahmen

Für die Umsetzung der Roadmap von *H2R – Wasserstoff Rheinland* ist es von außerordentlicher Bedeutung, die Akteure in geeigneter Weise kontinuierlich einzubinden, um die Zwischenetappen mit ihnen gemeinsam zielgerichtet anzusteuern. Zwecks adäquater Beteiligung der Akteure am Projektgeschehen wurde im Rahmen des Feinkonzepts ein Instrument entwickelt, das aus dem Stakeholder-Management des klassischen Projektmanagements abgeleitet und für die vorliegende Zielstellung angepasst wurde (siehe Kapitel A.3). Dieses Instrument werden wir auch bei der weiteren Umsetzung als Richtschnur für die zielgerichtete Einbindung der Akteure nutzen.

Das bisher identifizierte Akteursportfolio bildet eine solide Basis für die Realisierung der in Kapitel 4 beschriebenen Roadmap. Zur Ermittlung einer geeigneten Strategie zur Weiterentwicklung des Portfolios wurde eine sog. SWOT-Analyse der aktuellen Akteurslandschaft durchgeführt. Hierzu wurden zunächst die Stärken (**S**trengths) und Nachholbedarfe (**W**eaknesses) für das aktuelle Portfolio ermittelt, ferner die Chancen (**O**pportunities) und Risiken

(**T**hreats), die das Umfeld des Markthochlaufs der Wasserstoffmobilität beeinflussen, aufgezeigt. Auf dieser Basis wurden strategische Stoßrichtungen zur Umsetzung einer erfolgreichen Wasserstoffmobilität in unserer Region abgeleitet. Details gehen aus Kapitel A.3 im Anhang hervor. Aus der Analyse lassen sich zusammenfassend folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Die starke Beteiligung von Akteuren aus den Bereichen H_2-Erzeugung und Gasnetzbetrieb bietet ideale Voraussetzungen für den Aufbau einer Infrastruktur zur flächendeckenden und zielgerichteten Wasserstoffbereitstellung, insbesondere durch den Bau einer Pipeline.
- Die renommierten Institutionen in Forschung, Entwicklung und Lehre wie auch die bestehende Vernetzung vieler Akteure, insbesondere über HyCologne, bilden einen guten Nährboden für den Markthochlauf der Wasserstoffmobilität in unserer Region.
- Große ÖPNV-Unternehmen sowie bedeutende Unternehmen der öffentlichen Hand – u. a. der Flughafen Köln/Bonn, die Koelnmesse, Abfallwirtschaftsbetriebe, Stadtentwässerungsbetriebe, Betreiber von Häfen und Großumschlagsanlagen für Schiene und Straße – bringen zahlreiche Ansätze und Projekte mit Fokus auf Mobilitätsanwendungen ein, teilweise auch eingebettet in fortschrittliche Gesamtenergiekonzepte. Die Realisierung der Maßnahmen erfordert allerdings einen großen Bedarf an Bussen, Sonderfahrzeugen, Flurförderzeugen sowie leichten und schweren Nutzfahrzeugen, der zurzeit noch nicht durch den Anbietermarkt abgedeckt wird.
- Auch im privatwirtschaftlichen Bereich besteht großes Interesse an Mobilitätslösungen mit Wasserstofftechnologien. Aufgrund des oben beschriebenen Defizits an marktgängigen Fahrzeugen, der derzeit noch hohen Kosten sowie der noch nicht ausreichend ausgebauten Wasserstoffinfrastruktur besteht allerdings noch Zurückhaltung hinsichtlich der kurzfristigen Realisierung von Anwendungsfällen.

Vor diesem Hintergrund verfolgen wir mit dem aktuellen und noch zu erweiternden Akteursportfolio folgende Strategien zur Erfüllung der Zielsetzung von *H2R – Wasserstoff Rheinland*:

- Gemeinsam mit den Akteuren aus den Bereichen Chemie/Petrochemie, H_2-Erzeugung und Gasnetzbetrieb verfolgen wir das Ziel, den Ausbau der Infrastruktur zur Erzeugung und Verteilung von ausreichenden Mengen Wasserstoff voranzutreiben, insbesondere durch den Bau einer Pipeline. Dabei setzen wir auf den Rückenwind und die Fördermaßnahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie.
- Die in unserer Region operierenden Unternehmen der öffentlichen Hand werden wir mit dem Ziel unterstützen, eine für den Anbietermarkt interessante Nachfragesituation zu schaffen und damit den Markthochlauf anzutreiben. Das gilt vor allem für die Entwicklung von Sonderfahrzeugen, leichten und schweren Nutzfahrzeugen, Schiffen und schienengebundenen Fahrzeugen.
- Die beiden vorgenannten Strategieansätze sollen dazu führen, dass potenzielle Nutzer außerhalb der öffentlichen Hand, im Besonderen Logistik- und Speditionsunternehmen sowie Mobilitätsdienstleister, deutlich bessere Voraussetzungen zur Realisierung ihrer eigenen Mobilitätslösungen vorfinden, speziell in Bezug auf die Wasserstoffverteilung und das Marktangebot geeigneter Fahrzeuge.

Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

- Über 80 Akteure haben bis Redaktionsschluss per Letter of Intent ihre Bereitschaft bekundet, die Umsetzung von *H2R – Wasserstoff Rheinland* mit uns gemeinsam voranzutreiben. Auch nach Abgabe des Feinkonzepts sollen weitere Akteure und Maßnahmen für H2R – Wasserstoff Rheinland gewonnen werden.

- Die Akteure haben ca. 100 Ansätze, Projekte und Maßnahmen auf allen Wertschöpfungsstufen eingebracht, die die Grundlage für den beschleunigten Markthochlauf der Wasserstofftechnologie in unserer Region bilden, insbesondere im Mobilitätssektor.

- Alle Akteure können auf etablierte Netzwerke in unserer Region sowie auf die Wissensbereitstellung und Unterstützung namhafter Lehr- und Forschungseinrichtungen und spezialisierter Beratungsunternehmen zurückgreifen.

- Bei vielen ÖPNV-Unternehmen, Mobilitätsdienstleistern, Betreibern kommunaler Infrastruktur sowie Logistikunternehmen und Spediteuren sind vielfältige Anwendungsfälle auf Wasserstoffbasis in Planung oder Überlegung. Im Falle einer Umsetzung führen sie zu einer großen Nachfrage an Wasserstoff, Fahrzeugen, Anlagen und sonstigen Produkten führen und damit den Ausbau der Wasserstofftechnologie in der Region befördern. Zurzeit können allerdings einige Maßnahmen mangels marktgängiger und wirtschaftlicher Lösungen nicht realisiert werden.

- Die in H2R identifizierten Unternehmen auf der Anbieterseite haben nach unserer Einschätzung mehr als genügend Potenzial, um die Versorgung der Region mit Wasserstoff sicherzustellen und die Entwicklung geeigneter Fahrzeuge, Produkte und Anlagen so voranzutreiben, dass damit auch die zukünftigen Bedarfe der Nutzer gedeckt wären.

- Um dieses Potenzial zu aktivieren, wollen wir die in unserer Region operierenden Unternehmen der öffentlichen Hand dabei unterstützen, ihre Bedarfe zu bündeln und damit eine attraktivere Nachfragesituation für die Anbieter von wasserstoffangetriebenen Sonderfahrzeugen, leichten und schweren Nutzfahrzeugen, Schiffen und schienengebundenen Fahrzeugen zu schaffen. Mit der Verbesserung des Marktangebotes wollen wir zudem die Voraussetzungen für privatwirtschaftliche Unternehmen, z. B. Logistik- und Speditionsunternehmen sowie Mobilitätsdienstleister, verbessern.

- Es ist zu erwarten, dass die in unserer Region ansässigen Chemie- und Petrochemie-Unternehmen infolge der Dekarbonisierung ihrer Produktionsprozesse den Einsatz von grünem Wasserstoff in unserer Region massiv steigern werden. Diese Situation wollen wir nutzen, um den Markthochlauf der Wasserstofftechnologie im Mobilitätssektor zu beflügeln, z. B. durch Unterstützung der Akteure beim Bau einer Pipeline zwischen den Chemiestandorten oder durch die Nutzung von Nebenproduktwasserstoff zur wirtschaftlicheren Gestaltung von Mobilitätsanwendungen.

3.2. Wir gehen die Herausforderungen der Wasserstoffmobilität an

In Gesprächen mit den Akteuren und auf der Basis existierender Vorhaben im Bereich Wasserstoff (landes- und bundesweit) haben wir die nachfolgenden relevanten Herausforderungen für den Aufbau einer Wasserstoffregion im Rheinland identifiziert.

3.2.1. Wasserstoffbereitstellung

Für eine klimafreundliche Mobilität muss grüner oder CO_2-armer Wasserstoff eingesetzt werden. Dies wird auch von einigen Nutzern gefordert. Die benötigten Mengen an grünem oder CO_2-armem Wasserstoff müssen produziert und bereitgestellt werden können. Hier sind innovative und wirtschaftlich nachhaltige Lösungen gefragt. Wie ein „Wasserstoffmix“ im Detail aussehen kann und welche CO_2-Äquivalente den verschiedenen Arten von Wasserstoff zugerechnet werden, wird in Kapitel 5.2 näher beschrieben.

Eine weitere Herausforderung für viele Akteure ist die Beschaffung von Wasserstoff bzw. der Zugang zum Wasserstoffmarkt. Da es keinen zentralen Marktplatz (vergleichbar der Strombörse) und bisher nur wenige entsprechende Infrastrukturen gibt, ist es insbesondere für kleine Unternehmen schwierig, Wasserstoff zu verkaufen oder zu beziehen. Zudem existiert aufgrund dieser Bedingungen derzeit kein einheitlicher und transparenter Wasserstoffpreis. Dies erschwert die Kalkulation von Geschäftsmodellen.

Um einer größeren Anzahl von Akteuren die Möglichkeit zu geben, Wasserstoff zu handeln, sollen Voraussetzungen für einen diskriminierungsfreien Zugang zum Wasserstoffmarkt geschaffen werden. Dies beinhaltet neben einer Handelsplattform auch physische Infrastrukturen für die Anlieferung und den Bezug von Wasserstoff.

3.2.2. Betankungs- und Verteilinfrastruktur

Grundlegendes Problem der Wasserstoffmobilität ist das viel zitierte „Henne-Ei-Problem“: Ist kein hinreichend gutes Netz an Wasserstofftankstellen und dementsprechend auch keine sichere Versorgung mit Wasserstoff vorhanden, werden keine Fahrzeuge gekauft. Solange es aber keine oder nur wenige Fahrzeuge gibt, ist die Motivation, Wasserstoff zu erzeugen oder über Tankstellen bereitzustellen, gering. Daher ist eine Vernetzung von Erzeugung und Verbrauch, die Planungssicherheit auf allen Seiten schafft, unabdingbar. Diese Vernetzung darf sich nicht auf die reinen Wasserstoffmengen konzentrieren, sondern muss insbesondere die Verteilungs- und Besicherungsfrage klären.

Im Bereich der Brennstoffzellen-PKW wird das „Henne-Ei-Problem“ bereits angegangen. Hier arbeiten Unternehmen der freien Wirtschaft, gefördert vom BMVI, unter dem Namen *H2 Mobility* zusammen, um eine flächendeckende Tankstelleninfrastruktur zu etablieren. Die bereitgestellten Tankstellen sind jedoch wegen der unterschiedlichen Druckstufen bei der Betankung sowie mit Blick auf die große benötigte Wasserstoffmenge von Brennstoffzellennutzfahrzeugen nicht zwangsläufig für alle Anwendungsfälle geeignet. Auf der einen Seite entscheiden sich Unternehmen zum Teil deshalb gegen die Anschaffung von Brennstoffzellennutzfahrzeugen, weil keine Betankungsinfrastruktur vorhanden ist. Der Einsatz eines Brennstoffzellenbusses, mit dem erste Erfahrungen mit der Technologie gesammelt werden könnten, ist in vielen Fällen nicht möglich. Auf der anderen Seite werden keine Wasserstofftankstellen für die Betankung der Brennstoffzellennutzfahrzeuge errichtet, solange kein hinreichender Absatzmarkt vorhanden ist. Dabei bieten Brennstoffzellenantriebe insbesondere für Nutzfahrzeuge (v. a. LKW und Busse) eine ideale Lösung für die Dekarbonisierung des Güterverkehrs. Die Bereitstellung einer robusten Betankungsinfrastruktur für Nutzfahrzeuge ist für den Aufbau einer Wasserstoffregion also zwingend erforderlich.

Das „StandortTOOL für Infrastrukturen alternativer Kraftstoffe“ der NOW GmbH [30] sieht bis 2030 hohe Ausbaupotentiale für Wasserstofftankstellen in der Region. Insbesondere im Rhein-Erft-Kreis und im Rheinisch-Bergischen-

Kreis sind die Potentiale hoch (siehe Abbildung 3-4). Dies gilt sowohl für das regressive[7] Szenario für Pkw (Abbildung 3-4, links) als auch für das progressive Szenario[8] für Lkw (Abbildung 3-4, rechts). Die weiteren Städte und Kreise der Region weisen ein mittleres Ausbaupotenzial auf.

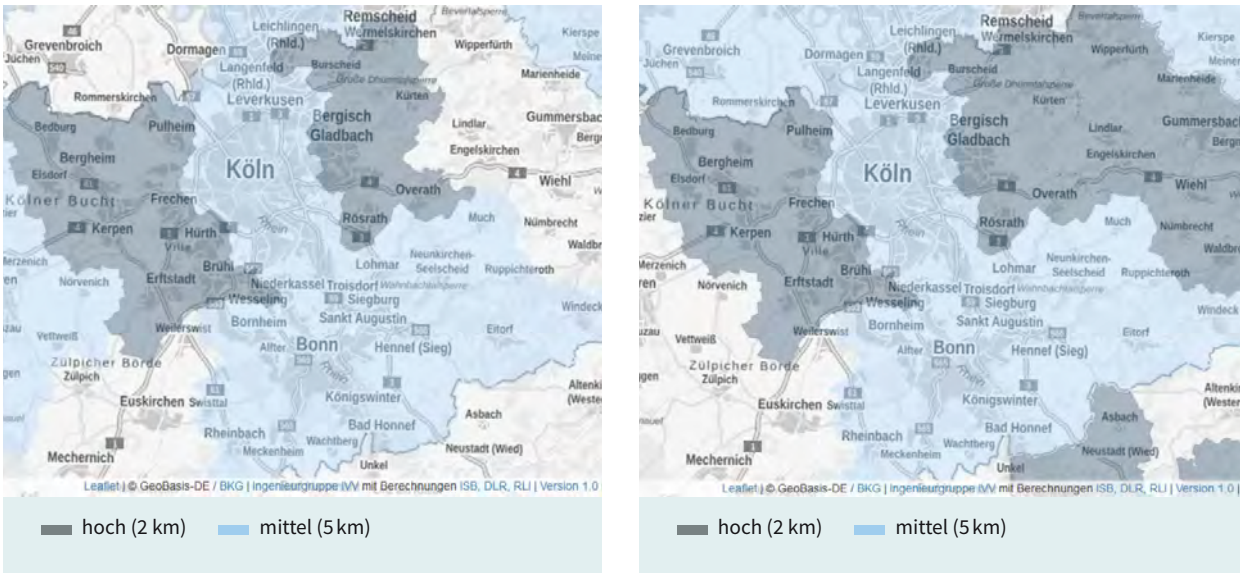


Abbildung 3-4 Ausbaubedarf für H_2-Tankstellen bis 2030 nach dem „StandortTOOL“ der NOW GmbH. Links: Pkw – regressives Szenario. Rechts: Lkw – progressives Szenario

Die heutige Wasserstoffverteilung über Trailerbelieferung ist dezentral organisiert und bietet begrenzte Transportkapazitäten. Neben der unvorteilhaften CO_2-Bilanz beim Einsatz von Dieselzugmaschinen erfordert das System bei größerer Wasserstoffnachfrage einen unverhältnismäßig hohen zusätzlichen Verkehrsaufwand. Dieses zusätzliche Verkehrsaufkommen kann der Akzeptanz von Wasserstoff schaden. Bei einem hohen Wasserstoffdurchsatz ist der Transport über Pipelines vorteilhafter. Diese bieten sehr hohe Transportkapazitäten bei einer hohen Akzeptanz (entsprechend den Erdgaspipelines). Zudem ermöglichen Pipelines den Import und Export von Wasserstoff. Aktuell existieren in der Region *H2R – Wasserstoff Rheinland* keine aktiv genutzten Wasserstoffpipelines. Allerdings schließt direkt im Kölner Norden die Rhein-Ruhr-Pipeline an, die sich über 240 km [31] durch das nördliche Rheinland und das Ruhrgebiet erstreckt. Der Standort zwischen dem Ruhrgebiet, der Region Aachen und den Benelux-Staaten und die Position als Tor Richtung Süden (Rhein-Main-Gebiet) prädestiniert die Region *H2R – Wasserstoff Rheinland* für eine Integration in ein nationales und europäisches Pipelinenetz.

3.2.3. Fahrzeugkosten und Verfügbarkeiten

Auch wenn heute schon Brennstoffzellenbusse im ÖPNV auf den Straßen unserer Region unterwegs sind, ist die bundesweite Nachfrage nach Wasserstoff im Mobilitätsbereich noch sehr gering. Dies gilt auch für die für Wasserstoffmobilität besonders geeignete Segmente wie Nutzfahrzeuge. Die Investitionskosten für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge liegen deshalb heute noch deutlich über denen von vergleichbaren Referenzfahrzeugen mit Verbrennungsmotoren, die in großen Stückzahlen produziert werden. Dies liegt neben den erforderlichen technologischen Umstellungen vor allem an fehlenden Skaleneffekten und den wenig automatisierten Produktionsprozessen. Für höhere Stückzahlen werden deutlich geringere Preise erwartet. Die mögliche Preisentwicklung („Lernkurve“) von Wasserstofffahrzeugen wird am Beispiel von BZ-Bussen in Abbildung 3-5 dargestellt. Dort sind die Preise in den letzten 20 Jahren um ca. 65 % gefallen. Durch Skaleneffekte werden in den nächsten Jahren weitere Kostensenkungen erwartet [32].

[7] „verhaltene Erwartungen an die Verbreitung der H_2-Technologie“

[8] „ambitionierte Erwartungen an die Verbreitung der H_2-Technologie“

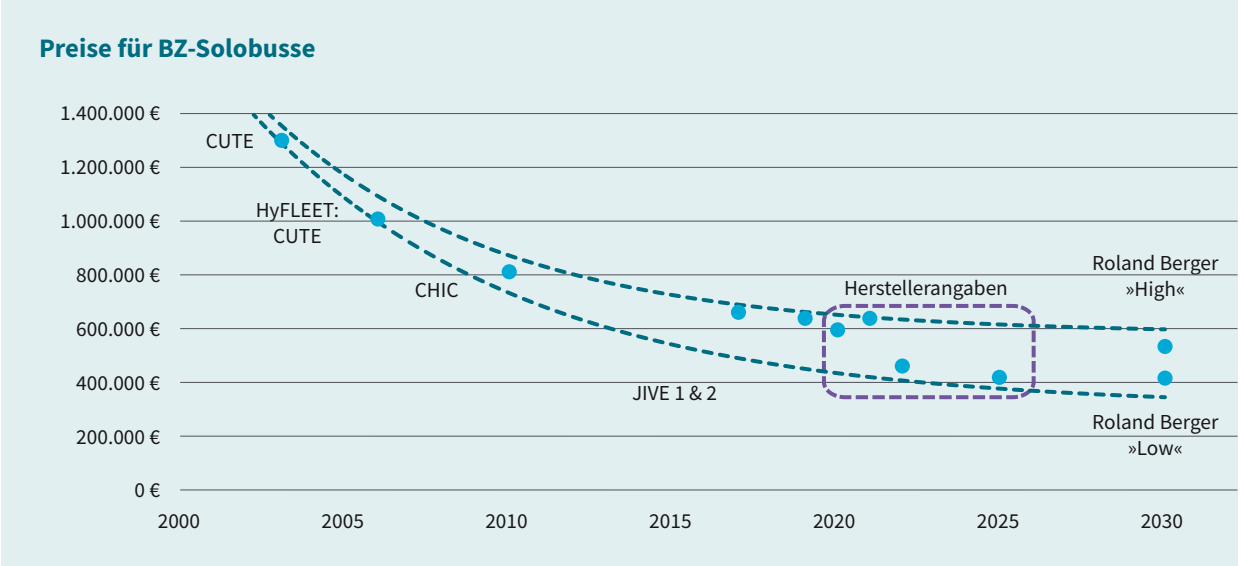


Abbildung 3-5 „Lernkurve“ für die Entwicklung der Kosten für Brennstoffzellenbusse (12m Solobus)

In einigen Bereichen der Wasserstoffmobilität (z. B. bei Müllsammelfahrzeugen, Vorfeldfahrzeugen) sind momentan noch wenige bis keine Wasserstofflösungen am Markt verfügbar. Fahrzeughersteller scheuen die Entwicklung und das Angebot passender Produkte in Anbetracht hoher Entwicklungskosten und einer noch geringen Nachfrage. Durch die Kooperation mehrerer Akteure und die Kumulierung der Fahrzeuganzahl können allerdings attraktive Nachfragemengen entstehen. In anderen Projekten zeigt sich, dass die von mehreren Akteuren gestützte gemeinsame Anfrage bei den Herstellern auf positive Resonanz stößt. So führt in der Schweiz ein Joint Venture von H2 Energy und Hyundai zur Beschaffung von 1.600 BZ-LKW [33].

Weitere Herausforderungen für Erzeuger, Verteiler und Nutzer von Wasserstoff sind als „Lessons Learned“ aus bestehenden Wasserstoffprojekten im Anhang (Abbildung A-10) angefügt.

Ergebnisse und Herausforderungen

- Viele Wasserstofftechnologien sind technisch ausgereift, stehen jedoch vor der Herausforderung der Kommerzialisierung. Die öffentliche Hand kann hier eine initiale Nachfrage schaffen.
- Die Akteure sehen sich Herausforderungen gegenüber, die wir mit unserem Technologiekonzept angehen wollen.
- Die gesicherte Bereitstellung von Wasserstoff ist Grundvoraussetzung, damit Akteure Geschäftsmodelle für Wasserstoffanwendungen entwickeln können.
- Für eine klimafreundliche Nutzung muss der Anteil an grünem oder CO2-armem Wasserstoff stetig steigen. Der klimafreundliche Wasserstoff muss dabei bezahlbar bleiben.
- Ein Hochlauf von BZ-Fahrzeugen erfordert ein flächendeckendes Tankstellennetzwerk. Im Rhein-Erft-Kreis und im Rheinisch-Bergischen Kreis sind die Potenziale für die Errichtung von PKW- und LKW-Tankstellen hoch.
- Steigende Transportmengen erfordern, u. a. aus Akzeptanzgründen, eine Substitution bzw. Ergänzung des Trailertransports durch eine Pipeline.
- Die Kumulierung von Fahrzeugbeschaffungen kann sowohl zu vermehrten Fahrzeugangeboten als auch zu geringeren Preisen führen.

3.3. Unser Technologiekonzept baut auf den Stärken der Region auf

Zur Lösung der Herausforderungen in den Bereichen Klima- und Lärmschutz und Luftreinhaltung schlagen wir das im folgenden vorgestellte Technologiekonzept vor, das auf den in Kapitel 2.2 ermittelten Potenzialen basiert. Die wesentlichen Bestandteile des Konzepts stellt Abbildung 3-6 übersichtlich dar.

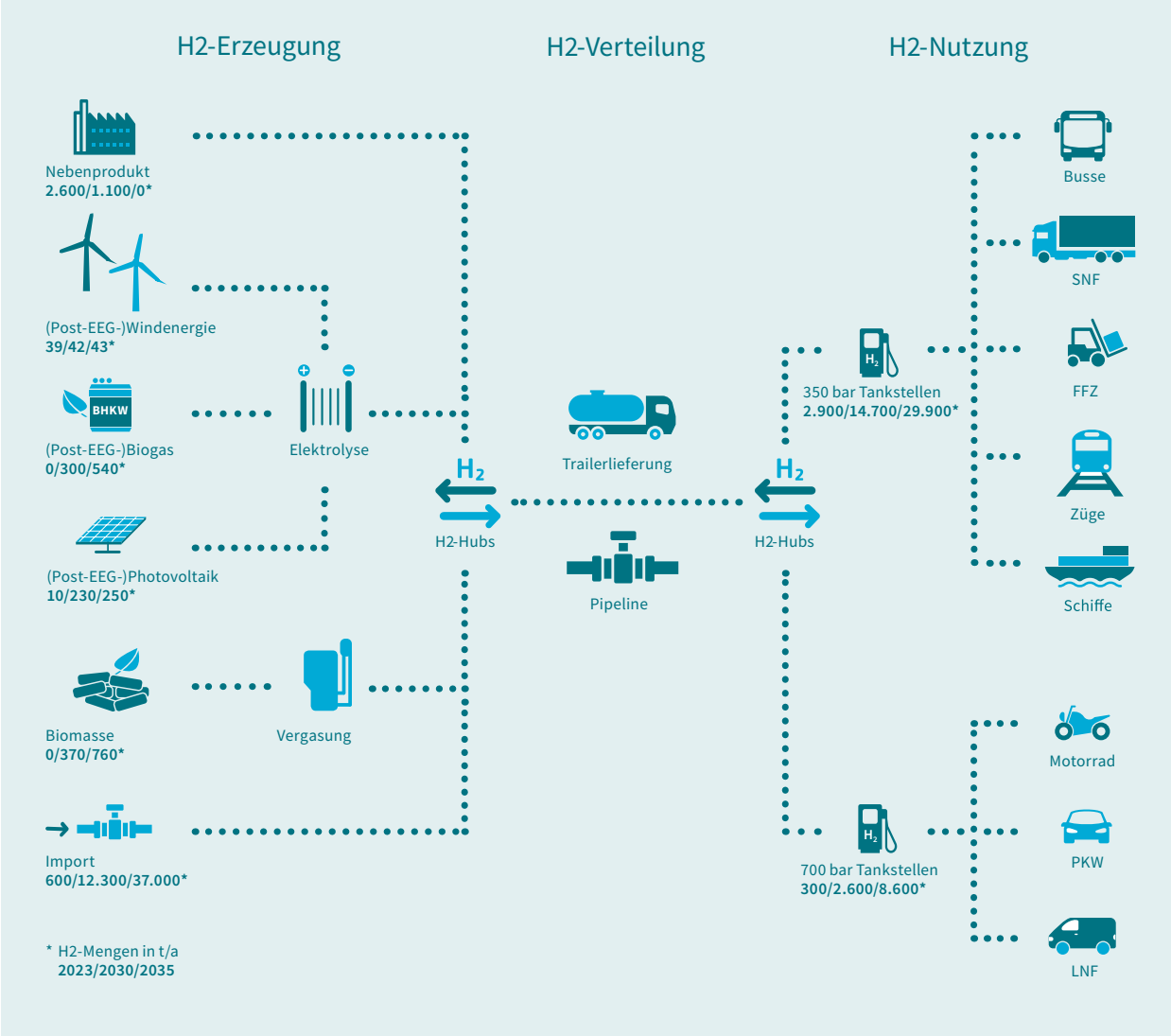


Abbildung 3-6 Bestandteile unseres Technologiekonzepts

Die Erzeugung des Wasserstoffs erfolgt im Jahr 2023 insbesondere durch Nebenproduktwasserstoff der chemischen Industrie, vornehmlich aus Chloralkali-Elektrolyseanlagen. Auf diese Weise können wir kurzfristig in der Region verfügbaren Wasserstoff zur Deckung der anfänglichen Wasserstoffnachfrage nutzen. Da der Nebenproduktwasserstoff jedoch einen vergleichsweise hohen CO_2-Fußabdruck aufweist, wird er bis zum Jahr 2035 zunehmend durch grünen Wasserstoff aus Anlagen der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien substituiert, die nach 20 Jahren aus der Förderung gemäß dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) herausfallen. Das können Windenergieanlagen, Freiflächen-PV-Anlagen und mit Biomasse gefeuerte KWK-Anlagen oder Blockheizkraftwerke sein, deren produzierter Strom mittels Wasserelektrolyse zur Erzeugung von Wasserstoff genutzt wird. Dabei gehen wir davon aus, dass nach Ablauf der EEG-Förderphase 50 % dieser Anlagen ersetzt oder rückgebaut werden und daher nicht für die Erzeugung von Wasserstoff zur Verfügung stehen [34]. Die anderen 50 % der Anlagen stehen uns jedoch zur Verfügung und können zur Reduzierung des CO_2-Fußabdrucks des in unserer Region genutzten Wasserstoffs beitragen. Wird mehr Wasserstoff in der Region benötigt, muss dieser importiert werden. Der Wasserstoff wird

aufgrund der auf Bundes- und Landesebene noch offenen politischen Zielsetzungen als Gemisch aus zu gleichen Teilen grünem und blauem Wasserstoff angesehen.

Tabelle 3-1 Tabellarische Übersicht zentraler Kenngrößen unseres Technologiekonzepts

Kategorie	Kenngröße	Einheit	2023	2030	2035
Erzeugung	Nebenprodukt	[t H_2 / a]	2.600	1.100	0
	Post-EEG-Windenergie	[t H_2 / a]	39	42	43
	Post-EEG-Freiflächen-PV	[t H_2 / a]	10	230	250
	Post-EEG-Biomasse	[t H_2 / a]	0	300	540
	Biomassevergasung	[t H_2 / a]	0	370	760
	Import	[t H_2 / a]	600	15.600	37.700
	CO_2-Fußabdruck des erzeugten H_2	[t CO_2 / t H_2]	4,7	2,6	2,4
Verteilung	Mittl. Fahrleistung Trailer (Hin- und Rückweg)	[Fzkm / t H_2]	42	32	32
	Dieselverbrauch Trailer	[l / a]	38.900	0	0
	Wasserstoffverbrauch Trailer	[t H_2 / a]	0	42	90
	Stromverbr. Verdichtung	[MWh / a]	6.700	36.800	84.900
	CO_2-Emissionen Verd. Graustrom	[t CO_2 / a]	2.900	5.700	0
	CO_2-Emissionen Verd. Grünstrom	[t CO_2 / a]	0	193	446
Anwendung	Wasserstoffnachfrage 350 bar	[t H_2 / a]	2.900	14.700	29.900
	Wasserstoffnachfrage 700 bar	[t H_2 / a]	297	2.600	8.600
	Vermiedenes Kohlendioxid	[kt CO_2 / a]	35	188	442
	Vermiedene Stickoxide	[t NOx / a]	78	365	817
	Vermiedener Feinstaub	[t PM10 / a]	1	6	15
Gesamt	**CO_2-Fußabdruck des H_2**	**[t CO_2 / t H_2]**	**5,7**	**2,9**	**2,4**

Die Verteilung des Wasserstoffs in der Region erfolgt durch eine die Stadt Köln umringende Pipeline, in die spätestens ab dem Jahr 2030 Wasserstoff ein- und ausgespeist werden kann. Die Pipeline könnte an die Rhein-Ruhr-Pipeline im Kölner Norden sowie an das H_2-Pipelinenetz in den Niederlanden angeschlossen und folglich auch zur Verteilung des importierten Wasserstoffs genutzt werden, etwa des grünen (Offshore-)Wasserstoffs von der Nordsee. Weiterhin würde die Pipeline den südlichen Kölner Chemiegürtel mit der Rhein-Ruhr-Pipeline verbinden. An die Pipeline sind zentrale Hubs angeschlossen, an denen eine Ein- und Ausspeisung des Wasserstoffs erfolgt (vgl.

Kapitel 4.1.2). Trailer bringen den Wasserstoff von den H_2-Hubs zu den Wasserstofftankstellen der Region. Die je Trailertour zurückzulegende durchschnittliche Strecke sinkt von 2023 bis 2035 infolge des Wegfalls des am westlichen Rand der betrachteten Region hergestellten Nebenproduktwasserstoffs und der gebauten Pipeline von 42 km auf 32 km. Im Jahr 2023 sind die Trailer noch dieselbetrieben, in den Jahren 2030 und 2035 wird zu deren Antrieb jedoch Wasserstoff genutzt. Bei Einspeisung in die Pipeline sowie beim Betankungsvorgang von Wasserstofffahrzeugen ist eine Kompression des Wasserstoffs erforderlich. Der Zieldruck für die Pipeline liegt bei ca. 100 bar und für die Fahrzeuge je nach Klasse bei 350 oder 700 bar. Die für die Kompression benötigte elektrische Energie wird im Jahr 2023 zwar noch aus dem deutschen Strommix bezogen, bis zum Jahr 2035 streben wir jedoch die ausschließliche Nutzung erneuerbar erzeugten grünen Stroms an.

Um die Ambition unserer Region zu unterstreichen, wählen wir das – gemessen an den in Kapitel 2.2 betrachteten Potenzialen – hohe Marktdurchdringungsszenario, dem zufolge wir bis zum Jahr 2035 eine Wasserstoffnachfrage von Fahrzeugen in Höhe von 38.600 t H_2/a erwarten, von denen 29.900 t H_2/a zur Betankung von Fahrzeugen mit einem Betankungsdruck von 350 bar und 8.600 t H_2/a zur Betankung von Fahrzeugen mit einem Betankungsdruck von 700 bar benötigt werden. Bei einer Tank-to-Wheel-Betrachtung können dergestalt Kohlendioxidemissionen von 442 kt CO_2/a, Stickoxidemissionen von 817 t NO_x/a und Feinstaubemissionen von 15 t PM_{10}/a im Jahr 2035 vermieden werden. Der genutzte Wasserstoff besitzt im Jahr 2023 einen CO_2-Fußabdruck von 5,7 kg CO_2/kg H_2, der bis zum Jahr 2035 auf 2,4 kg CO_2/kg H_2 sinkt. Tabelle 3-1 fasst unser Technologiekonzept noch einmal zusammen. Für weitere Erkenntnisse haben wir zwei alternative Technologiekonzepte „Markt“ und „Umwelt“ entwickelt, die den Schwerpunkt auf heute verfügbare Technologien oder eine grüne, regionale Wasserstofferzeugung legen (vgl.Kapitel A.5).

Abschließend möchten wir einige Schlussfolgerungen festhalten, die sich aus der Entwicklung des Technologiekonzepts ergeben und eine Rolle für die Entwicklung unserer Roadmap spielen. Hierzu schließen wir auch Erkenntnisse aus der Potenzialbetrachtung in Kapitel 2.2 ein.

Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

- Durch die sofortige Bereitstellung von abfüllbarem Nebenproduktwasserstoff ist eine Steigerung der Wasserstoffnutzung möglich. Dessen Ablösung durch grünen Wasserstoff kann bis 2035 zu 100 % erreicht werden.
- Die Verteilung des Wasserstoffs soll durch den Bau einer Pipeline umweltfreundlich, wirtschaftlicher und international werden. Bis zur Fertigstellung der Betankungs- und Verteilinfrastruktur werden Trailerfahrten mit Dieselfahrzeugen reduziert und sukzessive von Dieselbetrieb auf grünen Wasserstoffbetrieb umgestellt.
- Die Wasserstoffnachfrage wird anhand dreier Szenarien ermittelt. Im günstigsten Fall kann der CO2-Fußabdruck durch eine hohe Nachfrage bis 2035 um mehr als die Hälfte verkleinert werden.

4. Unsere Roadmap: Maßnahmen umsetzen und Ideen verwirklichen

In diesem Kapitel werden die vorhandenen ca. 100 Maßnahmen der Akteure vorgestellt. Es wird veranschaulicht, welche Maßnahmen in den nächsten Jahren umgesetzt werden und welche weiteren Projektideen bestehen. Darauf aufbauend wird eine Roadmap bzw. ein Fahrplan entwickelt. Die Roadmap legt dar, inwiefern die regionalen Wasserstoffaktivitäten zur Umsetzung des Technologiekonzepts und zur Hebung der aufgezeigten Potenziale (vgl. Kapitel 2.2 und Kapitel 3.3) beizutragen vermögen. Anhand von Meilensteinen werden die Maßnahmen gekennzeichnet, die den Markthochlauf der Wasserstofftechnologie in unserer Region beschleunigen können. Darauf aufbauend wird in Kapitel 0 eine detaillierte Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt.

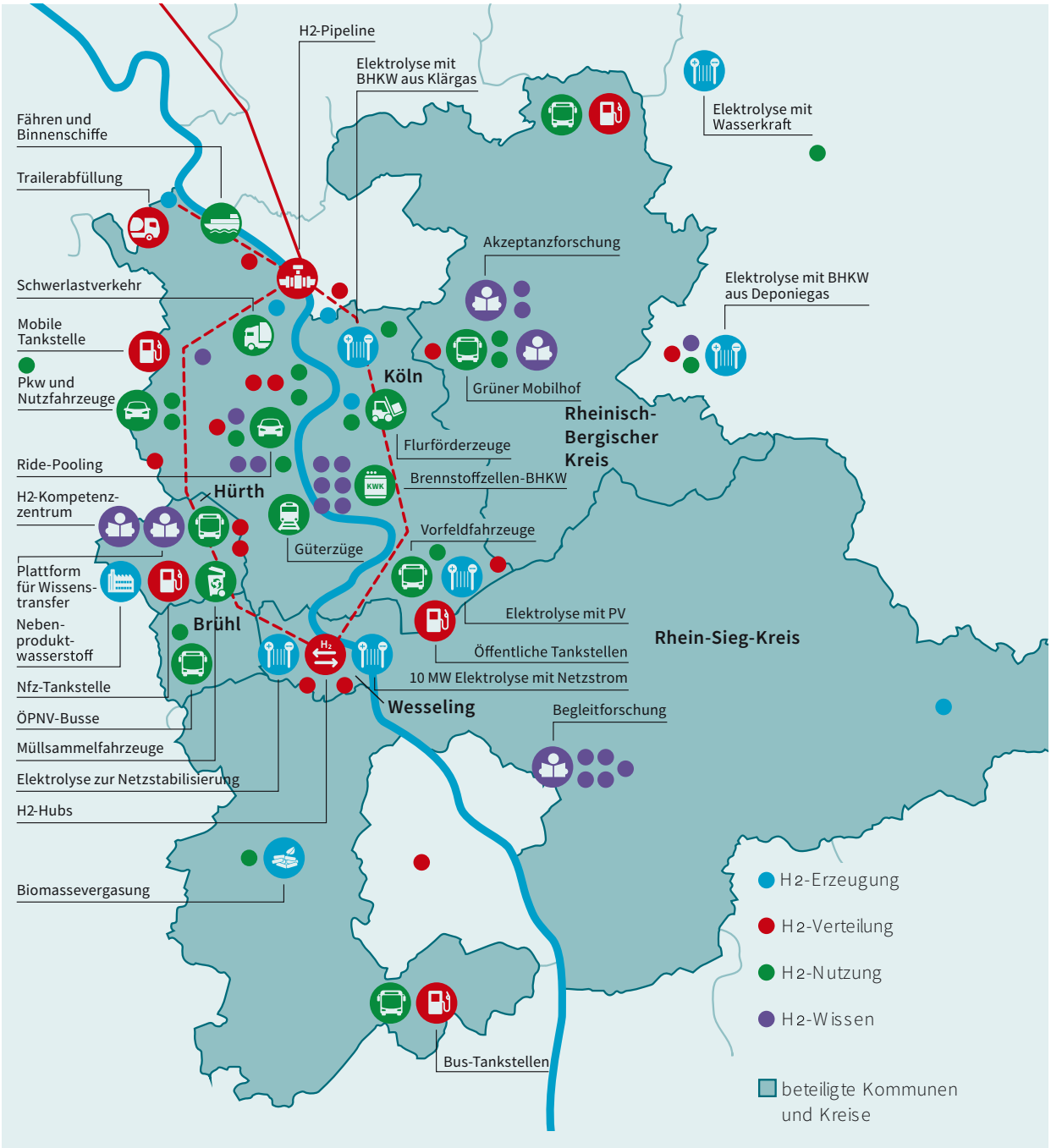


Abbildung 4-1 Übersichtskarte über die Maßnahmen in der Region *H2R – Wasserstoff Rheinland*

4.1. Unsere Maßnahmen decken alle Aspekte einer Wasserstoffregion ab

Die regionalen Maßnahmen und Projektideen werden nachfolgend hinsichtlich ihrer Wertschöpfungsstufen gegliedert und geclustert beschrieben. Nach jedem Abschnitt werden die Maßnahmen in tabellarischer Form aufgeführt. Ergänzend sind weitere Informationen in den Projektsteckbriefen in Anhang B und in den Absichtserklärungen in Anhang C dargestellt.

4.1.1. Wasserstofferzeugung

Im Folgenden werden die Maßnahmen zur Wasserstofferzeugung in die Themen Nebenproduktwasserstoff, Wasserelektrolyse mit Netzstrom, Wasserelektrolyse mit erneuerbaren Energien, Wasserstoff aus Biomasse geclustert.

Nebenproduktwasserstoff

Um eine sofortige, großskalige und CO_2-arme Wasserstoffversorgung zu gewährleisten, soll zunächst auf den in der regionalen chemischen Industrie als Nebenprodukt anfallenden Wasserstoff zurückgegriffen werden. Durch Nutzung des kostengünstigen Nebenproduktwasserstoffs, z. B. aus dem Chemiepark Knapsack, dem Chempark Dormagen, von Evonik Lülsdorf und der Raffinerie Wesseling lassen sich bei vorteilhafter Emissionsbilanz (vgl. Kapitel 5.1) die Gesamtkosten von Wasserstoffanwendungen deutlich reduzieren. Damit erhöhen sich die Erfolgschancen eines breiteren Markteintritts wesentlich, weil einer Steigerung des Anteils an erneuerbarem Wasserstoff der Weg bereitet wird. Die sukzessive Dekarbonisierung der chemischen Produktionsprozesse sorgt darüber hinaus für eine kontinuierliche Verbesserung der Energiebilanz.

Hierzu gibt es folgende Maßnahmen:

- Der im Chemiepark Knapsack in Hürth-Knapsack anfallende Wasserstoff aus der Chloralkali-Elektrolyse wird schon seit zehn Jahren genutzt, um Brennstoffzellenbusse der RVK zu betanken. Diese Potenziale sollen weiter erschlossen werden, damit weitere Anwender mit Wasserstoff versorgt werden können.
- Im Chemiepark Dormagen werden weitere Kapazitäten erschlossen. Auch hier fällt Wasserstoff als Nebenprodukt einer Chloralkali-Elektrolyse an. Um diesen nutzbar zu machen, errichtet Linde eine Trailerabfülleinrichtung. Durch diese sollen bis zu 5 Tonnen Wasserstoff pro Tag in die rheinische Region geliefert werden können. Im Anhang B.38 wird beispielhaft ein 300-bar-Trailer der Firma Linde gezeigt. Ferner ist geplant, den Wasserstoff grün zu zertifizieren und die Elektrolyse auf diesem Weg mit grünem Strom zu betreiben. Die geplante Inbetriebnahme der Abfülleinrichtung ist Mitte 2021.
- Bei der Herstellung von Ethylen und Propylen bei INEOS in Köln-Worringen fallen große Mengen Rohwasserstoff (Zusammensetzung: ca. 33 % Wasserstoff, ca. 66 % Methan) an. Hieraus könnten sich jährlich bis zu ca. 13.000 Tonnen reinen Wasserstoffs erzeugen lassen. Die Export- und regionalen Absatzmöglichkeiten des Wasserstoffs werden von INEOS derzeit analysiert.

Fazit zum Nebenproduktwasserstoff

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Region *H2R – Wasserstoff Rheinland* über große Potenziale zur Erzeugung von Nebenproduktwasserstoff verfügt und diese in den kommenden Jahren ausbauen und nutzen wird. CO_2-armer oder grün zertifizierter Nebenproduktwasserstoff ist sofort verfügbar. Das jährliche Gesamtpotenzial der vorhandenen Maßnahmen und Projektideen wird auf ca. 15 kt Wasserstoff geschätzt. Wie in 2.2.3 bereits erwähnt, sind zur Erschließung des gesamten Potenzials gezielte Investitionen notwendig. Eine Übersicht der Maßnahmen ist Tabelle 4-1 zu entnehmen. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-1 Maßnahmen für Nebenproduktwasserstoff

Nebenproduktwasserstoff				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	Nebenproduktwasserstoff	Chemiepark Dormagen	Nebenproduktwasserstoff aus Chlor-Alkali-Elektrolyse von Linde.	B.1
2	Nebenproduktwasserstoff	HyCologne	Im Industriepark Knapsack fallen bei der Chlor-Alkali Elektrolyse große Mengen Wasserstoff als Nebenprodukt an. Der Wasserstoff wird bereits heute für die Betankung von BZ-Bussen genutzt.	B.2
3	Nebenproduktwasserstoff	INEOS	Im Krackprozess, mit den wesentlichen Hauptprodukten Ethylen und Propylen, fallen größere Mengen an Wasserstoff als Nebenprodukt an. Diese Mengen werden heute schon am Standort bspw. zur Ammoniakherstellung und zur Hydrierung sowie als CO_2-freier Brennstoff eingesetzt. Darüber hinaus wäre ein Export denkbar.	B.3

Wasserelektrolyse mit Netzstrom

Sowohl Shell als auch Innogy wollen zukünftig Wasserstoff per Netzstrom erzeugen. Auf dem Gelände der Rheinland Raffinerie in Wesseling errichtet Shell mit Unterstützung der Europäischen Union unter dem Projektnamen „REFHYNE“ den Bau einer 10-MW-PEM-Wasserelektrolyseanlage. Die Produktionskapazität der Anlage liegt bei etwa vier Tonnen Wasserstoff pro Tag. Durch den Einsatz von erneuerbarem Strom soll eine CO_2-neutrale Wasserstofferzeugung erreicht werden. Der hochreine Wasserstoff kann für Anwendungen im Verkehrssektor und in der Industrie zur Verfügung gestellt werden. In Abbildung 4-2 ist ein Modell des 10–MW-Elektrolyseurs dargestellt. Innogy plant derzeit die Errichtung von Elektrolyseuren zur Entlastung des elektrischen Verteilnetzes. Der Elektrolyseur soll an einem oder mehreren noch zu bestimmenden neuralgischen Punkten aufgebaut werden. Es wird derzeit mit Elektrolysekapazitäten zwischen 5 und 50 MW geplant. Die Inbetriebnahme ist voraussichtlich 2021.



Abbildung 4-2 Modell des 10 MW Elektrolyseurs in der Shell Rheinland Raffinerie (Quelle: Shell)

Fazit zur Wasserelektrolyse mit Netzstrom

Die Nutzung von Netzstrom zur Wasserstofferzeugung wird heute bereits großskalig umgesetzt und geplant. Der Wasserstoff kann durch die Nutzung von grün zertifiziertem Strom CO_2-neutral erzeugt werden. Darüber hinaus bieten sich Potenziale für Elektrolyseanlagen zur Unterstützung regionaler Stromnetze an neuralgischen Punkten. Insgesamt können durch die vorhandenen Maßnahmen in den nächsten Jahren Elektrolyseanlagen mit einer Gesamtleistung von bis zu 60 MW errichtet werden. Eine Übersicht der Maßnahmen ist Tabelle 4-2 zu entnehmen. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-2 Maßnahmen zur Elektrolyse mit Netzstrom

Elektrolyse mit Netzstrom				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	Elektrolyse mit Netzstrom	Innogy	Innogy plant die Lokalisierung geeigneter Orte zum dauerhaften Betrieb einer oder mehrerer netzdienlicher Elektrolyseure mit insgesamt bis zu 50 MW Leistung.	B.4
2	Elektrolyse mit Netzstrom	Shell	Shell plant den Betrieb eines PEM Elektrolyseurs mit 10 MW elektrischer Leistung in der Shell Rheinland Raffinerie in Wesseling. Der Spatenstich für das von der EU geförderte Projekt "REFHYNE" erfolgte 2019.	B.5

Wasserelektrolyse aus Erneuerbaren Energien

Es gibt insgesamt neun Maßnahmen und Projektideen zur Erzeugung von Wasserstoff mit Elektrolyse aus erneuerbaren Energiequellen. Zwei davon werden nachfolgend exemplarisch vorgestellt:

- Wasserstoff aus Photovoltaikstrom:
  Der Flughafen Köln/Bonn prüft die Errichtung einer Photovoltaikanlage mit einer Leistung von bis zu 5 MW. Der erzeugte Strom soll zur Gewinnung von Wasserstoff genutzt werden, der direkt vor Ort zur Betankung von Vorfeldfahrzeugen eingesetzt werden kann.
- Wasserstoff aus Wasserkraft:
  Ein weiteres hervorzuhebendes Projekt wird derzeit vom Wupperverband geprüft. Es wird untersucht, ob eine Elektrolyseanlage für 1 bis 1,5 MW am Laufwasserkraftwerk der Wuppertalsperre errichtet werden kann.

Weitere Elektrolyseanlagen könnten beispielsweise bei den Stadtentwässerungsbetrieben Köln (StEB), der Koelnmesse und bei dem Verbund von HGK, RheinCargo und neska errichtet werden. Außerdem werden derzeit Gespräche mit regionalen Windparkbetreibern geführt, die grundsätzliches Interesse an der Erzeugung von Wasserstoff geäußert haben. Darüber hinaus planen der Bergische Abfallwirtschaftsverband (BAV), das Entsorgungsunternehmen AVEA sowie die TH Köln die Erzeugung von Wasserstoff per Elektrolyse aus der Deponiegasverstromung und der Photovoltaikstromgewinnung. Unterstützt wird das Projekt zusätzlich vom Oberbergischen Kreis. Der Elektrolyseur mit 500 kW Leistung soll am Standort des BAV und des Projekts :metabolon auf dem Entsorgungszentrum Leppe errichtet werden. Durch die zusätzliche Errichtung einer Tankstelle werden dort zukünftig bis zu zehn Müllsammelfahrzeuge und Busse täglich betankt werden.

Eine Sonderrolle nimmt die Erzeugung von Wasserstoff aus konzentrierter Solarstrahlung ein. Durch konzentrierte Solarstrahlung können hohe Temperaturen erzeugt werden, die die Produktion von grünem Wasserstoff sowohl durch Hochtemperaturelektrolyse als auch durch thermochemische Prozesse effizienter machen. Das Deutsche

Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR) entwickelt zusammen mit Partnern aus der Region Köln Materialien, Komponenten und Anlagen für diese Prozesse.

Fazit zur Wasserelektrolyse aus Erneuerbaren Energien

Insgesamt lässt sich festhalten, dass sich die Ergebnisse der Potenzialanalyse in den Maßnahmen regionaler Akteure widerspiegeln. Aufgrund des geringen Potenzials für die Erzeugung von Wasserstoff mit Post-EEG-Anlagen, prüfen und planen die regionalen Akteure bisher primär den Neubau oder die Erweiterung von Bestandsanlagen zur Erzeugung von grünem Wasserstoff auf der Basis von Sonnenenergie, Wasserkraft und Windkraft. Es wird geschätzt, dass durch die aktuellen Maßnahmen und Projektideen in den nächsten Jahren Elektrolysekapazitäten von bis zu 6,5 MW entstehen könnten, die bis zu 1 t Wasserstoff pro Tag erzeugen. Eine Übersicht zu den Maßnahmen ist Tabelle 4-3 zu entnehmen. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-3 Maßnahmen zur Elektrolyse aus Erneuerbaren Energien

Elektrolyse aus Erneuerbaren Energien				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	Elektrolyse mit BHKW & PV	Bergischer Abfallwirtschaftsverband, AVEA, :metabolon Institut, TH Köln	Mit Strom aus der Deponiegasverstromung soll grüner Wasserstoff per Elektrolyse erzeugt werden. Weitere Mengen können durch Forschungsaktivitäten der Bergischen Ressourcenschmiede aus der Biogasnutzung generiert werden. Die Errichtung einer Wasserstofftankstelle ermöglicht die Bereitstellung.	B.6
2	Elektrolyse mit PV	HGK	In Brühl wird die Erzeugung von grünem Wasserstoff in Verbindung mit einer Photovoltaikanlage geprüft.	B.7
3	Elektrolyse mit PV	HGK	In Köln-Niehl wird die Erzeugung von grünem Wasserstoff in Verbindung mit einer Photovoltaikanlage geprüft.	B.8
4	Elektrolyse mit PV	Koelnmesse	Die Koelnmesse plant in Kooperation mit externen Ingenieurbüros und der Beteiligung der RheinEnergie eine nachhaltige Energieversorgung ihres Standortes. Hierbei wird auch der Einsatz von Photovoltaik-Anlagen mit einer gekoppelten Wasserstoffelektrolyse geprüft.	B.9
5	Elektrolyse mit PV und BHKW	Flughafen Köln/Bonn	Am Flughafen Köln/Bonn wird die Erzeugung von grünem Wasserstoff mittels erneuerbarer Energien (PV) geprüft. Der Wasserstoff soll u. a. für die Versorgung der Vorfeldfahrzeuge eingesetzt werden.	B.10
6	Elektrolyse mit PV und BHKW	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR	Auf den Kläranlagen der Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR (StEB Köln) wird die Machbarkeit der dezentralen Erzeugung von grünem Wasserstoff durch Wasserstoffelektrolyse aus PV und BHKW-Überschuss-Strom mit Nutzung des Sauerstoffs im Abwasserreinigungsprozess geprüft.	B.11
7	Elektrolyse mit Wasserkraft	Wupperverband	Der Wupperverband betreibt am Standort der Wupper-Talsperre eine Talsperre zum Hochwasserschutz und zur Niedrigwasseraufhöhung. Zur Regulierung der Abgabemengen setzt der Wupperverband eine	B.12

			Wasserkraftanlage ein. Ein Elektrolyseur kann die Herstellung von grünem Wasserstoff ermöglichen.	
8	Erzeugung von grünem H_2 mit Wind und PV	ABO Wind	Es sollen Windparks und PV-Anlagen gebaut werden zur Erzeugung von grünem Strom für Industrie und Mobilität.	B.13
9	Regionaler Elektrolyseurhersteller	AREVA H2Gen	AREVA H2Gen liefert von PEM-Elektrolysesystemen zur Produktion von Wasserstoff per Wasserelektrolyse mit der Option einer zusätzlichen Abwärmenutzung im Wärmesektor.	B.14
10	Elektrolyseur mit konzentrierter Sonnenstrahlung	DLR	Durch konzentrierte Solarstrahlung können hohe Temperaturen erzeugt werden, welche die Produktion von grünem Wasserstoff sowohl durch Hochtemperaturelektrolyse als auch durch thermochemische Prozesse effizienter machen.	B.15

Wasserstoff aus Biomasse

An mehreren Standorten in der Region werden Möglichkeiten analysiert, Biomasse durch Vergasung als Ausgangsstoff für die Wasserstofferzeugung zu verwerten. Als Partner engagieren sich die regionalen Entsorgungsgesellschaften und Abfallwirtschaftsverbände, beispielsweise die StEB und die Rhein-Sieg-Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH (RSAG). Ergänzend hat auch der Oberbergische Kreis großes Interesse an der Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse geäußert. Als Ausgangsstoffe könnten z. B. Holz, Grünschnitt, Klärschlamm oder auch Müll genutzt werden. Die Umsetzbarkeit dieser Vorhaben soll im Rahmen von Machbarkeitsstudien geprüft werden.

Fazit zu Wasserstoff aus Biomasse

Die Erzeugungsmöglichkeiten und Potenziale von Wasserstoff aus Biomasse werden in den nächsten Jahren gezielt analysiert. Wie in Abschnitt 2.2.3 erläutert, liegt alleine das jährliche Potenzial für Post-EEG-Biomasseanlagen bis 2035 bei ca 1 kt Wasserstoff. Eine Übersicht zu den Maßnahmen ist Tabelle 4-4 zu entnehmen. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-4 Maßnahmen zur Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse

Wasserstoff aus Biomasse				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	Biomassevergasung aus Holz und Grünschnitt	RSAG	Die RSAG möchte die Möglichkeiten zur Wasserstofferzeugung durch Biomassevergasung aus Grünschnitt/Holz im Rhein-Sieg-Kreis untersuchen.	B.16
2	Wasserstoff aus Kläranlage	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR	Auf den Kläranlagen der Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR (StEB Köln), wird die Machbarkeit der dezentralen Erzeugung von grünem Wasserstoff durch Biogasreformierung auf der Basis von Faulgas und durch Vergasung von Klärschlamm (Biomasse) geprüft.	B.17
3	Thermochemische Vergasung zur H_2-Erzeugung aus Biomasse	Blue Energy Europe GmbH	Die BEE entwickelt, baut und betreibt thermochemische Vergasungsanlagen mit dem Ziel aus energiehaltigen Stoffen (Biomasse, Waldrestholz, Klärschlamm usw.) Wasserstoff herzustellen.	B.18

4.1.2. Wasserstoffverteilung

Zur Etablierung der Wasserstoffregion sind insgesamt 24 Maßnahmen für den Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur und entsprechend für die Verteilung und den Transport von Wasserstoff geplant. Sie werden nachfolgend gebündelt dargelegt.

H_2-Tankstellen

Zur Betankung der Wasserstofffahrzeuge werden in der gesamten Region mehrere Wasserstofftankstellen betrieben und errichtet. Grundsätzlich können an H_2-Tankstellen verschiedene Fahrzeuge betankt werden. Zum Zweck der Optimierung für das jeweilige Einsatzgebiet wird jedoch unterschieden in

- private Tankstellen (z. B. auf dem Busdepot)
- öffentliche Tankstellen (z. B. H2 Mobility)
- PKW-Tankstellen mit 700-bar-Betankung
- NFZ-Tankstellen mit 350-bar-Betankung
- Betankung von Zügen und Schiffen

In der Region gibt es aktuell ca. acht H_2-Tankstellen in Betrieb oder kurz vor Inbetriebnahme. Davon sind etwa fünf öffentlich und drei privat. In Abbildung 4-3 ist beispielhaft die bereits in Betrieb befindliche Tankstelle am Flughafen Köln/Bonn abgebildet.

Für Ausbau und Betrieb des öffentlichen Tankstellennetzes ist eine enge Zusammenarbeit mit der Betreibergesellschaft H2 Mobility, die auch Unterstützer des H2R-Zusammenschlusses ist, angestrebt. Die H2 Mobility baut und betreibt bereits Tankstellen in der Region und plant beispielsweise die Errichtung einer Tankstelle in Köln-Ehrenfeld.



Abbildung 4-3 Öffentliche Wasserstofftankstelle am Flughafen Köln/Bonn (Quelle: RVK)

Zudem planen oder realisieren zahlreiche Partner Tankstellen für ihre Flotten:

- Die Stadtwerke Hürth planen konkret neben der bereits bestehenden Tankstelle am Chemiepark Knapsack eine weitere Großtankstelle in Hürth, um die gesamte städtische Flotte (Busse, Müllsammelfahrzeuge, Dienstfahrzeuge) auf Wasserstoff umstellen zu können.
- Die RVK hat zur Versorgung ihrer BZ-Busse auf den Betriebshöfen in Wermelskirchen und in Meckenheim zwei Wasserstofftankstellen errichten lassen, die bei Abgabe des Feinkonzepts unmittelbar vor der Betriebsaufnahme stehen oder bereits in Betrieb sind. Darüber hinaus wird aktuell die Errichtung einer weiteren Tankstelle im Projekt „Grüner Mobilhof GL“ geplant. Mit dem Projekt hat sich die RVK das Ziel gesetzt, ausschließlich emissionsfreie Fahrzeuge auf einem Betriebshof einzusetzen. Die hierfür zu errichtende Wasserstoffinfrastruktur soll auch für die Betankung von Drittfahrzeugen anderer regionaler Unternehmen, beispielsweise Müllsammelfahrzeuge der AWB Bergisch-Gladbach, möglich sein. Zudem soll die Tankstelle potenziell auch zur Betankung weiterer Nutzfahrzeuge offenstehen und etwa der Nutzung durch externe schwere Nutzfahrzeuge zugänglich gemacht werden (siehe C.2.1). Hier ist in den nächsten Jahren in der Region *H2R – Wasserstoff Rheinland* mit einem erhöhten Bedarf zu rechnen. Zur Versorgung der Fahrzeuge wird die Nutzung von regional erzeugtem grünem Wasserstoff angestrebt. Hierfür ist die RVK in Gesprächen mit verschiedenen Akteuren wie beispielsweise :metabolon, dem BAV und dem Wupperverband. Dank der engen Kooperation der RVK mit regionalen Akteuren soll die Errichtung einer nachhaltigen Wasserstoffwertschöpfung im Rheinisch-Bergischen und im Oberbergischen Kreis ermöglicht werden.
- Weitere Akteure, die die Errichtung einer Tankstelle prüfen sind der Flughafen Köln/Bonn, :metabolon, der Verbund aus HGK, Rheincargo und neska, die Kölner Verkehrsbetriebe KVB sowie die Hochschule Bonn-Rhein-Sieg. Die Maßnahmen sind in Tabelle 4-5 aufgefürt. Detaillierte Informationen zu den Maßnahmen können den Steckbriefen entnommen werden in der letzten Spalte der Tabelle entnommen werden.

Fazit zu H_2-Tankstellen

Die Region verfügt bereits über ca. acht Wasserstofftankstellen. Für den weiteren Aufbau der Tankstelleninfrastruktur planen regionale Akteure den Bau von ca. 8 weiteren Tankstellen. Eine Übersicht zu den Maßnahmen ist Tabelle 4-5 zu entnehmen. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-5 Maßnahmen für H_2-Tankstellen

H_2-Tankstellen				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	Vorfeld-Tankstelle	Flughafen Köln/Bonn	Zum Betrieb von Vorfeldfahrzeugen mit Brennstoffzelle ist eine Betankungsmöglichkeiten von Wasserstoff in Vorfeldnähe erforderlich. Die Kapazität muss mit der Anzahl der in Betrieb genommenen Geräte mitwachsen.	B.19
2	Flächendeckender Aufbau von H_2-Tankstellen für PKW	H2 Mobility	Die H2 Mobility koordiniert den flächendeckenden Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur zur Versorgung von BZ-PKW in Deutschland.	B.20
3	H_2-Tankstelle für PKW	H2 Mobility	Die Errichtung einer H_2-Tankstelle zur PKW-Betankung in Köln Ehrenfeld wird geprüft.	B.21
4	H_2-Tankstelle für PKW	H2 Mobility, Air Liquide	Die H2 Mobility koordiniert den flächendeckenden Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur zur Versorgung von BZ-PKW in Deutschland.	B.22

			An der Air Liquide Tankstelle in Frechen können PKW in 3 Minuten betankt werden.	
5	H_2-Tankstelle für PKW	H2 Mobility, Shell	Die H2 Mobility koordiniert den flächendeckenden Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur zur Versorgung von BZ-PKW in Deutschland. An der Shell Tankstelle in Leverkusen können Pkw in 3 Minuten betankt werden.	B.23
6	H_2-Tankstelle für PKW	H2 Mobility, Shell	Die H2 Mobility koordiniert den flächendeckenden Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur zur Versorgung von BZ-PKW in Deutschland. An der Shell Tankstelle in Wesseling können in Zukunft PKW in 3 Minuten betankt werden.	B.24
7	H_2-Tankstelle für PKW	H2 Mobility, Shell	Die H2 Mobility koordiniert den flächendeckenden Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur zur Versorgung von BZ-PKW in Deutschland. An der Shell Tankstelle in Bonn können in Zukunft PKW in 3 Minuten betankt werden.	B.25
8	H_2-Tankstelle für PKW	H2 Mobility, Total	Die H2 Mobility koordiniert den flächendeckenden Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur zur Versorgung von BZ-PKW in Deutschland. An der TOTAL Tankstelle am Flughafen Köln/Bonn können PKW, Busse und LKW betankt werden.	B.26
9	H_2-Tankstelle an der H-RBS	H-BRS	Auf dem Gelände der H-BRS in Sankt Augustin wird eine Wasserstofftankstelle errichtet.	B.27
10	H_2-Tankstelle für NFZ	HGK	Die bestehende LNG-Tankstelle im Hafen kann um Wasserstoff erweitert werden.	B.28
11	H_2-Tankstelle für NFZ	HGK	Der Bau einer Tankstelle für H_2-Lokomotiven soll geprüft werden. Evtl. kann die Anlieferung des erforderlichen Wasserstoffs auf einer existierenden Bahnlinie erfolgen.	B.29
12	H_2-Tankstelle für Busse	KVB	Die KVB prüft in einer Machbarkeitsstudie zur Wasserstoffinfrastruktur auf dem Betriebshof Hürth insbesondere die Machbarkeit der Errichtung einer Wasserstofftankstelle (hinsichtlich Infrastruktur und Wirtschaftlichkeit).	B.30
13	H_2-Tankstelle für Busse	Rhein-Sieg-Kreis, Rheinisch-Bergischer Kreis, RVK	Die Regionalverkehr Köln GmbH errichtet auf ihrem Betriebshof in Meckenheim eine Wasserstofftankstelle zur Betankung von Brennstoffzellenbussen mit 350 bar. Die Tankstelle wird Ende August/Anfang September im Betrieb sein.	B.31
14	H_2-Tankstelle für Busse	Rhein-Sieg-Kreis, Rheinisch-Bergischer Kreis, RVK	Die Regionalverkehr Köln GmbH errichtet auf ihrem Betriebshof in Wermelskirchen eine Wasserstofftankstelle zur Betankung von Brennstoffzellenbussen mit 350 bar. Die Tankstelle wird Ende August/Anfang September im Betrieb sein.	B.32

15	H_2-Tankstelle für Busse und NFZ	RVK	Die RVK plant die Errichtung eines grünen Betriebshofes im Bereich Bensberg. Dort sollen ausschließlich emissionsfreie Fahrzeuge eingesetzt und klimaneutrale Mobilitätskonzepte für die Region etabliert werden. Das Energiekonzept für den Betriebshof ist ebenfalls weitgehend regenerativ.	B.33
16	H_2-Tankstelle für NFZ	Stadtwerke Hürth	Die Errichtung einer weiteren Wasserstofftankstelle in Hürth stellt die Versorgungssicherheit der RVK-Busflotte sicher und bietet Optionen für eine LKW- & PKW-Betankung.	B.34
17	H_2-Tankstelle Knapsack	Stadtwerke Hürth, Air Products, InfraServ Knapsack, Nippon Gases, HyCologne	Die Tankstelle in Hürth wurde 2008 von HyCologne konzipiert, um den Nebenproduktwasserstoff aus der Chlor-Alkali-Elektrolyse kostengünstig der Mobilität und insbesondere dem ÖPNV zur Verfügung zu stellen. ermöglicht die Betankung von Bussen und LKW. Auch PKW mit einem passenden Tankstutzen können hier betankt werden.	B.35
18	Mobile H_2-Tankstelle	Toyota Tsusho & Wystrach	Toyota und Wystrach planen den Bau einer mobilen Tankstelle. Durch die mobile Tankstelle kann Wasserstoff räumlich flexibel und zeitlich befristet bereitgestellt werden.	B.36

H_2-Trailer

Die Verteilung und der Import des Wasserstoffs finden kurz- bis mittelfristig per Trailer statt. Aus diesem Grund werden insbesondere an großen Produktionsstätten Abfüllanlagen geplant und errichtet sowie Versorgungsketten zu Kunden aufgebaut, wie z. B. durch Linde (siehe Abschnitt 4.1.1 unter „Nebenproduktwasserstoff“) und Air Products. In Abbildung 4-4 ist beispielhaft ein 300-bar-Trailer der Firma Linde abgebildet.



Abbildung 4-4 Wasserstofftrailer von Linde (Quelle: Linde)

Eine Übersicht zu den Maßnahmen sind Tabelle 4-6 zu entnehmen. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-6 Maßnahmen H_2-Trailer

Weitere Maßnahmen				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	Wasserstofftransport per Trailer	Air Products	Air Products plant die Erweiterung der Wasserstoff-Hochdrucktrailer-Flotte.	B.37
2	H_2 Trailerabfüllung	Linde	Linde plant den Bau einer 300 bar Wasserstoff-Trailer-Abfüllung. Perspektivisch kann aus dieser Quelle auch grüner (zertifizierter) Wasserstoff angeboten werden. Bestandteil der Investition ist auch die Anschaffung von 300 bar Trailern bei einem Investitionsvolumen im 2-stelligen Millionenbereich.	B.38

H_2-Pipeline

Zur effizienten Verteilung von großen Mengen an Wasserstoff und zur Einbindung von Großabnehmern wird von HyCologne die bisher einmalige Realisierung einer Wasserstoffpipeline rund um die Millionenmetropole Köln mit dem Projekt HyPipCo geplant. Mit dieser Pipeline sollen große H_2-Erzeuger, -Verteiler und -Nutzer in der Region *H2R – Wasserstoff Rheinland* miteinander verbunden werden. Darüber hinaus soll die Anbindung an bestehende Pipelines außerhalb der Region ermöglicht werden, u. a. die Rhein-Ruhr-Pipeline und die geplante H_2-Pipeline in den Niederlanden. Die kooperative Maßnahme ist aus vielerlei Hinsicht relevant für den Auf- und Ausbau von Wasserstoff:

- Effizienter Transport von großen Mengen an Wasserstoff durch Deckung des steigenden Bedarfs
- Erhöhung der Versorgungssicherheit durch die Kopplung vieler Erzeuger
- Perspektivische Anbindung an das bestehende Rhein-Ruhr-Netzwerk und dessen Erzeuger und Verbraucher
- Möglichkeit zum Import von grünem Wasserstoff von der norddeutschen Küste (z. B. über die Initiative GetH2 im Emsland)
- Perspektivische Anbindung an weitere geplante Wasserstoffnetze, insbesondere an das u. a. von Belgien und den Niederlanden betriebene Green-Octopus-Vorhaben, mit Zugang zum H_2-Offshore-Knotenpunkt in Groningen.
- Anknüpfungspunkt zur Anbindung weiterer Regionen mit Wasserstoffvorhaben (z.B. Kreis Düren, Rhein-Main-Gebiet, Süddeutschland)

Für die Realisierung der Pipeline wurden von HyCologne mehrere Workshops organisiert, um die relevanten Akteure zusammenzubringen. Das Vorhaben stößt auf großes Interesse bei Energieversorgungsunternehmen, Gasversorgungsunternehmen, Gasnetzbetreibern (Fernleitungs- und Verteilnetze) und Forschungseinrichtungen (z. B. GVG Rhein-Erft, RheinEnergie, Stadtwerke Brühl, ETC, Forschungszentrum Jülich, Innogy, Linde, Air Liquide, Nippon Gases, Neuman & Esser, Propan Rheingas, Rheinische Netzgesellschaft, StEB, Thyssengas, Westnetz) und weiteren Partnern. Zudem wurde der DVGW als Branchenverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft hinzugezogen. Mit Fujikura Technolgy Europe GmbH befindet sich ein möglicher Partner zur Überwachnung von H_2-Infrastruktur-Systemen im Akteursnetzwerk von *H2R – Wasserstoff Rheinland*.

In einer ersten Analyse wurde geprüft, wie ein möglicher Pipelineverlauf in der Region *H2R – Wasserstoff Rheinland* aussehen könnte. Vorbehaltlich der noch ausstehenden Machbarkeitsprüfung wird ein möglicher (rein fiktiver) Verlauf der Pipeline auf Abbildung 4-5 dargestellt.

Der Entwurf für den Pipelineverlauf orientiert sich an folgenden Punkten:

- Vorhandene Rohrleitungen, die gegebenenfalls auf Wasserstoff umstellbar sind
- Konkrete Maßnahmen und Projektideen, die im Rahmen der Feinkonzepterstellung erarbeitet wurden und für die der Anschluss an eine Pipeline aufgrund des hohen Wasserstoffumsatzes sinnvoll sein kann
- Integration von Tankstellen mit sehr hohem Wasserstoffumsatz (350 und 700 bar) zur Betankung insbesondere von schweren Nutzfahrzeugen
- Integration von H_2-Hubs (in Kombination mit großen Tankstellen), an denen diskriminierungsfrei Wasserstoff in das Gasnetz eingespeist werden kann
- Integration der Industrieparks angesichts des hohen Wasserstoffbedarfs oder der Möglichkeit zur Produktion von Nebenproduktwasserstoff

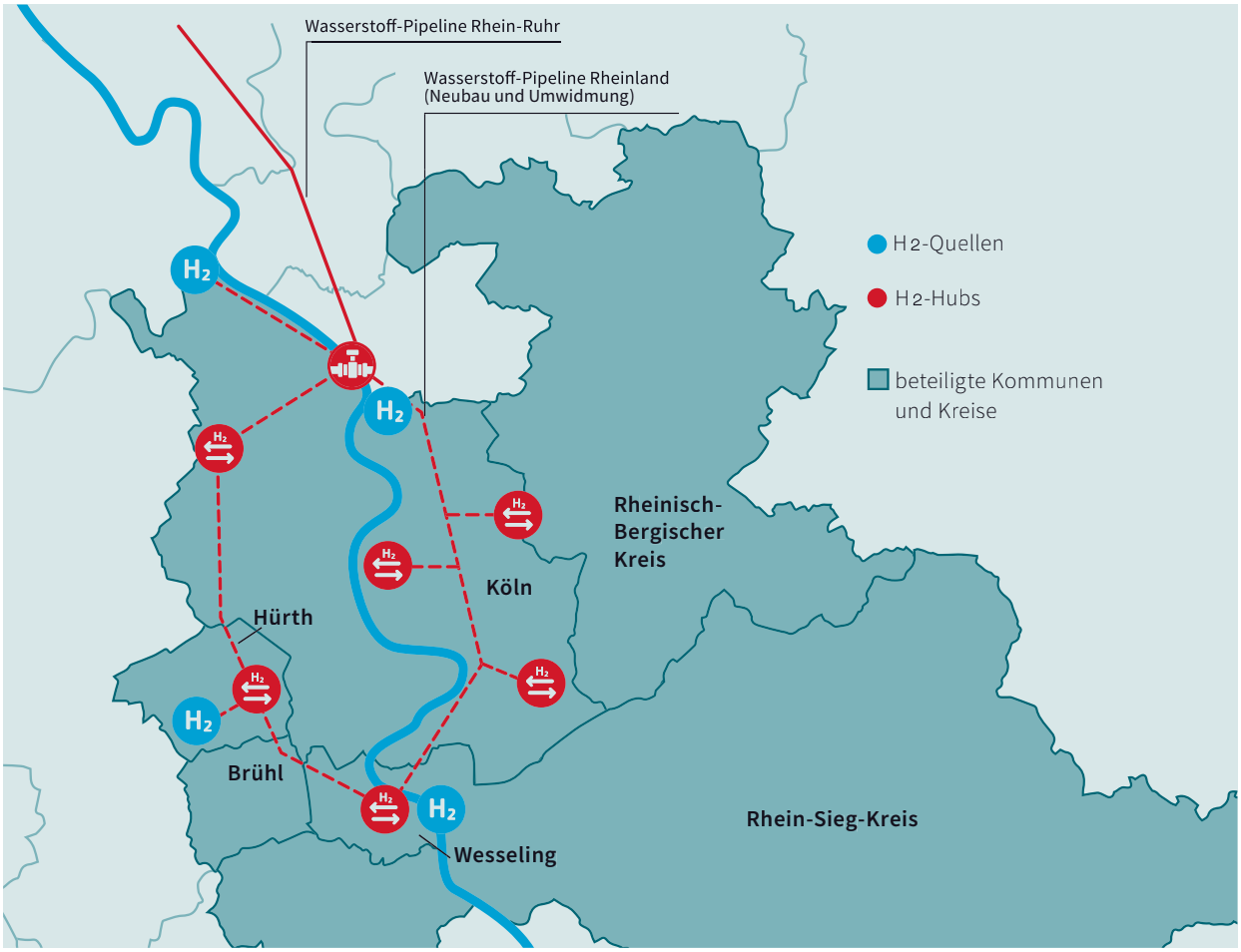


Abbildung 4-5 Fiktiver Verlauf einer möglichen Pipeline entlang bestehender und geplanter Wasserstoffaktivitäten in der Region

Nach einer ersten Schätzung hat die zu errichtende Pipeline eine Gesamtlänge von ca. 100 km. Weitere Informationen zu der Maßnahme sind in Tabelle 4-7 dargestellt. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-7 Maßnahme für H_2-Pipeline

H_2-Pipeline				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	HyPipCo	HyCologne, GVG Rhein-Erft, RheinEnergie, Stadtwerke Brühl, ETC, Forschungszentrum Jülich, Innogy, Linde, Air Liquide, Nippon Gases, Neuman & Esser, Propan Rheingas, Rheinische Netzgesellschaft, StEB, Thyssengas, Westnetz	HyCologne schafft eine Plattform zur Umwidmung, zur Vernetzung und zum Aufbau eines Wasserstoff-Pipeline-Netzwerkes um die Millionenmetropole Köln. Diese könnte in einem zweiten Schritt in die Region wachsen und sich zudem an weitere Pipelines außerhalb der Region anschließen.	B.39

H_2-Hubs

Ergänzend zu der Errichtung der Pipeline werden auch Möglichkeiten zur Schaffung von zentralen Umschlagspunkten (H_2-Hubs) untersucht. Diese können zum einen die Transportwege für Trailer reduzieren, da sie Verbindungspunkte zur Pipeline darstellen. Zum anderen sollen sie eine Dezentralisierung von Schnittstellen für H_2-Produzenten und -Verbraucher ermöglichen. Sie fungieren dabei als zentrale Umschlagspunkte, an denen jeder Akteur diskriminierungsfrei die Möglichkeit hat, Wasserstoff in das Gasnetz einzuspeisen (zu verkaufen) oder Wasserstoff zu beziehen. Der diskriminierungsfreie Handel an den H_2-Hubs sorgt für eine hohe Versorgungssicherheit sowie für einen flexiblen und transparenten H_2-Preis. Dadurch soll langfristig das „Henne-Ei-Problem“ der Wasserstoffwirtschaft in der Region behoben werden. Jeder mögliche Wasserstofferzeuger kann durch die Nutzung der H_2-Hubs Wasserstoff verkaufen und somit langfristig planen. Umgekehrt können an den Hubs auch große Mengen an Wasserstoff bezogen werden (z. B. über integrierte Tankstellen), wodurch auch die Brennstoffzellennutzung langfristig möglich und planbar wird. Der diskriminierungsfreie Handel an den H_2-Hubs soll eine hohe Versorgungssicherheit sowie einen flexiblen und transparenten H_2-Preis ermöglichen. Bereits die Dissertation von Robinius [35] zeigt regionalisiert die möglichen Standorte solcher Hubs in ganz Deutschland. Durch einen systematischen Ausbau der Hubs entlang der Pipeline soll ihre Anzahl äquivalent zu der steigenden Anzahl von Erzeugern und Verbrauchern in der Region *H2R – Wasserstoff Rheinland* wachsen.

Ergänzende Informationen zu der Maßnahme sind in Tabelle 4-8 dargestellt. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-8 Maßnahmen für H_2-Hubs

H_2-Hubs				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	H_2-Hubs und Pipelinesimulation	H-BRS	Im Rahmen der Untersuchungen zum Aufbau und Betrieb einer Wasserstoffpipeline in der rheinischen Region soll die technische Umsetzbarkeit von sogenannten H_2-Hubs (dezentralen Verteilzentren der Wasserstoffwirtschaft) geprüft werden. In einer Machbarkeitsstudie werden technische und physikalische Auswirkungen von H_2-Hubs in einem Wasserstoffleitungsnetz untersucht.	B.40

Wasserstoffspeicherung mit LOHC

Die Entwicklungsfirma Hydrogenious plant am Chempark Dormagen die Einspeicherung von Wasserstoff durch die Nutzung von flüssigen organischen Wasserstoffträgern (LOHC). Insgesamt sollen bis zu 5 Tonnen grüner Wasserstoff pro Tag gespeichert und zum Transport zur Verfügung gestellt werden. In einer weiteren Maßnahme auf europäischer Ebene plant Hydrogenious die Verteilung von Wasserstoff per Binnenschifffahrt über den Rhein. Hier ergeben sich langfristig Möglichkeiten für den Import von grünem Wasserstoff. Für weitere Informationen siehe Tabelle 4-9. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-9 Maßnahme für H_2-speicherung

H_2-Speicherung mit LOHC				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	Großvolumiger H_2-Transport	Hydrogenious LOHC Technologies GmbH	Im Rahmen des europäischen Förderregimes IPCEI ist die großskalige Erzeugung von grünem Wasserstoff und der Transport mittels der LOHC Technologie geplant. Dabei wird der Transport auch über die Binnenschifffahrt entlang des Rheins erfolgen. In diesem Rahmen ergibt sich die Möglichkeit grünen Wasserstoff über eine bestehende Infrastruktur entlang des Rheins zu beziehen.	B.41
2	H_2 StoragePLANT Dormagen	Hydrogenious LOHC Technologies GmbH, Chemiepark Dormagen	Zusammen mit einem großen Chemiekonzern werden wir im Chemiepark Dormagen die erste Einspeicheranlage (StoragePLANT) im Rahmen eines Pilotprojektes errichten. Die Anlagen sind so konzipiert, dass zusätzliche Kapazitäten vorhanden sind und dadurch ab 2022 weitere Abnehmer in der Region mit grünem Wasserstoff beliefert werden können.	B.42

Wasserstoffqualitätsüberwachung

Insbesondere für Anwendungen bei Brennstoffzellenfahrzeugen gelten höchste Anforderungen an die Wasserstoffreinheit. Die Grenzwerte für Verunreinigungen werden durch Normen und Richtlinien wie die ISO 14687-2 oder die DIN EN 17124 vorgegeben. Um eine ausreichende Wasserstoffqualität gewährleisten zu können, entwickelt die EMCEL GmbH ein Messgerät zur kontinuierlichen Messung der Wasserstoffqualität. Das Messgerät kann stationär und mobil in Fahrzeugen eingesetzt werden. Für detaillierte Informationen zu der Maßnahme siehe Tabelle 4-10. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-10 Maßnahme für H_2-Qualitätsüberwachung

H_2-Qualitätsüberwachung				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	H_2-Messgerät zur Messung der Wasserstoffreinheit	EMCEL	Das Ingenieurbüro EMCEL GmbH plant den Aufbau eines weiteren Messgeräts zur kontinuierlichen Messung der Reinheit des Wasserstoffs. Das Messgerät wird auch für den mobilen Einsatz ausgelegt.	B.43

4.1.3. Wasserstoffnutzung

Es gibt insgesamt 27 Maßnahmen zur Wasserstoffnutzung. Neben den Anwendungen im Bereich der Mobilität bietet Wasserstoff die Möglichkeit, in weiteren Sektoren Emissionen zu reduzieren. Durch die Ergänzung von Wasserstofffahrzeugen durch stationäre Anwendungen zur Erzeugung von Strom und Wärme kann der Wasserstoffbedarf gesteigert und die Verteilung optimiert werden. Zudem werden Maßnahmen zur Sektorenkopplung aufgezeigt. Die existierenden Maßnahmen und Projektideen der regionalen Akteure werden nachfolgend dargelegt.

BZ-PKW

Seit Jahren werden in unserer Region vereinzelt Brennstoffzellen-PKW (BZ-PKW) betrieben. Beispielsweise hat die RVK seit einigen Jahren einen Hyundai IX35 im Fahrzeugpool und erweitert die BZ-Pkw-Flotte um weitere vier Hyundai Nexo bis Oktober 2020. Um den Einsatz von BZ-PKW zu fördern, hat die in Köln ansässige Toyota Kreditbank ein sehr günstiges Leasingmodell für das in mittlerer Serie gefertigte Brennstoffzellenfahrzeug Toyota Mirai aufgelegt. Insgesamt stehen in dem Leasingmodell 15 Fahrzeuge zur Verfügung. Das Angebot wurde bereits von einigen Partnern des Zusammenschlusses *H2R – Wasserstoff Rheinland* wahrgenommen, z. B. von HyCologne, AREVA-H2Gen und EMCEL.

Außerdem prüft CleverShuttle einen großskaligen Roll-out der Technologie mit 50 bis 100 BZ-PKW, die im RidePooling-Fahrservice (automatisch generierte Fahrgemeinschaften) eingesetzt werden sollen. Die Realisierung soll zwischen 2021 und 2025 erfolgen. Eine kurze Beschreibung der Maßnahme ist Tabelle 4-11 zu entnehmen. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-11 Maßnahmen für BZ-PKW

BZ-PKW				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	Ride-Pooling mit BZ-Fahrzeugen	CleverShuttle	CleverShuttle prüft die Voraussetzungen, um im Rheinland ein Ride-Pooling mit Brennstoffzellen-Fahrzeugen zu betreiben.	B.44

BZ-Busse

Bereits seit 2011 werden in den Städten Brühl und Hürth über das kommunale Verkehrsunternehmen RVK Brennstoffzellenbusse im ÖPNV eingesetzt. In Abbildung 4-6 ist exemplarisch ein Brennstoffzellenbus der RVK dargestellt.



Abbildung 4-6 Brennstoffzellenbus der RVK im Linienbetrieb (Quelle: RVK)

Schon heute betreibt die RVK mit 12 BZ-Bussen die größte BZ-Busflotte Europas. Noch in diesem Jahr (2020) wird die RVK gemeinsam mit kommunalen Partnern in der H2R-Region 37 BZ-Busse betreiben, bis Ende 2021 insgesamt 52 BZ-Busse. Bis 2030 plant die RVK, bis zu 250 Busse von Dieselbetrieb auf Brennstoffzellenbetrieb umzustellen. Darüber hinaus hat sich die RVK dem Ziel verpflichtet, ab spätestens 2030 nur noch Fahrzeuge mit emissionsfreien und umweltfreundlichen Antrieben zu beschaffen.

Neben der RVK streben weitere regionale Verkehrsbetriebe aktiv die Anschaffung von Brennstoffzellenbussen an oder prüfen die Machbarkeit:

- Kölner Verkehrs-Betriebe AG (KVB)
- Oberbergische Verkehrsgesellschaft mbH (OVAG)
- Rhein-Sieg-Verkehrsgesellschaft mbH (RSVG)
- Rhein-Erft-Verkehrsgesellschaft (REVG)

Des Weiteren plant das Amt für Verkehrsmanagement der Stadt Köln, für den Touristenverkehr einen emissionsfreien Shuttle vom Busterminal in Niehl in die Kölner Innenstadt einzurichten. Hierfür soll in einer Machbarkeitsstudie untersucht werden, ob sich der Einsatz von Brennstoffzellenbussen als vorteilhaft erweisen kann.

Fazit zu BZ-Busse

Für den Aufbau der Wasserstoffregion und die Errichtung von Tankstelleninfrastrukturen hat der ÖPNV eine besonders wichtige Rolle. Das Interesse der regionalen Akteure zur Beschaffung von Brennstoffzellenbussen ist groß. Alleine die RVK nimmt bis Ende 2021 ca. 52 Busse in Betrieb und plant bis 2030 die Nutzung von bis zu 250 Bussen. Darüber hinaus streben weitere Verkehrsbetriebe die Einführung von Bussen im Linienbetrieb an. Eine Übersicht zu

den Maßnahmen ist Tabelle 4-12 zu entnehmen. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-12 Maßnahmen für BZ-Busse

BZ-Busse				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	Brennstoffzellen-Busse der RVK	Kommunen und Kreise, RVK	Die Regionalverkehr Köln GmbH plant den Busbetrieb ab 2030 komplett emissionsfrei durchzuführen. Dafür werden seit 2011 Brennstoffzellenbusse beschafft.	B.45
2	Flughafenbus der RVK	RVK	Zur Verbindung der östlichen Städte Bergisch-Gladbach, Bensberg und Refrath mit dem Flughafen fährt ein BZ-Flughafenbus seit der zweiten Jahreshälfte im Jahr 2020.	B.46
3	Prüfung der Nutzung von Brennstoffzellenantrieben für Teilflotten	KVB	Die KVB prüft in einer Machbarkeitsstudie zur Wasserstoffinfrastruktur auf dem Betriebshof Hürth insbesondere die Machbarkeit der Errichtung einer Wasserstofftankstelle (hinsichtlich Infrastruktur und Wirtschaftlichkeit). Weiterhin wird der Ausbau der Busflotte mit brennstoffzellen-betriebenen Bussen und ein Betrieb auf dafür wirtschaftlich geeigneten Linien geprüft.	B.47
4	Bus-Shuttle	Stadt Köln	Eine Studie soll für den Shuttle-Betrieb von einem Reisebusterminal am Kuhweg in die Innenstadt einen Systemvergleich zwischen dem Einsatz von batterie-elektrisch angetriebenen und auf Wasserstoffbasis angetriebenen Shuttle-Bussen durchführen.	B.48

BZ-LKW:

Wie bereits in der Potenzialanalyse verdeutlicht, gibt es in der Region *H2R – Wasserstoff Rheinland* ein großes Potenzial für die Nutzung von leichten und schweren BZ-Nutzfahrzeugen. Dies spiegelt auch das Interesse an der Beschaffung von BZ-LKW wider. Der Verbund aus HGK, RheinCargo und neska sowie REWE Digital haben Interesse an BZ-LKW geäußert und prüfen die Machbarkeit der Beschaffung. Insgesamt könnten durch die Maßnahmen bis 2030 ca. 100 BZ-Lkw beschafft werden. Für weitere Informationen zu den Maßnahmen siehe Tabelle 4-13. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-13 Maßnahmen für BZ-LKW

BZ-LKW				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	Einsatz von BZ-LKW und BZ-Terminalfahrzeugen	HGK	Am Standort Niehl ist eine Machbarkeitsstudie zur Umstellung von Fahrzeugen geplant. Im ersten Schritt soll ein Terminalfahrzeug und 5 Brennstoffzellen-LKW eingesetzt werden. Die Anzahl der Fahrzeuge soll auf 5 Terminalfahrzeuge und 80 Brennstoffzellen-LKW ausgebaut werden.	B.49
2	BZ-Fahrzeuge für REWE Digital	REWE Digital	REWE Digital prüft die Wasserstoff-Antriebstechnologie für den Einsatz in Auslieferfahrzeugen im Online-Lebensmittelhandel.	B.50

Ergänzung: Besonders sinnvoll erscheint die kooperative Anschaffung von BZ-LKW. Dank hoher Stückzahlen und eines entsprechend hohen Wasserstoffbedarfs kann der Aufbau der Tankstelleninfrastruktur für Nutzfahrzeuge beschleunigt werden. Diesbezüglich wurden im Rahmen der Feinkonzepterstellung das Interesse regionaler Transport- und Logistikunternehmen angefragt und erste Gespräche mit Unternehmen geführt. Interesse hinsichtlich der Beschaffung von Brennstoffzellen-LKW und -Lieferwagen haben folgende Akteure bekundet: H2 Energy, Hochschule RheinMain, Spedition Kellershohn, All Road International GmbH, Dietrich Gas Internationale Spedition, Breuer Spedition, WTL Spedition und Transport GmbH (vgl. Kapitel C.4. im Anhang).

Die Gespräche mit den genannten und weiteren Unternehmen werden nach Abgabe des Feinkonzepts fortgeführt. Das übergeordnete Ziel ist, eine rasche und großskalige Einführung von mindestens 500 bis 1000 BZ-LKW und -Lieferwagen zu ermöglichen. Vergleichbare Maßnahmen gibt es im Rahmen des HyExpert-Vorhabens „HyWheels“ sowie des Joint Ventures zwischen der H2 Energy und Hyundai in der Schweiz. Mit diesem Gemeinschaftsprojekt werden in der Schweiz bis 2025 ca. 1.600 Brennstoffzellen-LKW eingeführt [33]. Die großskalige Anschaffung ermöglicht es Hyundai auf der einen Seite, eine Serienfertigung aufzubauen. Auf der anderen Seite sorgen die angeschafften Fahrzeuge für eine große Nachfrage nach Wasserstofftankstellen in der Schweiz, so dass die Tankstellen sich ökonomisch betreiben lassen. In Abbildung 4-7 ist der BZ-LKW „Xcient Fuel Cell“ von Hyundai abgebildet. Dass ein solches Vorhaben auch im Rheinland möglich ist, wurde in Gesprächen mit der H2 Energy deutlich: „Durch die aktuelle Mautbefreiung von Elektro-LKW ist die Umsetzung eines solchen Großprojektes auch in Deutschland besonders sinnvoll. Allerdings braucht es für eine wirtschaftliche Umsetzung gezielte Kompensationsmodelle, die über klassische Fördervorhaben hinausgehen und die externen Kosten bzw. deren Reduzierung in Betracht ziehen.“ (Zitat aus LOI der H2 Energy, siehe Anhang C.4.4) Im Zuge derartiger Überlegungen findet aktuell ein Austausch mit der Energieagentur und dem Wirtschaftsministerium des Landes NRW statt, bei dem die Möglichkeiten einer gemeinsamen Beschaffungsinitiative für Brennstoffzellen-LKW erarbeitet werden sollen. Des Weiteren werden Synergien und Kooperationsmöglichkeiten im Zusammenhang mit dem Projekt „HyWheels“ der Stadt Fulda erörtert. Die Stadt Fulda entwickelt bis Mitte 2021 im Rahmen des Förderprogramms „HyLand – Wasserstoffregionen in Deutschland“ ein umsetzungsreifes Feinkonzept zur Anschaffung von mindestens 1.000 Brennstoffzellenfahrzeugen.



Abbildung 4-7 Brennstoffzellen-LKW von Hyundai (Quelle: H2 Energy)

BZ-Müllsammelfahrzeuge

Die Beschaffung kommunaler Müllsammelfahrzeuge wird von verschiedenen regionalen Akteuren angestrebt:

- Die Stadtwerke Hürth AöR planen den Einsatz von Fahrzeugen ab 2021. Insgesamt sollen 11 Müllsammelfahrzeuge auf Brennstoffzellenantrieb umgestellt werden.
- Die Abfallwirtschaftsbetriebe Bergisch Gladbach wollen ein Müllsammelfahrzeug als Testfahrzeug anschaffen. Bei erfolgreicher Integration des Fahrzeugs in den Linienbetrieb des Fuhrparks, ist die Anschaffung weiterer Fahrzeuge denkbar, beispielsweise Großkehrmaschinen und PKW.
- Weitere Abfallwirtschaftsunternehmen haben ebenfalls ihr Interesse an der Technologie bekundet und prüfen die Möglichkeiten der Anschaffung von Fahrzeugen, etwa die RSAG AöR und die AWB Köln. Der Bergische Abfallwirtschaftsverband (BAV) und die AVEA GmbH prüfen neben der Anschaffung von Fahrzeugen auch die Möglichkeiten der Erzeugung von Wasserstoff und des Baus einer Wasserstofftankstelle.

Aus den Gesprächen mit den Akteuren im Zuge der Feinkonzepterstellung ergab sich neben der Bereitschaft, individuell Fahrzeuge zu beschaffen, auch der Wunsch, Kooperationsmöglichkeiten anzustoßen. Die Frage kam auf, ob nicht ein einzelner Akteur erste Fahrzeuge anschaffen und vermieten könne. Auf diese Weise könnten alle Interessenten die Fahrzeuge im Betrieb testen und zugleich das wirtschaftliche Risiko minimieren. Daher prüfen die interessierten Partner die Möglichkeit einer zentralen Beschaffung und Wartung für eine Gruppe von Müllsammelfahrzeugen mit BZ-Antrieb samt risikofreier Vermietung an eine Anwendergruppe.

Entsprechend der aktuellen Maßnahmen könnten bis 2030 etwa 13 Müllsammelfahrzeuge angeschafft werden. Für weitere Informationen zu den Maßnahmen siehe Tabelle 4-14. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-14 Maßnahmen für BZ-Müllsammelfahrzeuge

BZ-Müllsammelfahrzeuge				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	H_2-Tankstelle für Busse und NFZ	AWB Bergisch Gladbach	Die AWB ist an der Anschaffung eines Abfallsammelfahrzeuges als Einstieg in die Wasserstofftechnologie interessiert. Langfristig ist die Anschaffung weiterer H_2-Abfallsammelfahrzeug angedacht. Das Fahrzeug kann idealerweise durch eine Kooperation mit der RVK am Grünen Mobilhof betankt werden.	B.51
2	Prüfung des Einsatzes von BZ-Müllsammelfahrzeugen	AWB Köln	Die AWB Köln GmbH prüft den Einsatz von alternativ angetriebenen Kommunalfahrzeugen mit H_2-Antrieb.	B.52
3	Umstellung des kommunaler Fuhrparks Hürth	Stadtwerke Hürth	Die Fuhrparks der Stadtwerke Hürth sollen teilweise auf Brennstoffzellenantrieb umgestellt werden (NFZ zur Müllentsorgung, Grünschnittentsorgung, etc.). Anfang 2020 wurde bereits ein Fahrzeug im Probebetrieb getestet.	B.53
4	BZ-Müllsammelfahrzeuge (RSAG)	Rhein-Sieg-Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH (RSAG)	Der Einsatz von Müllsammelfahrzeugen im linksrheinischen Rhein-Sieg-Kreis wird im Rahmen des Feinkonzepts untersucht.	B.54

BZ-Flurförderfahrzeuge

Die Koelnmesse und die Voss Fluid GmbH planen den Einsatz wasserstoffbetriebener Flurförderfahrzeuge zum Einsatz in der Intralogistik. Außerdem möchte die Koelnmesse gemeinsam mit ihrem Logistikpartner DB sukzessive 120 Flurförderfahrzeuge auf H_2-Betrieb umstellen. Weitere Details sind Tabelle 4-15 zu entnehmen. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-15 Maßnahmen für BZ-Flurförderfahrzeuge

BZ-Flurförderfahrzeuge				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	Einsatz von BZ-Flurförderfahrzeugen	Koelnmesse	Die Koelnmesse plant in Kooperation mit ihrem Logistikdienstleister DB Schenker die Prüfung und sukzessive Umrüstung des Diesel-Gabelstaplerparks (insg. 120 Flurförderzeugen) auf Wasserstoffantrieb.	B.55
2	Einsatz von BZ-Flurförderfahrzeugen	VOSS Fluid GmbH	Der Einsatz eines BZ-Flurförderfahrzeugs wird im Rahmen des Feinkonzepts geprüft.	B.56

BZ-Züge

Eine Elektrifizierung mit Oberleitungen ist – aus technischen, wirtschaftlichen oder anderen Gründen – nicht für alle Bahnstrecken möglich, vor allem bei Strecken mit geringem Transportaufkommen. Eine Alternative bieten brennstoffzellenbetriebene Schienenfahrzeuge, die die Vorteile emissionsfreien Fahrens und niedrigen Infrastrukturaufwands vereinen. Eine Elektrifizierung von Streckenabschnitten durch Oberleitungen erfordert häufig einen hohen zeitlichen Aufwand. Der Aufbau der erforderlichen Infrastruktur für den Betrieb von BZ-Zügen kann weniger zeitintensiv sein. Als Einstiegsprojekt ist im Bündnis *H2R – Wasserstoff Rheinland* eine Machbarkeitsstudie zur Umstellung von Dieselloks geplant. Es wird eine Retrofit-Lösung (Nach-/Umrüstung) für den Typ DE1002 angestrebt. Im ersten Schritt möchten die HGK und die RheinCargo, die größte private Güterbahn Deutschlands, 16 Fahrzeuge umstellen, im Jahr 2030 bis zu 30 Dieselloks. Weitere Details sind Tabelle 4-16 zu entnehmen. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärun-gen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-16 Maßnahmen für BZ-Züge

BZ-Züge				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	BZ-Güterzüge	RheinCargo, HGK	RheinCargo setzt im Kölner Stadtbereich 16 Diesel-elektrische Lokomotiven des Typs DE1002 ein. Eine Umrüstung der bestehenden Lokomotiven auf Wasserstoffantriebe wird geprüft. Darüber hinaus besteht weiteres Potenzial für bis zu 30 bauähnliche Lokomotiven der DB.	B.57

Rheinschifffahrt

Auch die Umstellung der Binnenschifffahrt auf Brennstoffzellenantriebe wird von Partnern des Zusammenschlusses *H2R – Wasserstoff Rheinland* unterstützt. Hierzu hat das Land Nordrhein-Westfalen zusammen mit der Provinz Süd-Holland und den Häfen Rotterdam, Duisburg, Neuss/Düsseldorf und Köln das Projekt RH2INE initiiert. Ziel ist der Aufbau einer Infrastruktur zur Wasserstoffversorgung in den Rheinhäfen. Sie soll bis zum Jahr 2030 für den Güterverkehr, insbesondere der Binnenschifffahrt entlang des Rhein-Alpen-Korridors (Rotterdam-Genua), nutzbar sein [36]. Dieses Projekt möchten die hier federführenden Gebietskörperschaften der Region *H2R – Wasserstoff Rheinland* begleiten und dabei Synergien mit bereits existierenden Maßnahmen schaffen. So untersuchen beispielsweise die HGK, die Rheincargo und die neska die Machbarkeit einer zu errichtenden Wasserstoffinfrastruktur für den Güterverkehr am Niehler Hafen.

Auf regionaler Ebene erstellt die Region Köln/Bonn e. V. gemeinsam mit den Städten Köln, Leverkusen und Wesseling derzeit eine Machbarkeitsstudie zu einem „Wasserbussystem auf dem Rhein“, die u. a. die Einsatzmöglichkeiten von BZ-Schiffen beinhaltet. Der Wasserbus ist ein ÖPNV-Signalprojekt für den kompletten schiffbaren Rhein. Angesichts stark unterschiedlicher Strömungsverhältnisse bergauf bzw. bergab und der Erfordernis der Nutzung erneuerbarer Energien kommen sehr wahrscheinlich nur BZ-Schiffe in Frage.

In einem weiteren Projekt prüft die HGK am Standort Langel/Hitdorf den Einsatz einer Brennstoffzellenfähre. Weitere Informationen zum dem Projekt Brennstoffzellenfähre sind Tabelle 4-17 zu entnehmen. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-17 Maßnahmen für Rheinschifffahrt

Rheinschifffahrt				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	Rheinfähre Köln-Langel/Hitdorf mit BZ-Antrieb	RheinFähre Köln-Hitdorf GmbH	Der Einsatz von Brennstoffzellen für die Rheinfähre Langel/Hitdorf wird geprüft.	B.58

Sonderfahrzeuge

Der Flughafen Köln/Bonn verfolgt die Zielsetzung, insbesondere die dieselbetriebenen Vorfeldfahrzeuge auf emissionsfreie Antriebe umzustellen, und analysiert die Einsatzmöglichkeiten von BZ-Fahrzeugen. Darunter fallen u. a. 40 Busse, 70 Gepäckschlepper, 12 LKW und 40 PKW. Die StEB prüft den Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen in der Kanalreinigung. Dazu gehören 10 Hochdruckspül- und Saugfahrzeuge sowie Straßenreinigungsfahrzeuge. Die DEUTZ AG prüft die Entwicklung eines Baggers mit H_2-Verbrennungsmotors für den emissionsfreien Betrieb auf innerstädtischen Baustellen. Die hier vorgestellten Maßnahmen, für die bereits Steckbriefe vorliegen, werden in Tabelle 4-18 gelistet. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-18 Maßnahmen für Sonderfahrzeuge

Sonderfahrzeuge				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	Entwicklung & Pilotbetrieb eines Baggers mit H_2-Verbrenner	DEUTZ AG	Die Deutz AG prüft die Projektidee einer Off-Road-Anwendung von H_2-Verbrennungsmotoren. Es soll ein Bagger für innerstädtische Baustellen mit einem Antrieb auf Basis des H_2-Verbrennungsmotors entwickelt werden. Hierfür werden die Diesel-Komponenten durch eine OnBoard H_2-Versorgung sowie des H_2-Verbrennungsmotors ausgetauscht.	B.59
2	Umstellung der Vorfeldfahrzeuge	Flughafen Köln/Bonn	Die Vorfeldfahrzeuge am Flughafen Köln/Bonn, insbesondere die dieselbetriebenen Vorfeldgeräte, sollen auf emissionsfreie Antriebe umgestellt werden.	B.60
3	Einsatz von BZ-NFZ	StEB	Die StEB Köln prüfen den Einsatz von Wasserstoff für 10 Sonderfahrzeuge der Kanalreinigung (Hochdruckspül- und Saugfahrzeuge mit/ohne Rückgewinner/HD-Kombi mit/ohne Rückgewinner, Saugfahrzeuge/Straßenreiniger).	B.61

1111 BZ-Fahrzeuge

Unser Ziel ist es, bis 2023 insgesamt 1111 wasserstoffbetriebene BZ-Fahrzeuge in der H2R-Region einzuführen. Über das Netzwerk *HyCologne* soll eine Kampagne mit dem Titel „1111 Fahrzeuge fürs Rheinland“ gestartet werden mit dem Ziel, möglichst viele Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieb (PKW, Transporter, LKW, Busse und Sonderfahrzeuge) in der Region zu etablieren. Die karnevalistisch geprägte Zahl 1111 ist gerade im Rheinland ein Blickfang und soll Fahrzeughersteller zur Bereitstellung entsprechender Fahrzeuge motivieren sowie das Kaufinteresse von Unternehmen und Privatpersonen an den entsprechenden Fahrzeugen wecken. Für das Erreichen dieser Zahl soll die Kooperation der Akteure im Bereich Mobilität in einem Kooperationsworkshop aktiv angesprochen werden. In der aktuellen Phase eignen sich insbesondere kommunale Flotten zur Umrüstung auf BZ-Fahrzeuge – sowohl PKW als auch Nutzfahrzeuge wie z. B. Busse und Müllsammelfahrzeuge. Als First Mover dieser Kampagne bietet Toyota den neuen Mirai über günstige Leasingverträge an (s.o.). Ab 2021 kann Toyota größere Stückzahlen zur Verfügung stellen.

Auch alternative Mobilitätskonzepte werden untersucht und sollen zeitnah starten. So bietet sich als Ergänzung zum ÖPNV-Angebot der Aufbau eines Car-Sharing/Ride-Hailing oder Pooling System mit Brennstoffzellen-PKW an (vgl. Steckbrief B.44). Eine kurze Beschreibung dieser Maßnahme kann Tabelle 4-19 entnommen werden.

Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-19 Maßnahmen für 1111 BZ-Fahrzeuge

1111 BZ-Fahrzeuge				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	1111 BZ-Fahrzeuge	Toyota & weitere Fahrzeughersteller, HyCologne	Die Kampagne soll zur zügigen Einführung von 1111 Fahrzeugen in den H2R-Kommunen animieren. An der Kampagne sollten sich potenzielle Fahrzeughersteller und Kommunen beteiligen. Anreize wie z.B. günstige Finanzierung könnten geschaffen werden.	B.62

Strom und Wärmeversorgung durch BZ-KWK-Systeme

Die Akteure HGK, RheinCargo und neska, der Flughafen Köln/Bonn und Nexus Farms prüfen die Einsatzmöglichkeiten von BZ-KWK-Systemen. Die Systeme sollen zur Strom- und Wärmeversorgung dienen und gegebenenfalls an die Wasserstoffpipeline angeschlossen werden. Für solche Anwendungsfälle entwickelt das Unternehmen HEE Technologies GmbH gemeinsam mit der TH Köln ein 100-kW-Brennstoffzellensystem. Eine Übersicht zu den Maßnahmen ist Tabelle 4-20 zu entnehmen. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärun-gen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-20 Maßnahmen für Strom- und Wärmeversorgung durch BZ-KWK-Systeme

Strom- und Wärmeversorgung durch BZ-KWK-Systeme				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	Substitution von Erdgas im BHKW am Flughafen	Flughafen Köln/Bonn	Der Flughafen Köln/Bonn plant die Umstellung des BHKW von Erdgas auf Wasserstoff zur Substitution des fossiler Energieträgers Methan. Bei Austausch und Erweiterung der Anlagen sollen diese durch H_2-betriebene Anlagen ersetzt werden.	B.63
2	Entwicklung eines 100 kW BZ-BHKW	HEE Technologies	HEE Technologies entwickelt Brennstoffzellensysteme für Haustechnik. Die stationären KWK-BZ-Systeme stellen Strom, Wärme und mittelfristig auch Kälte für die Industrie sowie Gewerbe- und Wohngebäude bereit.	B.64
3	H_2-betriebenes BHKW für Betriebswerk Brühl-Vochem	HGK	Die Häfen und Güterverkehr Köln GmbH prüft die Versorgung des Betriebswerk mit Strom und Wärme mittels eines BZ-BHKW, evtl. in Kombination mit öffentlicher Tankstelle für H_2-Lokomotiven auf dem Betriebsgelände.	B.65
4	H_2-betriebenes BHKW für Betriebswerke in Köln-Niehl	HGK	Die Häfen und Güterverkehr Köln GmbH prüft die Versorgung des Betriebswerk mit Strom und Wärme mittels eines BZ-BHKW.	B.66
5	Wasserstoffbetriebene Farm	Nexus Farms	Der Einsatz eines BZ-BHKW zur Deckung des elektrischen Bedarfs der ersten Aquaponic-Farm-Anlage in NRW bei gleichzeitiger Sicherstellung eines emissionsfreien Betriebs wird geprüft.	B.67

Weitere Maßnahmen und Projektideen zur H_2-Nutzung

Weitere Maßnahmen im Bereich der H_2-Nutzung betreffen die effiziente Verwertung von Wasserstoff in Chemikalien und Kunststoffen sowie die Entwicklung und Herstellung von BZ-Fahrzeugen. Eine weitere Projektidee ist der Einsatz von Wasserstoff in der Filmindustrie als Energieträger bei Dreharbeiten. Weitere Informationen hierzu befinden sich im LOI im Anhang. Weitere Informationen zu den Maßnahmen sind Tabelle 4-21 zu entnehmen. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärun-gen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-21 Weitere Maßnahme zur Wasserstoffnutzung

Weitere Maßnahmen zur Wasserstoffnutzung				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	H_2-Nutzung als Rohstoff	b.Fab	b.fab bietet eine Plattform-Technologie, die effizient CO_2 und Wasserstoff aus regenerativer Energie in biotechnologischen Wertschöpfungsketten verwertet. Über die Kombination von Elektrochemie und Synthetischer Biologie wird CO_2 und H_2 in Chemikalien und Kunststoffen gebunden und der chemischen Industrie zugeführt.	B.68
2	eGo Mover REX	E.GO:REX	Das Unternehmen E.GO:REX entwickelt Range Extender für BEV-Nutzfahrzeuge (Kleintransporter/Busse). Zurzeit ist die Range-Extender-Erweiterung für den EGO Mover (Kleinbus) in Arbeit. E.GO steht bereit für bedarfsindividuelle Pilot- und Entwicklungsprojekte in diesem Bereich.	B.69
3	Entwicklung eines BZ-Transit	Ford Research and Advanced Engineering Europe	Ford analysiert die Anforderungsprofile verschiedener Fahrzeugflottenbetreiber im Kleintransporter- und Kleinbusbereich. Darauf aufbauend werden Wasserstoff-Antriebssysteme konzeptionell ausgearbeitet und eine interne Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Prüfung der Konzepte auf Realisierbarkeit durchgeführt.	B.70

4.1.4. Wasserstoffwissen

Know-how und langjährige Erfahrung mit Wasserstoff sind schon heute in unserer Region in ausreichendem Maße vorhanden – sowohl bei unseren Unternehmen als auch in Forschung & Wissenschaft. Das Ziel ist es, das vorhandene Wissen über Wasserstoff zu bündeln, auszubauen und einer breiten Akteurslandschaft zugänglich zu machen. Die insgesamt 30 Maßnahmen der Kategorie Wissen begleiten und fördern die Maßnahmen der Wasserstofferzeugung, Wasserstoffverteilung und Wasserstoffnutzung.

Kompetenz- und Wasserstoffzentren

In der Region *H2R – Wasserstoff Rheinland* entstehen links- als auch rechtsrheinsich Institutionen, die den Aufbau der Wasserstoff-Modellregion sukzessive vorantreiben.

Linksrheinisch ist ein Kompetenzzentrum mit voraussichtlichem Sitz in der Stadt Hürth in Planung, in dem auf Basis der Sektoren Mobilität, Verkehr, Energie und Infrastruktur die Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft gezielt gefördert wird. Dazu hat das Netzwerk *HyCologne – Wasserstoff Region Rheinland e.V.* auf Basis der Beratungen mit

der Stadt Hürth eine Projektbeschreibung im Rahmen des Feinkonzeptes *H2R – Wasserstoff Rheinland* eingereicht. So sollen im Besonderen übergeordnete Projekte angestoßen und koordiniert werden. Zudem soll das Kompetenzzentrum als Anlaufstelle für potenzielle Projektpartner und Interessierte dienen. Das Kompetenzzentrum soll nach gegenwärtigem Planungsstand folgende Aufgaben wahrnehmen:

- Koordination und Vertretung von Projekten durch die bereits etablierte und erfolgreich wirkende Initiative HyCologne mit Sitz in Hürth, u. a. unter Einbeziehung der Mitglieder von HyCologne, deren Kompetenzen und Netzwerke
- Beratung zu und ggf. Management von Fördermitteln
- Praktische Öffentlichkeitsarbeit (Ausstellungen, Roadshow, Exkursionen etc.)
- Aufbau und Bündelung von Wasserstoffkompetenzen in der Region
- Schulungen und Workshops zu relevanten Themen, z. B. Sicherheit, Wartung und Service
- Lernwerkstatt zur Nutzung von Wasserstofftechnologien
- Stärkung der Beziehungen zu anderen Regionen, ggf. Einbindung neuer Regionen
- Entwicklung und Pflege von Schnittstellen zu anderen Netzwerken/Initiativen wie GetH2 sowie Kontaktaufnahme zu weiteren Netzwerken
- Plattform für Forschung und Entwicklung
- Arbeitskreise, Think Tanks o. ä.

Rechtsrheinisch wird das Bergische Wasserstoffzentrum H2Berg geplant. Hier sollen die Erfahrungen der RVK mit BZ-Bussen auf potenzielle Schwerlastflotten der Kommunen, des Bergischen Abfallwirtschaftsverbands und Herstellern für schwere Nutzfahrzeuge ausgeweitet werden. Weiterhin wird die Förderung von Projekten zur Erzeugung von grünem Wasserstoff vorangetrieben und es werden neue lokale Projekte mit Strahlkraft in die rechtsrheinische Region initiiert. Darüber hinaus soll H2Berg der breiten Öffentlichkeit die Thematik Wasserstoff zugänglich machen.

Plattform zum Wissensmanagement

HyCologne, die TH Köln und die coac GmbH aus Köln werden in dem vom BMWi geförderten Projekt H2PRO3 bis Ende 2021 eine webbasierte Plattform zu den Themen Wasserstoff und Sektorenkopplung erstellen, die den Austausch zwischen Akteuren, Nutzern und Anbietern von wasserstoffbasierten Energietechnologien aus Privatwirtschaft und öffentlichem Bereich eröffnet. Hier sollen Erfahrungen aus Projekten, Forschungsvorhaben und Know-how aus der Wirtschaft und den Kommunen gebündelt werden. Die Machbarkeit von wasserstoffbasierten Energie- und Mobilitätsprojekten soll so verdeutlicht und der Kontakt zwischen den Akteuren erleichtert werden (vgl. Kap. 6.5).

Forschung und Lehre

Wir begrüßen das umfassende Engagement mehrerer lokaler Hochschulen und Forschungsinstitute in unserem Zusammenschluss *H2R – Wasserstoff Rheinland*. So beteiligen sich die TH Köln, die Hochschule Bonn-Rhein-Sieg und die Rheinische Fachhochschule Köln wie auch das Center of Automotive Management (CAM), das Forschungszentrum Jülich (FZJ) und das Deutsche Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR) aktiv an *H2R – Wasserstoff Rheinland*. Ergänzt wird das Engagement durch die Handwerkskammer zu Köln, die als Wissensvermittler fungiert und zur Erarbeitung praxisnaher Lehrinhalte beiträgt.

Die Mitarbeit der genannten Akteure fokussiert sich auf folgende Aspekte:

- Analysen und Studien zum Thema Wasserstoff (z. B. Pipeline)
- Technologieforschung (z. B. neue Technologien zur effizienten Wasserstofferzeugung)
- Begleitforschung (z. B. Akzeptanz)
- Pilotprojekte zur Erprobung von Wasserstofftechnologien (z. B. stationäre BZ-Anwendungen)
- Wissenstransfer (z. B. in einem Kompetenzzentrum)
- Ausbildung der zukünftigen Fachkräfte (Wasserstoffprofessur, Studiengang Sektorenkopplung)

Die Maßnahmen unterstützen den Aufbau der Wasserstoffregion und sichern die Übertragbarkeit auf weitere Regionen. Zudem werden die Fachkräfte von morgen an unseren Hochschulen aus- und weitergebildet und tragen mit ihrer Expertise zum Gelingen der Energie- und Verkehrswende bei. Darüber hinaus sind regionale Akteure auch in der Schulbildung aktiv.

Eine Kooperation aus der RVK, der TH Köln, dem zdi-Netzwerk MINT Rhein-Berg sowie dem AWG Bensberg haben eine Unterrichtseinheit zum Thema Wasserstoffmobilität erarbeitet, um Schüler*innen das Thema im Unterricht näherzubringen. Das Projekt läuft seit 2016 und erreicht pro Jahr vier bis sechs Schulklassen. In einem weiteren Schulprojekt tritt das Nicolaus-August-Otto-Berufskolleg als einziges in der Brennstoffzellenklasse teilnehmendes Berufskolleg Deutschlands beim Shell Eco-Marathon mit einem selbstkonstruierten Brennstoffzellenfahrzeug an. Über die Vermittlung von H_2-Wissen in der schulischen Ausbildung fördern das Berufskolleg und das Team NAOB darüber hinaus das Interesse an entsprechenden Studieninhalten der Hochschulen und tragen zur Stärkung der erforderlichen ingenieurwissenschaftlichen Expertise für die Energiewende bei. Mit dem geplanten Aufbau von Schulkooperationen im Bereich H_2-Wissen werden Ausbildungsinhalte zu alternativen Antriebskonzepten über Pojektwochen weiteren Schulen zugänglich gemacht.

Eine Online-Konferenz, die von der KölnBusiness Wirtschaftsförderung mit Unterstützung von HyCologne und der TH Köln durchgeführt werden soll, leistet einen Beitrag zur öffentlichen Wahrnehmung und dient der Kommunikation von Projekterfahrungen als "Blaupause" für weitere Regionen. Weiterhin kann die Online-Konferenz eine regionale und überregionale Vernetzung der Akteure fördern.

Weitere Informationen zu den Maßnahmen sind Tabelle 4-22 zu entnehmen. Ergänzend sind eingereichte Projektsteckbriefe der Akteure in Anhang B und eingereichte Absichtserklärungen in Anhang C aufgeführt.

Tabelle 4-22 Maßnahmen für H_2-Wissen

H_2-Wissen				
Nr.	Maßnahme	Akteur	Kurzbeschreibung	Steckbrief
1	Feinkonzept	CAM, EMCEL, ETC, FZJ, HyCologne, KLN, KVP24,	Ein Konsortium erstellt das Feinkonzept zu *H2R-Wasserstoff Rheinland* im Zuge des Wettbewerbsaufrufs der Modellregion "Wasserstoff-Mobilität NRW".	B.71
2	Begleitforschung	CAM	Die Begleitforschung analysiert die Fortschritte bei der Umsetzung von H2R und spricht spezifische Forschungsfragen des Feinkonzepts an. Strategische Ziele werden mit realen Fortschritten abgeglichen und wichtige Fragen beantwortet.	B.72
3	Kommunikation	CAM	Die laufende Ergebniskommunikation gegenüber Entscheidungsträgern und Öffentlichkeit stärkt die Akzeptanz gegenüber H2R,	B.73

			ermöglicht Wissenstransfer und liefert wichtige Erkenntnisse für die Durchführung zukünftiger Projekte.	
4	Akzeptanzstärkung	CAM	Im Feinkonzept H2R wurde ein innovatives Konzept zu Kommunikation, Akzeptanzmonitoring und -stärkung verankert. Es nutzt die Wechselwirkungen zwischen den Aspekten und wird zur Akzeptanzwerbung für H2R eingesetzt.	B.74
5	Bereitstellung von KnowHow	DLR	Das Deutsche Zentrum für Luft und Raum-fahrt e.V. besitzt ein weitreichendes Know-how von der Wasserstofferzeugung, über die Speicherung und Nutzung von Wasser-stoff zur Stromerzeugung bis hin zum Einsatz in der Mobilität.	B.75
6	ETC	Energy Transition Consulting	ETC wurde im September 2019 als Start up aus dem Forschungszentrum Jülich gegründet und setzt lang-jährige Erfahrungen aus energietechnischer Forschung in Beratung um.	B.76
7	Framatome	Framatome	Framatome unterstützt als EPC (Engineering Procurement & Construction) und erstellt Studien und Konzepte. Framatome stellt technisches Know-how bereitet und deckt das gesamte Spektrum der Wasserstofftechnologie ab.	B.77
8	Lehre zum Thema Wasserstoff	Handwerkskammer zu Köln	Die Handwerkskammer zu Köln soll als fundierter H_2-Wissensvermittler etabliert werden. Einerseits soll dies durch allgemeine Öffentlichkeitsarbeit (Presse, Newsletter, soziale Medien), andererseits durch die technische Betriebsberater (Einzel- und Gruppenberatung, Veranstaltungen) umgesetzt werden.	B.78
9	H_2- Wissensvermittlung durch Öffentlichkeitsarbeit	Handwerkskammer zu Köln	Die Handwerkskammer zu Köln soll als fundierter H_2-Wissensvermittler etabliert werden. Einerseits soll dies durch allgemeine Öffentlichkeitsarbeit (Presse, Newsletter, soziale Medien), andererseits durch technische Betriebsberater (Einzel- und Gruppenberatung, Veranstaltungen) umgesetzt werden.	B.79
10	Analyse der Gasinfrastruktur	H-BRS	Die Anforderungen und Potenziale für den Betrieb von Gasnetzinfrastrukturen mit Wasserstoff (H_2 Beimischung, reine H_2-Netze) auf Basis von entsprechenden regionalen Daten werden untersucht..	B.80
11	Studiengang Sektorenkopplung und Nachhaltigkeit	H-BRS	Studierende erlangen im Masterstudien-gang ein tiefes Verständnis über Elemente und Nachhaltigkeit der Sektorenkopplung. Der Praxisbezug mit entsprechenden Semi-nar- und Abschlussarbeiten in Kooperation mit Unternehmen steht dabei im Vorder-grund.	B.81
12	Informationsplattform für Bürger	H-BRS	Im Projekt Campus to World (CitizenLab) werden Bürgerinnen und Bürger in die Forschung einbezogen. Wasserstoff kann hier thematisch aufgegriffen und über verschiedene Formate abgebildet werden.	B.82
13	Transformationsforschung	H-BRS	Transformationsforschung stellt am Inter-nationalen Zentrum für Nachhaltige Ent-wicklung (IZNE) der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg einen Schwerpunkt dar. Hier kann das Wechselspiel	B.83

			der Akteure, der Umwelt und der neuen Technologien analysiert werden.	
14	Kooperative Forschung und Lehre	H-BRS	Die Hochschule Bonn-Rhein-Sieg bietet Möglichkeiten zur kooperativen Forschung und Lehre im Bereich Wasserstoff sowohl mit Unternehmen als auch Kommunen und weiteren Partnern aus der Region.	B.84
15	H2pro3 Plattform	HyCologne, TH Köln, coac GmbH	Eine webbasierte Plattform ermöglicht einen Austausch zwischen Akteuren, Nutzern und Anbietern von wasserstoffbasierten Energietechnologien aus der Privatwirtschaft und dem öffentlichen Bereich.	B.85
16	Online-Konferenz #H2R	KölnBusiness Wirtschaftsförderung GmbH	Mit Unterstützung von TH Köln und HyCologne plant die KölnBusiness Wirtschaftsförderung GmbH zur Präsentation des Verbundkonzepts *H2R – Wasserstoff Rheinland* eine Kick-Off-Veranstaltung #H2R und die Etablierung des Formats als Online-Konferenz.	B.86
17	Finanzierung für H_2-Projekte	Kreissparkasse Köln	Die KSK begleitet die Finanzierungsgestaltung von H_2-Projekten fachlich und wirtschaftlich. Projektorientiert werden Finanzierungsmöglichkeiten analysiert und ökologische Investments platziert (z.B. Sparbriefe, Inhaberschuldverschreibungen, H_2-Fonds).	B.87
18	Aufbau von Schulkooperationen	Nicolaus-August-Otto-Berufskolleg	Schüler*innen werden für alternative Antriebskonzepte im Fahrzeugtechnischem Kontext sensibilisiert. Die Mitglieder des Team NAOB geben ihr Wissen an Schüler*innen anderer Schulen weiter	B.88
19	Wissensaustausch	RFH gGMBH	Wissensaustausch zur Erzeugung (solarthermisch/elektrolytisch) und Verteilung von Wasserstoff. Aktuelles Beispiel ist das Forschungsprojekt ASTOR (Automatisierung Solar-Thermochemischer Kreisprozesse zur Reduzierung von H_2-Gestehungskosten).	B.89
20	Bergisches Wasserstoffzentrum H2Berg	Rheinisch-Bergischer Kreis, Rhein-Sieg-Kreis, Akteure aus Wirtschaft, Forschung	Das Bergische Wasserstoffzentrum H2Berg soll die Erfahrungen mit BZ-Bussen in den ÖPNV im Bergischen Land implementieren und auf SNF übertragen. Es soll die Herstellung des Grünen Wasserstoffs mit weiteren Projektpartnern unterstützen und fördern.	B.90
21	HyCologne-H2CC	Stadt Köln, Stadt Hürth, TH Köln, HyCologne, etc.,	Das Kompetenzzentrum H2 ermöglicht Interessenten einen Einblick in die Welt des Wasserstoffs und soll als Plattform für die Weiterentwicklung der Modellregion *H2R – Wasserstoff Rheinland* dienen. Akteuren wird die Möglichkeit geboten, sich aktiv in das Projekt einzubinden und die Umsetzung des Feinkonzepts weiterzuverfolgen.	B.91
22	Professur Wasserstoff-Systemtechnik	TH Köln	Die Technische Hochschule Köln wird zeitnah eine Professur zum Thema "Wasserstoff-Systemtechnik" am Cologne Institute for Renewable Energy (CIRE) der Fakultät für Anlagen, Energie und Maschinensysteme vergeben, um die Lehr- und Forschungskompetenzen im Bereich Wasserstoff-Wirtschaft zu erweitern.	B.92
23	Akzeptanzforschung und Partizipation	TH Köln	Im Rahmen der Forschung des „Virtuellen Instituts Smart Energy“ wurden Methoden und Formate (z.B. Workshops, Online-Umfragen)	B.93

			entwickelt, mit denen sich die Akzeptanz für Aspekte der Wasserstoffwirtschaft untersuchen lassen, Verständnis für die Aspekte der Wasserstoffwirtschaft geschaffen werden und Partizipationsprozesse durchgeführt werden können.	
24	Entwicklung, Modellbildung, Aufbau und Testen von Leistungselektronik	TH Köln	Die Technische Hochschule Köln unterstützt die Entwicklung, Modellbildung, den Aufbau und das Testen von Leistungselektronik für mobile und stationäre, Wasserstoff nutzende Systeme bis zu einer Leistung von 200 kW.	B.94
25	Modellierung von Energiesystemen	TH Köln	Im Rahmen der Arbeiten des „Cologne Institute for Renewable Energy“ wurden umfangreiche Modellierungswerkzeuge für Energiesysteme aufgebaut. Diese können für die Auslegung, Simulation und Optimierung von wasserstoffbasierten Energiesystemen genutzt werden.	B.95
26	Organisation von Plattformen	TH Köln	Im Rahmen der Arbeiten des „Virtuellen Instituts Smart Energy“ (VISE) und einer NRW-weiten interdisziplinären Forschungsplattform zur Digitalisierung der Energiewirtschaft wurden Formen der Organisation, Stakeholder-Kommunikation und Governance entwickelt, die auch als Grundlage für die Gestaltung von H2R nutzbar sind.	B.96
27	Wasserstoffwirtschaft in der Hochschul-Lehre	TH Köln	An der TH Köln wird in verschiedenen Fakultäten das Themengebiet Wasserstoffwirtschaft, Sektorenkopplung und Power to Gas behandelt. Es wurden vielfältige studentische Projekte und Abschlussarbeiten im Themengebiet durchgeführt. Daraus ergeben sich vielfältige Anknüpfungspunkte für Unternehmen und Stakeholder.	B.97
28	Schulunterricht über „Alternative Mobilität“	TH Köln	In Kooperation mit der RVK, dem zdi-Netzwerk MINT Rhein-Berg sowie dem AMG Bensberg ist eine Unterrichtseinheit zum Thema Wasserstoffmobilität erarbeitet worden, um Schüler und Schülerinnen das Thema im Unterricht sowie an einem Tag an der TH Köln näher zu bringen.	B.98
29	Interdisziplinäres Kompetenzteam Wasserstoffwirtschaft	TH Köln, H-SRM	Ein interdisziplinäres Kompetenzteam von Professor*innen an der TH Köln als An-sprechpartner/-innen und für Projekte, Forschung und Lehre im Bereich Wasserstoffwirtschaft, in enger Kooperation mit den Fachprofessoren und Fachprofessor*innen der Hochschule Bonn Rhein-Sieg.	B.99
30	Entwicklung von Finanz- und Leasingprodukten für Wasserstoff-Fahrzeuge	Toyota Kredit Bank	Es werden innovative Finanz- und Leasingprodukte für Wasserstofffahrzeuge und individuelle Mobilitätskonzepte unter besonderer Berücksichtigung von Wasserstoff-Technologien entwickelt.	B.100

Aufbauend auf die in diesem Abschnitt aufgezeigten Maßnahmen wird im folgenden Kapitel ein Fahrplan zum Aufbau der Wasserstoffregion entwickelt.

4.2. Unser Fahrplan weist den Weg bis 2035

Anhand der aufgezeigten Maßnahmen unserer regionalen Akteure und der detaillierten Potenzialanalyse (aus Kapitel 2.2.) wurde ein Fahrplan zum Aufbau der Wasserstoffregion entwickelt. Für die Realisierung der Wasserstoffregion im Sinne unserer Roadmap wurden drei Zeithorizonte betrachtet: Die kurzfristige Realisierung von Maßnahmen bis 2023, die Umsetzung von Ideen bis 2030 sowie die Entwicklung einer Vision für 2035. Der Fokus liegt dabei auf den Jahren 2020 bis 2023, in denen die Grundlage für die Wasserstoffregion gelegt wird. Abbildung 4-8 stellt den Fahrplan zur Umsetzung der Maßnahmen in den vier Kategorien H_2-Erzeugung, H_2-Verteilung, H_2-Nutzung und H_2-Wissen dar. Dabei sind die Maßnahmen für eine bessere Übersicht in Cluster eingeordnet.
Die Spalte „Projektstand“ verdeutlicht den Reifegrad der vorhandenen Maßnahmencluster wie folgt:

- Erste Projekte umgesetzt: In dem Cluster gibt es bereits erste Maßnahmen, die umgesetzt sind. Beispielsweise wird Nebenproduktwasserstoff zur Betankung von BZ-Bussen genutzt.
- Realisierungsphase: In dem Cluster finden sich erste Maßnahmen, die im Bau oder in der Inbetriebnahme sind.
- Planungsphase: In dem Cluster werden erste konkrete Maßnahmen geplant.
- Vorbereitung: In dem Maßnahmencluster werden Machbarkeitsstudien durchgeführt, die der Prüfung von Realisierungsmöglichkeiten dienen.
- Projektidee: In dem Maßnahmencluster gibt es Projektideen. Die Umsetzbarkeit der Projektideen wird geprüft.

Die farbigen Balken im Zeitplan stellen die Umsetzungs- und Nutzungszeiträume dar. Dabei zeigt die Färbung, wie stark die Potenziale zum jeweiligen Zeitpunkt ausgeschöpft werden. Eine helle Färbung steht für eine geringe Ausschöpfung der Potenziale. Eine dunkle Färbung steht für eine hohe Ausschöpfung der Potenziale. So ist beispielsweise das prozentuale Potenzial von BZ-Bussen heute schon etwas mehr ausgeschöpft als das von BZ-PKW. Die Entwicklung der Potenziale basiert auf der Potenzialanalyse aus Kapitel 2.2.

Die dargestellte Roadmap verdeutlicht den aktuellen Stand der Maßnahmencluster und zeigt schematisch den zeitlichen Verlauf des Aufbaus der Wasserstoffregion. Für die einzelnen Cluster werden nachfolgend die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst.

Wasserstofferzeugung

Es wird deutlich, dass Wasserstoff in unserer Region schon heute als Kraftstoff etabliert ist. Der Nebenproduktwasserstoff aus dem Industriepark Knapsack steht den Anwendern sofort zur Verfügung. Weitere Nebenproduktquellen (vgl. Tabelle 4-1) können in den nächsten Jahren erschlossen werden. Darüber hinaus werden mehrere Elektrolyseanlagen gebaut. Kurz vor Inbetriebnahme steht der mit 10 MW aktuell größte PEM-Elektrolyseur Deutschlands, der noch im Jahr 2020 in Wesseling den ersten grünen Wasserstoff produzieren soll. Die Inbetriebnahme des Elektrolyseurs stellt einen Meilenstein in unserer Roadmap dar. Weitere Anlagen, die mit erneuerbarem Strom oder Überschussstrom betrieben werden sollen, wurden im Zuge der Feinkonzepterstellung angestoßen und befinden sich in Vorbereitung.

Um die regionale Erzeugung von grünem Wasserstoff zu verstärken, werden in mehreren Projekten die Möglichkeiten zur Vergasung von Biomasse untersucht. Für das Jahr 2023 wird die Errichtung einer Pilotanlage angestrebt. Die kommerzielle Wasserstofferzeugung aus verschiedenen Arten von Biomasse (Holz, Grünschnitt, Klärschlamm) soll ab ca. 2030 starten.

Wie in Kapitel 2.2 erläutert, wird langfristig der Import von grünem und CO_2-armem Wasserstoff erforderlich sein. Der Import über die dann existierende Pipeline ersetzt sukzessive den Nebenproduktwasserstoff. Zum einen reduzieren technologische Entwicklungen (z. B. Chloralkali-Elektrolyse mit Sauerstoffverzehrkathode [37]) die Mengen des anfallenden Nebenproduktwasserstoffs, zum andern beinhaltet der Import von Wasserstoff geringe CO_2-Emissionswerte.

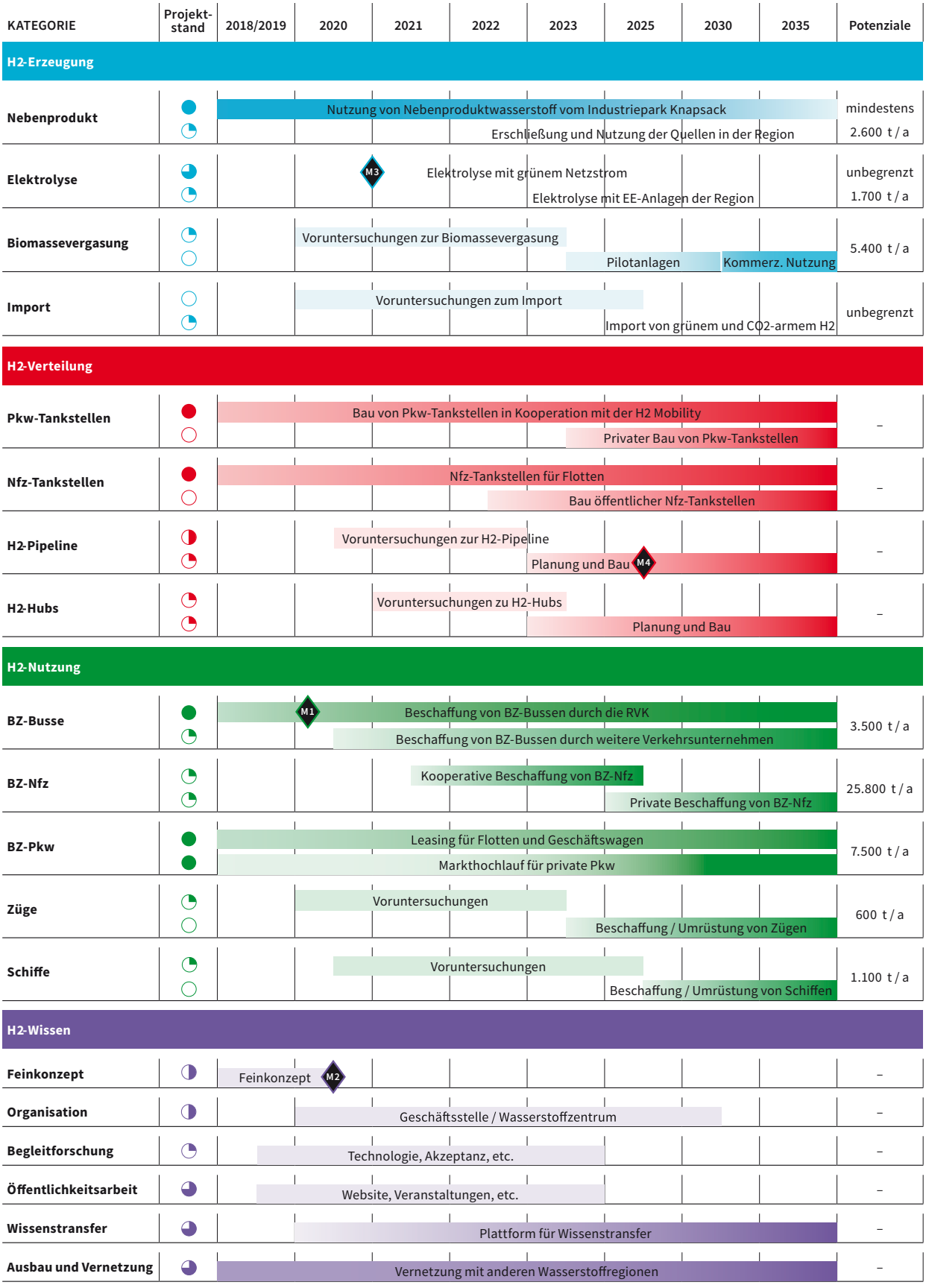


Abbildung 4-8 Unser Fahrplan zur Umsetzung der Wasserstoffregion

Wasserstoffverteilung

Die heute existierenden privaten und öffentlichen Tankstellen werden zu einem flächendeckenden Netzwerk ausgebaut. Zu den existierenden privaten Bustankstellen in Hürth, Meckenheim und Wermelskirchen sind weitere Tankstellen in Hürth und im Rheinisch-Bergischen Kreis geplant. Bezüglich der Betankung von PKW sorgt die Initiative H2 Mobility für eine Abdeckung mit öffentlichen Tankstellen. Am Fulghafen Köln/Bonn wurde die Tankstelle um eine Zapfsäule mit einem Druck von 350 bar erweitert. Mittelfristig sollen öffentliche PKW- und NFZ-Tankstellen an Knotenpunkten der Region, z. B. Autobahnkreuzen, entstehen. Die Ausbaubedarfe sind insbesondere im Rhein-Erft-Kreis und im Rheinisch-Bergischen Kreis hoch (vgl. Kapitel 2.2).

Um eine effiziente Versorgung der Tankstellen sowie weiterer Wasserstoffsenken zu gewährleisten, soll ab ca. 2025 die Pipeline für den Transport großer Mengen eingesetzt werden. Gleichzeitig ist vorgesehen, an mehreren Standorten H_2-Hubs einzurichten, um Erzeugern und Abnehmern den Zugang zum Pipelinenetzwerk zu ermöglichen. Die Voruntersuchungen zu Pipeline und Hubs wurden im Zuge der Feinkonzepterstellung angestoßen. Zudem wurden in der Maßnahme HyPipCo die relevanten Stakeholder für eine Umsetzung angesprochen. Die Inbetriebnahme des ersten Teilstücks der Pipeline stellt einen Meilenstein in unserer Roadmap dar.

Wasserstoffnutzung

Die BZ-Busflotte in der Region wird auf der Basis der heute schon eingesetzten Fahrzeuge stetig ausgebaut. Bis Ende 2021 werden 52 Busse in der Flotte der RVK integriert sein. Neben der RVK planen weitere Busbetreiber, BZ-Busse einzusetzen. Die entsprechenden Untersuchungen und Projekte starten etwa zum Zeitpunkt der Veröffentlichung unserer Roadmap. Bis ca. 2035 könnte der Großteil des Potenzials im ÖPNV ausgeschöpft sein.

Parallel werden weitere Projekte zur Umstellung von Nutzfahrzeugen auf BZ-Antrieb angestoßen. Der Fokus liegt auf Fahrzeugen der kommunalen Flotten (z. B. Müllsammelfahrzeuge) und auf BZ-LKW im Schwerlastverkehr. Eine kooperative Beschaffung dieser Fahrzeuge soll zum einen die Hersteller dazu bewegen, entsprechende Fahrzeuge in entsprechender Zahl anzubieten. Zum anderen regen große Beschaffungsmengen zum Aufbau einer Infrastruktur an, da eine planbare und hohe Auslastung garantiert wird. Die kooperative Beschaffung stellt einen Meilenstein in unserer Roadmap dar.

BZ-PKW werden schon von mehreren Nutzern in der Region eingesetzt. Allerdings ist der Gesamtanteil am Fahrzeugbestand noch sehr gering. Durch Maßnahmen wie das Leasing von BZ-PKW sollen attraktive Konditionen geschaffen werden. Die primär angesprochenen Kunden sind hierbei Unternehmen und Flottenbetreiber wie Ride-Sharing-Dienste und Taxiunternehmen sowie Kommunen und Städte. Ab etwa 2025 werden dann günstigere Preise, ein erweitertes Fahrzeugangebot und eine flächendeckende Tankstelleninfrastruktur für den Markthochlauf im privaten PKW-Segment sorgen.

Mittelfristig sollen auch geeignete Züge (Güter- und Personenzüge) sowie Schiffe (Fähren und Transportschiffe) auf BZ-Antrieb umgestellt werden. Die ersten Projekte zu Untersuchung und Umrüstung des Bestands wurden mit Maßnahmen von *H2R – Wasserstoff Rheinland* angestoßen. Ab 2025 soll es Neubeschaffungen von BZ-Personenzügen geben.

Wasserstoffwissen

In der Kategorie Wissen stellt die Fertigstellung des Feinkonzepts im August 2020 den ersten Meilenstein im Fahrplan des Zusammenschlusses *H2R – Wasserstoff Rheinland* dar. Im Zuge der Konzepterstellung wurden Maßnahmen zu Begleitforschung (Forschungsfragen), Öffentlichkeitsarbeit (Website, Pressemitteilungen) und Wissenstransfer (Wissensmanagement, H2PRO3) angestoßen. Zurzeit erarbeiten wir ein Konzept, das uns aufzeigt, in

welcher Form wir das Projekt H2R programmatisch weiterführen und die Realisierung der Maßnahmen in der Region begleiten und unterstützen können.

Fazit

Mit unserem Fahrplan zeigen wir den zeitlich gebündelten Aufbau der Wasserstoffregion im Großraum Köln auf, dessen koordinierter Ablauf dem Zweck dient, die identifizierten Potenziale zu heben. Damit dieses durchaus ambitionierte Ziel erreicht wird, gilt es, die regionalen Akteure systematisch zu unterstützen, die vorhandenen Maßnahmen und Projektideen zu überwachen sowie Kooperationen und Synergien zu schaffen. Dies erfordert nicht nur tiefgreifendes Fachwissen, sondern auch eine entsprechende Finanzierung der notwendigen Arbeitskräfte. Welche Impulse aus unserer Sicht für die erfolgreiche Umsetzung der Roadmap notwendig sind, werden im folgenden Kapitel aufgezeigt.

Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

- Unsere Roadmap weist den Weg für den Aufbau einer nachhaltigen Wasserstoffregion im Rheinland. Sie enthält ein breites Spektrum an Maßnahmen und Ideen regionaler Akteure für die Zeithorizonte 2023, 2030 und 2035. Anhand von Meilensteinen werden zukunftsweisende Schritte gekennzeichnet.
- Wir nutzen regionale Potenziale zur Schaffung einer diversifizierten Erzeugungsstruktur. Der Aufbau der Wasserstoffregion startet mit der Nutzung von Nebenproduktwasserstoff und der Erzeugung von Wasserstoff per Netzstrom. Die zahlreichen Maßnahmen zur Erzeugung von grünem Wasserstoff sind zu prüfen, erste Anlagen könnten ab ca. 2022 in Betrieb gehen. Die Nutzung der Biomassevergasung ergänzt mittel- bis langfristig die regionale Erzeugungsstruktur. Ab etwa 2035 soll der Nebenproduktwasserstoff durch regional erzeugten oder importierten grünen Wasserstoff ersetzt werden.
- Bei der Errichtung der Wasserstoffinfrastruktur schreitet der Ausbau privater und öffentlicher Tankstellen voran. Ein zentraler Meilenstein der regionalen Wasserstoffverteilung liegt in der Errichtung einer Wasserstoffpipeline. Über sie können große Mengen an Wasserstoff für die Sektoren Industrie, Strom und Wärme bereitgestellt werden. Die Pipeline sollte überdies in ein nationales und internationales Wasserstoffnetz eingebunden werden, um langfristig grünen Wasserstoff importieren zu können. Entlang der Pipeline werden dezentrale H2-Hubs errichtet. Sie dienen als Schnittstellen für Einspeisung und Entnahme von Wasserstoff und realisieren einen diskriminierungsfreien Handel mit einem flexiblen und transparenten Wasserstoffpreis.
- Der Hochlauf von Brennstoffzellenfahrzeugen in der Region beginnt schon heute mit Bussen, PKW, kommunalen Fahrzeugen und Flurförderfahrzeugen. Später folgt die Einführung von LKW, Zügen, Schiffen. Zur Kopplung der Sektoren werden langfristig auch Brennstoffzellensysteme für die Strom- und Wärmeversorgung eingesetzt.
- Ein breites Netzwerk aus Partnern unseres Zusammenschlusses – v. a. Hochschulen und Forschungsinstitute – setzt sich für die Bündelung und den Transfer von Wissen ein. Die Themenfelder Wasserstoff und Brennstoffzelle werden sowohl in der regionalen Forschung als auch in der Lehre eingebracht und vertieft. Nicht zuletzt wird die Umsetzung der Roadmap durch eine umfassende Begleit- und Akzeptanzforschung gestützt.

5. Kosten-Nutzen: Wirtschaftlichkeit und Mehrwerte unserer Maßnahmen

Für die erfolgreiche Umsetzung von Wasserstoffprojekten sind sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch die Auswirkungen auf den Klimaschutz wichtige Bewertungskriterien. Daher werden für die im Rahmen des Feinkonzepts identifizierten Maßnahmen die Kosten und CO_2-Einsparungen ermittelt und quantitativ dargestellt. Es konnten hierfür alle Maßnahmen berücksichtigt werden, für die zum Zeitpunkt der Erstellung des Feinkonzepts aussagekräftige technische Daten zur Verfügung standen.

5.1. Kostenrechnung vorhandener Maßnahmen

Aufbauend auf einer detaillierten Analyse der vorhandenen Maßnahmen werden in diesem Abschnitt Richtgrößen für die Kosten genannt. Voraussetzung für die Kostenrechnung ist eine ausreichende Datengrundlage. Bei konkreten Projekten in der Realisierungsphase konnte teilweise auf reale Kosten zurückgegriffen werden.

Um die Vergleichbarkeit der Berechnungen im Rahmen des Wettbewerbs „Modellkommune/-region Wasserstoff-Mobilität NRW“ mit denen anderer Modellregionen zu gewährleisten, wurden spezifische Kenndaten und Richtgrößen für die gängigen Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien abgestimmt. An dieser Stelle ist zu betonen, dass die zugrunde gelegten Daten eine erste grobe Einordnung hinsichtlich des notwendigen finanziellen Aufwands und der ökologischen Mehrwerte ermöglicht. Sie ersetzen keine detaillierte Machbarkeitsstudie, auch können die realen Werte unter Umständen deutlich von den angenommenen Richtgrößen abweichen. Im folgenden Kapitel wird eine Übersicht über die ermittelten Kosten gegeben.

Wasserstofferzeugung

In Abbildung 5-1 werden die Kosten pro produziertem kg Wasserstoff über die eingesparten CO_2-Emissionen für Maßnahmen in unserer Region aufgetragen. Sowohl die Kosten als auch die CO_2-Emissionen sind maßgeblich von dem verwendeten Primärenergieträger für die Wasserstoffherstellung abhängig.

Abbildung 5-1 zeigt, dass die Kosten von Wasserstoff aus Reformierung zwar gering, aber durch hohe spezifische CO_2-Emissionen charakterisiert sind. Aufgetragen sind die direkten Emissionen, die bei der Erzeugung des Wasserstoffs anfallen. Emissionen, die bei der Anlagenherstellung und -bau anfallen, sind in Abbildung 5-1 nicht berücksichtigt. Grüner Wasserstoff, der per Elektrolyse mit Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt wird, weist geringere CO_2-Emissionen auf, zeichnet sich hingegen durch höhere Kosten aus. Insbesondere bei der Erzeugung von grünem Wasserstoff per Elektrolyse beeinflussen lokale Rahmenbedingungen (Sonneneinstrahlung und Windaufkommen) die Wirtschaftlichkeit der Wasserstoffproduktion. In unserer Region werden geringere Sonneneinstrahlungen verzeichnet als im Süden Deutschlands, des Weiteren werden im Norden Deutschlands höhere Volllaststunden für Windenergieanlagen erreicht. Dies führt dazu, dass importierter Wasserstoff gegebenenfalls günstiger sein kann als regional erzeugter Wasserstoff. Nebenproduktwasserstoff, der in unserer Region in Anbetracht der hier ansässigen Industrie in hohem Maße verfügbar ist, weist mit ca. 4 €/kg und spezifischen Emissionen von etwa 5,4 kg CO_2/kg H_2 geringere Kosten als grüner Wasserstoff in der Region auf.

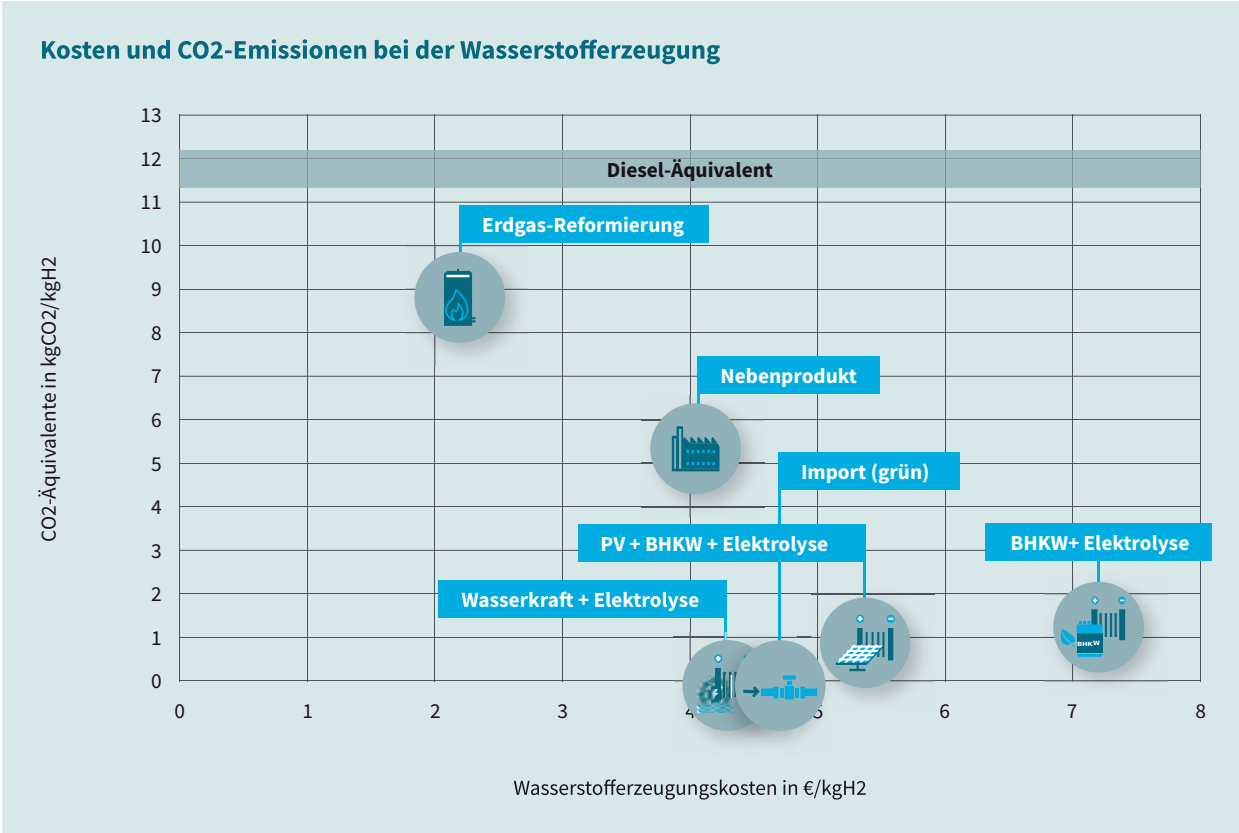


Abbildung 5-1 CO_2-Emissionen und Gestehungskosten verschiedener Quellen zur Wasserstofferzeugung gemäß den Daten geplanter Maßnahmen

Wie in Kapitel 4.1.1 beschrieben, existieren viele Projektideen zur Erzeugung von Wasserstoff per Elektrolyse mit Strom aus erneuerbaren Energien. In Kapitel 2.2 werden die Potenziale für grünen Wasserstoff aus erneuerbaren Energien für unsere Region, die auf der Erzeugung durch Post-EEG-Anlagen basieren, ausgewiesen. Allerdings ist das Potenzial zur Erzeugung durch Post-EEG-Anlagen begrenzt.
Weiterhin zeigt Abbildung 5-1, dass der Import von grünem Wasserstoff gegebenenfalls kostengünstiger sein kann als Wasserstoff, der regional erzeugt wird. Um dennoch eine regionale Wertschöpfung bei der Wasserstoffproduktion in der H2R-Region generieren zu können, ist es erforderlich, Lösungen zur Nutzung von erneuerbaren Energien zu erarbeiten. Für die Erzeugung von kostengünstigem Wasserstoff per Elektrolyse sind geringe Stromgestehungskosten erforderlich. Hierfür ist u. a. eine Anpassung der regulatorischen Rahmenbedingungen notwendig.

Die Wasserstoffgestehungskosten der Erzeugungsmaßnahmen bewegen sich inklusive anfallender Wartungs- und Betriebskosten der Elektrolyseanlagen sowie unter Berücksichtigung des angenommenen Zinssatzes von 8 % zwischen 4 €/kg H_2 und 8,82 €/kg H_2. Ein pauschaler Wert für die Speicherung von Wasserstoff am Erzeugungsstandort ist in den Kosten mit inbegriffen. Die gesamte Wasserstoffproduktion durch die berechneten Erzeugungsmaßnahmen liegt bei ca. 7.800 kg/d.

Nebenproduktwasserstoff stellt für unsere Region eine sinnvolle Brückentechnologie dar, da er verhältnismäßig kostengünstig ist und zugleich geringere CO_2-Emissionen verursacht als Wasserstoff, der per Reformierung hergestellt wird. Initial werden zum Heben der Potenziale in der Region die vorhandenen Nebenproduktwasserstoffquellen verwendet. Nebenproduktwasserstoff ist in großen Mengen verfügbar und stellt die kostengünstigste Alternative der betrachteten Wasserstoffquellen dar. Wie im Technologiekonzept beschrieben, werden die Nebenproduktwasserstoffquellen sukzessive durch grünen Wasserstoff substituiert.

Wasserstoffverteilung

Um die Substitution des Nebenproduktwasserstoffs effizient in Angriff zu nehmen, ist der Import von grünem Wasserstoff über eine Pipeline erforderlich. Die Kosten für die Pipeline sind in der vereinfachten Kostenrechnung maßgeblich von der Länge der Pipeline abhängig. Die angestrebte Pipeline mit dem in Abbildung 4-5 fiktiv dargestellten Verlauf hat eine Länge von ca. 100 km. Aktuell wird geschätzt, dass mindestens 50 % der bestehenden Leitungen umgestellt werden können. Diese Annahmen ergeben sich aus Gesprächen mit regionalen Pipelinebetreibern (siehe LOI C.3.2 von Evonik). Die Umstellung einer bestehenden Pipeline auf Wasserstoff ermöglicht eine Reduktion der Kosten um ca. 55 % gegenüber dem Neubau einer Pipeline [38]. Die zugrunde gelegten Annahmen für die Kosten sind auf einen Pipelinedurchmesser von 400 mm bezogen. Die Investitionskosten für die Pipeline betragen unter Berücksichtigung des getroffenen Umstellungspotenzials ca. 62 Mio. €.

Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Pipeline hat zudem die Ausführung der Pipeline als reguliertes bzw. unreguliertes Geschäft. Diese Rahmenbedingungen sollen in einer Machbarkeitsstudie zum Thema HyPipCo weitergehend untersucht werden. In den vorliegenden Berechnungen wird ein Standardzinssatz zugrunde gelegt.

Der Vorteil eines Pipelinesystems gegenüber dem Transport per Trailer besteht darin, dass dieses Netzwerk alle Komponenten von der Erzeugung bis zum Verbrauch des Wasserstoffs verbindet. So ist eine kontinuierliche Versorgung über die Pipeline garantiert, ohne dass die Betreiber auf Lieferungen per Truck angewiesen wären. Zusätzlicher Aufwand, wie z. B. der Einsatz von Fahrern, entfällt. Auch wird die Abhängigkeit von öffentlichen Straßen aufgelöst, die ihrerseits nicht zusätzlich durch den H_2-Transport belastet werden. Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus der Speicherfähigkeit des Pipelinenetzwerks. Bis zu einem gewissen Grad kann das Volumen des Rohrleitungssystems genutzt werden, um Wasserstoff zwischenzuspeichern oder plötzliche Lastspitzen/Lastabfälle auszugleichen.

Die Maßnahmen beinhalten weiterhin die Kosten für drei Tankstellen der RVK und eine Tankstelle, die potenziell für Flurförderfahrzeuge an der Koelnmesse errichtet werden könnte. Die Tankstellen der RVK in Wermelskirchen und Meckenheim sind für die Versorgung von 20 Brennstoffzellenbussen ausgelegt. Dies entspricht ca. einer Abnahme von 0,3 t/d. Wegen der hohen Investitionskosten für Tankstellen liegen die spezifischen Kosten in der Größenordnung von 5 €/kg H_2.

Wasserstoffnutzung

In der Roadmap werden verschiedenste Maßnahmen für die Nutzung von Wasserstoff im Verkehrssektor beschrieben. Die Investitionskosten werden für Maßnahmen ermittelt, die sich in einer konkreteren Planungsphase oder schon in der Umsetzungsphase befinden. Die berechneten Maßnahmen umfassen die in der Potenzialanalyse bereits betrachteten Fahrzeugkategorien. Zusätzlich zu den in der Potenzialanalyse betrachteten Fahrzeugtypen werden zwei Brennstoffzellen-BHKW berechnet. Die Investitionskosten variieren in Abhängigkeit von Fahrzeugtyp und Fahrzeuganzahl. Die zugrunde gelegten Kosten sind in Tabelle A-7 im Anhang aufgeführt. Es wird deutlich, dass die Investitionskosten der Brennstoffzellenfahrzeuge die Investitionskosten der Referenztechnologien deutlich überschreiten. Insgesamt wird eine Wasserstoffmenge von ca. 8.300 kg/d abgenommen; dies entspricht einer jährlichen Wasserstoffmasse von ca. 3.000 t Wasserstoff.

Fazit zur Kostenrechnung

Die überschlägig ermittelten Gesamtinvestitionen für die Maßnahmen von H_2-Erzeugung, H_2-Verteilung und H_2-Nutzung liegen bei ca. 405 Mio. €. Hierbei entfallen ca. 26 Mio. € auf Maßnahmen der H_2-Erzeugung, ca. 76 Mio. € auf Maßnahmen der H_2-Verteilung und ca. 301 Mio. € auf Maßnahmen der H_2-Nutzung. Die Mehrkosten für Maßnahmen der H_2-Nutzung, die die Differenz zwischen den Kosten von Fahrzeugen der Referenztechnologien und denen von Brennstoffzellenfahrzeugen darstellen, liegen bei ca. 184 Mio. € und erfordern somit ein mehr als doppelt so großes Investitionsvolumen als bei Verwendung der Referenztechnologien Diesel und Benzin.

5.1.1. Sensitivitätsanalyse

Die vorangegangenen Berechnungen wurden auf der Basis vereinfachender Richtwerte durchgeführt. Entsprechend sind die angegebenen Kosten für die Maßnahmen Richtgrößen und können in der Realität deutlich abweichen. Die Kosten einzelner Projekte sind stark von den spezifischen Rahmenbedingungen abhängig; um dies zu verdeutlichen, wurden insgesamt fünf Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Sie stellen dar, wie empfindlich die Kosten einzelner Projekte auf kleine Änderungen von Eingangsparametern reagieren können. Die Sensitivitätsanalyse wird für die Wasserstoffproduktion per Elektrolyse, für die Wasserstoffdistribution per Trailer und Pipeline und für die Wasserstoffnutzung am Beispiel eines Brennstoffzellensolobusses durchgeführt. Durch die Sensitivitätsanalyse wird die Empfindlichkeit der Kosten bei einer Änderung der Rahmenbedingungen ermittelt.

Die Eingangsparameter sind gemittelte Werte, die sich aus den regionalen Maßnahmen ergeben. Die Schwankungsbreite der Parameter wird somit über die lokal vorhandenen Rahmenbedingungen definiert. Beispielsweise werden für die Stromkosten die höchsten Stromkosten unserer Maßnahmen und die geringsten Stromkosten unserer Maßnahmen verwendet. Die weiteren Parameter, wie u. a. die Investitionskosten des Elektrolyseurs, sind im Rahmen des Wettbewerbs abgestimmte Werte. Für diese Werte wird als Spannungsbreite eine Größenordnung von ca. 20 % gewählt.

In Abbildung 5-2 sind die Einflussfaktoren für die Wasserstoffgestehungskosten eines Elektrolyseurs aufgeführt. Die Stromkosten haben einen maßgeblichen Anteil an den Wasserstoffgestehungskosten. Durch die vorgegebene Spannweite treten Kostenunterschiede in einer Größenordnung von 2,63 €/kg Wasserstoff auf. Neben den Stromkosten hat der Wirkungsgrad des Elektrolyseurs einen signifikanten Einfluss. Eine Reduktion des Strombedarfs durch einen höheren Wirkungsgrad führt zu geringeren Betriebskosten und somit zu geringeren Wasserstoffgestehungskosten. Weiterhin sind die Investitionskosten des Elektrolyseurs, die Auslastung des Elektrolyseurs und die Instandhaltungskosten relevante Stellgrößen für die Wasserstoffgestehungskosten. Eine geringe Auslastung des Elektrolyseurs bei der Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien führt beispielsweise zu hohen spezifischen Investitionskosten. Bei einer Auslastung von 1.000 h/a erhöhen sich die Wassergestehungskosten gegenüber einer Auslastung von 4.010 h/a um 5,94 €/kg H_2. Eine höhere Auslastung von 8.000 h/a führt zu einer Verringerung der Kosten um 0,98 €/kg H_2.

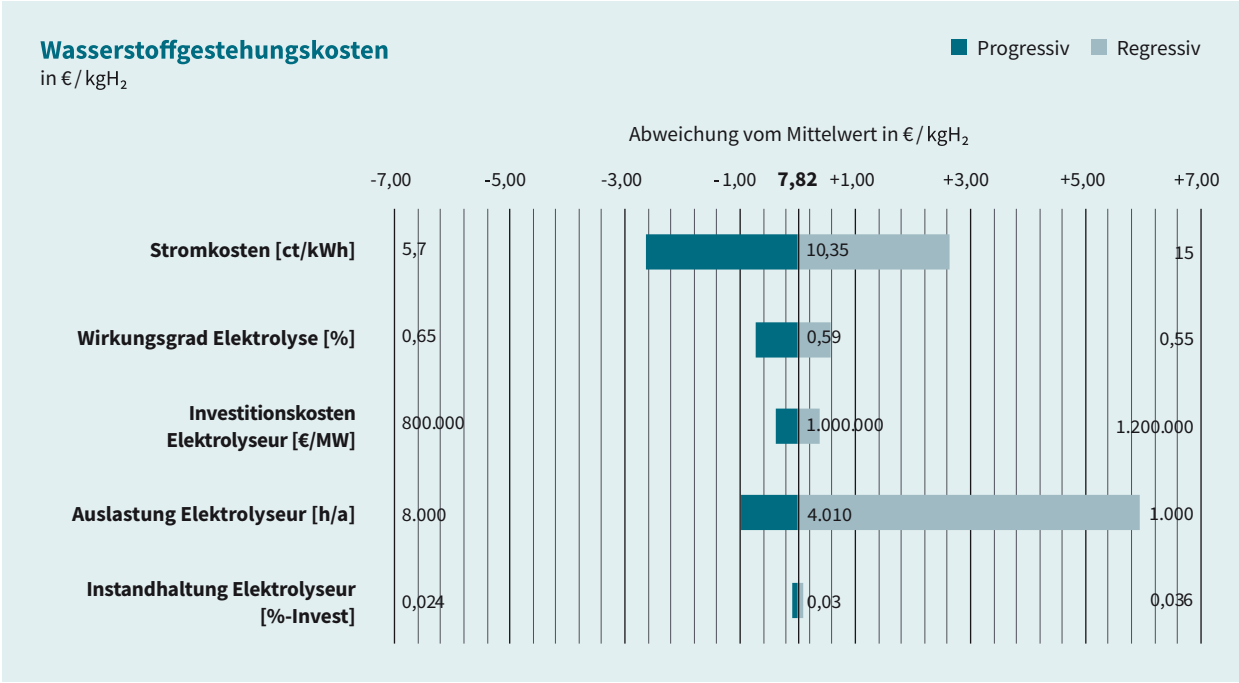


Abbildung 5-2 Sensitivitätsanalyse für die H_2-Erzeugung durch Wasserelektrolyse

Die Sensitivitätsanalysen für die Distribution von Wasserstoff per Trailer und per Pipeline sowie für den Betrieb eines Brennstoffzellenbusses sind in Abbildung A-16 bis Abbildung A-19 im Anhang dargestellt. Die Sensitivitätsanalysen sollen insbesondere für die regionalen Akteure zu einem besseren Verständnis beitragen, welche Stellschrauben den maßgeblichen Einfluss bei einer Nutzung von Wasserstofftechnologien haben. Mithilfe dieses Wissens wird den Akteuren die Einordnung der Umsetzbarkeit der akteursspezifischen Maßnahmen erleichtert.

5.1.2. Risikominimierung

Eine Chancen-Risiken-Abwägung ist auch mit Blick auf die Marktdurchdringung neuer Technologien erforderlich. Insbesondere im Bereich der Wasserstoffmobilität, in die viele veränderliche Rahmenbedingungen oder Technologieentwicklungen einfließen, sind dahingehend langfristige Entwicklungen von Geschäftsmodellen schwierig abzubilden. Zumeist wird daher im Rahmen einer Szenario-Analyse von einem „business as usual“, einem regressiven oder progressiven Szenario ausgegangen. Diese drei Szenarien spiegeln die entsprechende Parametervariation wider. Konkret bedeutet dies, dass z. B. Stromkosten für die Elektrolyse je nach Bezugsmodell von 5,7, 10,35 oder 15 ct/kWh angenommen werden. Durch weitere Rahmenbedingungen wie etwa Transportkosten des Wasserstoffs von der Quelle zur Senke, Investitionskosten der Tankstelle und Auslastung der Tankstelle können schließlich die Wasserstoffgestehungskosten an einer untersuchten Bustankstelle analysiert werden. Anhand der Analyse der drei Szenarien kann eine Investitionsentscheidung getroffen werden. Gleichwohl erlaubt diese Methodik keine Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit der entsprechenden Szenarien und ist deshalb für eine unternehmerische Risikoabschätzung meist ungeeignet. Hier setzt die Monte-Carlo-Simulation, ein stochastisches Simulationsverfahren an. Anstelle der Berücksichtigung von lediglich drei möglichen Szenarien, werden über meistens 100.000 Berechnungen möglichst viele Szenarien abgebildet. Diese berücksichtigen nun auch alle möglichen Inputvariationen. Dementsprechend sind die Inputparameter für die Berechnung keine Einzelwerte mehr, sondern Wahrscheinlichkeitsverteilungen. In dem obigen Beispiel würde demnach eine Normalverteilung mit dem Mittelwert von 10,35 ct/kWh und einer Standardabweichung von 2 die drei Szenario-Parameter ersetzen (vgl. Abbildung 5-3).

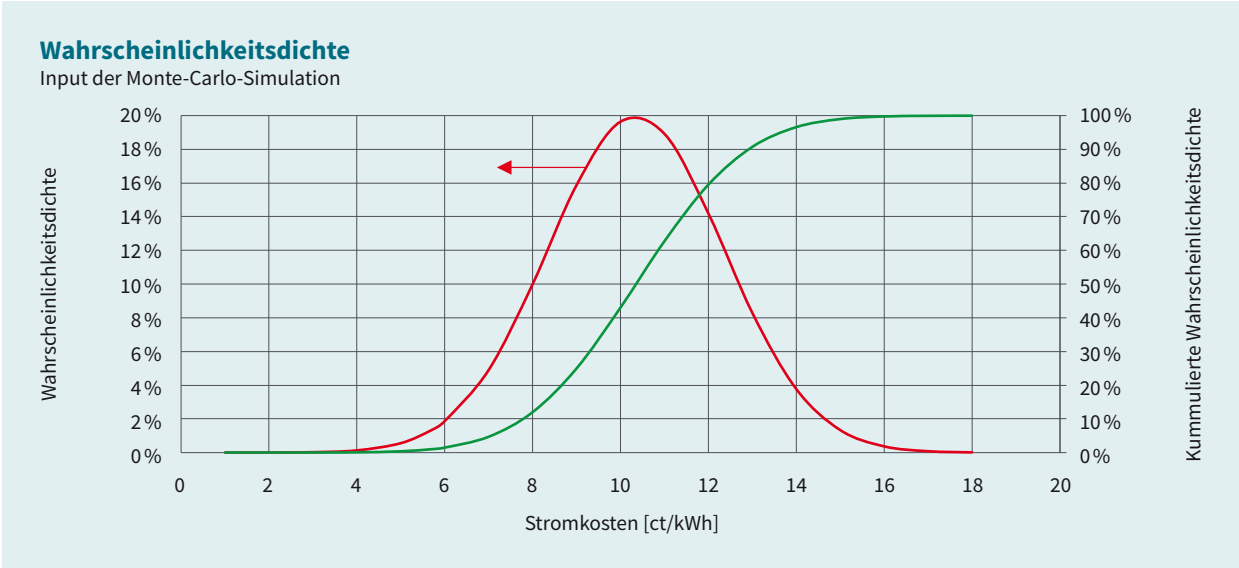


Abbildung 5-3 Kumulierte Wahrscheinlichkeitsdichte und Wahrscheinlichkeitsdichte der Stromkosten (netto) als Input für die Monte-Carlo-Simulation

Die weitere Parametrisierung erfolgt in Analogie zu den gewählten Input-Parametern der Sensitivitätsanalyse aus Kapitel 5.1.2. Mit diesen Input-Wahrscheinlichkeitsverteilungen können nun alle möglichen Optionen berechnet und die Ergebniswahrscheinlichkeitsfunktion analysiert werden. Abbildung 5-4 zeigt die kumulierte Wahrscheinlichkeitsdichte und die Wahrscheinlichkeitsdichte der Wasserstoffgestehungskosten an der Tankstelle als Output der Monte-Carlo-Simulation. Es zeigt sich, dass in 90 % der berücksichtigen Fälle Wasserstoffgestehungskosten an der Bustankstelle von unter 11,50 €/kg auftreten. In etwa der Hälfte der untersuchten Fälle (Mittelwert) können Wasserstoffgestehungskosten von um 9,5 €/kg erreicht werden.

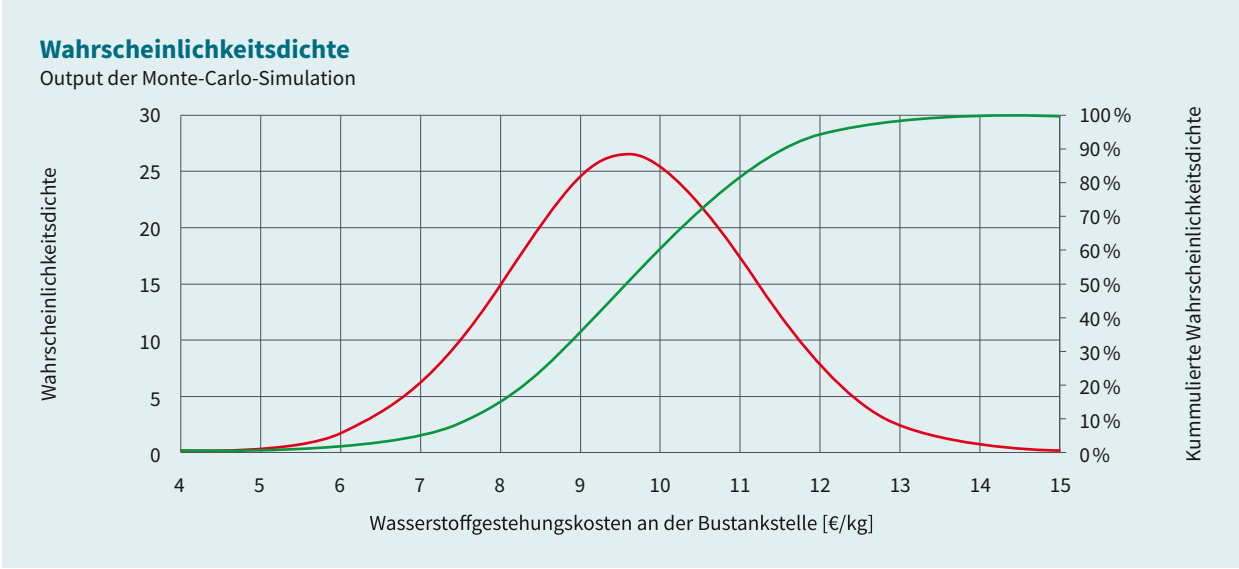


Abbildung 5-4 Kumulierte Wahrscheinlichkeitsdichte und Wahrscheinlichkeitsdichte der Wasserstoffgestehungskosten (netto) an der Bustankstelle als Output der Monte-Carlo-Simulation

5.2. Der Beitrag zum Klimaschutz

Der Nutzen einer wasserstoffbasierten Mobilität liegt neben potenziellen regionalen Wertschöpfungspotenzialen in der Einsparung der CO_2-Emissionen. Wasserstoff kann helfen, lokale und globale Emissionen in allen Sektoren zu senken und gleichzeitig Erneuerbare Energien zu integrieren.

5.2.1. CO_2-Einsparpotenziale

Das Einsparpotenzial an klimaschädlichen Emissionen durch die in Kapitel 4 beschriebenen Maßnahmen beträgt in Übereinstimmung mit den Annahmen der Potenzialanalyse aus Kapitel 2.2 für den Zeitraum von 2021 bis 2030 ca. 226 kt CO_2 und bis 2035 ca. 437 kt CO_2 bei gleichbleibender Anzahl umgestellter Fahrzeuge. Die Einsparungen beziehen sich auf die direkten CO_2-Emissionen, die im Vekehr vermieden werden. Die Einsparungen pro Fahrzeug sind hierbei stark vom Fahrzeugtyp sowie von der jeweiligen Fahrleistung abhängig. Beispielsweise werden bei einem angenommenen Verbrauch von ca. 8 l Benzin und einer jährlichen durchschnittlichen Laufleistung von ca. 13.700 km bei einem PKW ca. 2,49 t CO_2 eingespart. Die Einsparungen bei dem Einsatz eines BZ-Solobusses mit einer jährlichen durchschnittlichen Laufleistung von ca. 40.000 km liegen bei ca. 62 t CO_2.

Abbildung 5-5 zeigt die eingesparten Emissionen pro Fahrzeugkategorie sowie die potenziellen Einsparungen aus Kapitel 2.2, die bei der Umsetzung unseres Konzepts eintreten. Der größte Anteil der eingesparten CO_2-Emissionen ist auf den Einsatz von Brennstoffzellenbussen zurückzuführen. Die prozentuale Einsparung durch Busse beläuft sich zwischen ca. 80 % im Jahr 2021 und ca. 40 % im Jahr 2030. Durch den verstärkten Einsatz der weiteren Fahrzeugkategorien nimmt der prozentuale Anteil der eingesparten CO_2-Emissionen bei den Brennstoffzellenbussen ab. Im Jahr 2030 tragen Gepäckschlepper zu ca. 20 % zur CO_2-Emissionseinsparung bei. Die weiteren Emissionen werden im Jahr 2030 durch LKW und PKW (jeweils ca. 10 %) eingespart.

In Tabelle 5-1 ist die Fahrzeuganzahl pro Fahrzeugkategorie aufgeführt, die im Jahr 2030 durch die berechneten Maßnahmen eingesetzt werden. Es wird ersichtlich, dass die Einsparungen an CO_2-Emissionen sowohl von der eingesetzten Fahrzeugkategorie als auch von dem spezifischen Verbrauch der Fahrzeuge abhängen. Dies wird insbesondere bei der Betrachtung der Müllsammelfahrzeuge ersichtlich, die aufgrund des hohen Energieverbrauchs ein hohes CO_2-Einsparpotenzial erreichen. Durch 13 umgestellte Müllsammelfahrzeuge werden im Jahr 2030 ca. 5 % der eingesparten CO_2-Emissionen abgedeckt. Dies überschreitet beispielsweise die Einsparungen, die durch den Einsatz von 123 Gabelstaplern anfallen.

Tabelle 5-1 Fahrzeuganzahl pro Fahrzeugkategorie im Jahr 2030

Busse	Gabelstapler	Pkw	Güterlok	SNF	Müllfahrzeuge	LNF	Flughafenfahrzeuge
275	123	140	30	100	13	12	70

Weiterhin sind in Abbildung 5-5 die Einsparungen dargestellt, die bei Umsetzung unseres Technologiekonzepts abgedeckt werden können. Hierbei werden im Jahr 2023 CO_2-Einsparungen von ca. 35 kt CO_2 erreicht. Bis 2030 ist eine jährliche Einsparung von ca. 188.kt CO_2 möglich, bis zum Jahr 2035 werden bei Umsetzung unseres Konzeptes jährlich ca. 442 kt CO_2 eingespart (vgl. Kapitel 2.2). Die jährliche Einsparung aus den Maßnahmen liegt im Jahr 2030 bei ca. 46 kt CO_2. Dies hat signifikante Auswirkungen auf den Umwelt- und Klimaschutz und trägt deutlich zur Erreichung der Ziele der Landes- und Bundesregierung bei.

Infolge der Umstellung der Energiesystems auf Wasserstoff sind Vorteile hinsichtlich der regionalen Wertschöpfung und der Schaffung neuer Arbeitsplätze zu erwarten (vgl. Kapitel 5.3).

Durch Einsparung von klimaschädlichem CO_2 können die Folgeschäden des Klimawandels und deren immense Kosten für die öffentliche Hand eingedämmt werden. Laut Bräuer et al. [39] sind bis zum Jahr 2100 bei einer Temperaturerhöhung von 2 °C erheblich höhere Mehrkosten als bisher zu erwarten. So ist beispielsweise in Deutschland allein durch den Meeresspiegelanstieg mit Mehrkosten von bis zu 100 Mio. €/a zu rechnen. Im Gesundheitssektor liegen die ermittelten Mehrkosten bei 490 Mio. €/a, im Bereich der Wasserwirtschaft bei 0,1 Mrd. €/a.

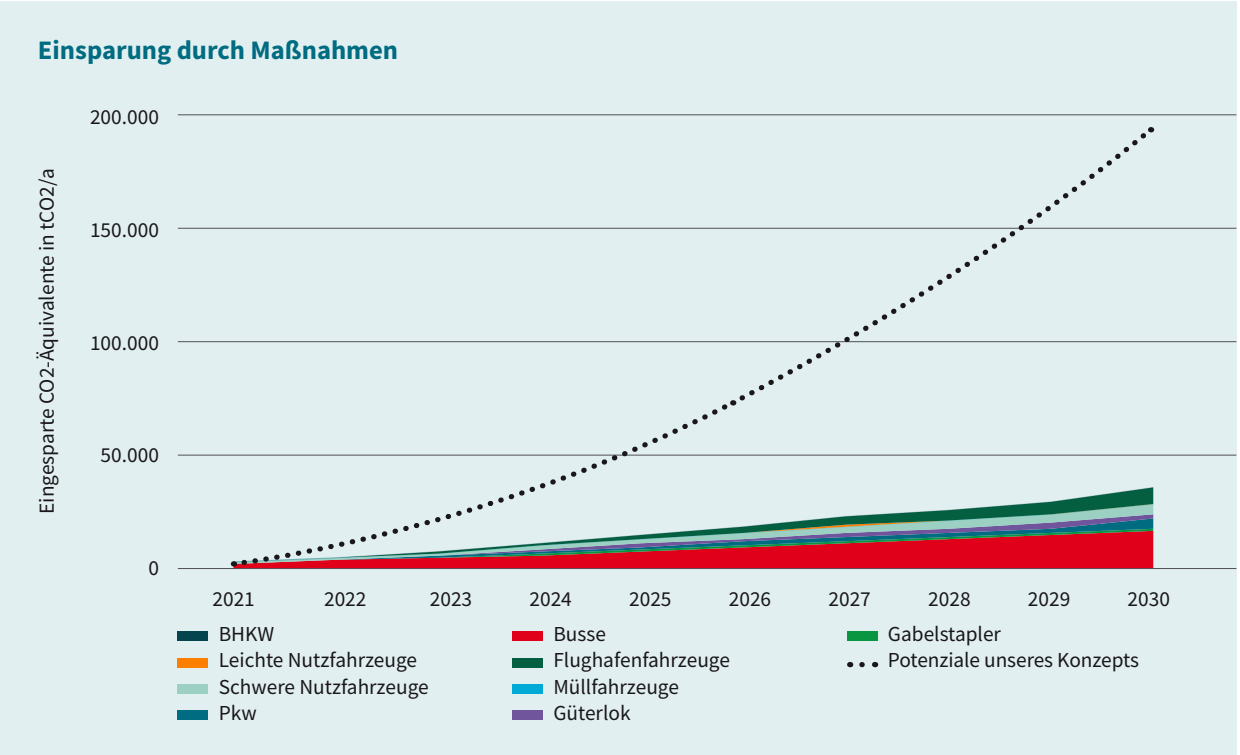


Abbildung 5-5 Jährliche CO_2-Emissionseinsparungen durch die angestoßenen Maßnahmen

5.2.2. Mit Nebenproduktwasserstoff zu grünem Wasserstoff

Wie z. B. die Forschungsergebnisse des EU-Projekts CertifHy belegen, geht die Nutzung von Nebenproduktwasserstoff mit klaren Umweltvorteilen hinsichtlich der Reduzierung von Schadstoff- und CO_2-Emissionen einher [40]. Als Nebenprodukt von Produktionsprozessen der regionalen Chemieindustrie (Chloralkali-Elektrolyse) wird der Wasserstoff thermisch verwertet oder in die Umluft entlassen [41]. Für die Erzeugung des Wasserstoffs entstehen also keine zusätzlichen Emissionen. Bei einer thermischen Verwertung können die Emissionen heizwertbezogen mit der entsprechenden Energiemenge von Erdgas gegengerechnet werden.

Die Nutzung von industriellem Nebenproduktwasserstoff birgt zudem erhebliche Kosten- und Standortvorteile. Während dadurch die wirtschaftlichen Hürden für einen breiten Markteintritt herabgesetzt werden, ist aus Umweltgründen mittelfristig dennoch die Transformation zu erneuerbarem bzw. grünem Wasserstoff geboten. In unserem Technologiekonzept wird der Nebenproduktwasserstoff sukzessive durch importierten CO_2-armen (blauen und grünen) Wasserstoff ergänzt und ersetzt. In Abbildung 5-6 ist die Entwicklung des CO_2-Fußabdrucks des Wasserstoffmixes aus unserer Region dargestellt. Bis zum Jahr 2035 werden sich die CO_2-Emissionen pro kg Wasserstoff gegenüber 2023 halbieren.

Für die Bereitstellung von grünem oder CO_2-armem Wasserstoff besteht die Möglichkeit der Zertifizierung über CertifHy (vgl. Infobox zu CertifHy). Dieses Vorgehen wird von einigen Akteuren in unserer Region wie der Shell und der H2 Mobility bereits genutzt.

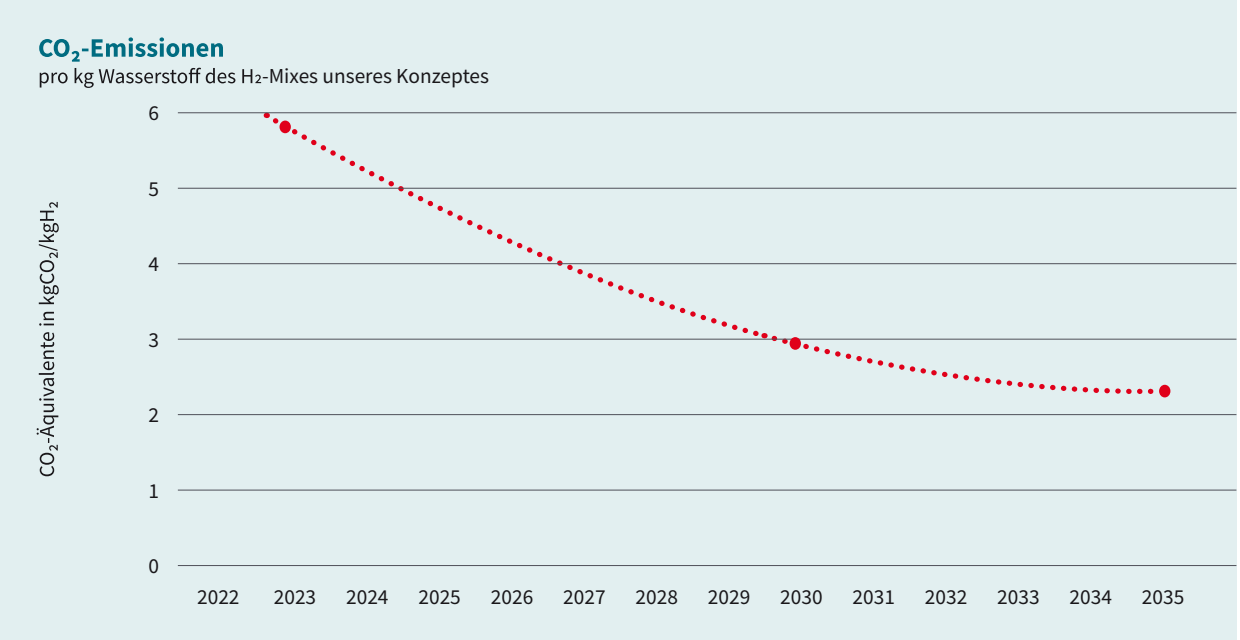


Abbildung 5-6 Entwicklung der CO_2-Emissionen pro kg Wasserstoff des H_2-Mixes gemäß unserem Konzept

Infobox Zertifizierungssystem CertifHy

CertifHy ist ein Zusammenschluss verschiedenster Firmen und Organisationen, der bis Ende 2021 ein europäisches Zertifizierungssystem sowie ein EU-weites Herkunftsnachweissystem sowohl für grünen als auch für CO_2-armen Wasserstoff schaffen will [40]. Die Grundlage für die Zertifizierung ist in der RED II (Renewable Energy Directive II von 2018) festgelegt [74].

Die Zertifizierung von Wasserstoff ermöglicht den Endverbrauchern, einen offiziellen Nachweis für die Herkunft des Wasserstoffes zu erhalten. CO_2-intensive Unternehmen können mithilfe der Zertifikate nachweislich den Anteil Erneuerbarer Energie am Endenergieverbrauch erhöhen. Es existieren verschiedene Zertifizierungskategorien (z. B. „Green Hydrogen"), die in dieser Infobox genauer erklärt werden. In Abbildung 5-7 ist zu erkennen, dass der Herkunftsnachweis (GO = guarantee of origin) Voraussetzung für eine Aufnahme in das Zertifizierungssystem ist, damit für den Verbraucher nachvollziehbar ist, welche Art Wasserstoff er abnimmt.

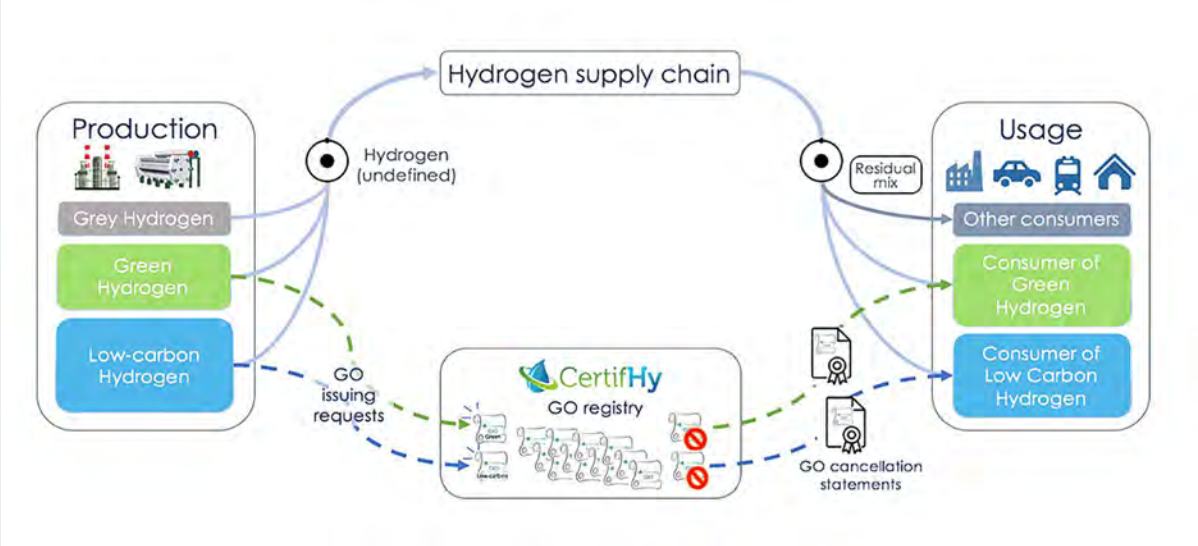


Abbildung 5-7 Schematische Darstellung der Zertifizierung

GREEN HYDROGEN: Damit der produzierte Wasserstoff als „Green Hydrogen" zertifiziert werden kann, muss er aus erneuerbaren Quellen stammen. Wird Wasserstoff aus nicht rein erneuerbaren Energiequellen wie z. B. dem deutschen Strommix erzeugt (42 % EE-Anteil 2019), kann nur ein Teil des Wasserstoffs grün zertifiziert werden. Dabei muss die Herkunft der zur Wasserstofferzeugung aufgewandten Energie durch Herkunftsnachweise verifiziert werden.

LOW CARBON HYDROGEN: Um die Herkunft aus einer effizienten bzw. emissionsarmen Energiequelle nachzuweisen, muss der Treibhausgas-Fußabdruck des erzeugten Wasserstoffs gleich oder niedriger als ein spezifizierter Grenzwert sein. Laut CertifHy Scheme liegt der Grenzwert zurzeit bei 36,4 gCO_2-eq/MJ bzw. 131 $kgCO_2$-eq/kWh. Das entspricht einer Reduzierung von 60 % zum Referenzprozess: der Dampfreformierung aus Erdgas mit 91 gCO_2-eq/MJ.

NEBENPRODUKTWASSERSTOFF: Die Zertifizierung von Wasserstoff, der als Nebenprodukt in der Herstellung anderer Güter auftritt, wird in CertifHy noch diskutiert. Nach aktueller Lage ließe sich der Nebenproduktwasserstoff je nach Strommix anteilig zertifizieren.

5.3. Schaffung regionaler Wertschöpfung

Mit dem Zusammenschluss *H2R – Wasserstoff Rheinland* werden wir attraktive Anreize für neue Unternehmen und Wirtschaftszweige im Umfeld der Wasserstofftechnologie schaffen. Dadurch werden wir von signifikanten Arbeitsplatzeffekten profitieren und können aktiv den Strukturwandel infolge der auslaufenden Braunkohleverstromung im angrenzenden Rheinischen Braunkohlerevier mitgestalten. Sowohl der Deutsche Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband (DWV) als auch die Autoren der Wasserstoffstudie NRW gehen davon aus, dass die Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft bereits im Jahr 2030 den Wegfall der Arbeitsplätze in den Kohlerevieren kompensieren kann [42] [10]. Der DWV rechnet mit 70.000 neuen Arbeitsplätzen in Deutschland bis 2030 und mit 150.000 Arbeitsplätzen bis 2050. Die Wasserstoffstudie NRW geht je nach untersuchtem Szenario allein für NRW von mindestens 20.000 Arbeitsplätzen im Jahr 2030 bis max. 130.000 Arbeitsplätzen im Jahr 2050 aus. Bezieht man diese Zahlen anteilig auf die Beschäftigtenzahlen der für die Wasserstoffwirtschaft relevanten Wirtschaftszweige [9] der H2R-Region (ca. 340.000 Beschäftigte), dann erwarten wir über den Ausbau der Wasserstofftechnologie in unserer Region bis 2030 eine Zunahme von 1.400 bis 2.000 Arbeitsplätzen und bis 2050 eine Zunahme von 3.000 bis 12.000 Arbeitsplätzen [43]. Diese Zahlen sind unserer Einschätzung nach eher als sehr konservative Schätzung zu bewerten, da sie von einer gleichmäßigen Verteilung der Arbeitsplatzeffekte über NRW bzw. Deutschland ausgehen und die Schwerpunktbildung einer Wasserstoffinfrastruktur in unserer Region nicht berücksichtigen.

Die Nutzung von lokal erzeugtem Wasserstoff ruft ebenfalls eine regionale Wertschöpfung hervor. Beim Betrieb von Fahrzeugen oder Anlagen mit fossilen Brennstoffen werden erhebliche finanzielle Mittel für den Treibstoffbezug ausgegeben. Diese Mittel fließen zu 100 % aus der Region ab (vgl. Abbildung 5-8, linke Seite).

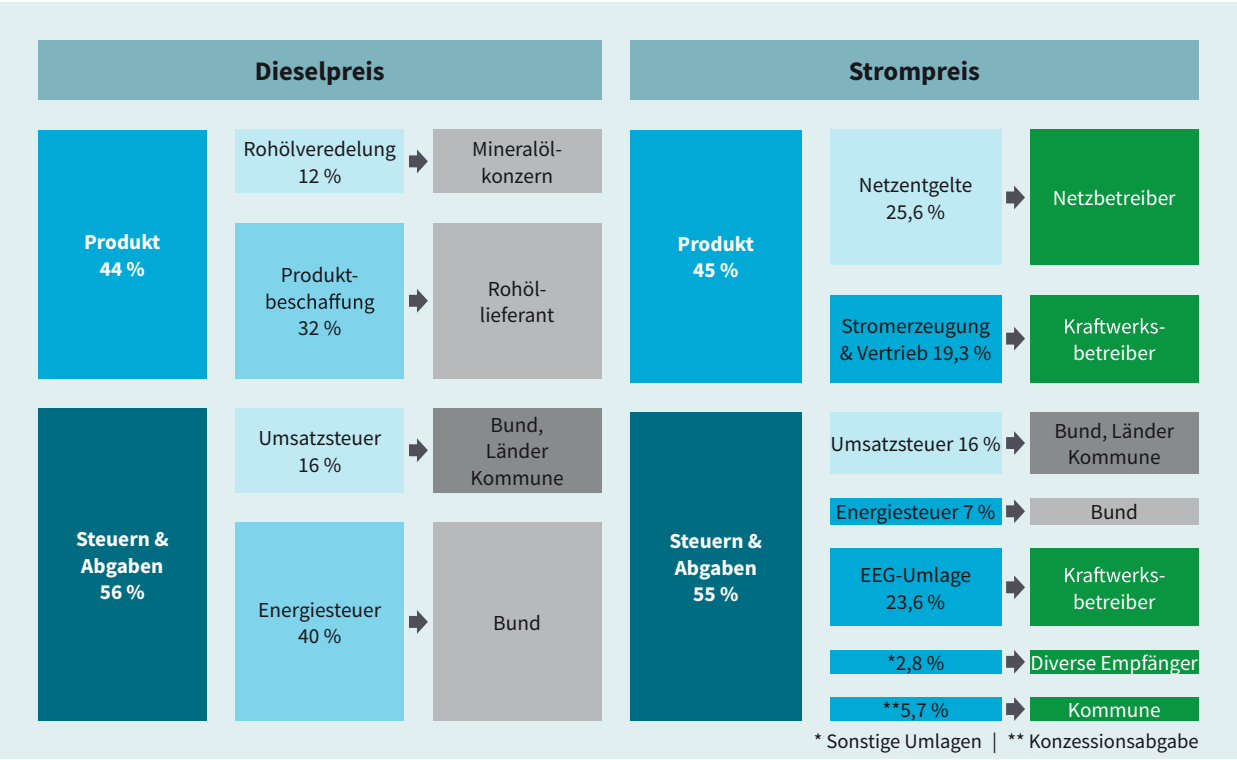


Abbildung 5-8 Steigerung der lokalen Wertschöpfung bei Nutzung von lokaler erneuerbarer Energie zur Erzeugung von Wasserstoff statt Diesel

[9] Wirtschaftszweige: Bergbau, Energie- u. Wasserversorg., Entsorgungswirtschaft; Metall- und Elektroindustrie sowie Stahlindustrie; Herst. v. Vorleistungsgütern, insb. v. chem. Erzeugungs- und Kunststoffwaren; Baugewerbe; Handel, Instandhaltung, Rep. von Kfz; Verkehr und Lagerei; Immobilien, freiberufl., wissenschaftl. u. techn. Dienstleistungen.

Die Nutzung von regenerativ erzeugter elektrischer Energie zur Herstellung von Wasserstoff kann die regionale Wertschöpfung hingegen deutlich erhöhen. Wird Wasserstoff als Kraftstoff lokal erzeugt, verteilt und versteuert, kann der Mittelabfluss um bis zu 50 % reduziert werden (siehe Abbildung 5-8, rechte Seite). Auf diese Weise wird der positive Effekt der Wasserstoffnutzung für die Region auch in langfristiger finanzieller Hinsicht beträchtlich gesteigert.

Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

- Die in diesem Konzept betrachteten Maßnahmen umfassen ein Investitionsvolumen von ca. 405 Mio. €. Ca. 26 Mio. € entfallen hierbei auf die H_2-Erzeugung, ca. 65 Mio. € auf die H_2-Verteilung und ca. 300 Mio. € auf die Anschaffung von Fahrzeugen in der H_2-Nutzung.
- Kurzfristig verwenden wir in unserer Region Nebenproduktwasserstoff als Brückentechnologie, da dieser in unserer Region verfügbar und kostengünstig ist und einen verhältnismäßig geringen CO_2-Fußabdruck hinterlässt.
- Langfristig wird an Standorten mit ökonomisch sinnvollen Rahmenbedingungen die regionale Erzeugung von grünem Wasserstoff angestrebt. Unter heutigen Rahmenbedingungen übersteigen die berechneten Kosten für die Erzeugung des in der Region erzeugten Wasserstoffs die Kosten des importierten Wasserstoffs. Langfristig ist daher von einem Import von grünem Wasserstoff auszugehen.
- Der Nutzen für Umwelt und Klima ist hoch. Durch unsere Maßnahmen können bis 2030 insgesamt ca. 226 kt CO_2 und bis 2035 insgesamt ca. 437 kt CO_2 bei gleichbleibender Anzahl umgestellter Fahrzeuge eingespart werden. Das in den Maßnahmen erhobene Potenzial entspricht damit ca. 20 % des CO_2 -Einsparpotenzials gemäß unserem Konzept.
- Das Potenzial zur Einsparung von CO_2-Emissionen gemäß unserem Konzept liegt im Jahr 2023 beica. 35 kt CO_2 /a. Bis 2030 ist eine jährliche Einsparung von ca. 188 kt CO_2 möglich, und bis zum Jahr 2035 werden bei Umsetzung unseres Konzeptes jährlich ca. 442 kt CO_2 eingespart. Hinzu kommt die Reduktion lokaler Emissionen wie NO_x, Feinstaub oder Lärm, die zu einer Steigerung der Lebensqualität in der Region führen wird.
- Heutige Investitionen in Wasserstoffprojekte sind Investitionen in die Zukunft. Ein rechtzeitiger Einstieg in den Wasserstoffmarkt schafft durch die Nutzung von regionalen Ressourcen eine Steigerung der regionalen Wertschöpfung. Dies führt potenziell zu einer Schaffung von 1.400 bis 2.000 Arbeitsplätzen bis 2030 und von 3.000 bis 12.000 Arbeitsplätzen bis 2050.

6. Unsere Impulse: Schritte zur erfolgreichen Umsetzung

Um den Aufbau unserer Wasserstoffregion im Sinne unserer Roadmap zu unterstützen und die Potenziale des Technologiekonzepts zu heben, geben wir Impulse für eine erfolgreiche Umsetzung von Projekten. Diese fokussieren folgende Schwerpunkte:

- Regulatorische Rahmenbedingungen
- Kooperationen und Geschäftsmodelle
- Skaleneffekte durch Nachfragebündelung
- Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten
- Wissensmanagement

Damit Wasserstoff wirtschaftlich erzeugt, verteilt und eingesetzt werden kann, müssen die Gesamtkosten (TCO) letztendlich mit denen der Referenz- und Konkurrenztechnologien konkurrieren können. Die Gesamtkosten setzen sich aus Investitionskosten und Betriebskosten zusammen und unterliegen vielfältigen Einflussparametern. Eine wesentliche Rolle bei der Wasserstofferzeugung per Elektrolyse spielen beispielsweise die Stromkosten; hierauf wird in Kapitel 5.1.1 und 6.1.1 eingegangen. Die grundsätzlichen Zusammenhänge der Wasserstoffgestehungskosten werden im Anhang A.6.2 dargelegt. Hier werden auch mögliche Kostenentwicklungen für die Investitionskosten der Elektrolyseure thematisiert, die über Skaleneffekte erreicht werden können. Für Akteure, die aus erneuerbaren Energien Wasserstoff erzeugen wollen, haben wir einen Schnellcheck entworfen (siehe Anhang A.7).

Für eine flächendeckende und großskalige Nutzung von Wasserstoff wäre ein Pipelinenetz die günstigste Option. Allerdings erfordern Pipelines hohe Anfangsinvestitionen. Der Mehrwert der regionalen Pipelinestruktur muss deshalb auch im Kontext der An- und Einbindung an nationale und internationale Pipelines bzw. Pipelineprojekte gesehen werden. So erhöht der Zusammenschluss zu überregionalen Verbünden die Versorgungssicherheit und durch eine höhere Transportmenge letztendlich auch die Wirtschaftlichkeit. Einen transparenten und umfassenden Ansatz bietet der Artikel „Determining the lowest-cost hydrogen delivery mode“ von D. Krieg [44]. Der Autor kommt zu dem Ergebnis, dass Pipelines bei einer Transportdistanz von unter 200 km ab einem Durchsatz von ca. 10 t/d einen Kostenvorteil gegenüber dem Transport von gasförmigem Wasserstoff per Trailer aufweisen. Dies gilt für die geplante Wasserstoffpipeline in der Region Rheinland, die etwa 100 km Länge aufweisen soll. Weitere Informationen zum Pipelinetransport sind im Anhang in Kapitel A.6.3 zu finden.

Eine wesentliche Reduktion der Investitionskosten kann durch die Nutzung von stillgelegten Leitungen oder die Umwidmung von Erdgasleitungen erreicht werden. Erste Untersuchungen für die Umstellung wurden im Rahmen des Feinkonzeptes bereits ausgearbeitet. Generell ist die Nutzung bestehender Infrastruktur dem Neubau vorzuziehen, da sie neben dem wirtschaftlichen Vorteil auch eine erhöhte Akzeptanz in der Bevölkerung bietet.

Das Projekt einer H_2-Pipeline unterliegt genehmigungs- und planungsrechtlichen Anforderungen sowohl für ihre Errichtung als auch für die Umwidmung einer bestehenden Gasfernleitung in eine H_2-Pipeline. Im Anhang des Feinkonzepts findet sich ein ausführliches Rechtspaper zur Genehmigungssituation H_2-Pipeline, an dem sich Akteure aus der Region orientieren können (siehe Abschnitt A.11.1).

Als kommunale Gebietskörperschaften sind wir wesentliche Akteure für die Planung der Leitungsinfrastruktur zur Förderung der H_2-Mobilität. Über den Regionalrat des Regierungsbezirks Köln sind wir an der regionalen Raumordnung beteiligt. Für die Verankerung eines H_2-Pipelineprojekts in der regionalen Planungspraxis ist es zweckmäßig,

die in unseren kommunalen Klimaschutzkonzepten dargelegten Planungsvorstellungen für die H_2-Mobilität in die Raumordnungsplanung einzubringen und auch das Instrument der Verkehrsinfrastrukturplanung der Region aktiv zu nutzen (vgl. §§ 9 Abs. 4 und 12 Abs. 2-4 Landesplanungsgesetz NRW). Initiativen für eine H_2-Leitungsinfrastruktur können von uns angestoßen und in die Regionalplanung eingebracht werden. Genauso möchten wir von oben (EU, Bund, Land, Nachbarregionen) oder aus Nachbarregionen kommende Initiativen für eine Infrastruktur zur Förderung der H_2-Mobilität aufgreifen und unterstützen.

6.1. Regulatorische Rahmenbedingungen anpassen

Die wirtschaftlichen Bedingungen für die Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse und den Vertrieb von Wasserstoff an Tankstellen werden stark von der Energiemarktordnung beeinflusst: Einerseits vom rechtlichen Rahmen des Energierechts und andererseits vom Kraftstoff-Treibhausgasquotenrecht. Darüber hinaus haben andere wirtschaftslenkende Regularien Einfluss auf den Markthochlauf der Wasserstoffmobilität, u. a. solche zur Begrenzung des CO_2-Ausstoßes von Fahrzeugflotten und das umweltbezogene EU-Vergaberecht. Das Zusammenwirken dieser Regularien und der Anpassungsbedarf des Rechtsrahmens wird in den Schlussfolgerungen zu diesem Abschnitt beleuchtet und vertiefend im Rechtspaper Energiemarktordnung behandelt (siehe Abschnitt A.11.3 im Anhang).

6.1.1. Energierecht

Eines unserer Kernprobleme mit dem Rechtsrahmen ist, dass die Erzeugung von Wasserstoff aus Strom im Elektrolyseur (Power-to-Gas) energierechtlich wie ein Letztverbrauch (§ 3 Nr. 33 EEG 2017) behandelt wird. Dies gilt uneingeschränkt, auch wenn der Energiegehalt bei Power-to-Gas weitestgehend erhalten bleibt und Energie nicht verbraucht wird. Bei Letztverbrauchern fallen – mit den im Folgenden dargestellten Ausnahmen – alle gesetzlichen Strompreisbestandteile an wie Netzentgelte, Umlagen und Energiesteuern. Dadurch wird die Energie vom Strom zum Wasserstoff verteuert. Dies steht dem Ziel der Markteinführung von erneuerbarem Wasserstoff im Mobilitätssektor entgegen. Die gesetzlichen Strompreisbestandteile machen einen hohen Anteil am gesamten Strompreis aus (Beispiel aus dem Jahr 2019): Bei Haushaltskunden ca. 75 % (23,24 ct/kWh von 30,85 ct/kWh), bei mittelgroßen Industriekunden ca. 75 % (13,94 ct/kWh von 18,44 ct/kWh), bei großen Industriekunden ohne Privilegierungen ca. 70 % (10,47 ct/kWh von 14,97 ct/kWh), bei großen Industriekunden mit Privilegierung ca. 6 % (0,3 ct/kWh von 4,8 ct/kWh) (vgl. Abbildung 6-1).

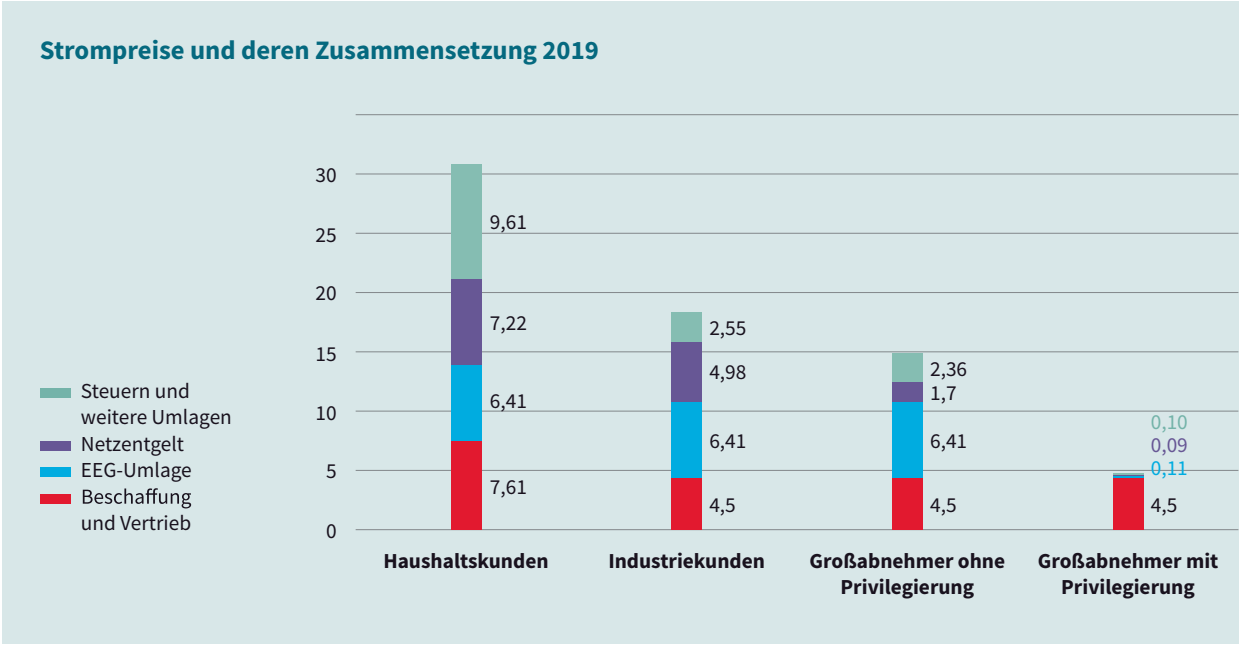


Abbildung 6-1 Strompreisbestandteile für Haushaltskunden, Industriekunden, Großabnehmer ohne und mit Privilegierung [45] [46]

Wasserstoff kann im Vergleich zu anderen Kraftstoffen (Diesel, Benzin, Erdgas) nur dann wettbewerbsfähig werden, wenn bei seiner Produktion möglichst alle Strompreisbestandteile als Kostenfaktoren entfallen und die Kosten des Schadstoffausstoßes bei Kraftstoffen aus fossilen Energieträgern (Diesel, Benzin, Erdgas) eingepreist werden. Die mit dem Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) ab 2021 geplante CO_2-Bepreisung von Otto- und Dieselkraftstoffen fällt zu gering aus, als dass diese Wasserstoff gegenüber hergebrachten Kraftstoffen wettbewerbsfähig machen könnte (stufenweiser Anstieg um rund 15-17 Cent bis 2025 im Vergleich zu 2020). Deshalb bedarf es der Vergünstigung des Stroms für Wasserstoff in der Sektorenkopplung.

6.1.2. Fazit

Um Wasserstoff als Kraftstoff vermarkten zu können, sind wirtschaftliche Akteure darauf angewiesen, diesen Treibstoff zu wirtschaftlich konkurrenzfähigen Bedingungen produzieren, verteilen und über Tankstellen vertreiben zu können. Insofern sind drei Grundkonstellationen für die Vermarktung von Wasserstoff als Kraftstoff im Mobilitätssektor in den Blick zu nehmen:

1. Die Erzeugung und Vermarktung von Wasserstoff über eigene Vertriebsstrukturen, z. B. eine eigene Wasserstofftankstelle.
2. Die Erzeugung von Wasserstoff und dessen Verkauf an die Mineralölwirtschaft, die Wasserstoff als fortschrittlichen Kraftstoff in der Treibhausgasquote anrechnet (näher hierzu: Rechtspaper Energiemarktordnung ist Abschnitt A.11.3 im Anhang zu entnehmen).
3. Die eigenständige Erzeugung von Wasserstoff durch die Mineralölwirtschaft als fortschrittlicher Kraftstoff in der Treibhausgasquote.

Der Verkauf von Wasserstoff an und der Vertrieb über die Mineralölwirtschaft kann wirtschaftlich funktionieren, wenn die Vertragsbedingungen entsprechend ausgestaltet sind. Die Mineralölwirtschaft hat zur Erfüllung des Mindestanteils fortschrittlicher Kraftstoffe an der Treibhausgasquote grundsätzlich ein Interesse an der Verfügbarkeit von Wasserstoff. Derzeit gibt es – unabhängig von Marktanreizprogrammen – kaum tragfähige Geschäftsmodelle für Akteure einer Wasserstoffregion. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass derzeit der energierechtliche Rahmen für die Rückverstromung von Wasserstoff Vorteile gegenüber der Erzeugung von Wasserstoff als Kraftstoff im Mobilitätssektor bietet.

Anders ist die Lage zu beurteilen, wenn Wasserstoff als strombasierter Kraftstoff an die Mineralölwirtschaft zur Erfüllung der Treibhausgasquote bei Kraftstoffen vermarktet werden kann. Diesbezüglich sind die Akteure einer Wasserstoffregion allerdings auf die Kooperationsbereitschaft der Mineralölwirtschaft angewiesen. Deshalb ist zu begrüßen, dass der Zusammenschluss *H2R – Wasserstoff Rheinland* diese Kooperation fördert. Die Bereitschaft von Unternehmen der Mineralölwirtschaft zu einem verstärkten Engagement im Bereich Wasserstoff wird wachsen, wenn die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen vom Gesetzgeber verbessert werden.

6.1.3. Ausblick

Die energierechtlichen Wirtschaftlichkeitsbedingungen für Wasserstoff im Mobilitätssektor entscheiden nicht allein über den Markthochlauf sauberer H_2-Fahrzeuge und von H_2 als Kraftstoff. Einfluss auf das Marktgeschehen haben auch weitere wirtschaftslenkende Regelungen: z. B. die EU-Regelwerke zur Begrenzung des CO_2-Ausstoßes von Fahrzeugflotten (EU-Verordnung zur Festlegung von CO_2-Emissionsnormen für neue schwere Nutzfahrzeuge und zur Änderung der Verordnungen) [47] und das umweltbezogene EU-Vergaberecht (EU-Richtlinie zur Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge; englisch: Clean Vehicles Directive – CVD [48]) [49]. Im Hinblick auf die Markteinführung alternativer Antriebe ist derzeit gerade im Hinblick auf schwere Nutzfahrzeuge das umweltbezogene EU-Vergaberecht zu nennen, das Mindestziele für die öffentliche Auftragsvergabe bei der Beschaffung von Straßenfahrzeugen bestimmt. Danach müssen die Mitgliedstaaten ihr nationales Vergaberecht bis zum August 2021 so ändern, dass öffentliche Auftraggeber, die Straßenfahrzeuge zur Personenbeförderung, Post- und Paketzustellung, Abholung von Siedlungsabfällen etc. einsetzen, eine Mindestanzahl sauberer leichter und schwerer Straßenfahrzeuge beschaffen müssen. Im Mobilitätssektor müssen öffentliche Nahverkehrsunternehmen in Deutschland zwischen Anfang August 2021 bis Ende 2025 45 % und im zweiten Turnus bis Ende 2030 65 % der Busse als saubere Fahrzeuge beschaffen; die Hälfte dieser Quote muss emissionsfrei im Sinne von Art. 4 Nr. 5 CVD beschafft werden (Tabelle 4 im Anhang der CVD). Emissionsfreie Busse sind im Wesentlichen (batterie-)elektrisch oder H_2-betrieben verfügbar. Der Wasserstoffantrieb eignet sich besonders bei schweren Nutzfahrzeugen und Bussen zur Erfüllung der Beschaffungsquote für saubere Fahrzeuge. Diese ordnungsrechtlichen Vorgaben im EU-Vergaberecht sind dazu geeignet, die Nachfrage nach H_2-betriebenen Bussen und LKW absehbar deutlich zu steigern, wenn wirtschaftliche Rahmenbedingungen für die Sektorenkopplung geschaffen werden.

6.1.4. Schlussfolgerungen

Von der rechtzeitigen Änderung des Rechtsrahmens hängt ab, wie stark der Impuls der öffentlichen Beschaffung für die Marktdurchdringung H_2-betriebener Straßenfahrzeuge ausfällt. Denn letztlich entscheiden die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen darüber, auf welche Antriebe und Kraftstoffe die Infrastruktur ausgerichtet wird. Bleibt H_2-Kraftstoff wegen der dysfunktionalen Energiemarktordnung teuer, wird sich der private Sektor eher für andere Antriebe und Kraftstoffe entscheiden. Ob der Impuls der CVD auf das vom privaten Sektor dominierte gesamte Marktgeschehen bei der Anschaffung von Straßenfahrzeugen durchschlagen wird, hängt maßgeblich von der Neuausrichtung der Energiemarktordnung ab.

In der Nationalen Wasserstoffstrategie (Juni 2020) wird nun lediglich in einem Prüfauftrag zur Energiemarktordnung angekündigt, *„über die im Klimapaket beschlossenen Maßnahmen hinaus, weitere Reformen der staatlich induzierten Preisbestandteile [zu] prüfen und gleichzeitig die CO_2-Bepreisung weiter als zentrales Leitinstrument [zu] etablieren. Diese Prüfung wird auch die Frage umfassen, ob zur Herstellung von grünem Wasserstoff verwendeter Strom weitgehend von Steuern, Abgaben und Umlagen befreit werden kann. Insbesondere streben wir die Befreiung der Produktion von grünem Wasserstoff von der EEG-Umlage an.“*

Die ohne Prüfauftrag vorgesehenen Maßnahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie (z. B. Forschung & Entwicklung, Marktanreizprogramme, Reallabore) sind notwendig, aber nicht hinreichend, um das Potenzial der H_2-Mobilität zu heben, da die hohen Strombezugspreise für die Herstellung von H_2-Kraftstoff in Elektrolyseuren das wesentliche Hemmnis für die Entwicklung der H_2-Mobilität darstellen.

Für den Fall der Umsetzung des im Folgenden vorgeschlagenen Instrumentenmixes wird Wasserstoff eine stetig wachsende Bedeutung unter den Kraftstoffen im Mobilitätssektor zukommen. Aufgrund der Vorteile für Klimaschutz und Luftreinhaltung hat Wasserstoff im Zusammenspiel mit batterieelektrischen Fahrzeugen das Potenzial, einen wesentlichen Beitrag für die Zukunft einer sauberen Mobilität zu leisten. Mit einem Abbau der Wettbewerbsnachteile in der geltenden Energiemarktordnung kann die H_2-Mobilität ihre Vorteile zur Geltung bringen und den Markthochlauf bei schweren Nutzfahrzeugen beginnen. Dann können die Chancen der bereits errichteten technologischen und wirtschaftlichen Startbasis in Deutschland und Europa genutzt und der Vorsprung asiatischer Fahrzeughersteller aufgeholt werden.

Der Markthochlauf für die H_2-Mobilität kann wirksam gesteuert werden, wenn die folgenden Maßnahmen bei der Konkretisierung der Nationalen Wasserstoffstrategie umgesetzt werden:

Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

Ordnungsrechtliche Instrumente:

Eine über das EU-Recht hinausgehende, also nicht die Eins-zu-eins-Umsetzung der RED II-Richtlinie im Kraftstoff-Treibhausgasrecht; insbesondere sollte über die Mindestquote für biogene fortschrittliche Kraftstoffe hinaus eine stetig und kräftig wachsende Mindestquote für H_2 als fortschrittlichen Kraftstoff eingeführt werden (Änderung 38. und 37. BImSchV).

Zur Gewährleistung von Rechtssicherheit bei der Anrechnung und dem Handel mit erneuerbarem H_2 als fortschrittlichem Kraftstoff sollte ein Herkunftsnachweissystem eingeführt werden.

Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

Ökonomische Instrumente:

› Öffentliche Beschaffung von H_2-Straßenfahrzeugen:
Zuverlässige, rechtzeitige und konsequente Umsetzung der CVD in deutsches Recht, um ab Mitte 2021 einen spürbaren Impuls für die Beschaffung emissionsfreier H_2-Straßenfahrzeuge zu geben. Um Straßenfahrzeuge, insbesondere schwere Nutzfahrzeuge einschließlich Busse mit H_2-Antrieben zuverlässig in den Markt zu bringen, sind folgende weitere Maßnahmen bis Mitte 2021 zweckmäßig**:**

- Anschaffung von H_2-Straßenfahrzeugen: Verlässliche Fortschreibung und Verstetigung von Marktanreizprogrammen zur Förderung der Anschaffung von H2-Straßenfahrzeugen bis zu einem selbsttragenden Markt.
- Herstellung von H2-Kraftstoff: Klare und rechtssichere Regelungen, die die Produktion von Wasserstoff mit Strom aus erneuerbaren Energien in der Mobilität von allen gesetzlich bedingten Strompreisbestandteilen dauerhaft oder wenigstens für alle Neuinvestitionen bis 2030 für einen Zeitraum von mindestens 20 Jahren befreit. Unter den gesetzlich bedingten Strompreisbestandteilen sind folgende Gesetzesänderungen für Power-to-Gas mit Strom aus erneuerbaren Energien für den Einsatz von H_2 in der Mobilität vordringlich (in der Reihenfolge ihrer Dringlichkeit):

› Befreiung der Elektrolyseure bei der Herstellung von H_2 für den Mobilitätssektor von der EEG-Umlage (Änderung § 61l Abs. 2 EEG 2017)

› Diese Befreiung sollte für alle Neuinbetriebnahmen von Elektrolyseuren bis mindestens Ende 2032 gelten. Bis Ende 2032 sollte eine Verlängerung des Zeitraums überprüft werden; weil die EEG-Umlage danach deutlich absinkt und die H_2-Mobilität durch Skaleneffekte nach erfolgreichem Markthochlauf kostengünstiger geworden ist, bedarf es ggf. keiner Verlängerung dieser Befreiung.

- Klarstellung, dass Elektrolyseure bei der Herstellung von H_2 für den Mobilitätssektor rechtssicher von Netzentgelten befreit sind (starke Maßnahme: Änderung § 118 Abs. 6 EnWG mit Abschaffung zeitlicher Befristungen; schwache Maßnahme: ausdrückliche Klarstellung der Befreiung in der Gesetzesbegründung zu § 118 Abs. 6 EnWG).
- Ergänzung der Befreiungsregelung um die netzentgeltbezogenen Strompreisbestandteile (Änderung § 118 Abs. 6 EnWG).

› Wiederanfahren des Ausbaus erneuerbarer Energien: Um ausreichende Mengen Überschussstrom aus fluktuierenden erneuerbaren Energien für die Wasserstoffproduktion verfügbar zu bekommen, ist es erforderlich, dass der Gesetzgeber gleichzeitig die energie-, umwelt- und planungsrechtlichen Bremsen beim Ausbau erneuerbarer Energien löst, um das Zwischenziel des Koalitionsvertrags (2017-2021) für einen mindestens 65%igen Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bis zum Jahr 2030 erreichen zu können. Nur für diesen Fall ergeben sich in regionalen Erzeugungsschwerpunkten von Wind- und Solarenergie hinreichend Stromüberschüsse, die in der Sektorenkopplung (z. B. für Power-to-Gas) genutzt werden können (Änderung EEG 2017, Artenschutzrecht im Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) und Verzicht auf bundeseinheitliche Abstandsregelungen bei der Windenergie).

6.2. Kooperationen fördern und Skaleneffekte generieren

Ein Schlüssel für die erfolgreiche Umsetzung der Roadmap und den großskaligen Roll-out von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien liegt in der interdisziplinären Kooperation verschiedener Akteure. Durch den Zusammenschluss von Politik, Wirtschaft und Wissenschaft und die Bündelung von Kompetenzen entstehen neue Potenziale. Um Kooperationen zu fördern und den weiteren Ausbau der Wasserstoffwirtschaft im Rheinland aktiv voranzubringen, haben sich die Gebietskörperschaften der Städte Brühl, Hürth, Köln und Wesseling sowie des Rheinisch-Bergischen Kreises und des Rhein-Sieg-Kreises zur Region *H2R – Wasserstoff Rheinland* zusammengeschlossen. Im Rahmen der Feinkonzepterstellung haben wir gemeinsam mit den Akteuren neue Projektideen initiiert und Kooperationen gebildet.

Gemeinsame Errichtung einer Verteilinfrastruktur

Herausstechende kooperative Maßnahme ist die gemeinsame Planung einer Wasserstoffpipeline. Aktuell erfolgt der Transport von Wasserstoff in der Regel über die Straße per LKW-Trailer. Für eine effiziente Verbindung zwischen Erzeuger und Nutzer prüfen in dem Projekt HyPipCo renommierte Betreiber von Erdgas-Transport- und Verteilnetzen, ferner Erzeuger technischer Gase sowie Chemie- und Petrochemieunternehmen gemeinsam mit wissenschaftlichen Institutionen den Bau einer Pipeline für Wasserstoff im Großraum Köln (s. LOI C.3.1 bis C.3.15). Der Bau und die Inbetriebnahme des ersten Abschnitts der Pipeline stellen einen wichtigen Meilenstein unserer Roadmap dar.

Betreibermodelle für Wasserstofftankstellen

Auch beim Bau von Tankstellen werden Kooperationen gefördert. So können Risiken beim Aufbau der Infrastruktur verteilt werden. Eine komfortable Variante ist die Nutzung einer Wasserstofftankstelle im sog. Betreibermodell. Dabei stellt der Nutzer, z. B. ein Verkehrsunternehmen, üblicherweise eine entsprechende Fläche für den Bau der Tankstelle zur Verfügung. Der Betreiber der Tankstelle kümmert sich um die Errichtung und den Betrieb der Anlage (vgl. Abbildung 6-2).

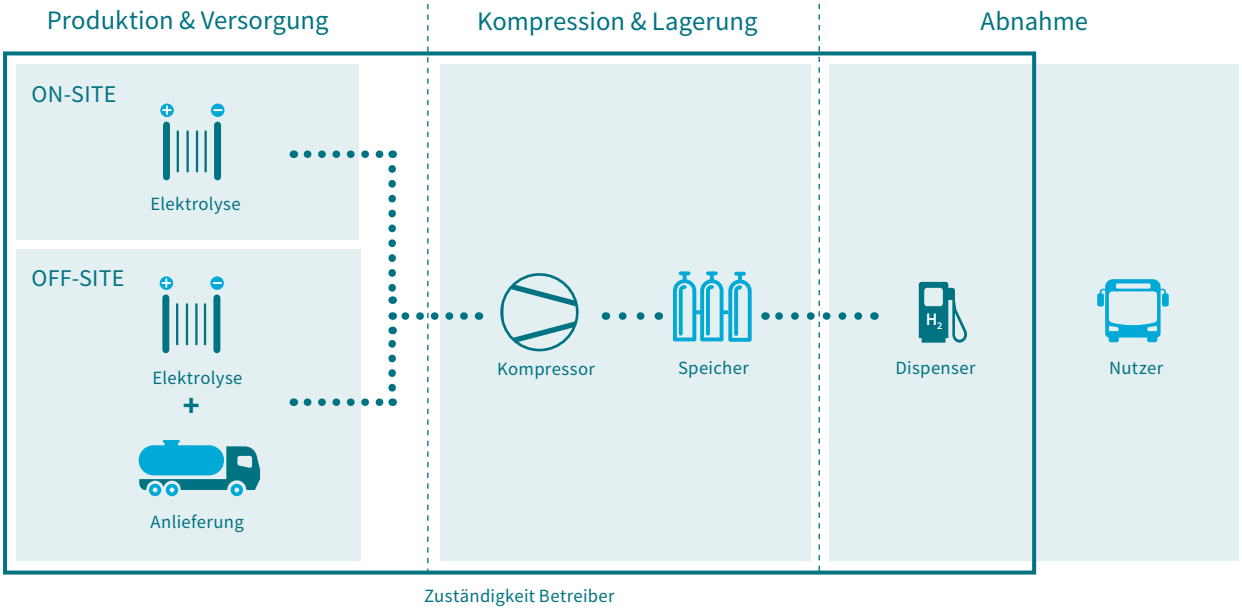


Abbildung 6-2 Vereinfachte Darstellung der Wasserstoffbereitstellung (On- und Off-site-Produktion) und des Verantwortungsbereichs im Betreibermodell (umrahmt)

Ein konkretes Beispiel für das Betreibermodell sind die Tankstellen der H2 Mobility. Der Zusammenschluss von Unternehmen wie Daimler und Linde ist verantwortlich für den flächendeckenden Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland zur Versorgung von BZ-PKW. Aktuell sind in unserer Region vier Tankstellen in Betrieb. Eine

weitere befindet sich im Bau und wird voraussichtlich dieses Jahr fertiggestellt. Nach den Plänen der H2 Mobility sollen in Deutschland bis 2023 – je nach Nachfrage – etwa 400 Wasserstofftankstellen eröffnen. Die öffentlichen Tankstellen können neben privaten PKW-Besitzern auch von regionalen Flottenbetreibern genutzt werden. So nutzt beispielsweise die RVK die Tankstelle am Flughafen Köln/Bonn im Regelbetrieb sowie die Tankstelle in Frechen als Backup-Lösung für ihre BZ-Busse. Für weitere in der Region geplante Bus- und Nutzfahrzeug-Tankstellen wird das Betreibermodell in Betracht gezogen. Interessierten H_2-Nutzern bietet die H2 Mobility Kooperationen zur Finanzierung der Infrastruktur (vgl. Abbildung 6-3).

DISKUSSIONS-GRUNDLAGE FINANZIERUNG

H_2 MOBILITY

- Übernimmt die Kosten für: den Bau der H_2 Tankstelle für PKW Betankung

(Grundkonfiguration: Verdichter, Vorkühlung, Speicher (200 kg), 700 bar Dispenser, anteilig Bauleistung)

PROJEKTPARTNER

- übernimmt die Mehrkosten für Erweiterung der 350 bar-Batankung
- die Leitungswege und Leitungen für die 350 bar-Seite, Sowie Indoor-Dispenser
- Speicher- & Verdichter-Upgrade bei hohem H_2 Bedarf
- Anteilig die Kosten für Wartung

Abbildung 6-3 Beispiel einer Kooperation mit der H2 Mobility [50]

Für die Projektierung einer Wasserstofftankstelle ist das Erfordernis der Anlagengenehmigung zu beachten. Der Aufwand richtet sich dabei nach der Größe der Tankstelle. Im Anhang zum Feinkonzept findet sich ein ausführliches Rechtspaper zur Genehmigungssituation H_2-Tankstelle, an dem sich Akteure orientieren können (siehe Abschnitt A.11.2).

Kooperative Beschaffung von BZ-Fahrzeugen

Die Beschaffung von BZ-Fahrzeugen gestaltet sich zum heutigen Zeitpunkt zum Teil komplex, da insbesondere im Bereich der Sonderfahrzeuge lediglich Prototypen existieren und die Produktion dieser wenigen Fahrzeuge kostenintensiv ist. Zur Stimulierung der Fahrzeugnachfrage und zur Generierung größerer Stückzahlen werden in der H2R-Region Möglichkeiten für kooperative Beschaffungen untersucht. Neben klassischen Leasingmodellen wie die Langzeitmiete, werden auch sog. Pay-per-Use-Modelle angedacht. Pay-per-Use steht für ein nutzungsabhängiges Leasingmodell, d. h. die Zahlung erfolgt entsprechend der Nutzung der Fahrzeuge. Bei beiden Varianten werden hohe Erstinvestitionen und somit Einstiegshürden vermieden. Die Fahrzeuge könnten durch eine klassische Fahrzeugvermietung, ein Joint Venture oder einen Förderverein angeschafft und angeboten werden. So bietet z. B. die Toyota Kreditbank bereits innovative und kostengünstige Miet- und Leasingmodelle an (vgl. Steckbrief B.100). Die H2 Energy hat ein Pay-per-Use-Konzept für die Beschaffung von 1600 BZ-LKW in der Schweiz entwickelt. Ein ähnliches Modell soll auch zur Beschaffung von ca. 500 BZ-LKW für Akteure des Zusammenschlusses *H2R – Wasserstoff Rheinland* entwickelt werden. Darüber hinaus ist ein Konzept für die gemeinschaftliche Anschaffung anderer Fahrzeuge wie Müllsammelfahrzeuge oder leichte Nutzfahrzeuge (3,5 Tonnen) in Überlegung.

Im Zuge der Projekte JIVE und JIVE 2 hat die RVK gemeinsam mit der Wuppertaler Stadtwerke GmbH BZ-Busse ausgeschrieben.

6.3. Neue Geschäftsmodelle für regionale Akteure entwickeln und fördern

Infolge eines wachsenden Marktes und der sich ändernden Rahmenbedingungen entstehen neue Geschäftsmodelle für Unternehmen in Wasserstofferzeugung, Wasserstoffverteilung und Wasserstoffnutzung. Im folgenden Abschnitt werden exemplarisch einige mögliche Geschäftsmodelle vorgestellt.

Herstellung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien

Der steigende Technologiebedarf schafft neue Geschäftsmodelle für regionale Unternehmen im produzierenden Gewerbe. Dies gilt sowohl für die Hersteller von technischen Systemen wie Elektrolyseuren und Brennstoffzellensystemen als auch für deren Zulieferer. Hier werden auf regionaler und nationaler Ebene sehr große Potenziale zur Schaffung von Arbeitsplätzen gesehen. Aus diesem Grund wurde vom Bundeswirtschaftsministerium die Devise ausgegeben, dass Deutschland die Nummer 1 im Bereich Wasserstofftechnologien und Brennstoffzelle werden soll [51].

Erzeugung von Wasserstoff

Der regionale Wasserstoff in der Region *H2R – Wasserstoff Rheinland* soll zukünftig vorwiegend aus erneuerbaren Energien hergestellt werden. Der Einsatz von Elektrolyseuren hat das Potenzial, das Energiemanagement von Haushalten, Quartieren, Unternehmen, Industriestandorten und ganzen Energie- und Stromverteilnetzen zu optimieren. Entscheidend für ein wirtschaftliches Geschäftsmodell zur Erzeugung von Wasserstoff aus Elektrolyse sind die in Kapitel 6.1 beschriebenen regulatorischen Rahmenbedingungen. Exemplarisch werden nachfolgend mögliche Betriebs- und Geschäftsmodelle von Elektrolyseuren genannt.

- Netzdienliche Speicherung von elektrischer Energie an neuralgischen Punkten:
- Die netzdienliche Erzeugung von Wasserstoff kann Überschüsse elektrischer Energie ausgleichen. Der Wasserstoff kann entweder über Brennstoffzellen rückverstromt oder in anderen Sektoren wie der Mobilität verwendet werden. Dadurch ergeben sich insbesondere für Netzbetreiber, aber auch für Akteure auf dem Regelleistungsmarkt neue Absatzmärkte. Wie bereits in Kapitel 4.1.1 beschrieben, plant Innogy den großskaligen Einsatz von Elektrolyseuren an netzneuralgischen Punkten (siehe Steckbrief B.4 im Anhang).
- Nutzung von Post-EEG-Anlagen:
- Immer mehr Erneuerbare-Energien-Anlagen fallen aus der EEG-Vergütung heraus, so dass der Betrieb der Anlagen zunehmend unattraktiv wird. Hier kann die Erzeugung von Wasserstoff ein neues Geschäftsmodell bieten. Eine immer größere Rolle spielen in dem Zusammenhang sog. Power Purchase Agreements („Stromkaufvereinbarungen“, kurz PPA). Ein PPA ist ein Stromliefervertrag zwischen einem Stromproduzenten und einem Stromabnehmer. Mit einem PPA kann eine Anschlussfinanzierung für Anlagen, die aus der EEG-Förderung fallen, sicherstellen und dazu beitragen, dass Kosten für Betrieb und Wartung langfristig gedeckt werden können [52].

Verteilung und Vermarktung von Wasserstoff

Wie auch bei fossilen Kraftstoffen bieten die Verteilung und Vermarktung von Wasserstoff große ökonomische Potenziale. Insbesondere beim Bau von Tankstellen und der Bereitstellung von Wasserstoff, z. B. über Distributionskonzepte (vgl. LOI von Linde C.2.38), ergeben sich neue Geschäftsfelder für Akteure. Für die Projektierung einer Wasserstofftankstelle ist das Erfordernis der Anlagengenehmigung zu beachten. Der Aufwand richtet sich dabei nach der Größe der Tankstelle. Im Anhang zum Feinkonzept findet sich ein ausführliches Rechtspaper zur Genehmigungssituation H_2-Tankstelle, an dem sich Akteure orientieren können (siehe Abschnitt A.11.2 im Anhang). Im Rahmen der Errichtung und des Betriebs von Wasserstoffpipelines entstehen weitere Geschäftsfelder im Bereich der Überwachung von Anlagen wie beispielsweise durch Fujikura Technology Europe GmbH (vgl. LOI C.2.21 im Anhang).

Nutzung und Vertrieb von Brennstoffzellentechnologien

Sowohl auf Seiten der Nutzung als auch auf Seiten des Vertriebs von Brennstoffzellentechnologien ergeben sich neue Geschäftsmodelle. So bieten sich Geschäftsmodelle für Unternehmen im Fahrdienstleistungssektor, beispielsweise für Taxiunternehmen, Car-Sharing- und Ride-Sharing-Unternehmen (vgl. Steckbrief B.44 im Anhang), Busunternehmen (vgl. Steckbrief B.45,B.47 und B.48 im Anhang) und Transport- und Logistikunternehmen (vgl. Steckbrief B.50 im Anhang). Für Fahrzeughersteller und Unternehmen im Bereich Fahrzeugvermietung entstehen Geschäftsmodelle im Hinblick auf den Verkauf und die Vermietung von Fahrzeugen. Beispielsweise entwickeln e.Go Rex und Microcab Industries neue Fahrzeugkonzepte (vgl. Steckbrief B.69 und C.2.41 im Anhang).

Service und Wartung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien

Die Errichtung von zentralen Service- und Wartungsmöglichkeiten ist ein zentraler Aspekt für die Minimierung von Aufwand und Kosten bei der Fahrzeuginstandhaltung. Durch eine gemeinschaftliche Fahrzeugbeschaffung und -instandhaltung wird das Risiko der einzelnen Akteure reduziert. Zudem entstehen im Bereich Service und Wartung von Wasserstofftechnologien zusätzliche Geschäftsmodelle. In der Region ist in diesem Themengebiet u.a. durch die Firmen M+K Fahrzeugservice, TruckExpert, Ballard in Hürth und EMCEL viel Expertise vorhanden.

6.4. Finanzierungsmöglichkeiten und Förderprogramme erarbeiten

Die gesetzten Ziele zur großskaligen Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff erfordern hohe Investitionen. Neben klassischen Investitionen von Unternehmen und energiewirtschaftlichen Akteuren nehmen auch gemeinschaftliche Investitionen mit einer Vielzahl heterogener Investoren zu. Hier können sich u. a. privatwirtschaftliche Akteure wie Bürger*innen oder auch landwirtschaftliche Betriebe beteiligen. Das hat die positive Folge, dass die Wertschöpfung der Investitionen zum großen Teil in der Region bleiben [53].

Im Folgenden werden Finanzierungsmöglichkeiten für Projekte zur Erzeugung von Wasserstoff und zur Nutzung von Wasserstoff genannt:

- Klassische Finanzierungen wie Kredite, Darlehen, Fonds:

  Bei der Finanzierung von regionalen Wasserstoffprojekten gibt es klassische Modelle wie Kredite und Darlehen. Hier bietet die Kreissparkasse Köln (KSK) an, die Partner des Zusammenschlusses *H2R – Wasserstoff Rheinland* bei der Umsetzung ihrer Projekte zu unterstützen. Möglich ist die Platzierung ökologischer Investments z. B. in Form von Sparbriefen, Inhaberschuldverschreibungen und Wasserstofffonds. (vgl. Steckbrief B.87. im Anhang).

- Bürgerenergie:

  Bei erneuerbaren Energien liegt die Finanzierung häufig in Bürgerhand. Dadurch können nicht nur Investitionen auf verschiedene Akteure aufgeteilt werden, es steigt auch die Akzeptanz gegenüber den Technologien und der Energiewende [54]. Gängig ist die Gründung von Bürgerenergie-Gesellschaften oder Genossenschaften. Hieraus lassen sich auch Möglichkeiten zur Finanzierung von Wasserstoffprojekten ableiten. Beispielsweise für den Bau von Windparks mit Elektrolyse. Die Bedeutung von Akzeptanz und Beteiligung wird in Kapitel 7 dargelegt.

Ein erfolgreiches Beispiel der Entwicklung neuer Finanzierungsmodelle und Strategien ist das Leasingmodell der Toyota Kreditbank (TKG) (vergleiche Steckbrief B.100 im Anhang): Als ein Kölner Unternehmen steht die TKG diesbezüglich im engen Austausch mit den Partnern von *H2R – Wasserstoff Rheinland*. Bereits heute bietet sie ein Leasing für den brennstoffzellenbetriebenen Toyota Mirai an und ermöglicht so einen einfachen Zugang zur Wasserstofftechnologie in PKW für Privatpersonen und gewerbliche Kunden. In der Zukunft will die TKG innovative Leasing- und Finanzierungslösungen auch für andere Wasserstofffahrzeuge auf den Markt bringen, u. a. für BZ-Busse.

Weitere Informationen zum Thema Finanzierung und zu möglichen Geschäftsbereichen für die Energiewende sind auf der Website der Energieagentur NRW zu finden [55].

FÖRDERPROGRAMM	FÖRDERGEBER	ART	GEGENSTAND	BESCHREIBUNG
Elektrobusförderung nach dem ÖPNVG		Investitionszuschuss		Beschaffung von batterieelektrischen und wasserstoffbetriebenen Linienbussen, Lade- und Tankinfrastruktur und erforderliche spezifische Werkstatteinrichtungen.
Förderung von energieeffizienten und/oder CO2-armen schweren Nutzfahrzeugen in Unternehmen des Güterkraftverkehrs		Investitionszuschuss		Anschaffung von Lkw und Sattelzugmaschinen, die für den Güterverkehr bestimmt sind (> 7,5t) und in Serie produziert werden (in einem EU-Mitgliedstaat). Die Umrüstung von Diesel- auf Elektromotor wird ebenfalls gefördert
Umweltbonus (Kaufprämie Bund)		Investitionszuschuss		Kauf, Leasing von neuen und gebrauchten Brennstoffzellenfahrzeugen. Fahrzeuge müssen auf der Liste des BAFA stehen. Eine zusätzliche „Innovationsprämie“ verdoppelt ab sofort den staatlichen Anteil. Kombinierbar mit der NRW Kaufprämie.
progres.NRW – Emissionsarme Mobilität (Kaufprämie NRW)		Investitionszuschuss Studien / Beratung		Erwerb, Leasing oder Langzeitmiete von Elektro- und BZ-Fahrzeugen (2,3 t bis 7,5 t) und deren Infrastruktur, Beratung, Konzepte, Studien und Analysen zur Elektromobilität. Kombinierbar mit dem Herstelleranteil der Umweltboni.
Marktaktivierung im Rahmen des NIP II *		Investitionszuschuss Studien / Beratung		Gefördert werden sollen BZ-Busse und Nfz mit bis zu 80 %, Züge mit bis zu 40 % der Mehrkosten. Tankstellen und on-site-Elektrolyseure mit bis zu 40 %. Zudem sollen Machbarkeitsstudien im Wert von bis zu 100.000 € zu ca. 50 % gefördert werden.
progres.nrw – Programmbereich Innovation		Forschung & Entwicklung Studien / Beratung		Vorhaben der Forschung und Entwicklung (zu Brennstoffzellen), Demonstrationsvorhaben und Pilotprojekte, Vorhaben in anderen Energiethemenfeldern, Durchführbarkeitsstudien.
Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)		Forschung & Entwicklung Studien / Beratung		Ideen und Forschung im Bereich Brennstoffzellensysteme: Effizienteren ökologischen und wirtschaftlichen Nutzen schaffen, höhere Wirkungsgrade bei Materialeinsparung erzielen.
Forschungsförderung im 7. Energieforschungsprogramm ‚Innovationen für die Energiewende‘		Investitionszuschuss Studien / Beratung		Systemübergreifende Forschungsthemen der Energiewende, Energienutzung und -bereitstellung, Systemintegration, Energiewende im Verkehr. Erprobung und Demonstration innovativer Konzepte und Geschäftsmodelle.
Fuel Cell and Hydrogen 2 Joint Undertaking (FCH 2 JU)		Forschung & Entwicklung Studien / Beratung		Steigerung der Effizienz bei der Finanzierung von Projekten, wettbewerbsfähige Brennstoffzellen- und Wasserstoffbranche schaffen.
Maßnahmen der Forschung, Entwicklung und Innovation – Schwerpunkt Nachhaltige Mobilität		Forschung & Entwicklung		Innovative Produkte im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. Einzel- und Verbundvorhaben zur Demonstration, Innovation und Marktvorbereitung für fahrzeugseitige Technologien und Systeme sowie die jeweils Kraftstoffinfrastruktur.

Abbildung 6-4 Ausgesuchte Förderprogramme zum Thema Wasserstoff (1/2)[10]

[10] Anmerkung: Die aktualisierte Förderrichtlinie zu „Marktaktivierung im Rahmen des NIP II“ ist zum Zeitpunkt der Konzepterstellung noch nicht veröffentlich und ist aus diesem Grund ausgegraut und mit einem Stern „*“ gekennzeichnet.

FÖRDERPROGRAMM	FÖRDERGEBER	ART	GEGENSTAND	BESCHREIBUNG
NRW.Bank.Elektromobilität		Kredit		Erwerb von Fahrzeugen ohne Verbrennungsmotor, Investitionen im Zusammenhang mit Elektromobilität, Foschung und Entwicklung im Bereich Elektromobilität, Umrüstung von Fahrzeugen auf elektrische Antriebe.
KfW-Umweltprogramm Programmnr. 240/241		Kredit		Anschaffung von Elektro-, Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeugen sowie umweltfreundlicher Schienen- und Wasserfahrzeuge und die entsprechende Lade- bzw. Tankinfrastruktur.
Erneuerbare Energien – Standard & Premium		Kredit		Maßnahmen zur Systemintegration von erneuerbaren Energien sowie Speichertechnologien und KWK Anlagen.
Klimaschutzoffensive für den Mittelstand		Kredit		Investitionen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen, Investitionen in die Errichtung, den Erwerb sowie die Modernisierung von Anlagen im Bereich erneuerbarer Energien.
Energieeffizient Bauen und Sanieren-Zuschuss Brennstoffzelle		Kredit		Einbau von stationären Brennstoffzellensystemen (0,25 kWel < Pel < 5 kWel) in neue oder bestehende Gebäude.

Abbildung 6-5 Ausgesuchte Förderprogramme zum Thema Wasserstoff (2/2)

Zur Förderung von Wasserstoffprojekten existieren zahlreiche Förderprogramme auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene. Dabei unterscheidet sich die Art der Förderung je nach Vorhaben. Grundsätzlich decken die Förderrichtlinien von der Forschung und Entwicklung über Studien und Beratungsprogramme bis hin zu Investitionszuschüssen und Krediten alle Projektbereiche ab. Abbildung 6-4 listet die wichtigsten Förderrichtlinien und Programme zum Thema Wasserstoffmobilität auf. Neben dem Fördergeber und der Art der Förderung werden auch die Fördergegenstände dargestellt.

Auf Bundesebene koordiniert die NOW GmbH die Förderprogramme der verschiedenen Ministerien. Auf Landesebene gibt u. a. die Energieagentur.NRW ausführliche Auskünfte über Förderprogramme. Für die Beratung zu Förderrichtlinien oder konkreten Vorhaben empfiehlt sich eine direkte Abstimmung mit diesen Stellen oder mit dem Zusammenschluss *H2R – Wasserstoff Rheinland*.

6.5. Wissen multiplizieren und kommunizieren

Für die Umsetzung von *H2R – Wasserstoff Rheinland* sind Wissensmanagement und Begleitforschung von zentraler Bedeutung. Das für die H2R-Region konzipierte Wissensmanagement ermöglicht zielgruppendifferenziert die strukturierte Ablage und den effizienten Zugriff auf innovationsrelevantes Wissen und fördert die Zusammenarbeit von Stakeholdern bei der Initiierung und Umsetzung von Wasserstoff- und Brennstoffzellenprojekten. Die Begleitforschung analysiert einerseits die globalen Fortschritte während der Umsetzung von H2R, und spricht anderseits vielfältige, spezifische Forschungsfragen des Feinkonzepts an. Beide Arbeitsstränge stärken den Wissensfundus der beteiligten Akteure und schaffen nach innovationswissenschaftlichen Erkenntnissen unabdingbare Voraussetzungen für erfolgreiche Innovation.

Das Wissensmanagement im Rahmen von H2R umfasst drei zentrale Komponenten:

1) Die Website des Zusammenschlusses *H2R – Wasserstoff Rheinland* stellt unter der Adresse www.wasserstoff-rheinland.de umfassende Informationen bereit. Sie ermöglicht Öffentlichkeit und Stakeholdern einen

barrierefreien Zugriff auf das nicht mit Vertraulichkeitsvorbehalten belegte Wissen relevanter Akteure. Der Internetauftritt beinhaltet z. B. Steckbriefe der H2R-Projekte und die Veröffentlichungen, einschließlich des eigentlichen Feinkonzepts und dessen tiefgehenden Analysen von abgeschlossenen Vorhaben (z. B. der Lessons Learned). Die Website soll dauerhaft unterhalten werden. Sie kann entsprechend neu aufkommender Ansprüche im Bereich des Wissensmanagements erweitert und z. B. um einen geschlossenen Bereich für den vertraulichen Austausch zwischen Projektakteuren ergänzt werden.

2) Das in Kapitel 7 vorgestellte Kommunikations- und Akzeptanzkonzept beinhaltet diverse Elemente und Anknüpfungspunkte hinsichtlich des Wissensmanagements: Im Besonderen sind Aufarbeitung und Kommunikation bestehenden Wissens gegenüber Öffentlichkeit und Stakeholdern, wie auch die Gewinnung neuen Wissens im Austausch zwischen Akteuren und im Hinblick auf die erfolgreiche Umsetzung von H2R geplant. Während die Ablage und der Abruf von Wissen nicht im Fokus des Kommunikations- und Akzeptanzkonzepts stehen, lassen sich diese Funktionen etwa durch Erweiterung der bestehenden Website oder durch Nutzung des nachfolgend geschilderten Ansatzes einfach realisieren.

3) Das Projekt H2PRO3 wurde bereits als Element der Roadmap in Kapitel 4.1.4 vorgestellt. Unter Federführung von HyCologne wird eine webbasierte Plattform für Anbieter, Nutzer und weiterer Stakeholder im Bereich wasserstoffbasierter Energie- und Mobilitätstechnologien entwickelt. H2PRO3 bündelt die Erfahrungen aus anwendungsbezogenen sowie F&E-Projekten mit Know-how aus Wissenschaft, Wirtschaft und Kommunen, um die Machbarkeit und Marktchancen der – auch vom Zusammenschluss *H2R – Wasserstoff Rheinland* unterstützten – Technologien zu belegen. Durch die Vernetzung von Stakeholdern aus allen relevanten Bereichen wird die Kommerzialisierung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien vorangetrieben. Speziell im Hinblick auf Wissensmanagement wird eine digitale Plattform entwickelt, die z. B. deutsche und internationale Forschungsergebnisse wie auch Projekterfahrungen zusammenträgt, Unternehmens- und Vorhabenssteckbriefe bereitstellt und ein umsetzungsbezogenes, passendes Zusammenkommen („Matching“) potenzieller Projektpartner ermöglicht. Das in dem Projekt H2PRO3 gebündelte Wissen wird nachfragegerecht aufbereitet und dem Nutzer als maßgeschneidertes Angebot zur Verfügung gestellt. Nach unserer Einschätzung könnte H2PRO3 eine gute Grundlage für das Wissensmanagement der fortschreitenden H2R-Aktivitäten liefern und sollte die Neuentwicklung eines speziellen Tools überflüssig machen.

Die Planungen zur Durchführung der Begleitforschung auf globaler Ebene wurden bereits anhand eines Steckbriefs konkretisiert und zielen auf einen Abgleich der strategischen Ziele des Feinkonzepts mit den tatsächlichen Umsetzungserfahrungen ab. Das noch weiter zu detaillierende Vorhaben soll laufend die Fortschritte von *H2R – Wasserstoff Rheinland* analysieren und mit Blick auf die globalen Entwicklungen in Forschung und Praxis Wege zur Optimierung des Umsetzungskonzepts aufzeigen. Mehrere verwandte Steckbriefe gelten z. B. der Schaffung einer Professur zum Thema Wasserstoff-Systemtechnik sowie der Einrichtung der Kompetenz- und Wasserstoffzentren, wobei diese Stellen regelmäßig auch Fragen der Begleitforschung adressieren. Weitere Steckbriefe widmen sich spezifischeren Forschungsfragen zu unterschiedlichen Aspekten der Begleitforschung. Schließlich listet Tabelle A-12 eine Reihe vergleichsweise detaillierter Fragen auf, etwa zur Ausgestaltung des Transformationspfades weg von erdgasbasiertem bzw. Nebenproduktwasserstoff und hin zu grünem Wasserstoff, oder zur optimalen Auslegung von Wasserstoffinfrastrukturen. Während bereits heute diverse Fragestellungen der Begleitforschung vorliegen, werden zukünftig absehbar andere, neue Themen relevant werden, deren Erforschung maßgeblich zum Erfolg von *H2R – Wasserstoff Rheinland* beitragen soll.

Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

- Kooperationen zwischen Akteuren stimulieren die Fahrzeugnachfrage und können bspw. bei einer gemeinschaftlichen Anschaffung zum Erreichen von Skaleneffekten beitragen. Kooperationsmodelle reduzieren die Risiken für Akteure und bilden die Grundlage für neue Geschäftsmodelle.

- Um eine attraktivere Nachfragesituation für die Anbieter von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen zu schaffen, wollen wir die in unserer Region operierenden kommunalen Unternehmen dabei unterstützen, ihre Bedarfe zu bündeln. Damit verbessern wir auch die Voraussetzungen für privatwirtschaftliche Unternehmen wie Logistik- und Speditionsunternehmen sowie Mobilitätsdienstleister.

- Marktanreizprogramme sind kurz- und mittelfristig zweckmäßig, um die Fertigung anzukurbeln und wirtschaftliche Skaleneffekte zur Kostenreduktion zu beschleunigen.

- Das unternehmerische Risiko kann weiterhin durch Finanzierungsangebote und Fördermaßnahmen gesenkt und somit die Bereitschaft für Investitionen gesteigert werden. Auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene existieren Förderprogramme zur Finanzierung von Beschaffung, Beratung sowie Forschung und Entwicklung.

- Wir ermutigen lokale Akteure, auf Wasserstoffanwendungen zugeschnittene Finanzierungsmöglichkeiten und-modelle anzubieten.

- Die Multiplikation und Kommunikation des generierten Wissens über die Homepage von *H2R – Wasserstoff Rheinland* und das detailliert ausgearbeitete Akzeptanz- und Kommunikationskonzept sowie die Maßnahmen lokaler Akteure bilden die Grundlage für eine erfolgreiche Umsetzung.

7. Akzeptanz gegenüber Wasserstoff: Akzeptanzstärkung durch Kommunikation

Die Akzeptanz von Nutzern und Betroffenen ist eine wesentliche Voraussetzung für den Markterfolg neuer Technologien. Die hier vorgestellten zentralen Elemente des für *H2R – Wasserstoff Rheinland* entwickelten Kommunikations- und Akzeptanzkonzepts gehen von starken Wechselwirkungen zwischen Akzeptanz, Kommunikation und Beteiligung aus: Akzeptanz erfordert eine positive Grundeinstellung gegenüber der neuen Technologie, die durch Kommunikation gestärkt werden kann. Dies bedeutet Aufklärung: Die Akteure von *H2R – Wasserstoff Rheinland* bringen der Öffentlichkeit und den Entscheidungsträgern die Chancen des Wasserstoffs nahe und erkunden Wege der Technologienutzung. Eine wirkliche Technologieaneignung findet jedoch erst dann statt, wenn die Innovation konkrete Vorteile für Nutzer und Betroffene bietet. Die Beteiligung der Öffentlichkeit in Form einer kommunikativen Einbindung kann Akzeptanz stärken und wird weiter unten diskutiert. Darüber hinaus haben sich wirtschaftliche Beteiligungskonzepte als Mittel der Akzeptanzsteigerung bereits im Bereich der Windenergie bewährt. Sie werden hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf Wasserstoff in der Langfassung dieses Kapitels im Anhang A.10 analysiert.

7.1. Wissenschaftliche Befunde zur Akzeptanz gegenüber Wasserstoff und Brennstoffzellen

Die Akzeptanz gegenüber Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien wurde in zahlreichen internationalen Studien und Projekten untersucht. Die Forschungsergebnisse werden in der Langfassung des vorliegenden Kapitels dargestellt und nachfolgend nur zusammenfassend vorgestellt. Grundsätzlich wird zwischen Einstellungsakzeptanz, die hier einer Grundeinstellung gegenüber *H2R – Wasserstoff Rheinland* gleichkommt, und Handlungsakzeptanz, die die Grundeinstellung in eine handlungsleitende Haltung überführt, unterschieden. Handlungsakzeptanz begünstigt konkrete Schritte einer aktiven Technologieaneignung wie den Kauf von Brennstoffzellenfahrzeugen [56] [57]. Die Einstellungsakzeptanz gegenüber Wasserstoff und Brennstoffzellen ist insgesamt hoch: Insbesondere werden die Umweltfreundlichkeit, die Möglichkeit der Speicherung von Überschussstrom sowie die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der Technologie geschätzt; negative Einschätzungen, z. B. hinsichtlich der Sicherheit, bestehen kaum. Die positive Grundeinstellung ist allerdings noch nicht mit einer handlungsleitenden Akzeptanz gleichzusetzen [58]. Der Literatur zufolge ist die Handlungsakzeptanz eher gering: Nur wenige Privatkunden sind beispielsweise bereit, die Umweltvorteile „grüner“ Wasserstoffmobilität mit nennenswerten Mehrkosten zu honorieren oder Nachteile wie mangelnde Verfügbarkeit von Wasserstofftankstellen zu akzeptieren. Bei gewerblichen Betreibern von Fahrzeugflotten, die alle Entscheidungen mit harten und vor allem wirtschaftlichen Argumenten rechtfertigen müssen, ist die Aufpreisbereitschaft noch geringer. Andererseits ist eine Handlungsakzeptanz gegenüber Wasserstofftankstellen und anderen Infrastrukturen insofern gegeben, als auch auf Seiten der Anwohner kaum Vorbehalte bestehen [59]. Als Mittel der Akzeptanzsteigerung empfiehlt die Literatur eine Ausweitung der Öffentlichkeitsarbeit und insbesondere eine umfassende kommunikative Einbindung von Nutzern und Betroffenen.

7.2. Akzeptanzsteigerung durch Kommunikation und Beteiligung

Nachfolgend wird ein eigenständiges Kommunikations- und Akzeptanzkonzept für *H2R – Wasserstoff Rheinland* vorgestellt. Das Konzept basiert auf der oben angeführten Literatur. Es zielt darauf, die Inhalte des Feinkonzepts H2R möglichst greifbar zu kommunizieren sowie Wege zur Steigerung von Einstellungs- und Handlungsakzeptanz aufzuzeigen. Es soll die erfolgreich laufenden Kommunikations- und Akzeptanzaktivitäten einzelner Gebietskörperschaften und Akteure der Wertschöpfungskette nicht ersetzen. Vielmehr soll es dazu anregen, die Aktivitäten noch

besser zu koordinieren und in ein auf der Regionsebene abgestimmtes Gesamtkonzept zu integrieren. Der Fokus sollte klar auf der Region liegen und Kommunikations- und Akzeptanzstrategien für den Zusammenschluss *H2R – Wasserstoff Rheinland* als Ganze konzipieren und umsetzen.

Bei der Ausgestaltung des Kommunikations- und Akzeptanzkonzepts wird zwischen verschiedenen Zielgruppen mit spezifischen Informationsbedürfnissen und Anforderungen hinsichtlich der Gewinnung von Einstellungs- und Handlungsakzeptanz unterschieden. Das Konzept differenziert zwischen den beiden übergeordneten Zielgruppen bzw. den Obergruppen „Öffentlichkeit und Politik" und „Akteure der Wertschöpfungskette", die jeweils weiter in Zielgruppen bzw. Untergruppen unterteilt werden. Wie in Tabelle 7-1 dargestellt, reicht das Spektrum der Untergruppen von der Öffentlichkeit bis zu den im Bereich der Wasserstoffnutzung tätigen Unternehmen.

Tabelle 7-1 Adressaten, Ziele und Botschaften des Kommunikations- und Akzeptanzkonzepts

Obergruppe	**Öffentlichkeit und Politik**		**Akteure der Wertschöpfungskette**			
Zielgruppe	Öffentlichkeit	Politik	H_2-Wissen	H_2-Erzeugung	H_2-Verteilung	H_2-Nutzung
Beispiele für Zielgruppen	Bürger, Busnutzer, Tankstellenanwohner	Land NRW, nicht an H2R beteiligte Gebietskörperschaften	Wissenschaftliche Institute, Hochschulen	Elektrolyseebetreiber, Lieferanten Nebenproduktwasserstoff	Betreiber von H_2-Pipelines, Trailern und Tankstellen	Kommunale Verkehrsbetriebe und Fuhrparks
Angestrebte Steigerung	Einstellungsakzeptanz	Einstellungs- / Handlungsakzeptanz	Handlungsakzeptanz	Handlungsakzeptanz	Handlungsakzeptanz	Handlungsakzeptanz
Art der Information	Primär weiche Fakten	Weiche und harte Fakten	Primär harte Fakten	Primär harte Fakten	Primär harte Fakten	Primär harte Fakten

7.3. Kommunikation gegenüber Öffentlichkeit und Entscheidungsträgern

Für den Bereich der eigentlichen Kommunikation wird ein Umsetzungsplan für die Jahre 2020 bis 2023 erstellt. Die „Öffentlichkeit" tritt überwiegend in Gestalt passiver Technologiebeobachter bzw. -nutzer auf und sollte mit der Zielsetzung, die Einstellungsakzeptanz zu steigern, über die Vorteile einer Region mit Wasserstoffinfrastruktur informiert werden. Mit „Politik" sind insbesondere die nicht am H2R-Zusammenschluss beteiligten politischen Akteure auf der NRW-Landesebene und der Ebene von Städten und Kommunen gemeint. Die Politik tritt insoweit als passiver Technologiebeobachter bzw. -nutzer auf, als kein Kontakt zu dem Vorhaben H2R besteht, und sollte zunächst mit Blick auf die Steigerung der Einstellungsakzeptanz angesprochen werden. Sobald aber Entscheidungsbefugnisse ins Spiel kommen, ist auch eine Steigerung der Handlungsakzeptanz anzustreben. Alle Zielgruppen im Bereich „Akteure der Wertschöpfungskette" sind primär mit konkreten Maßnahmen der Technologieaneignung befasst und sollten mit Blick auf die Steigerung der Handlungsakzeptanz angesprochen werden.

Die Art der kommunizierten Informationen ist an die gewünschte Akzeptanzsteigerung anzupassen: Geht es um die Einstellungsakzeptanz der Öffentlichkeit, ist primär die Vermittlung weicher Fakten zu empfehlen. Hier sollten die Adressaten gemäß der Devise „Information und Emotion" eher plakativ mit emotional gefärbten Botschaften angesprochen werden, die z. B. bei jüngeren Menschen die „Coolness" von Wasserstoff und bei Älteren z. B. die Geräuscharmut von Brennstoffzellenbussen betonen. Die emotionale Ansprache ist durch leicht verständliche Einstiegsinformationen über *H2R – Wasserstoff Rheinland* zu vertiefen. Inhaltlich sollten die oben identifizierten

Themen Umweltfreundlichkeit, Möglichkeit zur Speicherung von Überschussstrom und die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Wasserstoff und Brennstoffzellen im Vordergrund stehen. Diese Themen erfahren generell eine hohe Akzeptanz, so dass deren Kommunikation auch bei H2R zur Steigerung der Einstellungsakzeptanz führen sollte. Auf H2R abgestimmte Leitbotschaften stärken den regionalen Bezug: So könnte z. B. die Vision eines graduellen Übergangs von der heutigen Nutzung des kostengünstigen Nebenproduktwasserstoffs zur zukünftigen Verwendung grünen Wasserstoffs vorgestellt werden. Sobald jedoch Handlungsakzeptanz gestärkt werden soll, wird die Vermittlung harter Fakten zentral. Hier werden Entscheidungsträger mit Blick auf konkrete Maßnahmen der Technologieaneignung angesprochen, die zur Entscheidungsfindung und -rechtfertigung tiefgehender und belastbarer Informationen bedürfen. Insbesondere sind hier funktionelle, ökologische, ökonomische und regulative Faktoren zu kommunizieren. Beispielsweise sind bei der Beschaffung von Bussen Rechtsakte der Europäischen Union ebenso wie Gesamtbetriebskosten entscheidungsrelevant. Sollte sich die Gesamtbilanz der harten Fakten bezüglich einer im H2R-Feinkonzept vorgeschlagenen Maßnahme als vorteilhaft erweisen, ist mit dem Entstehen von Handlungsakzeptanz und Technologieaneignung zu rechnen. Im Falle einer nachteilhaften Gesamtbilanz können zumindest die Handlungsnotwendigkeiten für eine Verbesserung der Bedingungen einer Technologieaneignung identifiziert werden. Gelingt später eine solche Verbesserung, ist der Eintritt von Handlungsakzeptanz zu erwarten.

Für die Ansprache der Öffentlichkeit und den nicht mit dem H2R-Zusammenschluss befassten Teilen der Politik steht eine breite Palette von Kommunikationsmaßnahmen zur Verfügung. Bereits implementiert wurden eine Website und ein Flyer. Die Website *H2R – Wasserstoff Rheinland* stellt unter www.wasserstoff-rheinland.de umfassende und ständig aktualisierte Informationen bereit. Sie dient damit als erster Informationszugang für den H2R-Zusammenschluss. Der Flyer *H2R – Wasserstoff Rheinland* fasst zentrale Inhalte zusammen. Darüber hinaus sind öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen zu empfehlen und werden in Tabelle 7-2 skizziert. Jüngere Adressaten der Öffentlichkeitsarbeit sollten primär über das Internet bzw. soziale Medien angesprochen werden [60]. Beispielsweise könnten zukünftig Kanäle wie YouTube und Instagram genutzt oder eine Zusammenarbeit mit Influencern gesucht werden. Über die Bereitstellung von Informationen hinaus wird ein interaktiver Austausch zwischen den Akteuren des H2R-Zusammenschlusses und der Öffentlichkeit möglich. Ältere Adressaten sind eher über klassische Medien wie Zeitungen, Zeitschriften, Fernsehen und Radio zu erreichen. Daher sollten Journalisten regelmäßig über die Fortschritte des H2R-Vorhabens informiert und die Öffentlichkeit mit aktualisierten Printmedien versorgt werden.

Tabelle 7-2 Beispiele für öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen

Klassisches Veranstaltungsformat

- 50 bis 100 Teilnehmer
- Kostenloser Zugang für die Öffentlichkeit
- Vorträge, Exponate, Probefahrten
- Information und Emotion
- Mehrstündige Veranstaltung
- Örtlichkeit mit H2R-Bezug



Für die Kommunikation gegenüber Entscheidungsträgern sind auf geringere Teilnehmerzahlen, tiefergehende Informationsgehalte sowie größere Dialoganteile gemünzte Formate geeignet. Die Akteure aus Politik und Wertschöpfungskette sind besser informiert und an spezifischeren, umsetzungsbezogenen Fragestellungen interessiert: So sind z. B. nicht die ökologischen Vorteile von Brennstoffzellenfahrzeugen im Allgemeinen, sondern an Gebietskörperschaften gerichtete Beschaffungsvorgaben für emissionsfreie Nutzfahrzeuge relevant. Zur Kommunikation und Diskussion derartiger Sachverhalte werden Stakeholder-Tage und Workshops empfohlen. Hier werden geladene Teilnehmer über die Entwicklung von *H2R – Wasserstoff Rheinland* und dessen Chancen für verschiedene Akteursgruppen informiert. So könnte z. B. über Beschaffungsinitiativen berichtet und Optionen einer Einbindung zusätzlicher Akteure diskutiert werden.

7.4. Vorbereitungen zur bedarfsorientierten Kommunikation

Über die Bedarfe und Kanäle der regulären Kommunikation hinaus ist der Sonderbereich bedarfsorientierter Kommunikation abzudecken. Er betrifft nicht im Detail vorhersehbare Kommunikationserfordernisse, welche insbesondere im Falle unerwarteter starker Opposition gegenüber Maßnahmen von *H2R – Wasserstoff Rheinland* oder beim Eintritt von Unfällen eine sofortige Reaktion erfordern. Beispielsweise könnten sich Bürgerinitiativen über Wasserstoffanlagen formieren, denn letztlich sind Explosionen auf Tankstellen wie bei klassischen Tankstellen mit Benzin und Diesel nicht zu 100 Prozent auszuschließen. Aufgrund der Unvorhersehbarkeit können keine konkreten Abwehrwehrmaßnahmen geplant, sondern nur generische Vorkehrungen für eine akzeptanzsichernde Kommunikation getroffen werden. Es ist von zentraler Bedeutung, mögliche Kritikpunkte an den Maßnahmen von H2R vorab zu identifizieren und Argumentationslinien zur Entkräftung der Vorbehalte zu entwickeln bzw. den Vorbehalten mit Anpassungen zu begegnen. Daher sollte bereits früh im Planungsprozess der Öffentlichkeit eine Möglichkeit zur Mitwirkung gegeben werden. Analog ist es wichtig, Handlungspläne für die Krisenkommunikation bei Unfällen vorzubereiten, die z. B. Ansprechpartner sowie relevante Kommunikationsbotschaften und -kanäle definieren [60]. Unabdingbar ist die Analyse vergangener Kommunikationsverläufe z. B. im Falle der Opposition gegen eine Elektrolyseanlage in Deutschland und nach einer kleinen Explosion auf einem Tankstellengelände in Norwegen [61] [62].

Die Argumentationslinien und Handlungspläne werden für die Akteure des H2R -Zusammenschlusses entwickelt, aber nur im Bedarfsfall genutzt. Das Zielpublikum variiert je nach Anlass und kann nur näherungsweise durch Vorabanalyse möglicher Opponenten und Risiken identifiziert werden. Vorbehalte sind gemäß bisheriger Erfahrungen noch am ehesten bei Anwohnern von Wasserstofftankstellen zu erwarten; die wenigen Unfälle kleineren Ausmaßes blieben bisher auf einzelne Anlagen beschränkt [59] [62]. Daher sind Anlagenanwohner als primäre Zielgruppe der bedarfsorientierten Kommunikation zu betrachten. Angesichts ihrer direkten Betroffenheit sollte die Kommunikation auf eine Steigerung der Handlungsakzeptanz zielen. Im Bedarfsfall sollten harte Fakten vermittelt werden, da Opponenten üblicherweise gut informiert und bei Unfällen ausschließlich belastbare Aussagen relevant sind. Das Thema Sicherheit sollte nur im Rahmen der bedarfsorientierten Kommunikation abgehandelt werden, da Wasserstoff und Brennstoffzellen im Allgemeinen nicht als risikobehaftet wahrgenommen werden und durch eine fortlaufende Zertifizierung durch technische Prüfdienste auch so einzuschätzen sind.

Als Kanäle der bedarfsorientierten Kommunikation sollten neben den klassischen Informationsträgern auch soziale Medien genutzt werden, da diese insbesondere bei Unfällen schnell und wirkungsvoll zur Meinungsbildung beitragen [63]. Analog zur regulären Kommunikation sind die Grundsätze von Frühzeitigkeit, Offenheit, Ehrlichkeit, Transparenz und Dialogorientierung zu beachten [60]. Generell gilt auch hier die möglichst umfassende Beteiligung von Betroffenen als das beste Mittel gegen die Entstehung starker Opposition.

7.5. Akzeptanzmonitoring und -management

Das Handlungsfeld Akzeptanz ist eng mit dem skizzierten Kommunikationskonzept verwoben: Während eine positive Kommunikation insbesondere die Einstellungsakzeptanz der Öffentlichkeit gegenüber der H2R-Initiative zu steigern vermag, kann auf der Basis regelmäßiger Akzeptanzerhebungen die Wirksamkeit der Kommunikation überprüft und das Vorgehen optimiert werden. Anderseits kann Kommunikation Handlungsakzeptanz nur insoweit steigern, als dass die Botschaften konkrete Vorteile an die angesprochenen Entscheidungsträger vermitteln. Nichtsdestotrotz können auf der Grundlage von Akzeptanzerhebungen Kommunikationsstrategien optimiert und bei Antreffen einer unbefriedigenden Handlungsakzeptanz die zugrundeliegenden Probleme identifiziert und nach Möglichkeit beseitigt werden.

Aufgrund der engen Verbundenheit von Kommunikation und Akzeptanz sind die Grundbegriffe beider Teile des übergreifenden Konzepts identisch. Die in Tabelle 7-1 aufgestellten Kategorien Zielgruppen, Art der Informationen

etc. werden ebenso wie die anschließend identifizierten Kommunikationsmaßnahmen und -kanäle in die vertiefendende Diskussion des Handlungsfelds Akzeptanz überführt. Gegenüber dem Bereich Kommunikation sind die Ausführungen zur Akzeptanz weniger konkret: Statt auf kurzfristig umsetzbare Maßnahmen wird der Schwerpunkt auf die Entwicklung einer bis zum Jahr 2035 anzuwendenden Methodik gelegt. Eine Steigerung der Akzeptanz speziell gegenüber Roadmap und Projekten von *H2R – Wasserstoff Rheinland* wird angestrebt.

Die Abfrage der Einstellungs- und Handlungsakzeptanz orientiert sich an den oben ermittelten Zielgruppen und Themen. Für das Spektrum von Öffentlichkeit und Politik bis hin zu Akteuren der Wertschöpfungskette wurden verschiedene weiche sowie harte Kommunikationsbotschaften und -medien vorgeschlagen, die nun als Anknüpfungspunkte für die Akzeptanzerhebungen herangezogen werden. Anhand der Botschaften werden die durch die Kommunikation erzielten Akzeptanzsteigerungen untersucht. Zur Erhebung von Einstellungsakzeptanz bietet sich die Nutzung quantitativer Verfahren an, mit denen die Einstellung größerer Gruppen von Technologienutzern oder -beobachtern adäquat erhoben werden kann. Ein klassisches Beispiel dafür sind an Nutzer von Brennstoffzellenbussen gerichtete Umfragen mit Multiple-Choice-Fragebögen, welche in Bussen durchgeführt werden. So überprüft die Abfrage beispielsweise, inwieweit die Busnutzung tatsächlich als umweltfreundlich und angenehm empfunden wird. Zeigen die Ergebnisse gute Akzeptanzwerte, können die Gründe hierfür vertiefend untersucht und künftige Kommunikationstätigkeiten noch zielgerichteter auf akzeptanzsteigernde Botschaften ausgerichtet werden. Treten Akzeptanzprobleme zu Tage, sind die zugrunde liegenden Defizite zu analysieren und Strategien der Kommunikationsoptimierung zu entwickeln. Beispielsweise könnte sich eine verstärkte Öffentlichkeitsarbeit als erforderlich erweisen. Im Falle gravierender Akzeptanzprobleme ist die Durchführung von Workshops mit Vertretern der Öffentlichkeit anzuraten. Hier können z. B. in Fokusgruppen, also moderierten Gruppendiskussionen geladener Teilnehmer auf der Basis von Informationsinputs, die Gründe mangelnder Akzeptanz analysiert und vielversprechende Maßnahmen der Akzeptanzsteigerung definiert werden [64]. Akzeptanz sollte regelmäßig und in Wellen erhoben werden, um positive oder negative Entwicklungen über Zeit sichtbar zu machen. Die Wellen könnten z. B. im Anschluss an umfassende Kommunikationskampagnen erfolgen. Zur Abfrage von Handlungsakzeptanz bietet sich eine tiefergehende und auf den kleineren Kreis von Entscheidungsträgern ausgerichtete, primär qualitative Methodik an. Für die Ermittlung wie auch die Steigerung von Akzeptanz erscheinen vertiefende Diskussionsformate für fachlich versierte Teilnehmer besonders geeignet. Beispielsweise können Vertreter von *H2R – Wassserstoff Rheinland* in Fokusgruppen über Fortschritte bei der Umsetzung der Roadmap berichten und Rückmeldungen zur Handlungsakzeptanz einholen. Die Diskussion betrifft harte Faktoren wie Wirtschaftlichkeit oder Regularien und fokussiert auf deren Auswirkungen auf die Handlungsakzeptanz. Zeigt sich eine hohe Akzeptanz, sind wiederum die Gründe derselben zu analysieren und die identifizierten Erfolgsfaktoren verstärkt bei der Werbung um Akzeptanz zu nutzen. Manifestieren sich Akzeptanzvorbehalte, sind die zugrunde liegenden Probleme zu untersuchen und Lösungsansätze mit den Entscheidungsträgern zu erarbeiten. Sind z. B. die Kosten der in H2R-Region eingesetzten Technologien zu hoch, können Handlungsvorschläge für Politik und Anwender mit der Zielsetzung der Kostenreduzierung erarbeitet werden. Gelingt es im nächsten Schritt, die Probleme zu beseitigen, ist mit einer Steigerung der Handlungsakzeptanz zu rechnen. Wiederum sollte die Akzeptanzerhebung in zeitlich gestaffelten Wellen erfolgen. Die Wellen könnten sich z. B. an den Meilensteinen der Roadmap orientieren.

7.6. Handlungsempfehlungen zur Akzeptanzsicherung

Abschließend werden einige beispielhafte Empfehlungen für die Sicherstellung von Einstellungs- und Handlungsakzeptanz gegenüber dem H2R-Zusammenschluss abgeleitet. Grundsätzlich sollten sich Maßnahmen zur Stärkung und Erhebung von Akzeptanz auf die für *H2R – Wasserstoff Rheinland* zentralen Innovationsfelder Fahrzeuge, Tankstellen, Wasserelektrolyse und Pipelines konzentrieren. Während Akzeptanzaktivitäten mit Bezug auf einzelne Vorhaben durch die jeweiligen Projekteigner zu begrüßen sind, sollte der Schwerpunkt der Aktivitäten auf der regionalen Ebene liegen. Fahrzeuge und Wasserelektrolyseure erfahren im Allgemeinen eine hohe Einstellungs- und teils auch Handlungsakzeptanz und empfehlen sich als „Aushängeschilder“ von *H2R – Wasserstoff Rheinland*. Bei

Tankstellen kann es am ehesten zu Vorbehalten von Anwohnern kommen. Deshalb sollten die Anlagen entweder zunächst außerhalb von Wohngebieten gebaut werden oder ein Bau innerhalb von Wohnbereichen unter starker Einbindung der Anwohner erfolgen. Durch eine frühzeitige und intensive Kommunikation gelang es z.B. der RVK, eine Tankstelle in einem Wohngebiet unter hoher Akzeptanz der anliegenden Bevölkerung zu realisieren. Während keine Akzeptanzprobleme bei bestehenden Pipelines bekannt sind, könnten die beim Neubau möglicherweise auftretenden Vorbehalte bei der Umstellung bestehender Erdgas- zu Wasserstoffpipelines vermieden werden. Insbesondere erscheint es uns wichtig, die durch die regionale Kooperation im Zusammenschluss H2R entstehenden Vorteile prominent zu kommunizieren und als starkes Mittel der Akzeptanzsteigerung zu nutzen. Wir gehen davon aus, dass das Modellprojekt *H2R – Wasserstoff Rheinland* eine deutliche Zunahme der regionalen Wasserstoff- und Brennstoffzellenaktivitäten mit sich bringen wird. Beispielsweise sollten aufgrund von Skaleneffekten Technologiekosten sinken, Nachfragen steigen und mittelbar größere Investitionen in allen Teilen der Wertschöpfungskette rechtfertigen. Dies könnte z. B. in dem Ausbau bestehender Pipelineinfrastrukturen münden und die Attraktivität von Wasserstoff weiter steigern. Derartige Perspektiven gilt es im Sinne der Akzeptanzsteigerung klar zu kommunizieren.

Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

- Wasserstoff wird im Allgemeinen insbesondere aufgrund seiner Umweltfreundlichkeit positiv wahrgenommen und profitiert von einer hohen Einstellungsakzeptanz.
- Allerdings würden die meisten Nutzer und Betroffenen keine wesentlichen Nachteile in Kauf nehmen und zeigen Wasserstoff gegenüber nur eine geringe Handlungsakzeptanz.
- Einstellungs- und Handlungsakzeptanz können durch eine zielgruppenspezifische Kommunikation der Vorteile von Wasserstoff gestärkt werden.
- Durch Akzeptanzerhebungen können Kommunikationserfolge überprüft und maßgeschneiderte Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung entwickelt werden.
- Handlungsakzeptanz entsteht erst dann, wenn konkrete Vorteile für Nutzer und Betroffene vorliegen, und ist deshalb nur bedingt durch Kommunikation zu befördern.
- Beteiligungskonzepte ermöglichen eine Einbindung von Nutzern und Betroffenen durch Partizipation, wodurch Vorteile besser vermittelt und Nachteile besser entkräftet werden können.
- Maßnahmen zur Stärkung und Erhebung von Akzeptanz sollten sich auf Fahrzeuge, Tankstellen, Elektrolyseure und Pipelines auf regionaler Ebene konzentrieren.
- Tankstellen sollten entweder außerhalb von Wohngebieten gebaut werden oder innerhalb von Wohnbereichen unter starker Einbindung von Anwohnern entstehen.
- Es ist von zentraler Bedeutung, die durch die regionale Kooperation entstehenden Vorteile prominent als Mittel der Akzeptanzsteigerung zu kommunizieren.

8. Ausblick: *H2R – Wasserstoff Rheinland* hat Strahlkraft über die Region hinaus

Im Rahmen des Feinkonzepts haben über 80 Akteure aus allen Sektoren ca. 100 Wasserstoffprojekte entlang der gesamten Wertschöpfungskette eingebracht. Jahrzehntelange Erfahrungen in der täglichen Nutzung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie bilden eine optimale Grundlage für einen großflächigen Ausbau der Wasserstoffregion. Zudem kann auf vorhandenen Netzwerken wie HyCologne aufgebaut werden. Die Übertragbarkeit von Konzepten und Know-how wird durch ein umfassendes Wissensmanagement und die Einbindung mehrerer Institute und Hochschulen unterstützt. Dadurch entstehen über die Region *H2R – Wasserstoff Rheinland* hinaus Impulse, die die Entwicklung und Umsetzung von Wasserstoffprojekten forcieren.

8.1. Wir treiben die Wasserstoffregion voran

Die beteiligten Städte Brühl, Hürth, Köln und Wesseling sowie der Rheinisch-Bergische und der Rhein-Sieg-Kreis werden die mit der Erarbeitung des hier vorliegenden Feinkonzeptes begonnenen Aktivitäten nachhaltig fortführen und zukunftsfähig ausbauen. Die Region hat den Anspruch, die vorhandenen Kompetenzen, insbesondere der Netzwerke, der Unternehmen und Hochschulen sowie Forschungseinrichtungen noch stärker zu verzahnen und für die Projektentwicklung der Gebietskörperschaften zu heben. Zu diesem Zweck soll eine gemeinsame Organisationseinheit der Gebietskörperschaften (Geschäftsstelle) die Projekte weiterentwickeln. Deren Ausrichtung soll vor allem die Unterstützung der kommunalen Träger bei der Projektentwicklung, Projektumsetzung, Außendarstellung der Modellregion, Fachberatung für die Kommunen als auch Kontakte in das politische Umfeld umfassen. Darüber hinaus soll diese neue Einheit auch eine starke Schnittstelle zur Wirtschaft, Forschung und zu weiteren Akteuren bilden. Gleichzeitig soll die Organisationsstruktur die Aufnahme weiterer kommunaler Träger ermöglichen.
Die Gebietskörperschaften wollen bei der Projektentwicklung kurzfristig die bestehenden Strukturen und Kompetenzen u.a. der HyCologne GmbH sowie der RVK GmbH einbinden. Damit ist es möglich, zukunftsfähige Projekte in der Anwendung schnell umsetzungsreif zu machen sowie unmittelbare Kapazitäten zum Wissenstransfer zu nutzen.

8.2. Unser Konzept bietet eine hohe Übertragbarkeit auf weitere Wasserstoffregionen

Wir sehen die in diesem Konzept entwickelten Maßnahmen und Aktivitäten als Grundlage der Wissensbildung, die bestmöglich zur Übertragbarkeit aufbereitet und kommuniziert werden muss. Wir sehen die H2R-Region nicht als „gallisches Dorf“, sondern versuchen bereits frühzeitig, regionale und überregionale Aktivitäten zu identifizieren und gemeinsam strategisch umzusetzen. Dabei bietet sich die H2R-Region aufgrund ihrer Struktur und Lage mit Großstadt, Mittel- und Unterzentren sowie ländlichen Gebieten, mit Unternehmen von klein und mittelgroß (KMU) bis zu global Playern (siehe Kapitel 3.1) und mit den identifizierten Maßnahmen (siehe Kapitel 4.1) insbesondere als Pionier und Impulsgeber an und als Modell, das auf weitere Regionen und Kreise übertragen werden kann. Die Maßnahmen sind dabei entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu verorten:

- Erzeugung: Nebenprodukt, Elektrolyse über Stromnetz, Wasserkraft, PV und BHKW, Wasserstoff aus Biomassevergasung (Holz, Grünschnitt, Klärschlamm)
- Verteilung: Aufbau flächendeckender Tankstelleninfrastruktur (350 und 700 bar)

- Verteilung: Errichtung einer Pipeline zur Kopplung der Sektoren Verkehr, Industrie, Strom und Wärme und langfristig für den Import von grünem Wasserstoff. Die Wasserstoffnachfrage aus der H2R-Region sind mittelfristig dazu geeignet eine Wasserstoffpipeline ökonomisch betreiben zu können. Neben der H2R-Region hat auch der benachbarte Kreis Düren die Initiative gestartet, eine Wasserstoffinfrastruktur bestehend aus BZ-Bussen, -PKW und –Zügen zu konzipieren.
- Verteilung: Errichtung von zentralen Umschlagpunkten (Hubs) zur Kopplung dezentraler Erzeugung mit dezentralen Nutzern und zur Erschaffung eines diskriminierungsfreien Marktes
- Nutzung im Verkehr: Busse, PKW, kommunale Fahrzeuge, Flurförderfahrzeuge, LKW, Züge und Schiffe
- Nutzung Strom und Wärme: Einsatz von Brennstoffzellensystemen
- Nutzung Industrie: Schaffung gemeinschaftlicher Infrastrukturen zur Versorgung der Industriegebiete und Einsatz von Wasserstoff zur Herstellung neuer Produkte
- Wissen: Aufgrund des von HyCologne angestoßenen Projekts HyPipCo und dank des projektbegleitenden Wissensmanagements werden gemeinsame strategische Überlegungen zum Aufbau der Wasserstoffpipeline bereits sehr früh realisierbar.
- Wissen: In Kapitel 6.5 stellen wir das Wissensmanagement und die bisherigen Ergebnisse stärker in den Fokus.

8.3. Wir bilden den Link zur Vernetzung von Wasserstoffregionen

Die Modellregion *H2R – Wasserstoff Rheinland* ist eingebettet in eine national und europäisch vernetzte Infrastruktur für Strom, Erdgas und Wasserstoff. Es besteht daher die Chance, diese Region über existierende Gas- und Wasserstoffinfrastrukturen überregional, national und auch europäisch einzubinden. In NRW existiert bereits ein historisch gewachsenes, überregionales Pipelinenetz für den Transport und die Verteilung von industriell erzeugtem und genutztem Wasserstoff. Die Rhein-Ruhr-Pipeline verbindet Wasserstofferzeuger und große industrielle Verbraucher zwischen Rhein und Ruhr miteinander. Der sichere Pipelinebetrieb konnte bereits über mehrere Dekaden nachgewiesen werden. Das Netz umfasst eine Pipelinelänge von ca. 240 km bei einem Druckniveau von ca. 25 bar. Der Reinheitsgrad liegt bei 99,95 %, und die transportierte Wasserstoffmenge entspricht knapp 32.000 t pro Jahr [65].

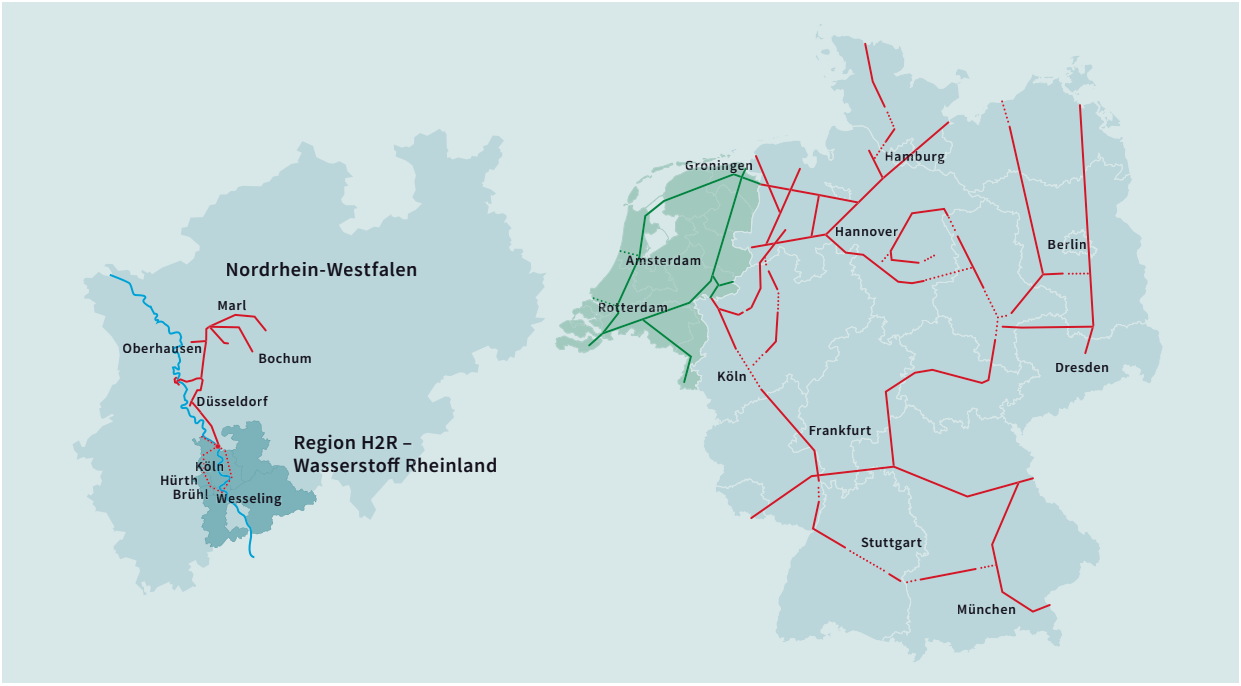


Abbildung 8-1 Links: Existentes Wasserstoff-Pipeline-Netz in NRW [65]; Rechts: Vorschlag eines zukünftigen H_2-Netzes im Rahmen des Netzentwicklungsplans Gas [66] und Niederländisches Wasserstoff-Konzept Green Octopus [67] Durchgezogene Linien: bestehende H_2-Pipeline oder Pipelines, die umgewidmet werden können. Gepunktet Linien: Neue H_2-Pipelines

Zu den vorgeschlagenen Maßnahmen der deutschen Fernleitungsnetzbetreiber (FNB) im Rahmen des nationalen Netzentwicklungsplan Gas 2020–2030 zählt auch der Entwurf einer möglichen Topologie für ein deutschlandweites Wasserstoffpipelinenetz. Das skizzierte Netz besteht dabei maßgeblich aus umzustellenden Erdgasleitungen und zu einem geringeren Anteil auch aus neu zu bauenden Pipelineabschnitten. Das vorgeschlagene Leitungsnetz weist dabei eine Länge von ca. 5.900 km auf. Ziel dieser Vision ist eine möglichst flächendeckende Versorgung der Bereiche Industrie, Mobilität und Wärme. Weiterer wichtiger Bestandteil des vorgeschlagenen Netzes sind Untertagespeicher [66]. Die Modellregion *H2R – Wasserstoff Rheinland* könnte sich hier als ein wichtiger Knotenpunkt mit nationaler Anbindung platzieren.

Das vorgestellte nationale H_2-Netzwerk der Fernleitungsnetzbetreiber sieht weiterhin eine explizite Anbindung an europäische Wasserstoffinfrastrukturen vor. Dies ermöglicht den europaweiten Handel und zusätzlich über große Seehäfen auch die Nutzung von interkontinental erzeugtem Wasserstoff. Das niederländische Projekt „Green Octopus“ zielt darauf ab, auf europäischer Ebene eine Wasserstoffinfrastruktur als „Important Project of Common European Interest“ einordnen zu lassen. Dies hätte verschiedenste Vorteile für den Aufbau der Infrastrukturen [68]. Das Projekt verknüpft eine kurzfristig blaue und längerfristig grüne Erzeugung von Wasserstoff mit industrieller Nachfrage sowie geologischen Speicheroptionen. Bei diesem Konzept werden mehrere Pipelineverbindungen zum deutschen H_2-Netz geplant (vgl. Abbildung 8-1).

Ein zusätzlicher Link zur Modellregion *H2R – Wasserstoff Rheinland* könnte über die Verbindung zum grenznahen Chemiepark Chemelot in der niederländischen Provinz Limburg (siehe Abbildung 8-1, südliche Grenzregion Niederlande-Deutschland) erfolgen, der sich in ca. 85 km Entfernung zum Chemiepark Knapsack in der H2R-Region befindet. Hierdurch würde eine zusätzliche Transport- und Versorgungsoption für Wasserstoff durch Umstellung existierender oder Neubau von Pipelines erschlossen werden.

8.4. Kooperationen mit anderen Regionen erhöht die Erfolgschancen

Langfristig werden Kooperationen mit weiteren Wasserstoffinitiativen und -regionen angestrebt. Die Vernetzung führt zu Synergieeffekten und erhöht die Chancen für die erfolgreiche Umsetzung von interregionalen Wasserstoffprojekten wie z.B. der Pipeline. Hierzu gibt es bereits einen aktiven Austausch mit dem Kreis Düren (siehe LOI C.2.36). Außerdem prüfen der Oberbergische Kreis (siehe LOI C.2.44) sowie die Stadt Fulda (mit dem HyExpert-Projekt „HyWheels“, siehe LOI C.4.7) Übertragbarkeiten des Feinkonzepts hinsichtlich Erzeugung und Nutzfahrzeuge. Im Rahmen des Wettbewerbs zur „Modellkommune/-region Wasserstoff-Mobilität NRW“ fand auch ein Austausch mit der „Kompetenzregion Düssel-Rhein-Wupper“ statt. Weitere Initiativen und Modellprojekte von Wasserstoffregionen, zu denen eine Vernetzung sinnvoll sein kann, sind in Abbildung 8-2 dargestellt.

Die Konzeptionierung und Einbindung einer überregionalen Wasserstoffinfrastruktur verdeutlicht unsere Zielvorstellung einer optimalen Übertragbarkeit und Synergieherstellung. Unsere grundlegende Vision zeigt die gemeinsame Ambition, Wasserstoff als Energieträger der Zukunft zu implementieren.

Über Infrastrukturprojekte hinaus sind internationale Kooperationen etwa mit Blick auf den britischen Fahrzeugentwickler Microcab Industries Teil von *H2R – Wasserstoff Rheinland*. Im Rahmen des internationalen Austauschs hat die Stadt Köln im Juli 2020 außerdem ein Kooperationsabkommen (Memorandum of Understanding) mit der chinesischen Stadt Guiyang, Hauptstadt der Provinz Guizhou, geschlossen. Zentraler Bestandteil des Abkommens ist die Zusammenarbeit im Wasserstoffsektor mit der Zielsetzung den Einsatz von Wasserstofftechnologien voranzutreiben und über geeignete Kooperationen die Branchenkontakte zu intensivieren. Dies umfasst insbesondere die Unterstützung von Unternehmen, die beabsichtigen Geschäftsbeziehungen aufzubauen, und den gegenseitigen Informationsaustausch auf. Beispielsweise pflegt das Kölner Unternehmen HEE Technologies GmbH schon

enge Geschäftskontakte zu lokalen Partnern aus Guiyang. Die Provinzhauptstadt will sich in den kommenden Jahren als nationale Kompetenzregion im Bereich Wasserstofftechnologie etablieren.

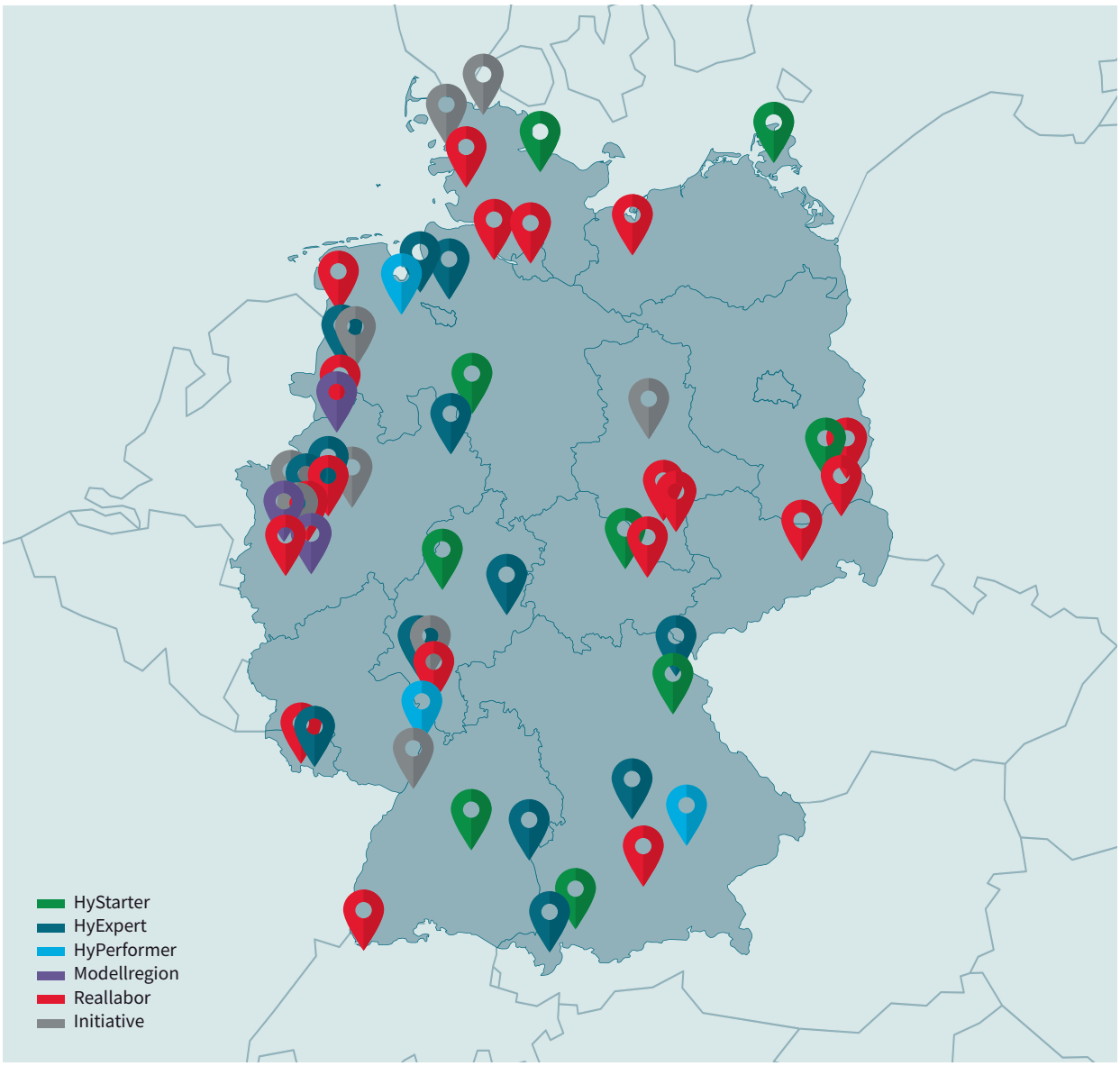


Abbildung 8-2 Übersicht über Initiativen und Regionen, die sich dem Thema Wasserstoff widmen (Quelle: EMCEL).

Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

- Die beteiligten Städte und Kreise werden die begonnenen Aktivitäten nachhaltig fortführen und zukunftsfähig ausbauen. Zu diesem Zweck soll eine gemeinsame Organisationseinheit der Gebietskörperschaften (Geschäftsstelle) die Projekte weiterentwickeln. Deren Ausrichtung soll vor allem die Unterstützung der kommunalen Träger bei der Projektentwicklung, Projektumsetzung, Außendarstellung der Modellregion, Fachberatung für die Kommunen als auch Kontakte in das politische Umfeld umfassen. Darüber hinaus soll diese neue Einheit auch eine starke Schnittstelle zur Wirtschaft, Forschung und zu weiteren Akteuren bilden. Gleichzeitig soll die Organisationsstruktur die Aufnahme weiterer kommunaler Träger ermöglichen.

- Das Konzept schafft Lösungen für urbane Strukturen in Ballungszentren und ländliche Gebiete und stellt eine ideale Modellregion vor, an der die Einführung einer Wasserstoffwirtschaft und der Einsatz von Wasserstofffahrzeugen demonstriert werden kann. Schon jetzt werden Übertragbarkeiten auf andere Regionen und Kommunen geprüft, wie beispielsweise auf die angrenzenden Kreise Düren und Oberberg, sowie auf die Stadt Fulda.

- Der Austausch mit anderen Regionen wird fortgeführt und intensiviert. Beispielsweise werden Synergien und Kooperationen mit anderen Initiativen wie GetH2 (Wasserstoff-Pipeline), HyWheels (großskalige Beschaffung von BZ-LKW, Aufbau einer nachhaltigen Tankstelleninfrastruktur) und in4climate (H2 für Industrie) wie auch mit dem Projekt RH2INE (Wasserstoffinfrastruktur für die Binnenschifffahrt) erarbeitet.

- *H2R – Wasserstoff Rheinland* demonstriert, wie Wasserstoff in Verteilnetzen (Pipelines) von Großstädten und Ballungsräumen verwendet werden kann. Dies ist elementar für die langfristige Energiewende. Bisher gibt es in Deutschland kein vergleichbares Projekt.

- Die geplante Pipeline unserer Region ist ein elementares Element der Anbindung an die Regionen des Strukturwandels im Rheinischen Revier und an die Rhein-Main-Region und stärkt damit die regionale, nationale und europäische Vernetzung.

A. Anhang

A.1. Potenzialanalyse

A.1.1. Methodik zur Ermittlung der Fahrleistung

Aus Studien des „Virtuellen Instituts – Strom zu Gas und Wärme“ (EFRE-0400111) stehen uns Daten zum straßenscharfen Verkehrsaufkommen in NRW nach Fahrzeugtypen zur Verfügung.[11] Das genaue Vorgehen zur Ermittlung der heutigen Fahrleistungsdaten lässt sich für den Straßenverkehr in Breuer, J. et al. (2020) und den Schienen- und Schiffsverkehr in Breuer, J. et al. (2020) einsehen, aggregierte Daten stehen unter Breuer, J. et al. (2019) zur Verfügung [69] [70] [71].

Tabelle A-1 Harmonisierte Wasserstoffverbräuche in kg H_2 / 100 km

Nr.	Fahrzeug	2023	2030	2035
1	PKW	0,85	0,79	0,75
2	Leichte Nutzfahrzeuge	1,21	1,12	1,07
3	Schwere Nutzfahrzeuge	8,00	7,69	7,47
4	(Linien-)Busse	9,39	9,03	8,77
5	Züge im Personennahverkehr	23,30	22,40	21,80
6	Züge im Güterverkehr	108,50	104,40	101,40
7	Frachtbinnenschiff	422,55	422,55	422,55

Tabelle A-2 Harmonisierte Energieaufwände der Wasserstofferzeugungspfade

Nr.	Technologiepfad	2023	2030	2035
1	Wasserelektrolyse [kWhel/kg H_2]	55,490	52,900	51,575
2	Aufbereitung / Kompression [kWhel / kg H_2]	1,200	1,200	1,200
3	Dieselverbrauch Trailertransport [l / tkm]	0,289	0,249	0,225
4	H_2-Verbrauch Trailertransport [kg H_2/ tkm]	0,080	0,077	0,075
5	Holzartige Biomasse + BHKW + Elektrol. [kWhth,Bio / kg H_2]	205,114	195,743	190,949
6	Biomasse + Vergasung [kWhth,Bio / kg H_2]	155,440	151,380	148,480
7	Biogas aus Gülle oder Siedlungsabfällen (zu -methan) + Dampfreformierung [kWhth,Bio / kg H_2]	46,759	45,740	45,012

[11] Das Kompetenzzentrum „Virtuelles Institut - Strom zu Gas und Wärme“ (EFRE-0400111) wird gefördert durch das „Operationelle Programm zur Förderung von Investitionen in Wachstum und Beschäftigung für Nordrhein-Westfalen aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung“ (OP EFRE NRW) sowie durch das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen.

A.1.2. Methodik zur Ermittlung der CO_2-Emissionen der Erzeugungspfade

Neben den bereits vorgestellten Varianten zur Erzeugung von Wasserstoff (Nebenproduktwasserstoff und Post-EEG-Anlagen) bestehen weitere Möglichkeiten wie der Import von Wasserstoff oder das Betreiben eines Elektrolyseurs mit Strom aus dem öffentlichen deutschen Strommix. Für die Nutzung von Nebenproduktwasserstoff nehmen wir an, dass der überschüssige Wasserstoff heute zu 80 % thermisch verwertet wird und zu 20 % ungenutzt bleibt. Der thermisch verwertete Anteil muss demnach durch eine andere Energiequelle, in unserem Fall Erdgas, ersetzt werden. Für Importwasserstoff wird angenommen, dass sich dieser zu gleichen Teilen aus grünem und blauem Wasserstoff zusammensetzt. Für die Erzeugung von blauem Wasserstoff auf der Basis von Erdgas wird eine Methanleckage bei der Erdgasförderung von 1,5 % unterstellt [72]. Das bedeutet, dass 1,5 % des Erdgases ungenutzt in die Atmosphäre entweichen. Dieser Anteil kann je nach Erdgasquelle auch höher ausfallen, vergleicht man beispielsweise die unkonventionelle Erdgasförderung in den Vereinigten Staaten von Amerika. Als Datenquelle steht uns die Datenbank von gemis 4.95 – Stand April 2017 zur Verfügung, die wir um eigene Angaben ergänzt haben.

Tabelle A-3 Spezifische CO_2-Emissionen je Wasserstofferzeugungspfad in kg CO_2 / kg H_2.

Nr.	Erzeugungspfad	2023	2030	2035
1	Elektrolyse mit dt. Strommix	25,040	20,273	17,271
2	Elektrolyse mit Post-EGG-PV	0,097	0,094	0,093
3	Elektrolyse mit PV Neubau	2,818	2,691	2,626
4	Elektrolyse mit Post-EEG-Windenergie	0,097	0,094	0,093
5	Elektrolyse mit Windenergie Neubau	0,550	0,527	0,515
6	Elektrolyse mit BHKW und holzartiger Biomasse	1,503	1,436	1,402
7	Dampfreformierung von Biomethan aus Biogas	0,951	0,932	0,918
8	Vergasung holzartiger Biomasse	1,356	1,320	1,293
9	Dampfreformierung von Erdgas	10,183	10,070	9,989
10	Nebenproduktwasserstoff	5,360	5,360	5,360
11	Import (50% blau, 50 % grün)	2,450	2,438	2,432

A.2. Bedarfsanalyse

Zielsetzung der Bedarfs- und Bedürfnisanalyse

- Erhebung der Erwartungen und Wünsche der Städte/Kreise in Bezug auf die Ausweitung der Wasserstofftechnologie
- Erfassung evtl. Befürchtungen, Akzeptanzprobleme und beschränkender Randbedingungen

Vorgehen, Methodik

- Erhebung von Informationen mittels Fragebogen (u.a. allgemeine Rahmendaten; Fahrzeugaufkommen; CO2-Emissionen; Anzahl und Art kommunaler Fahrzeuge; Umweltpolitik/-strategien/-programme; Einstellung, Erwartung und Wünsche zur Wasserstofftechnologie; Erwartungen an H2R; bereits laufende oder geplante Maßnahmen)
- Durchführung von Interviews auf Basis des Fragebogens
- Auswertung und Ergebniszusammenfassung in Abstimmung mit den Städten/Kreisen

Schwerpunkt der nachfolgenden Ergebnisdarstellung

- Einstellung, Erwartung und Wünsche zur Wasserstofftechnologie

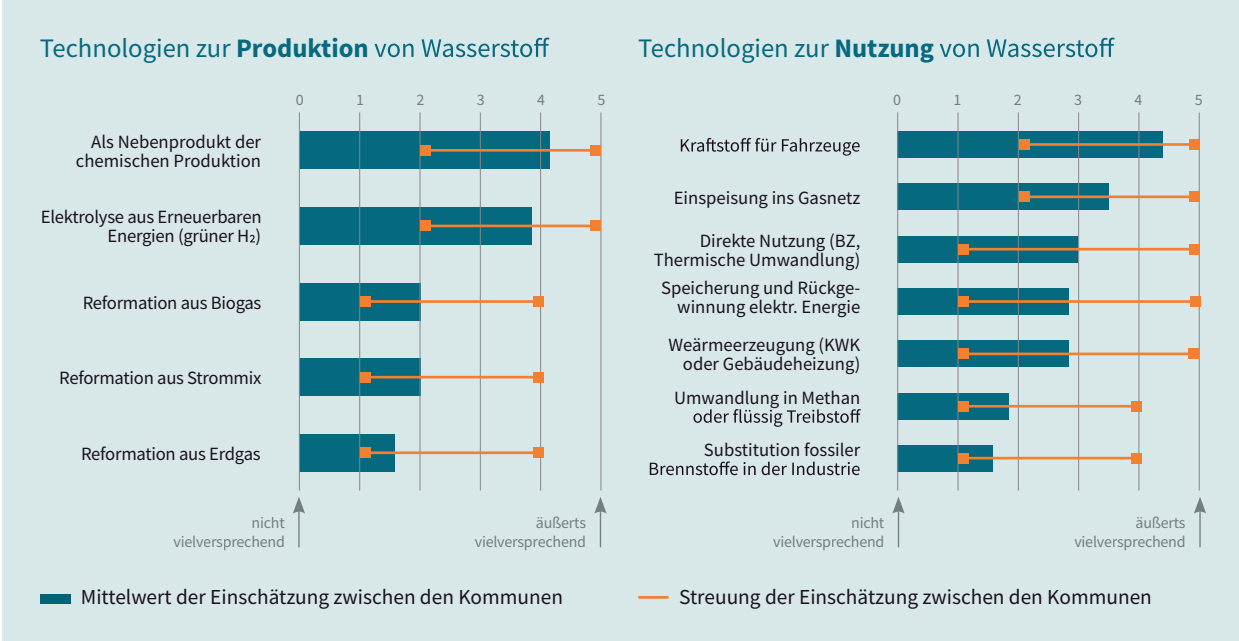


Abbildung A-1 Einschätzungen zu den Entwicklungsperspektiven verschiedener Technologien zu Produktion und Nutzung von Wasserstoff

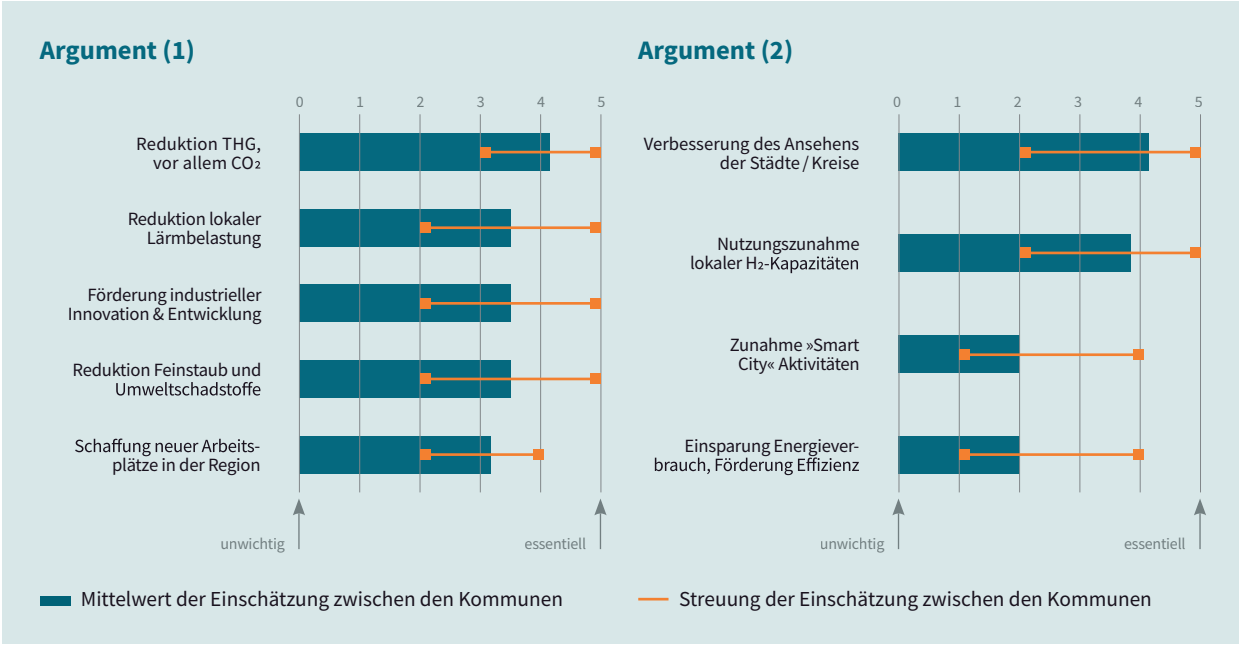


Abbildung A-2 Einschätzung der Wichtigkeit verschiedener Argumente zum Ausbau der Wasserstofftechnologie in der Region

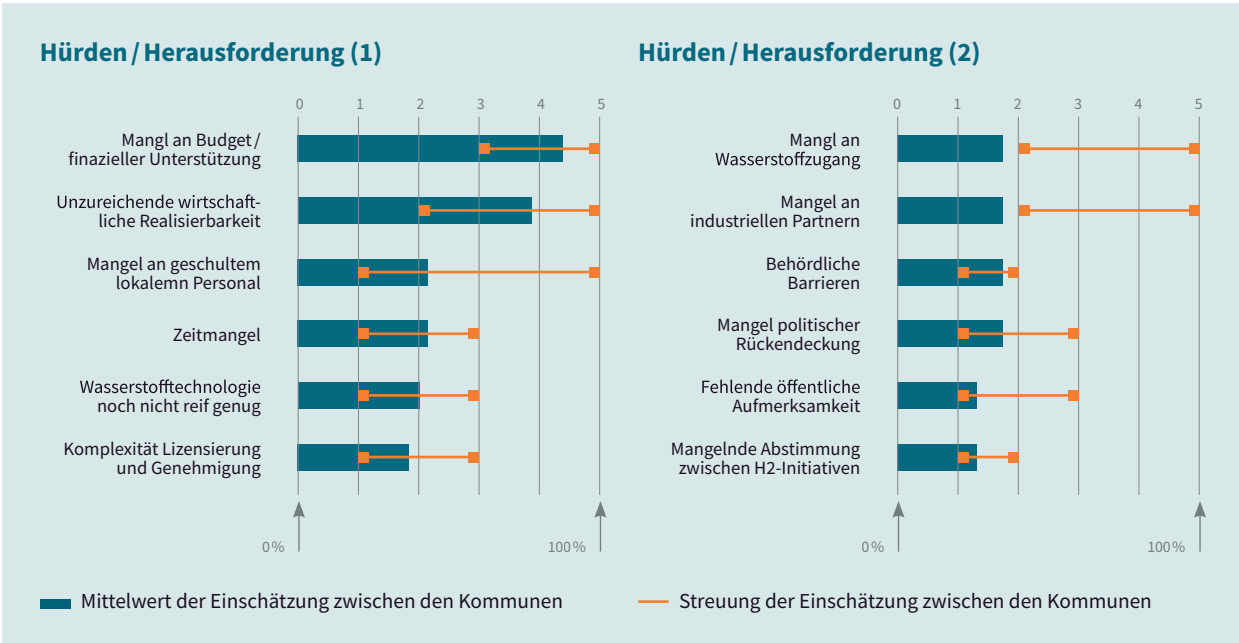


Abbildung A-3 Hürden und Herausforderungen für die Umsetzung von Wasserstofftechnologien in den Städten/Kreisen

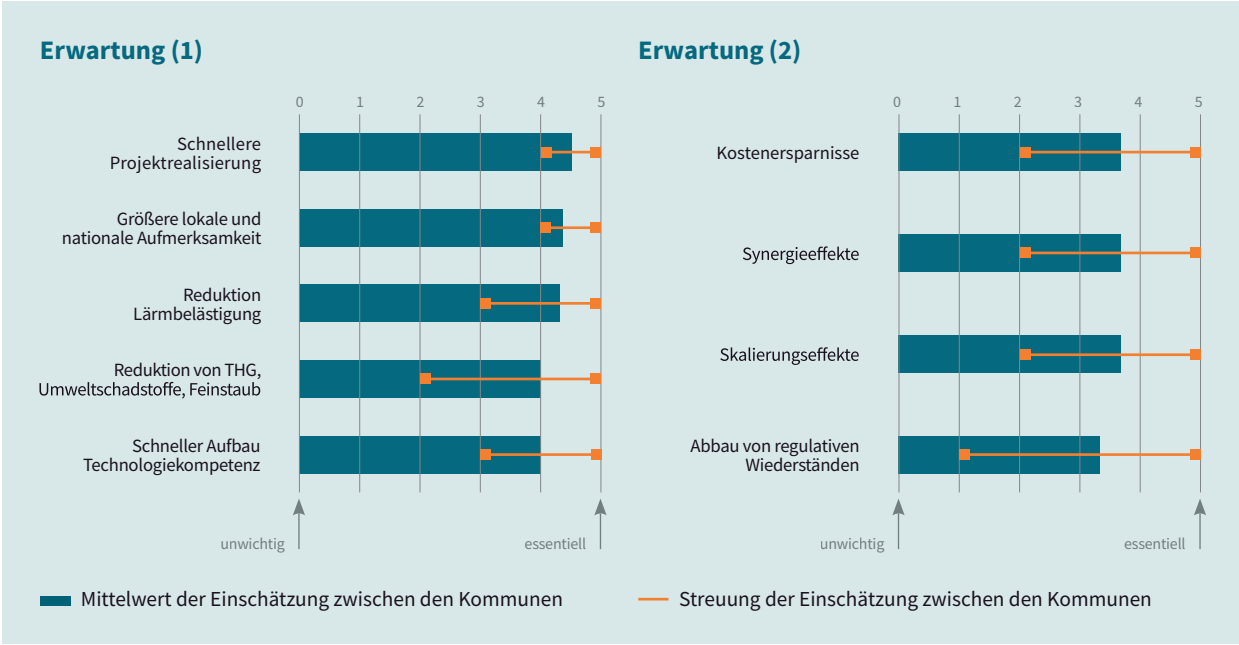


Abbildung A-4 Erwartungen der Städte/Kreise hinsichtlich der strategischen Vorteile durch den regionalen Zusammenschluss

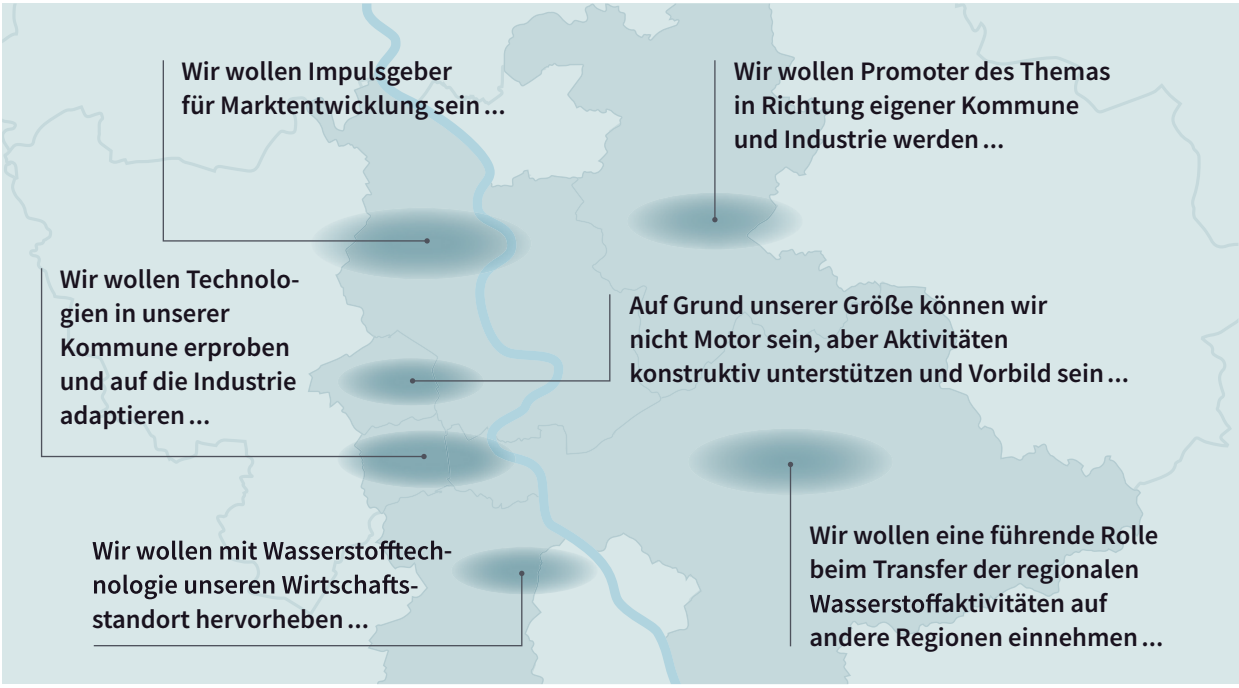


Abbildung A-5 Auswahl einiger Aussagen der Städte/Kreise zu deren beabsichtigten Rollen beim Ausbau der Wasserstofftechnologie in der Region

Wesentliche Schlussfolgerungen aus der Bedarfs- und Bedürfnisanalyse

- Alle Städte/Kreise haben eine hohe Erwartungshaltung an den Ausbau der Wasserstoffwirtschaft in der Region, insbesondere in Bezug auf Schadstoff- und Lärmreduzierung, Beitrag zur Erfüllung der Klimaschutzziele und Steigerung der Wertschöpfung in der Region
- Alle Städte/Kreise wollen aktiv dazu beitragen, die Region zum Vorreiter im Bereich Wasserstoffwirtschaft zu entwickeln und damit Blaupause für andere Regionen zu werden
- Es ist beabsichtigt, Impulsgeber für Marktentwicklungen zu werden und den Erfahrungstransfer zu anderen Regionen sicherzustellen
- Die Finanzierbarkeit und die Wirtschaftlichkeit von Projekten stellen derzeit die Haupt-Herausforderungen dar. Daher besteht die Notwendigkeit zur Hochskalierung der Aktivitäten.

A.3. Stakeholder- und SWOT-Analyse

Vorschlag eines Instrumentariums zur Stakeholder-Analyse im Zuge der Fortführung von H2R

Aufgabenstellung

- Das hier vorgestellte Instrumentarium soll die Analyse des jeweils bestehenden Akteursportfolios systematisieren und Hinweise zur optimalen Einbindung und Weiterentwicklung bestehender und neuer Akteure im Gesamtprojekt liefern

Methodik

- Das Instrument wurde aus dem Ansatz der sog. Stakeholder-Analyse des klassischen Projektmanagements (DIN 69901) abgeleitet
- Mit der Stakeholder-Analyse werden üblicherweise die Stakeholder hinsichtlich ihres Einflusses und ihrer Einstellung zum Projekt analysiert
- Aus der Analyse lassen sich generische Ansätze ableiten, wie die Einbindung der Stakeholder ins Projektmanagement mit Blick auf den Projekterfolg optimiert werden kann
- Der aus dem Projektmanagement bekannte Ansatz wurde abstrahiert und auf die Belange der Fortführung von H2R angepasst

Vorgehensweise der Stakeholder-Analyse für die H2R-Akteurslandschaft

1. Ermitteln geeigneter Indikatoren
   - für die Größe des Unternehmens, z.B. die Mitarbeiteranzahl
   - für das Aktivitäten-Level des Unternehmens in H2R, z.B. die Anzahl der in H2R eingebrachten Maßnahmen
2. Grafische Aufbereitung in einer Portfoliodarstellung in den beiden o.g. Dimensionen Abbildung A-6
3. Ableitung geeigneter Maßnahmen zur optimalen Einbindung der Akteure bei der Umsetzung von H2R unter Nutzung der generischen Ansätze aus Abbildung A-7

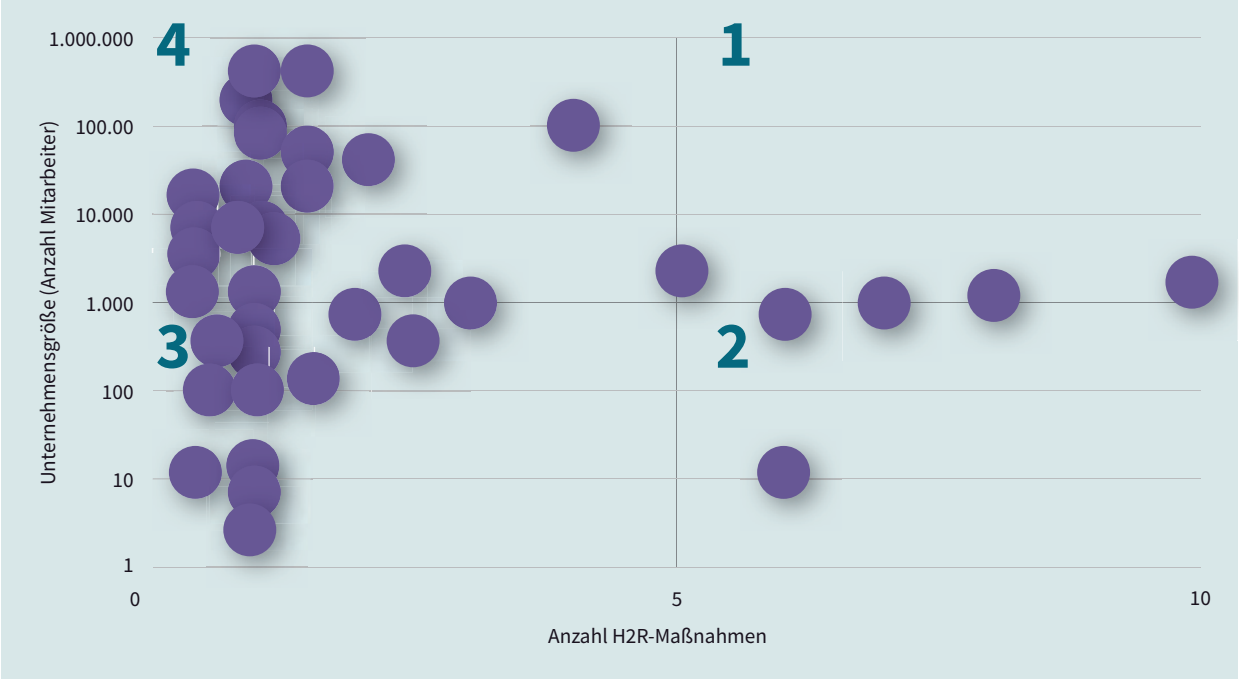


Abbildung A-6 Portfoliodarstellung der H2R-Stakeholder zum Zeitpunkt der Erstellung des Feinkonzepts (anonymisiert)



Abbildung A-7 Ableitung generischer Ansätze aus der Portfoliodarstellung zur optimalen Einbindung der Stakeholder

Erläuterungen zu Abbildung A-7: Tendenzielle Überlegungen zu den generischen Ansätzen

- Für eine möglichst zügige und erfolgreiche Umsetzung wäre es ideal, möglichst viele Akteure dazu zu bewegen, zahlreiche Projektideen zu entwickeln und umzusetzen (Quadranten 1 und 2)
- Größere Akteure haben naturgemäß eine größere Strahlkraft und evtl. auch größeren Einfluss in Politik und Gesellschaft. Sie sollten daher auch als Fürsprecher für die Initiative gewonnen und intensiv ins Projektgeschehen eingebunden werden, z.B. über Projektpartnerschaften (Quadrant 1)
- Da die kleineren Akteure ebenso zum Projekterfolg beitragen, sollten diese aktiv bei der operativen Umsetzung ihrer Aktivitäten unterstützt werden, u.a. durch Vernetzung, Nutzung finanzieller Fördermaßnahmen und Kommunikation ihrer Erfolge (Quadrant 2)
- Generell sollten Akteure mit wenigen oder noch keinen Aktivitäten (Quadranten 3 und 4) ermutigt und motiviert werden, (weitere) Maßnahmen in H2R einzubringen.
- Größere Akteure (Quadrant 4) werden sicherlich stark darauf achten, dass die Maßnahmen in ihre Gesamt-Unternehmensstrategie passen. Daher sollte man gemeinsam mit diesen Akteuren geeignete Use- oder Business Cases entwickeln.
- Kleinere Unternehmen können ggf. freier agieren und Entscheidungen zur Umsetzung von Maßnahmen treffen. Daher sollten diese regelmäßig über das Programm H2R informiert werden. Die Kommunikation konkreter Bedarfe zur Weiterentwicklung der Wasserstofftechnologie sowie die Vernetzung mit anderen Akteuren sollen zur Entwicklung weiterer Maßnahmen anregen.
- Die hier dargestellten Grundüberlegungen sowie die in Bild 2 dargestellten Ansätze sind natürlich sehr generisch und als Richtschnur für die Erarbeitung geeigneter Maßnahmen zum Stakeholder-Management zu verstehen. Sie sind für jeden Akteur individuell auf Eignung zu prüfen.

Fazit

› Das hier dargestellte Instrument der Stakeholder-Analyse sollte regelmäßig im Zuge der Umsetzung von H2R angewendet werden, um sich systematisch und strukturiert ein Bild über das jeweilige Akteursportfolio zu verschaffen

› Aus Basis der Stakeholder-Analyse sollten folgende Überlegungen angestellt werden:

- Wie können die einzelnen Akteure gezielt in die Umsetzung des H2R-Gesamtprogramms eingebunden werden, so dass die übergeordneten Zielstellungen von H2R erfüllt werden?
- Wie kann man die Akteure zu weiteren Maßnahmen und Aktivitäten für den Ausbau der Wasserstoffmobilität motivieren?
- An welchen Stellen sollte man noch gezielt neue Akteure ansprechen und um deren Engagement in H2R bitten?

› Die hier dargestellten Ansätze der Stakeholder-Analyse sind als Richtschnur zu verstehen. Letztlich müssen für jeden Akteur individuelle Ansätze entwickelt werden

Vorschlag eines Instrumentariums zur Stakeholder-Analyse im Zuge der Fortführung von H2R

Zielsetzung der SWOT-Analyse

› Festlegung einer geeigneten Strategie, wie mit der bestehenden bzw. weiterzuentwickelnden Akteurslandschaft die H2R-Zielstellungen bestmöglich erreicht werden können

Vorgehen, Methodik

› Nutzung der vielfach erprobten SWOT-Analyse als Methodik zur strategischen Planung

Vorgehensweise der Stakeholder-Analyse für die H2R-Akteurslandschaft

1. Bestandsaufnahme (Matrix 1) des Akteursportfolios
   › Besondere Stärken und Schwächen (hier i.S. von Nachhol- oder Ergänzungsbedarf) des Akteursportfolios ermitteln
   › Chancen und Risiken, die aus dem Umfeld des geplanten Markthochlaufes der Wasserstoffmobilität zu berücksichtigen sind (z.B. Markt, Politik, Gesellschaft, regionale Gegebenheiten) beschreiben
2. Kombinierte SWOT-Matrix bilden (Matrix 2)
   › Merkmale der Stärken- und Schwächen-Quadranten mit jeweils den Merkmalen der Chancen- und Risiken-Quadranten in Beziehung setzen
   › Strategisch Ansätze für jede der vier Beziehungs-Kombinationen überlegen nach folgenden allgemeinen Stoßrichtungen
   - Kombination Stärken/Chancen → Strategieansatz „Ausbauen“
   - Kombination Stärken/Risiken → Strategieansatz „Absichern“
   - Kombination Schwächen/Chancen → Strategieansatz „Aufholen“
   - Kombination Schwächen/Risiken → Strategieansatz „Vermeiden“
3. Festlegung der endgültigen Strategie (vgl. Kap. 3.1 des Feinkonzeptes)

Stärken	Schwächen i. S. von Nachholbedarf
› Viele kompetente Partner im Bereich H_2-Bereitstellung (insb. Chmie, Petrochemie, Gasnetzbetreiber, Gasliferanten) › ÖPNV- und Mobilitätsdienstleister mit ambitionierten Wasserstoff-Projekten sowie interessierte Spediteure › Renomierte Fahrzeughersteller mit H_2-Expertise › Bedeutende Betreiber kommunaler Infrastruktur mit großskaligen Projetansätzen › Ideale Voraussetzungen in Forschung, Entwicklung & Lehre › Langjährige Vernetzung über HyCologne	› Erzeugung von »grünem« Wasserstoff › Anlagenbauer und Komponentenhersteller › Entwickler und Hersteller von Bussen und LKWs › Korrekte Anwendung in der Speditionslogistik › Entwicklung und Herstellung von Spezialfahrzeugen (z. B. Vorfeldfahrzeuge, Müllsammelfahrzeuge, Saugfahrzeuge) Schiffen, schienen gebundenen Fahrzeugen › Serviceleistungen
Chancen	**Risiken**
› Perspektivisch hoher Bedarf an grünem Wasserstoff, insbesondere bei Chemie / Petrochemie › Rückenwind durch Nationale Wasserstoffstrategie › Bekenntinis der Städt / Kreise im Großraum Köln zur Wasserstofftechnologie › Vorsprung durch bereits vorliegende Erfahrung mit Wasserstofftechnologie › Vielversprechende Förderlandschaft auf Bundes und EU-Ebene › Schaffung neuer Wirtschaftszweige und Arbeitsplätze	› Grüner Wasserstoff längerfristig nicht wirtschaftlich verfügbar › Maßnahmen mangels Angeboten an Fahrzeugen, Anlagen oder Komponenten nicht realisierbar › Fehlende politische Unterstützung › Priorisierung anderer Technologien › Finanzierung nicht möglich › Hinterherhinken da Entwicklung geeigneter Infrastruktur außerhalb der Region › Abwanderung von H_2-Technologien ins Ausland, z. B. Asien

Abbildung A-8 Bestandsaufnahme des Akteurspotfolios hinsichltich Stärken/Schwächen sowie Chancen/Risiken

	Stärken	Schwächen i. S. von Nachholbedarf
Chancen	**Strategieansatz »ausbauen«** › Potenzial der Cemie / Petrochemie nutezn, um mit Rückenwind den NWS [1] Wasserstofftechnologie und Infrastruktur in der Region zügig auszubauen › ÖPNV- und Mobilitätsdienstleister bei der Umstellung auf Wasserstofftechnologie unterstützen, um Mitziheeffekte zu erzeugen und neue Wirtschafts Zweige aufzubauen	**Strategieansatz »aufholen«** › Großskalige Anwendungen in der Logistik forcieren durch Nutzung des KowNows regionaler ÖPNV- und Mobilitätsdienst-leister sowie Vernetzung mit externen Partnern (z. B. H2Energy) › Anreize für Fahrzeughersteller schaffen zur Entwicklung und Herstellung von Bussen, LKWs und Sonderfahrzeugen
Risiken	**Strategieansatz »absichern«** › Chemie / Petrochemie bei der Dakarbonisierung der Produktionsprozesse mit Wasserstofftechnologie durch Politik, Verbandsarbeit und Nutzung der NWS [1] unterstützen › Fahrzeugbedarfe in der Region mit dem Ziel bündeln, wirtschaftlich sinnvolle Geschäftsmodelle für Fahrzeugher-steller zu schaffen	**Strategieansatz »vermeiden«** › Abflauen des Interesses an Wasserstofftechnologie vermeiden durch entsprechende Politik, Verbandsarbeit sowie Vernetzung mit anderen gleichgerichteten Initiativen außerhalb der Region › Besondere Anreize für die Ansiedlung von Wasserstoff-Technologie-Unternehmen schaffen, Markthochlauf zu fördern und Abwandern zu vermeiden

1) Nationale Wasserstoffstrategie

Abbildung A-9 Strategische Ansätze in der kombinierten SWOT-Matrix

A.4. Lessons Learned

H2- Erzeugung

Energienetz

+ Gasnetz anteilig mit H2 bespeisen
+ Stromnetz-stabilisierung
+ Grüner Wasserstoff angestrebt
+ Großes Allgemeines Interesse

Wirtschaftlichkeit

◦ Eher höhere Stückzahlen bestellen
+ Kostensenkungen abzusehen
– grüner Wasserstoff sehr teuer
– Förderung ist notwendig

Produktion

◦ Reinheit H2 ist zu beachten
◦ Lieferzeiten von ca. 9 Monaten (in Zukunft weniger)
+ Mehr grüne Energie nutzbar
+ Monitoring als Perspektive

H2- Verteilung

Projektumsetzung

◦ 3-4 Jahre Umsetzungsdauer für Wasserstoffproduktion und H2-Tankstelle
◦ 1-2 Jahre Umsetzungsdauer für die Errichtung einer H2-Tankstelle
◦ Auf erfahrene Unternehmen setzen (von deren Know-How profitieren)
+ Projekterweiterungen möglich (weitere Tankstellen oder Sektoren)
– Aufwendiges Gutachten- und Genehmigungsverfahren
– Sehr komplexe und langwierige Planung
– Mit Verzögerungen ist zu rechnen (durch Fördermittelnvergaben, Verhandlungen, Lieferungen etc.)

Wirtschaftlichkeit

+ Beteiligungsmodelle möglich, wurden bisher aber noch nicht umgesetzt
+ Förderung durch BMVI und europäische Fördergelder
+ Tankstellen werden besser ausgelastet, wenn Nutzfahrzeuge (Busse, LKW) dort tanken
– Projekte sind abhängig von Fördergeldern

Nachfrage

+ Hohe Nachfrage (Tankstellen)
+ Hohe Akzeptanz der Projekte (Sektorkopplung)

H2- Nutzung

Projektumsetzung

◦ 3-4 Jahre Umsetzungsdauer für Wasserstoffproduktion und H2-Tankstelle
◦ 1-2 Jahre Umsetzungsdauer für die Errichtung einer H2-Tankstelle
◦ Auf erfahrene Unternehmen setzen (von deren Know-How profitieren)
+ Projekterweiterungen möglich (weitere Tankstellen oder Sektoren)
– Aufwendiges Gutachten- und Genehmigungsverfahren
– Sehr komplexe und langwierige Planung
– Mit Verzögerungen ist zu rechnen (durch Förder-mittelnvergaben,Verhandlungen, Lieferungen etc.)

Wirtschaftlichkeit

+ Beteiligungsmodelle möglich, wurden bisher aber noch nicht umgesetzt
+ Förderung durch BMVI und europäische Fördergelder
+ Tankstellen werden besser ausgelastet, wenn Nutzfahrzeuge (Busse, LKW) dort tanken
– Projekte sind abhängig von Fördergeldern

Nachfrage

+ Hohe Nachfrage (PKW, E-Busse)
+ BZ Busse stärker nach-gefragt als Batteriebusse
+ Positive Resonanzen der Nutzer
+ Deutschland wird als Hauptabsatzmarkt für E-Busse gesehen
– Breitere Kundenschicht für BZ-Fahrzeuge zu finden ist eine Herausforderung

Betrieb

+ Hohe Reichweiten (PKW, E-Busse)
+ Hohe Verfügbarkeiten der E-Busse
+ Zuverlässiger Betrieb der H2-Tankstellen
– Mangel an Ersatzteilen und Werkstätten
– Optimierungsbedarf im After-Sales

Abbildung A-10 Erfahrungen (“Lessons Learned”) aus bundesweiten Wasserstoffprojekten

A.5. Technologiekonzepte

Das Technologiekonzept „Markt“ stellt eine Alternative zu dem in Kapitel 3.3 vorgestellten Technologiekonzept dar. In diesem Konzept wird Wasserstoff entsprechend des mittleren Marktdurchdringungsszenarios aus Kapitel 2.2 nachgefragt und auf großskalige Techniken wie eine Pipeline verzichtet. Abbildung A-11 zeigt die Bestandteile des Konzepts. Der Nebenproduktwasserstoff aus der chemischen Industrie wird über den gesamten Betrachtungszeitrum bis 2035 genutzt und, wie bereits im in Kapitel 3.3 vorgestellten Technologiekonzept, durch Wasserstoff aus Post-EEG-Anlagen zur Stromerzeugung ergänzt, die nach 20 Jahren aus der Förderphase gemäß EEG fallen. Wir nehmen auch hier wieder an, dass 50 % dieser Anlagen zur Erzeugung von Wasserstoff genutzt werden können. Werden höhere Wasserstoffmengen benötigt, so wird dieser Wasserstoff über Trailer importiert. Wir gehen für die Betrachtungen in diesem Konzept davon aus, dass der Wasserstoff aus der Air Liquide-Pipeline im Kölner Norden abgezapft wird.

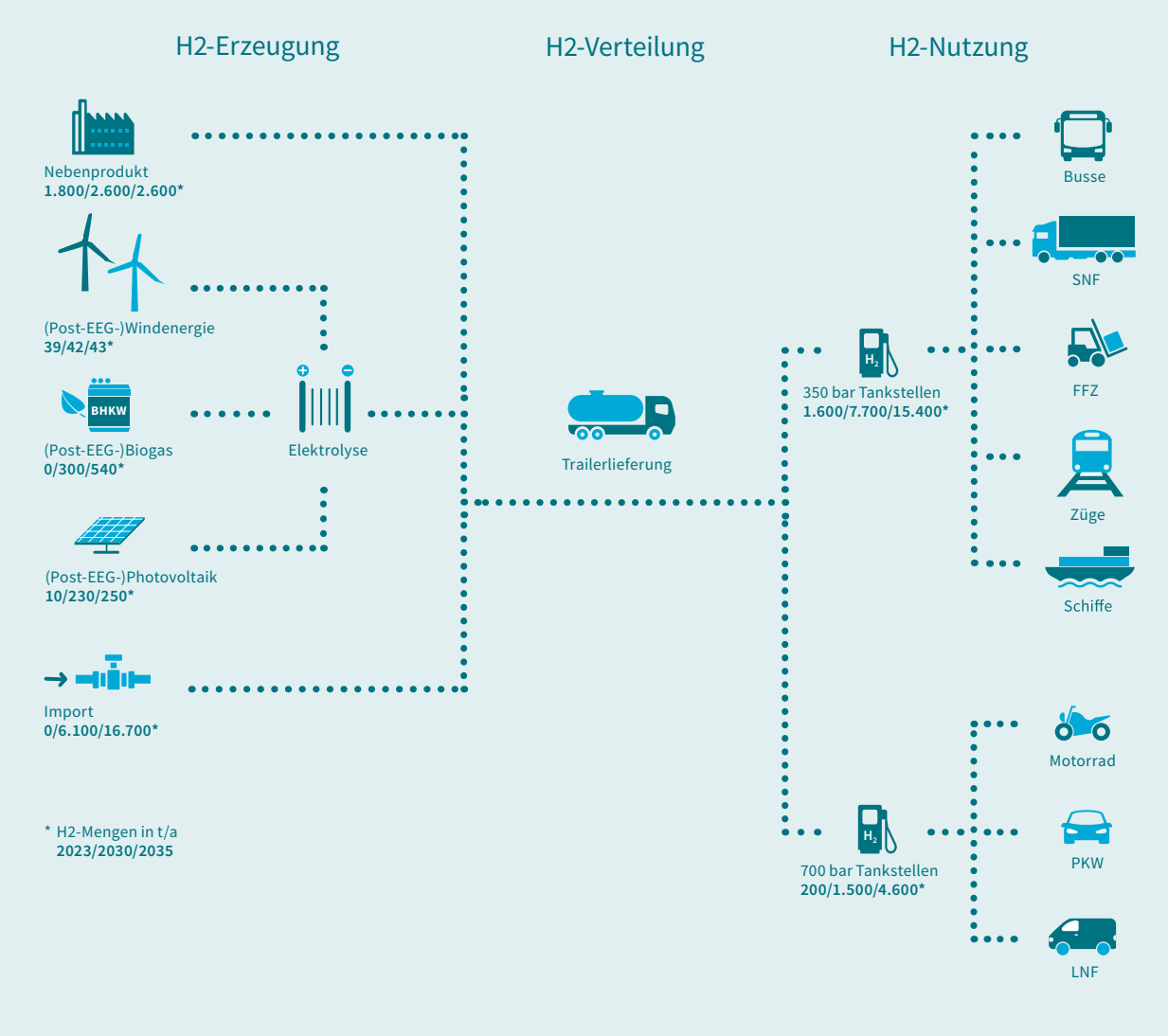


Abbildung A-11 Elemente und Potenziale im Technologiekonzept „Markt"

Tabelle A-4 Tabellarische Übersicht zentraler Kenngrößen des alternativen Technologiekonzepts „Markt“

Kategorie	Kenngröße	Einheit	2023	2030	2035
Erzeugung	Nebenprodukt	[t H_2 / a]	1.800	2.600	2.600
	Post-EEG-Windenergie	[t H_2 / a]	39	42	43
	Post-EEG-Freiflächen-PV	[t H_2 / a]	14	230	250
	Post-EEG-Biomasse	[t H_2 / a]	0	300	540
	Import	[t H_2 / a]	0	6.100	16.700
	CO_2-Fußabdruck des erzeugten H_2	[t CO_2 / t H_2]	5,2	3,2	2,7
Verteilung	Mittl. Fahrleistung Trailer (Hin- und Rückweg)	[Fzkm / t H_2]	42	46	56
	Dieselverbrauch Trailer	[l / a]	22.300	107.900	251.000
	Wasserstoffverbrauch Trailer	[t H_2 / a]	0	0	0
	Stromverbr. Verdichtung	[MWh / a]	3.800	19.900	44.300
	CO_2-Emissionen Verd. Graustrom	[t CO_2 / a]	1.700	7.400	14.400
	CO_2-Emissionen Verd. Grünstrom	[t CO_2 / a]	0	0	0
Anwendung	Wasserstoffnachfrage 350 bar	[t H_2 / a]	1.600	7.700	15.400
	Wasserstoffnachfrage 700 bar	[t H_2 / a]	200	1.500	4.600
	Vermiedenes Kohlendioxid	[kt CO_2 / a]	20	103	231
	Vermiedene Stickoxide	[t NO_x / a]	45	192	421
	Vermiedener Feinstaub	[t PM_{10} / a]	<1	3	8
Gesamt	**CO_2-Fußabdruck des H_2**	**[t CO_2 / t H_2]**	**6,2**	**4,0**	**3,5**

Dieselbetriebene Trailer bringen den Wasserstoff auf direktem Weg zu den Tankstellen, wo dieser mit Graustrom aus dem deutschen Strommix auf, je nach zugehöriger Fahrzeugkategorie, 350 oder 700 bar komprimiert wird. Die Trailer legen hierzu durchschnittlich zwischen 42 km im Jahr 2023 und 56 km im Jahr 2035 für eine Tour zur Tankstelle inklusive Rückfahrt zurück. Der genutzte Wasserstoff besitzt im Jahr 2023 einen CO_2-Fußabdruck von 5,2 kg CO_2 / kg H_2, der bis zum Jahr 2035 auf 2,7 kg CO_2 / kg H_2 sinkt. Tabelle A-4 fasst das Technologiekonzept „Markt“ noch einmal zusammen.

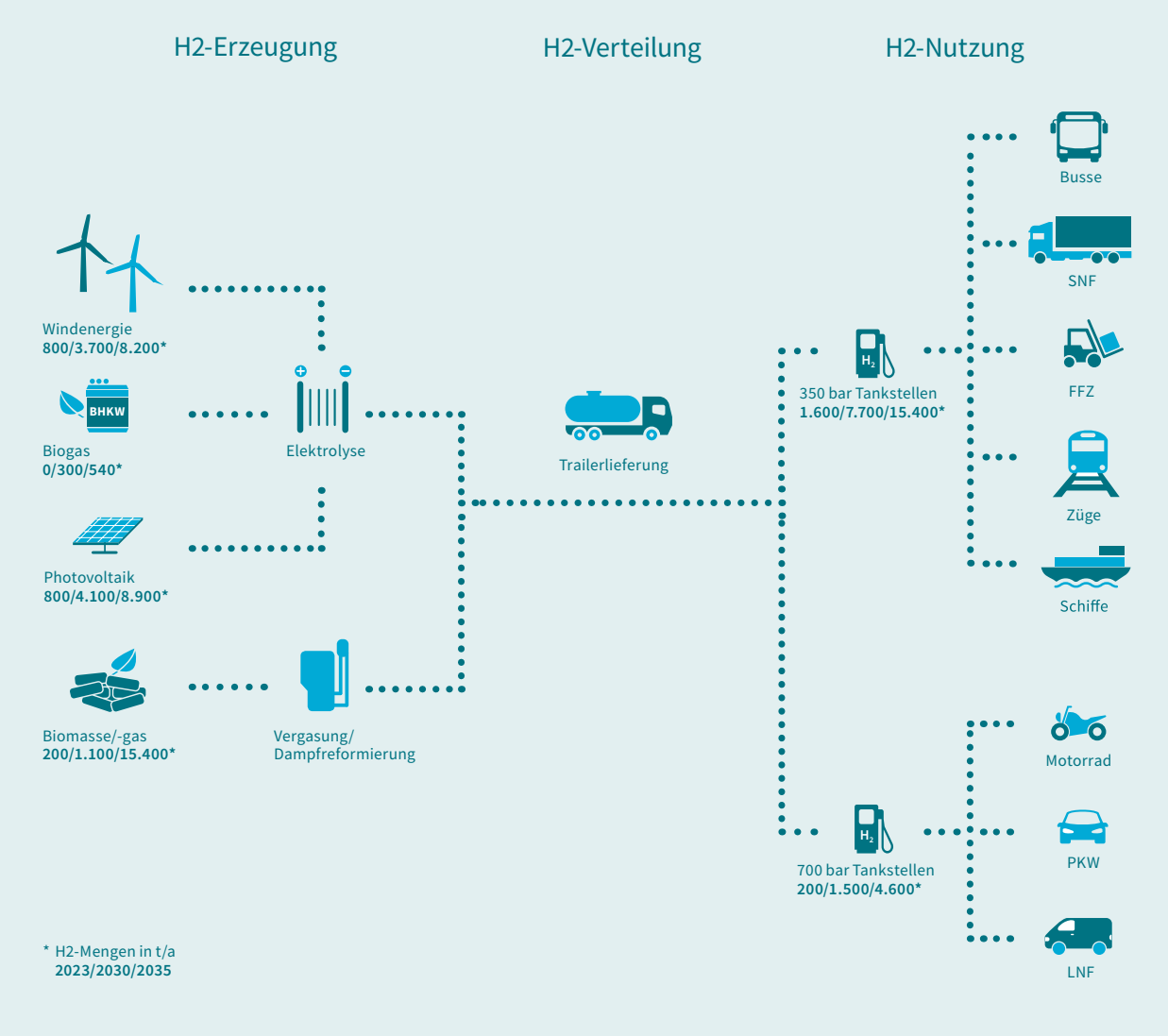


Abbildung A-12 Elemente und Potenziale im Technologiekonzept „Umwelt“

Das alternative Technologiekonzept „Umwelt“ unterscheidet sich deutlich von unserem in Kapitel 3.3 vorgestellten Konzept sowie dem alternativen Konzept „Markt“. In diesem Konzept schließen wir die Nutzung von Nebenproduktwasserstoff sowie importiertem Wasserstoff aus, sondern setzen voll auf grünen Wasserstoff aus der Region. Dieser wird in eigens dazu errichteten Anlagen produziert. Die Potenziale basieren auf den Angaben zum Ausbaupotenzial von Windenergieanlagen, Freiflächen-PV-Anlagen sowie Biomasseanlagen aus Kapitel 2.2. Die zentralen Bestandteile des Technologiekonzepts „Umwelt“ zeigt Abbildung A-12.

Wie im Technologiekonzept „Markt“ gehen wir vom mittleren Marktdurchdringungsszenario aus Kapitel 2.2 aus, so dass sich die entsprechenden Zahlen für Anwendung der Übersicht in Tabelle A-4 gleichen. Für die Erzeugung der benötigten Wasserstoffmengen, ist ein bedeutender Ausbau erneuerbarer Energien erforderlich. Der Wasserstoff wird von wasserstoffgetriebenen Trailern von den Wasserelektrolyseuren zu den Tankstellen gebracht und dort unter Nutzung von erneuerbar erzeugtem, grünen Strom auf die für den Betankungsvorgang erforderlichen 350 bzw. 700 bar komprimiert. Auf diese Weise ergibt sich für 2023 ein CO_2-Fußabdruck von 1,6 kg CO_2 / kg H_2, der bis zum Jahr 2035 auf 1,5 kg CO_2 / kg H_2 sinkt.

Tabelle A-5 Tabellarische Übersicht zentraler Kenngrößen des alternativen Technologiekonzepts „Umwelt“

Kategorie	Kenngröße	Einheit	2023	2030	2035
Erzeugung	Nebenprodukt	[t H_2 / a]	0	0	0
	Post-EEG-Windenergie	[t H_2 / a]	39	42	43
	Post-EEG-Freiflächen-PV	[t H_2 / a]	14	230	250
	Post-EEG-Biomasse	[t H_2 / a]	0	300	540
	Gezielter Neubau Windenergie	[t H_2 / a]	750	3.700	8.100
	Gezielter Neubau Freiflächen-PV	[t H_2 / a]	800	3.900	8.700
	Gezielter Neubau Biomasse	[t H_2 / a]	230	1.100	2.400
	Import	[t H_2 / a]	0	0	0
	CO_2-Fußabdruck des erzeugten H_2	[t CO_2 / t H_2]	1,6	1,5	1,5
Verteilung	Mittl. Fahrleistung Trailer (Hin- und Rückweg)	[Fzkm / t H_2]	24	26	36
	Dieselverbrauch Trailer	[l / a]	0	0	0
	Wasserstoffverbrauch Trailer	[t H_2 / a]	4	18	53
	Stromverbr. Verdichtung	[MWh / a]	3.800	19.900	44.300
	CO_2-Emissionen Verd. Graustrom	[t CO_2 / a]	0	0	0
	CO_2-Emissionen Verd. Grünstrom	[t CO_2 / a]	35	180	400
Anwendung	Wasserstoffnachfrage 350 bar	[t H_2 / a]	1.600	7.700	15.400
	Wasserstoffnachfrage 700 bar	[t H_2 / a]	200	1.500	4.600
	Vermiedenes Kohlendioxid	[kt CO_2 / a]	20	103	231
	Vermiedene Stickoxide	[t NO_x / a]	45	192	421
	Vermiedener Feinstaub	[t PM_{10} / a]	675	3.	8
Gesamt	**CO_2-Fußabdruck des H_2**	**[t CO_2 / t H_2]**	**1,6**	**1,5**	**1,5**

Tabelle A-6 Vergleich weicher Faktoren der Technologiekonzepte

		Hauptkonzept	Markt	Umwelt
Info	H_2-Nachfrage	hoch	mittel	mittel
	H_2-Erzeugungsquellen	Nebenprodukt, Post-EEG-Anlagen & Import	Nebenprodukt, Post-EEG-Anlagen & Import	Post-EEG-Anlagen & gezielter EE-Ausbau
	H_2-Verteilung	Pipeline (inkl. Hubs) + Trailer	Trailer	Trailer
Weiche Faktoren	Abhängigkeit von ext. Akteuren			
	Verfügbarkeit H_2-Technologien	-	o	-
	Regulatorische Anpassungen	o	o	-
	Abhängigkeit von Einzelakteuren	o	o	+
	Beteiligungsmöglichkeit	o	-	+
	Regionale Wertschöpfung	o	-	+
	Ambition	+	-	+
	Realisierbarkeit	**+**	**+**	**-**

Tabelle A-6 fasst einen Vergleich weicher Faktoren der im Feinkonzept berücksichtigten Technologiekonzepte tabellarisch zusammen. Quantitative Größen lassen sich Tabelle A-4 und Tabelle A-5 entnehmen. Der Vergleich und eine zugehörige Bewertung erfolgen qualitativ auf Basis der Größen Abhängigkeit von externen Akteuren, Abhängigkeit von Einzelakteuren, Beteiligungsmöglichkeit für Bürger und regionale Wertschöpfung.

Die Abhängigkeit von externen Akteuren umfasst insbesondere die Marktverfügbarkeit von Wasserstofftechnologien und regulatorische Anpassungen. Aus heutiger Perspektive stellt die Marktverfügbarkeit einen Engpass dar, der u. a. in Zusammenhang steht mit Investitionen hemmender regulatorischer Unsicherheit. Da insbesondere im Konzept „Umwelt“ eine Vielzahl von Einzelanlagen zur Erzeugung von grünem Wasserstoff benötigt werden, reagiert dieses Konzept sehr sensitiv auf Engpässe bei der Verfügbarkeit von H_2-Technologien wie z. B. Elektrolyseuren. Analoges gilt für unser Hauptkonzept, welches eine hohe Marktdurchdringung von Wasserstofffahrzeugen unterstellt und somit auch auf deren Verfügbarkeit am Markt angewiesen ist. Aufgrund der geringeren Marktdurchdringung von Wasserstofffahrzeugen im Technologiekonzept „Markt“ wird dieses als vergleichsweise robust mit Blick auf die Verfügbarkeit von Wasserstofftechnologien eingeschätzt. Schwenkt unser Blick auf die Abhängigkeit von regulatorischen Anpassungen zeigt sich ebenfalls das Konzept „Umwelt“ anfällig, da die Wirtschaftlichkeit des Baus erneuerbarer Energieerzeugungsanlagen zur Wasserstofferzeugung ohne regulatorische Anpassungen und Anreize kurz- und mittelfristig nicht gegeben ist.

Die Abhängigkeit von Einzelakteuren wird beim Konzept „Umwelt“ im Vergleich zum Hauptkonzept und alternative Technologiekonzept „Markt“ als geringer eingestuft, da grundsätzlich eine Vielzahl an Akteuren grüne Wasserstofferzeugungsanlagen besitzen und betreiben kann. Wird wie in den beiden anderen Konzepten Wasserstoff importiert, hat eine geringere Anzahl an Wasserstoff importierenden Akteuren eine gewichtige Position in der Wertschöpfungskette inne und bündelt entsprechende Macht.

Für die Beteiligungsmöglichkeit und regionale Wertschöpfung gelten, dass das alternative Konzept „Markt“ von unserem Hauptkonzept nach unten und das alternative Konzept „Umwelt“ nach oben abweicht. Im Hauptkonzept kann prinzipiell jede Person Wasserstoff erzeugen und an einen Hub liefern bzw. diesen dort abnehmen und entsprechend partizipieren. Im Konzept „Markt“ besteht diese Möglichkeit nicht. Im Konzept „Umwelt“ bietet sich

durch viele dezentrale Anlagen die Möglichkeit, dass Anlagen z. B. von Bürgerenergiegesellschaften lokal betrieben werden und vor Ort eine Wertschöpfung stattfindet. Hier wirkt sich die vollständig regionale Erzeugung des Wasserstoffs positiv aus.

Mit Blick auf die Ambition sind das Haupttechnologiekonzept für das Feinkonzept und das alternative Technologiekonzept „Umwelt“ positiv hervorzuheben. Ersteres ist besonders ambitioniert mit Blick auf die Wasserstoffnachfrage und der Bereitstellung großskaliger Infrastruktur mit Nutzung einer Pipeline, letzteres mit Blick auf die regionale Erzeugung grünen Wasserstoffs. Das alternative Konzept „Markt“ fällt an dieser Stelle ab.

Zuletzt soll die Realisierbarkeit bewertet werden. An dieser Stelle kann das Hauptkonzept sich deutlich gegen das alternative Konzept „Umwelt“ durchsetzen, da für letzteres eine Vielzahl an Akteuren trotz wirtschaftlichen Hindernissen investieren müsste, was aus heutiger Sicht nicht realistisch erscheint, zumal eine starke wirtschaftliche Konkurrenz durch die Direkteinspeisung des Stroms aus Erneuerbaren-Energien-Anlagen in das Stromnetz besteht. Unter Betrachtung aller Aspekte fällt unsere Wahl aufgrund der hohen Ambition und positiv eingeschätzten Realisierbarkeit für das Feinkonzept auf unser genutztes Haupttechnologiekonzept.

A.6. Wirtschaftlichkeit

Ziel von H2R ist es, Wasserstoffanwendungen und insbesondere Fahrzeuge in größeren Stückzahlen einzusetzen und somit den Markthochlauf zu unterstützen. Dies wiederum wird sich positiv auf die Preise der Infrastruktur, des Wasserstoffs und deren Applikationen auswirken. In diesem Kapitel werden die Zusammenhänge zwischen dem Ausbau der Infrastruktur und den damit entstehenden Kosten beleuchtet.

A.6.1. Lern- und Skaleneffekte

Die Investitionskosten für Wasserstoffkomponenten werden in den nächsten Jahren durch Skalierungseffekte und Lerneffekte bei der Produktion stark sinken. Die in Abbildung A-13 gezeigte in den Berechnungen für die Wirtschaftlichkeit angenommene Kostenreduktion von jeweils 10 % für die Jahre 2025 und 2030 ist eine konservative Abschätzung. Für PV-Anlagen beispielsweise war über die letzten 20 Jahre eine Kostenreduktion von bis zu 75 % zu beobachten [69]. In einer aktuellen Studie der IRENA [70] werden für Erneuerbare Energien sogar Kostenreduktionen von bis zu 82 % ermittelt. Einer Analyse der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST) [71] zufolge werden die Investitionskosten für einen 100 MW-Elektrolyseur im Jahr 2030 ca. 60 % unter den heutigen angenommenen Kosten von 1000 €/MW_{el} liegen.

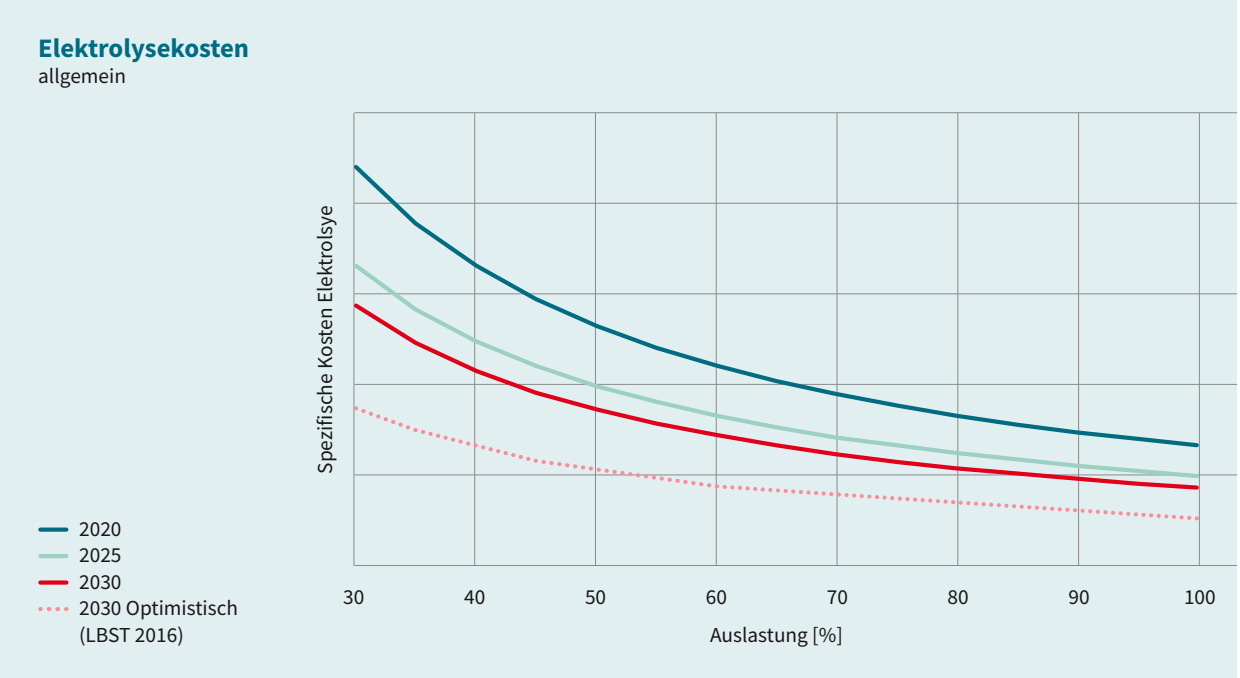


Abbildung A-13 Kosten von Elektrolyseuren in Abhängigkeit von Preisentwicklungen und Auslastung

A.6.2. Wirtschaftliche Wasserstofferzeugung

Die Wirtschaftlichkeit der Wasserstoffherstellung durch Elektrolyse hängt wesentlich von den Stromkosten ab. Bei heutigen Strompreisen ist die Elektrolyse im Vergleich zur Wasserstoffherstellung mittels Dampfreformierung aus Erdgas die kostenintensivere Variante. Um Wasserstoff per Elektrolyse wirtschaftlich produzieren zu können, bedarf es günstigen – idealerweise überschüssigen erneuerbaren – Strom. Abbildung A-14 zeigt die grundsätzliche Zusammensetzung der Wasserstoffkosten aus Investitionskosten (CAPEX), Betriebskosten (OPEX, ohne Strom) und Stromkosten. Der Bezug von Strom aus dem Stromnetz ist aufgrund der aktuell geltenden regulatorischen Rahmenbedingungen für die Wasserstoffproduktion per Elektrolyse nicht wirtschaftlich darstellbar. Kapitel 6.1 beleuchtet die Hürden und erforderlichen Anpassungen im Energierecht.

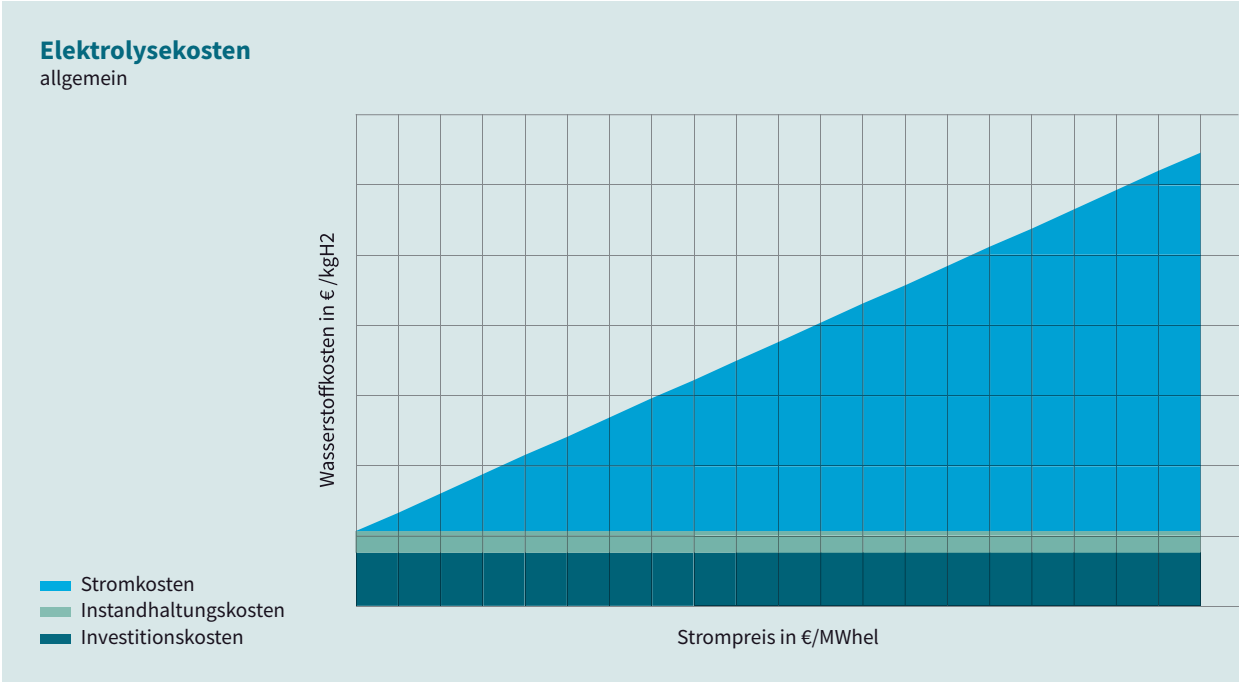


Abbildung A-14 Beispiel für Elektrolysekosten in Abhängigkeit des Strompreises. Die Wasserstoffkosten steigen linear mit dem Strompreis.

A.6.3. Wirtschaftliche Wasserstoffverteilung

Für den Transport von Wasserstoff gibt es verschiedene Varianten. Der Transport von gasförmigem Wasserstoff per Trailer ist Stand der Technik und momentan die gängigste Methode. Der Wasserstoff wird hierbei in mehreren einzelnen Druckbehältern auf einem meist 40-Fuß-LKW transportiert. Unterschieden wird im Allgemeinen zwischen Flaschen- und Röhrentrailer. Röhrentrailer verfügen über bis zu 9 Einzelbehälter, die ca. 500 kg Wasserstoff bei 200 bis 250 bar speichern [72] [15]. Flaschentrailer hingegen besitzen bis zu 170 kleinere Druckflaschen mit einer Gesamtkapazität von bis zu 1.100 kg Wasserstoff bei 500 bar Druck. Dies entspricht einem Normvolumen von 13.000 Nm^3 [73].

Für hohe Transportmengen existieren international mehrere tausend Kilometer Wasserstoffpipelines. Allein in Europa erstrecken sich H_2-Pipelines mit einer Gesamtlänge von 1.100 bis 1.800 km. Deutschlands längste Pipeline ist knapp 240 km lang und wird von AIR LIQUIDE Deutschland GmbH im Rhein-Ruhr-Gebiet betrieben [30].

Die Wirtschaftlichkeit des Wasserstofftransports wird maßgeblich von der Transportdistanz und dem Wasserstoffdurchsatz bestimmt. Zudem beeinflussen weitere Rahmenbedingungen die wirtschaftliche und technische Sinnhaftigkeit der verschiedenen Transportvarianten [30]. Abbildung A-15 zeigt den Einfluss der Kenngrößen Transportdistanz und Durchsatz für den Trailer- und Pipelinetransport auf die Wasserstofftransportkosten. So ist auf der x-Achse der Durchsatz in Tonnen pro Tag [t/d], auf der y-Achse die Transportdistanz in Kilometern [km] und auf der z-Achse die sich aus dem Transport ergebenen Wasserstoffkosten in US-Dollar pro Kilogramm Wasserstoff [$/kg] aufgetragen. Die Grafik ist in drei Abschnitte unterteilt. So steht G für den Transport von gasförmigem Wasserstoff per LKW, L für den Transport von flüssigem Wasserstoff per LKW und P für den Transport von gasförmigem Wasserstoff per Pipeline. Der Wasserstofftransport per Trailer ist vor allem bei geringem Durchsatz und geringer Transportdistanz kostengünstig. Es wird deutlich, dass sich die Kosten bei steigender Fördermenge der Pipeline signifikant reduzieren.

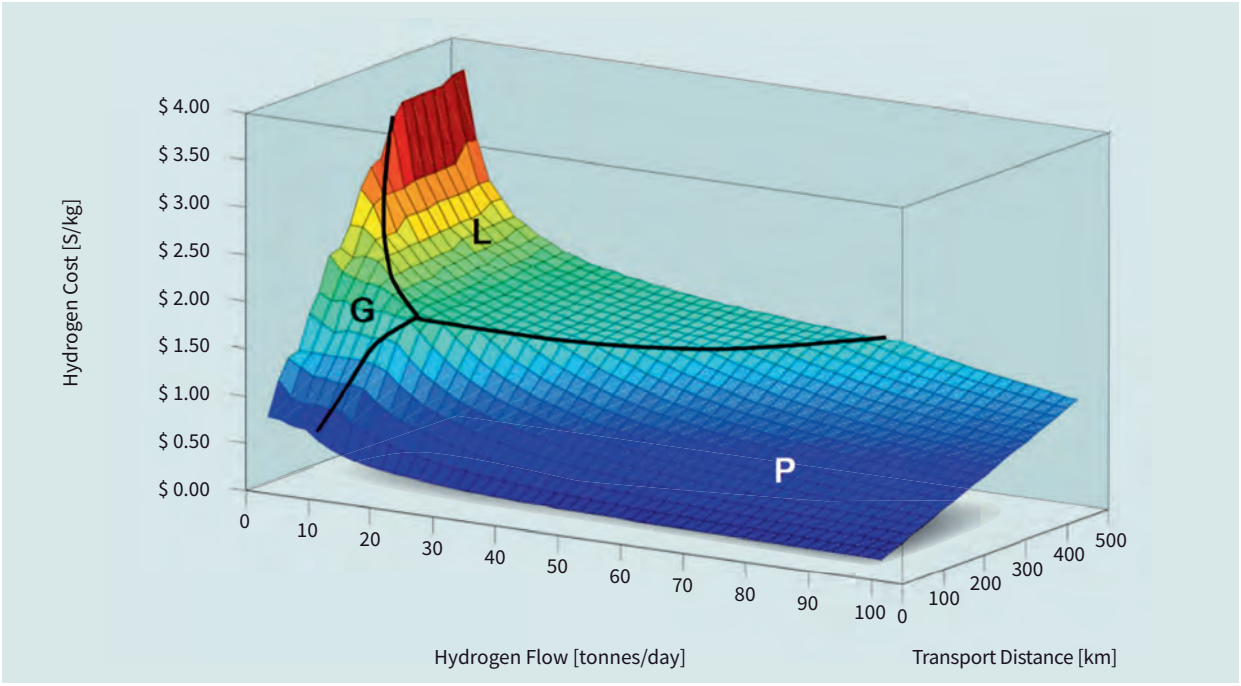


Abbildung A-15 Verteilungskosten in Abhängigkeit von Transportdistanz und Fördermenge[40]

A.6.4. Investitionskosten

Tabelle A-7 Investitionskosten für Brennstoffzellen-Fahrzeuge und konventionelle Fahrzeuge

	Einheit	Brennstoffzellentechnologie			Konventionelle Fahrzeuge		
		CAPEX 2020	CAPEX 2025	CAPEX 2030	CAPEX 2020	CAPEX 2025	CAPEX 2030
Pkw	[€]	70.000	61.950	53.900	32.000	34.400	36.800
Sprinter	[€]	70.000	61.950	53.900	21.000	23.000	25.000
Leichte Nutzfahrzeuge	[€]	150.000	132.750	115.500	32.000	34.000	36.000
Schwere Nutzfahrzeuge	[€]	300.000	273.000	246.000	84.000	85.680	86.965
Busse Solo (12m)	[€]	625.000	495.000	435.000	235.000	240.000	245.000
Busse Gelenk (18)	[€]	850.000	675.000	590.000	347.000	363.000	373.000
Schiene	[€]	5.590.000	5.240.000	5.030.000	4.240.000	4.240.000	4.240.000
Gabelstapler	[€]	52.000			30.000		
Umstellung Güterlok	[€]				1.500.000		
Abfallsammelfahrzeug		800.000			300.000		
Stationäres KWK		350.000		100.000			

Tabelle A-8 Investitionskosten für H_2-Infrastruktur und Elektrolyseure

	CAPEX 2020	CAPEX 2025	CAPEX 2030
Elektrolyse €/kW	1.000	750	650
Pipeline €/m	1.000	1.000	1.000
Material Handling (350 bar - 200 kg/d Kapazität) in €	1.000.000	950.000	900.000
Busse und Pkw (350 bar und 700 bar - 200 kg/d Kapazität) €	2.200.000	2.090.000	1.980.000
Busse und Pkw (350 bar und 700 bar - 1000 kg/d Kapazität) €	5.000.000	4.500.000	4.050.000

Die überschlägig ermittelten Gesamtinvestitionen für die Maßnahmen der H_2-Erzeugungs-, H_2-Verteilungs- und H_2-Nutzung liegen bei ca. 405 Mio. €. Werden lediglich die Mehrkosten betrachtet, sind Investitionen von ca. 184 Mio. € erforderlich. Die Mehrkosten stellen die Differenz zwischen den Kosten für die Anschaffung der Referenztechnologie sowie der Brennstofftechnologie für die Umstellung der Fuhrparks dar.

Hinweise zur Kostenrechnung für Maßnahmen zur Wasserstofferzeugung:

- Kostenrechnung Elektrolyse: Die Kosten der Wasserstofferzeugung setzen sich aus den Investitionskosten des Elektrolyseurs sowie den Kosten für die Installation (10 % der Investitionskosten [73]) des Elektrolyseurs zusammen. Für die Installationskosten der Elektrolyse wird ein pauschaler Wert veranschlagt, der in Abhängigkeit der Standortbegebenheiten variieren kann. Der Zinssatz wird mit 8 % angenommen. Die Kosten von Wasserstofftransport und -abgabe an den Verbraucher sind hierbei noch nicht berücksichtigt.
- Kostenrechnung Nebenproduktwasserstoff: Für Nebenproduktwasserstoff werden keine Investitionskosten veranschlagt, da hier Lieferverträge von Unternehmen aus der Chemieindustrie geschlossen werden, die durch einen spezifischen Wasserstoffpreis charakterisiert sind.

Tabelle A 9 Überschlägige Investitionskosten der Maßnahmen für die H_2-Erzeugung

Maßnahme	Standort / Akteur	Wasserstoff-produktion t/d	Überschlägige Gesamtinvesti-tion inkl. Steuern Mio €
Nebenprodukt	Hürth	Ca. 0,4	-
Nebenprodukt	Dormagen/ Köln	Ca. 1,8	-
Nebenprodukt	Luelsdorf	Ca. 0,4	-
Nebenprodukt	Wesseling	Ca. 0,4	-
Elektrolyse mit Strommix	Shell	Ca. 4,0	Ca. 18,0
Elektrolyse mit Deponiegas	Metabolon	Ca. 0,1	Ca. 0,5
Elektrolyse mit Wasserkraft	Wupper Talsperre	Ca. 0,2	Ca. 0,9
Elektrolyse mit Klärgas	StEB	Ca. 0,1	Ca. 0,7
Elektrolyse mit PV	Koelnmesse	Ca. 0,3	Ca. 1,9
Elektrolyse mit PV	Flughafen KölnBonn	Ca. 0,1	Ca. 0,9

Tabelle A-10 Überschlägige Investitionskosten der Maßnahmen für die H_2-Verteilung

Maßnahme	Standort / Akteur	Durchsatz Wasser-stoff t/d	Überschlägige Gesamtinvestition inkl. Steuern Mio. €
H_2- Tankstelle für Busse	Wermelskirchen	Ca. 0,3	Ca. 3,8
H_2- Tankstelle für Busse	Meckenheim	Ca. 0,3	Ca. 3,6
H_2- Tankstelle für Busse	Grüner Mobilhof	Ca. 0,5	Ca. 5,8
H_2- Tankstelle für Material Handling	Koelnmesse	Ca. 0,04	Ca. 1,2
Pipeline	Ring um Köln	Ca. 34,0	Ca. 61,9

Tabelle A-11 Überschlägige Investitionskosten und CO_2-Einsparung der Maßnahmen der Kategorie H_2-Nutzung

Maßnahme	Anzahl	Standort / Akteur	Wasserstoff-produktion t/d	Gesamtinvestition inkl. Steuern Mio. €	Mehrkosten inkl. Steuern €
Busflotte	250	RVK	Ca. 3,70	Ca.160,0	Ca. 81,0
Gabelstapler	3	Voss Fluid	Ca. 0,01	Ca. 0,2	Ca. 0,1
RidePooling	100	CleverShuttle	Ca. 0,04	Ca. 6,8	Ca. 2,5
Gabelstapler	120	Koelnmesse	Ca. 0,06	Ca. 6,5	Ca. 2,1
Güterzüge	30	HGK Brühl	Ca. 0,42	Ca. 53,6	Ca. 53.6
BZ-Lkw	80	HGK Niehl	Ca. 0,85	Ca. 25,8	Ca. 17,7
Müllsammel-fahrzeug	11	Stadtwerke Hürth	Ca. 0,30	Ca. 9,1	Ca. 5,1
Müllsammel-fahrzeug	1	RSAG	Ca. 0,03	Ca. 0,9	Ca. 0,5
Müllsammel-fahrzeug	1	AWB Bergisch Glad-bach	Ca. 0,03	Ca. 0,9	Ca. 0,5
Vorfeld-Fahrzeuge	70	Flughafen Köln/Bonn	Ca. 2,00	Ca. 37,8	Ca. 18,3
BZ-BHKW		HGK Brühl	Ca. 0,25	Ca. 0,4	Ca. 0,4
BZ-BHKW		HGK Niehl	Ca. 0,03	Ca. 0,2	Ca. 0,2

A.6.5. Sensitivitätsanalysen

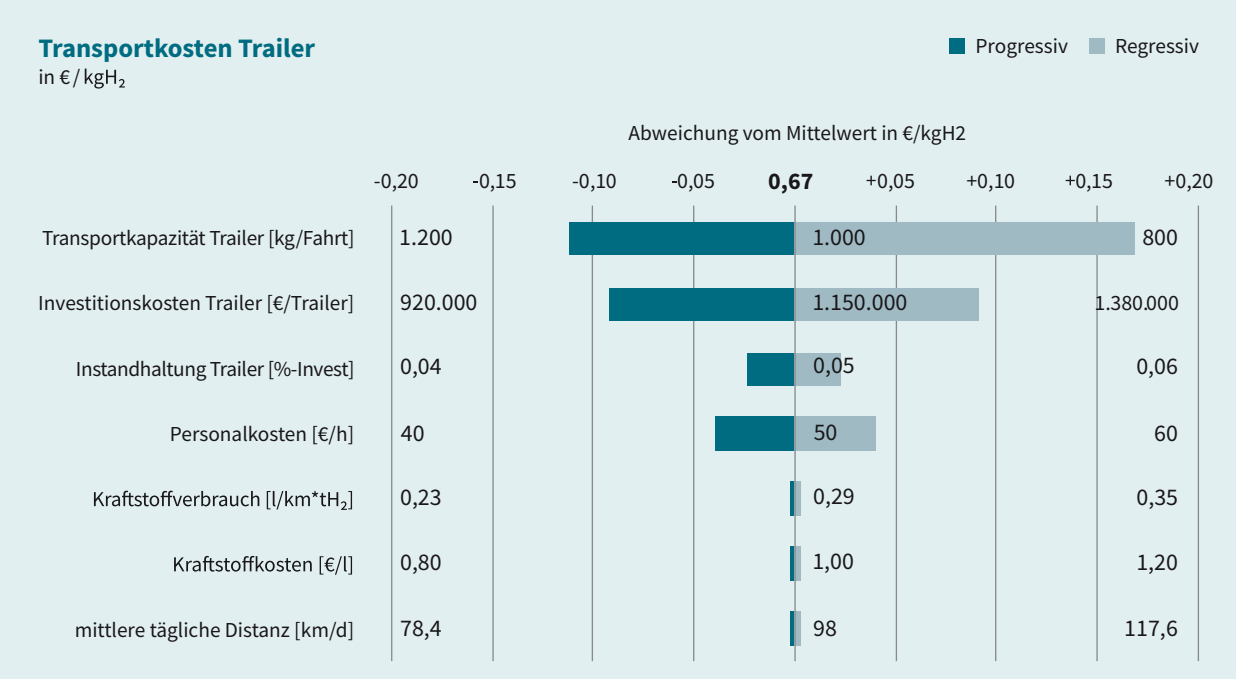


Abbildung A-16 Sensitivitätsanalyse der Transportkosten per Trailer in €/kg H_2

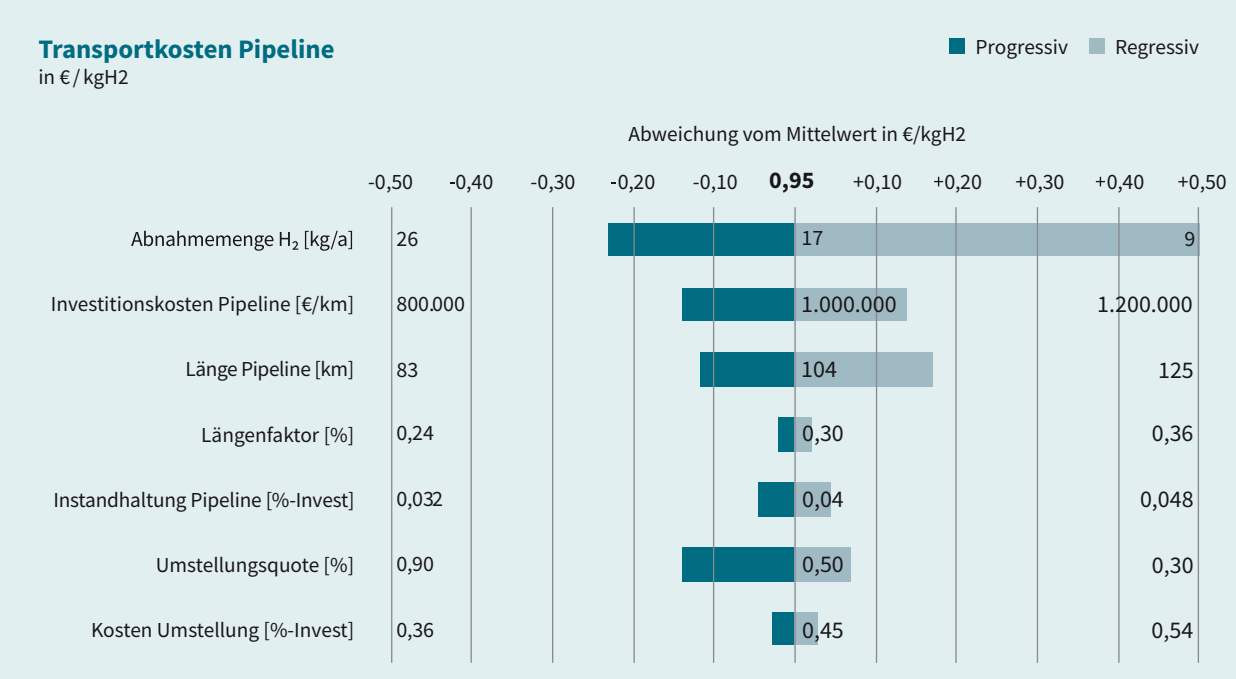


Abbildung A-17 Sensitivitätsanalyse der Transportkosten per Pipeline in €/kg H_2

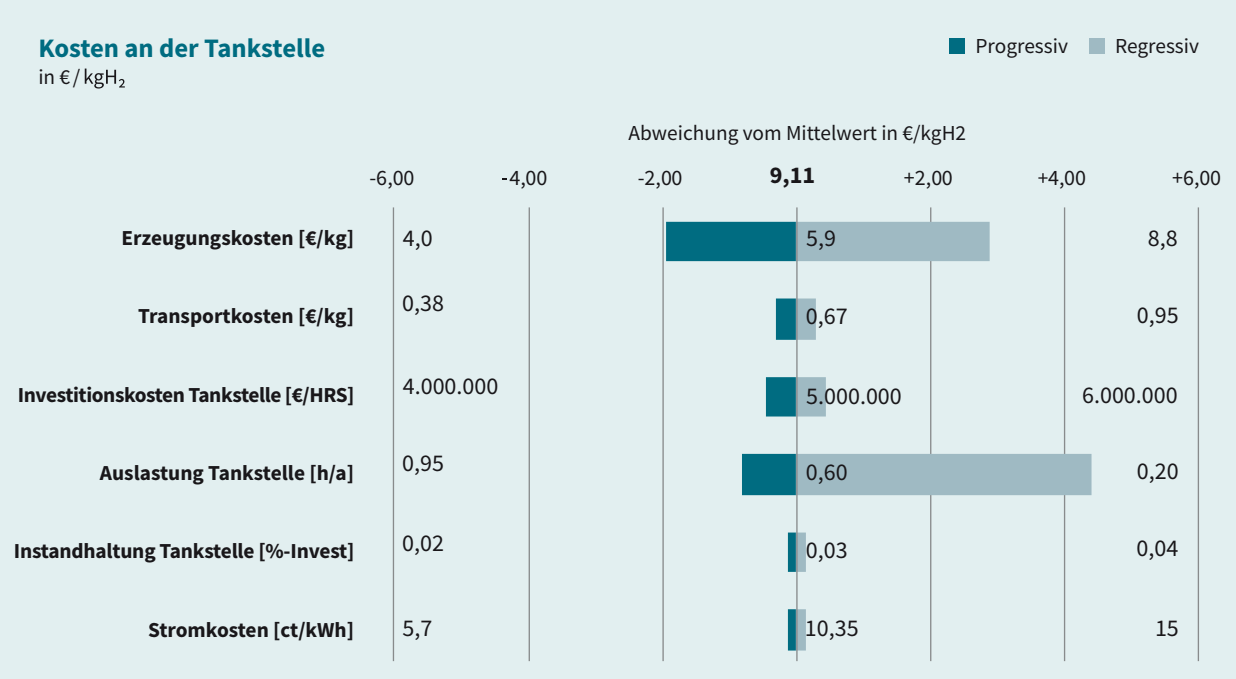


Abbildung A-18 Sensitivitätsanalyse der Wasserstoffkosten an der Tankstelle in €/kg H_2

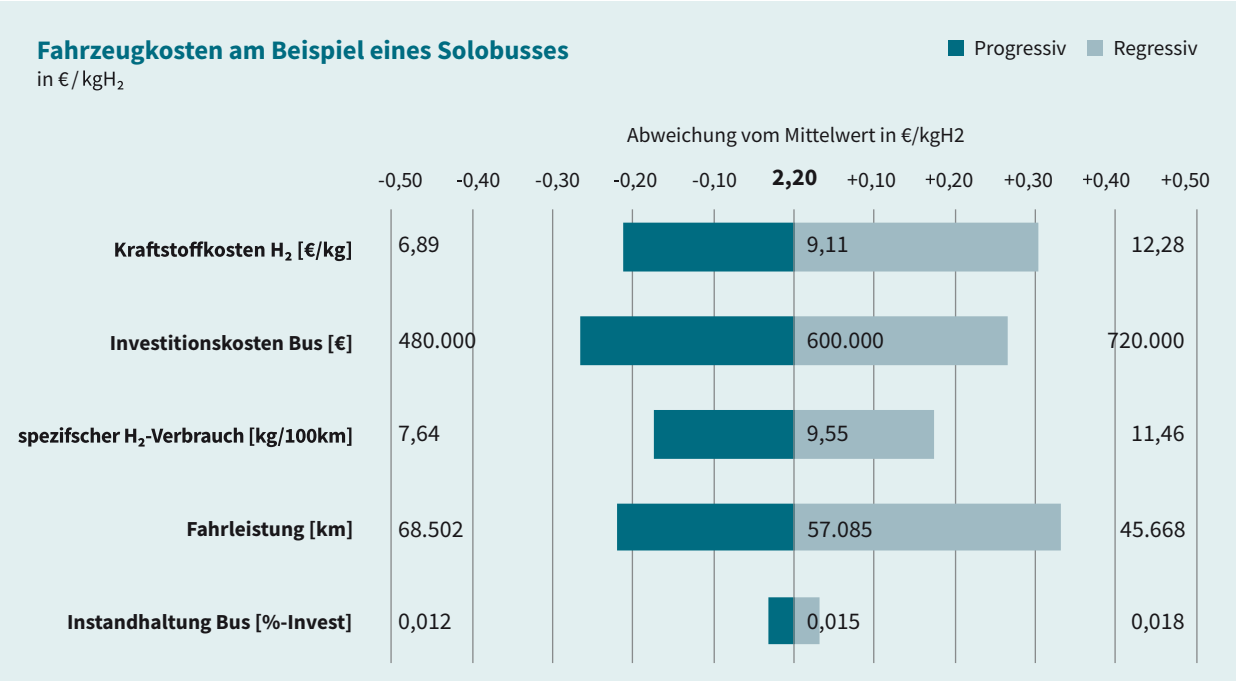


Abbildung A-19 Sensitivitätsanalyse der Kosten eines BZ-Busses (Solobus) in €/km

A.7. Schnellcheck Wirtschaftlichkeit

Technologie

Mit welcher EE-Technologie plane ich Wasserstoff zu erzeugen?

☐ Wind	☐ Biomasse
☐ Wasserkraft	☐ Überschuss-Strom aus einem anderen Prozess (z. B. BHKW)
☐ PV	☐ Sonstige:

Rahmenbedingungen

Wie hoch ist die Nennleistung meiner EE-Anlage? (in MW)	Wie hoch sind die jährlichen Betriebs- bzw. Volllaststunden? (in h)	Wie hoch sind die Strom-gestehungskosten meiner EE-Anlage? (in ct/kWh)
< 0,1 0,1 – 1,0 1,0 – 5,0 > 5,0	< 1.000 1.000 – 3.000 3.000 – 5.000 > 5.000	> 10 7,5 – 10 5 – 7,5 < 5

Wie viel Energie steht mir für die Wasserstofferzeugung zur Verfügung?

$$E = ____ \ ^{kWh}/_{a}$$

Wirtschaftlichkeit

Wie viel Wasserstoff kann ich per Elektrolyse produzieren? (Angenommener Wirkungsgrad η = 0,6)

$$m_{H2} = \frac{\eta * E}{33{,}33 \ ^{kWh}/_{kg}} = ____ \ ^{kg}/_{a} = ____ \ ^{t}/_{a}$$

Wie hoch sind die Kosten der Wasserstoffproduktion in Abhängigkeit der Stromkosten? (in €/kg)

$$K = \frac{^{€}/_{kWh} * E}{m} = ____ \ ^{€}/_{kg}$$

> 9 7 – 9 5 – 7 < 5

Fördermöglichkeiten

Welche Förderrichtlinien fördern die H2-Erzeugung aus Erneuerbaren Energien?

Vergleiche Tabelle Fördermaßnahmen in Kapitel 6 des Feinkonzepts

H2-Abnahme

Welche Verteil- und Abnahmekanäle für Wasserstoff habe ich?

Noch unbekannt — Kooperation Eigenverbrauch

Abbildung A-20 Schnellcheck Wirtschaftlichkeit – H_2-Erzeugung aus erneuerbaren Energien

Fahrzeug-Technologie	
Welche Fahrzeuge sind für mich Interessant?	
☐ PKW ☐ Sprinter ☐ LNF ☐ LKW	☐ Busse ☐ Müllsammelfahrzeuge ☐ Flurförderfahrzeuge ☐ Andere:

Fahrzeugklasse	Kosten [€] (Stand 2020)	Verbrauch [kg H2 pro 100 km]	Betankungsdruck [bar]
PKW	70.000	0,9	700
Sprinter	70.000	1,2	350 / 700
LNF	150.000	1,8	350 / 700
LKW	300.000	11,5	350
Busse (12 m)	625.000	9,7	350
Gelenk-Busse (18 m)	850.000	12,6	350
Müllsammelfahrzeuge	600.000	Fahrzeug- und umlaufabhängig	350 / 700
Flurförderfahrzeuge	52.000	0,3	350

Wirtschaftlichkeit	
Wie viele Fahrzeuge möchte ich potenziell anschaffen?	**Was kostet die Anschaffung der Fahrzeuge?**
N = _____ Fahrzeuge	P = €/Fahrzeug * N = _____€
Wie hoch ist der Wasserstoffbedarf für den Betrieb der Fahrzeuge?	**Wie hoch sind die möglichen Kosten des Wasserstoffbezugs? (in €/kg)**
m_{H2} = kg /100 km * Tagesfahrleistung = _____kg	> 9 7 – 9 5 – 7 < 5

Fördermöglichkeiten
Welche Förderrichtlinien fördern die Beschaffung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen?
Vergleiche Tabelle Fördermaßnahmen in Kapitel 6 des Feinkonzepts

H2-Infrastruktur	
Befinden sich in meiner Nähe Wasserstofftankstellen?	**Befinden sich in meiner Nähe Wasserstofftankstellen in Planung bzw. im Bau?**
wasserstoff-rheinland.de – h2.live – h2stations.org	wasserstoff-rheinland.de – h2.live – h2stations.org

Abbildung A- 21 Schnellcheck Wirtschaftlichkeit – Anschaffung von BZ-Fahrzeugen

A.8. Rechtliche Rahmenbedingungen

A.8.1. Netzentgelte

Grundsätzlich fallen Netzentgelte an, sobald das öffentliche Netz für die Weiterleitung von Strom an den Elektrolyseur genutzt wird. Es gibt allerdings Möglichkeiten einer zeitlich begrenzten Befreiung nach § 118 Abs. 6 EnWG: Wenn ein Elektrolyseur vor August 2026 in Betrieb genommen wird, ist er für 20 Jahre ab Inbetriebnahme hinsichtlich des Bezugs der zu speichernden elektrischen Energie von den Entgelten für den Netzzugang freigestellt. Schwerpunkt der gesetzlichen Befreiungsregelung ist die Unterstützung der Stromversorgungssicherheit durch Stromspeicherung in Wasserstoff, also die Speicherung von Strom aus einem Stromnetz in Wasserstoff und die Rückspeisung des aus dem Wasserstoff erzeugten Stroms in das gleiche Netz. Nach überzeugender Rechtsauffassung fällt auch der durch Wasserelektrolyse erzeugte Wasserstoff, der als Kraftstoff in der Mobilität eingesetzt wird, unter die für 20 Jahre befristete Befreiung von Netzentgelten für die Produktion von Wasserstoff. Da die Rechtslage Unklarheiten lässt, bedürfte es einer gesetzgeberischen Klarstellung des regulatorischen Rahmens in einer Sektorenkopplungs-Novelle der Energiegesetze (siehe dazu die Schlussfolgerungen unter 6.1).

A.8.2. Netzentgeltbezogene Strompreisbestandteile

Der Strompreis enthält zahlreiche Preisbestandteile, die als Aufschläge auf die Netzentgelte wirken, z.B. die Konzessionsabgabe, KWK-Umlage oder die Offshore-Haftungsumlage. Ob auch diese Entgelte vom Befreiungstatbestand des § 118 Abs. 6 EnWG umfasst sind, ist umstritten. Die Bundesnetzagentur (BNetzA) lehnt, unterstützt von obergerichtlicher Rechtsprechung, eine Befreiung von diesen Strompreisbestandteilen ab. Hier besteht Handlungsbedarf seitens des Gesetzgebers, den nicht eindeutigen Befreiungstatbestand klarzustellen.

A.8.3. EEG-Umlage

Grundsätzlich müssen Letztverbraucher gemäß § 61 EEG eine EEG-Umlage zahlen. Neben den Regeln für die ganz oder teilweise Befreiung von der EEG-Umlage (§§ 61, 61a EEG 2017) bestehen speziellere Befreiungsregelungen für die Zwischenspeicherung von Strom, z. B. für Power-to-Gas-Anwendungen. Eine Befreiung von der EEG-Umlage ist danach allerdings nur in dem Umfang möglich, in dem aus erneuerbaren Energien hergestelltes Speichergas rückverstromt wird, und nur für den aus dem Speichergas erneut erzeugten Strom (§ 61l Abs. 2 EEG 2017). Die Verwendung von Wasserstoff bzw. dessen Weiterverarbeitung von synthetischem Methan als Kraftstoff im Mobilitätssektor bei der Wandlung von Wasserstoff in Strom in einem Brennstoffzellenfahrzeug ist hingegen nicht von der EEG-Umlage befreit, da hier keine energiewirtschaftsrechtlich relevante Rückverstromung für die Stromversorgung stattfindet, sondern Antriebsenergie genutzt wird.

Fazit: Befreiungsmöglichkeiten von der EEG-Umlage bestehen nach alledem nur, wenn der Wasserstoff aus erneuerbaren Energien erzeugt wird und als Stromspeicher in der Stromversorgung eingesetzt wird. Die Umwandlung von Wasserstoff zur Fortbewegung eines Fahrzeugs bringt keine Befreiung von der EEG-Umlage.

A.8.4. Stromsteuer

Nach § 9a Abs. 1 Nr. 1 StromStG wird Elektrolyseuren die Stromsteuer erlassen. Dafür muss der Betreiber des Elektrolyseurs nach § 2 Nr. 3, 2a StromStG ein Unternehmen des produzierenden Gewerbes sein. Nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige gehören Unternehmen, die Wasserstoff herstellen und als Kraftstoff vertreiben, zu Unternehmen des Abschnitts E „Energieversorgung“ (siehe Formular 1402 „Beschreibung der wirtschaftlichen Tätigkeiten“ beim zuständigen Hauptzollamt). Insofern hat ein Antrag auf Befreiung von der Stromsteuer durchaus Aussicht auf Erfolg, hängt allerdings vom konkreten Einzelfall und der Behandlung des Antrags vom zuständigen Hauptzollamt

ab. Der Antrag ist mit dem amtlich vorgeschriebenen Vordruck zu stellen (Formular 1452 „Antrag auf Steuerentlastung für bestimmte Prozesse und Verfahren“).

Fazit: Es gibt Möglichkeiten, H_2-Kraftstoff ohne den Kostenfaktor der Stromsteuer in Elektrolyseuren herzustellen.

A.8.5. Energierechtlicher Rahmen für die Einspeisung von Wasserstoff in das Gasnetz

Eine privilegierte Einspeisung in das Gasnetz ist gemäß den §§ 31 ff. GasNZV vorgesehen. Weiterhin ist ein vorrangiger Gasnetzanschluss für Elektrolyseure nach den §§ 33 GasNZV möglich, da Wasserstoff und synthetisches Methan unter folgenden Voraussetzungen ein „Biogas“ im Sinne des § 3 Nr. 10c EnWG) ist: Entweder wird EE-Strom eingesetzt oder im Falle der Methanisierung des Wasserstoffs stammt das eingesetzte CO_2 zu min. 80% aus Erneuerbaren Energien, z.B. aus einer Biogasanlage.

Es gibt keine privilegierte Einspeisung bei Unzumutbarkeit für Netzbetreiber. Ein strenger Maßstab zulasten der Netzbetreiber ist anzusetzen. Zumutbar ist beispielsweise eine schwankende Gaseinspeisung durch Windfluktuation.

Das eingespeiste Gas muss netzkompatibel sein (§ 49 Abs. 2, 3 EnWG; § 19 Abs. 1, 2 GasNZV; § 44b Abs. 5 EEG 2017; aktuelle DVGW-Arbeitsblätter). Es gibt weiterhin eine Sonderregelung für Biogas-Einspeisung. Diese gilt auch für Wasserstoff und synthetisches Methan (DVGW G 260 und 262 Stand 2007; §§ 34, 36 GasNZV).

Reiner Wasserstoff ist nicht netzkompatibel, kann aber gegebenenfalls nach Durchmischung hinter dem Einspeisepunkt netzkompatibel werden. Probleme können auftreten, wenn z. B. mehrere H_2-Einspeiseanlagen hintereinander in eine Erdgaspipeline einspeisen. Zu beachten sind dabei Prüfungs- und Auskunftspflicht des Netzbetreibers über Aufnahmekapazität des Netzes für Wasserstoff. Es gibt keine Verpflichtung des Netzbetreibers zur Anhebung der Wasserstoffverträglichkeit des Netzes (1-2% sind verträglich) [66].

Fazit für Gaseinspeisung: Bei reiner Wasserstoff-Einspeisung ist anzuraten, eine Standortauswahl an Netzeinspeisepunkten mit hohem, ganzjährig planbarem Gasdurchfluss zu treffen, um das Risiko der nachträglichen Reduktion oder der Einstellung der Einspeisung durch Netzbetreiber zu minimieren. Dies könnte beispielsweise der Fall sein, wenn sich die Gasqualität ändert oder eine Umstellung von L- auf H-Gas vorgenommen wird. Ebenso maßgeblich ist, welche Nutzungen down-stream angeschlossen sind; z. B. bei einer Erdgastankstelle oder Gasturbine, kann es kritisch für den H_2-Anteil im Gas werden. Generell ist eine gute Abstimmung und Kooperation mit dem Netzbetreiber anzuraten.

A.8.6. Kraftstoff-Treibhausgasquotenrecht: Wasserstoff als strombasierter Kraftstoff in der Mineralölwirtschaft

Für die Mineralölwirtschaft gilt bei der Vermarktung von Diesel und Benzin eine Beimischungspflicht von Biokraftstoffen. Durch das neue Kraftstoff-Treibhausgasquotenrecht (§§ 37a-37g BImSchG) wird die Biokraftstoff-Quote schrittweise abgelöst durch die Pflicht zur Treibhausgasminderung bei Kraftstoffen:

- Erstens ist für konventionelle Biokraftstoffe, wie Biodiesel und Bioethanol, eine Obergrenze eingeführt worden (§ 13 der 38. BImSchV).
- Zweitens kann die Treibhausgasquote seit 01.01.2018 auf freiwilliger Basis durch die strombasierten Kraftstoffe Wasserstoff und synthetisches Methan [näher hierzu Rechtspaper Energiemarktordnung] nach der 37. BImSchV und elektrischen Strom nach der 38. BImSchV erfüllt werden. Für die Anrechenbarkeit des strombasierten Kraftstoffs „Komprimierter Wasserstoff zum Einsatz in einer Brennstoffzelle“ auf die Treibhausgasquote gilt nach Anlage 1 der 37. BImSchV: Den besten Anrechnungsfaktor in der Treibhausgasquote hat Wasserstoff, der vollständig in einer mit nicht-biogenen erneuerbaren Energien (z. B. Solar- und Windenergie, Wasserkraft)

gespeisten Elektrolyse erzeugt wurde, ein sehr schlechter Anrechnungsfaktor besteht bei Wasserstoff aus Kohlestrom und ein mittelmäßiger Anrechnungsfaktor bei Wasserstoff aus Kohlestrom, der unter den Bedingungen der Abscheidung und Speicherung von CO_2 hergestellt wurde.

- Drittens gilt seit dem 01.01.2020 eine Verpflichtung der Mineralölwirtschaft zum Einsatz fortschrittlicher Kraftstoffe mit einem wachsenden Mindestanteil von 0,05 % (2020) über 0,1 % (2021) und 0,2 % (2023) auf 0,5 % (2025); der Mindestanteil bezieht sich im Wesentlichen auf die energetische Menge der in Verkehr gebrachten Otto- und Dieselkraftstoffe (§ 14 Abs. 1 und 2 der 38. BImSchV). Dieser von 2020 bis 2025 auf niedrigem Niveau wachsende Mindestanteil an fortschrittlichen Kraftstoffen kann mit strombasierten Kraftstoffen erfüllt werden, z. B. mit komprimiertem Wasserstoff bzw. komprimiertem synthetischen Methan, für deren Herstellung Strom aus nicht-biogenen erneuerbaren Energien eingesetzt worden ist (§§ 14, 2 Abs. 6 der 38. BImSchV i.V.m. Anlage 1 Buchstabe a und b der 37. BImSchV). Die bis 30. Juni 2021 in deutsches Recht umzusetzende Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU (RED II) [67] erhöht nach Art. 25 den Mindestanteil fortschrittlicher BtL-Kraftstoffe von 2022 (0,2 %) über 2025 (1 %) bis 2030 (3,5 %). Nach welchen Kriterien auch Wasserstoff in Zukunft als fortschrittlicher Kraftstoff anrechenbar ist, lässt die RED II offen; hierfür will die EU erst bis Ende 2021 in einem Rechtsakt Klarheit schaffen.

Bei diesem Vermarktungsweg über die Treibhausgasquote sind die Hersteller von Wasserstoff auf die Kooperationsbereitschaft der Mineralölwirtschaft angewiesen, die die Treibhausgasquote zu erfüllen hat. Die Mineralölwirtschaft ist nach derzeitiger Rechtslage nicht dazu verpflichtet, Wasserstoff als fortschrittlichen Kraftstoff einzusetzen. Sie kann den Mindestanteil auch durch andere fortschrittliche Kraftstoffe nach § 2 Abs. 6 der 38. BImSchV erfüllen, z.B. durch

- Biokraftstoffe nach Anlage 1 der 38. BImSchV wie z. B. Algen, Bioabfall, Stroh, Nussschalen; diese synthetischen flüssigen Kraftstoffe werden auch als BtL-Kraftstoffe bezeichnet (BtL = „biomass-to-liquid“) (Nr. 1).
- Kraftstoffe, die mit CO_2-Abscheidung und -Verwendung hergestellt wurden, sofern die zur Herstellung verwendete Energie aus erneuerbaren Energien stammt (Nr. 3) und Kraftstoffe, die aus Bakterien hergestellt wurden, sofern die zur Herstellung verwendete Energie aus erneuerbaren Energien stammt (Nr. 4); solche synthetischen flüssigen Kraftstoffe wie z. B. Methanol, das aus Wasserstoff und CO_2 hergestellt wird, werden auch als PtL-Kraftstoffe bezeichnet (PtL = „power-to-liquid“). Unter welchen Bedingungen die Anrechnung von PtL-Kraftstoffen in der Quote für fortschrittliche Kraftstoffe erfolgt, wird die EU erst im bereits genannten Rechtsakt bis Ende 2021 klären.

Dies bedeutet, dass Wasserstoff bei der Erfüllung des Mindestanteils mit anderen sog. fortschrittlichen Kraftstoffen im Wettbewerb steht. Sofern sich die Mineralölwirtschaft dazu entscheidet, Wasserstoff in nennenswertem Umfang als fortschrittlichen Kraftstoff einzusetzen, kann sie die Wertschöpfungsketten der Wasserstoffproduktion auch vollständig selbst aufbauen. Andere Wasserstoffproduzenten sind darauf angewiesen, dass die Mineralölwirtschaft Lieferverträge abschließt; Vertragspartner hierfür kommen überwiegend aus der Gaswirtschaft. Diese kann sich zu einem starken Player im Kraftstoffmarkt entwickeln, sowohl beim Vertrieb von Wasserstoff an die Mineralölwirtschaft als auch als eigenständiger Player mit Tankstelleninfrastruktur. Für den letzteren Weg ist die Energiemarktordnung eine wesentliche Investitionsbedingung für den Markthochlauf.

A.9. Forschungsfragen

Tabelle A-12 Forschungsfragen im Rahmen des Zusammenschlusses *H2R – Wasserstoff Rheinland*

Forschungsfrage/ Forschungsziel	Angaben zur Ergebnisverwertung, geeignete Herangehensweisen und Formate	Mögliche Unterstützer
	H_2-Wissen	
Wie entwickeln sich weitere H_2- und BZ-Technologien? Welche Chancen und Potenziale ergeben sich dadurch?	Erhebung von Herstellerdaten zu den Technologien KWK-Anlagen, Zügen, Schiffen, Flugzeugen, etc. sowie Ermittlung der Reifegrade und Entwicklungen	ETC EMCEL
Welche Skaleneffekte sind durch die Umsetzung von H2R zu erwarten? Welche Auswirkungen haben Skaleneffekte auf die Wirtschaftlichkeit?	Quantifizierung von Skaleneffekten z.B. hinsichtlich der Beschaffungskosten von Brennstoffzellenfahrzeugen oder den Bezugskosten für Wasserstoff	Center of Automotive Management, EMCEL, ETC
Wie kann H2R durch Kooperationen mit Nachbarregionen gestärkt werden?	Zusammenstellung der Erfahrungen aus Nachbarregionen, die für H2R genutzt werden können sowie die Ermittlung möglicher Kooperationen und Synergien mit Nachbarregionen zur Stärkung von H2R	HyCologne, Center of Automotive Management, ETC, EMCEL
Wie kann H2R durch wirtschaftliche Beteiligungsmodelle gestärkt werden?	vertiefende Ausarbeitung eines Beteiligungskonzept zur Stärkung von H2R, Zusammenstellung existierender Beteiligungsmodellen sowie Identifikation und Übertragbarkeit von Beteiligungsmodellen auf die Region H2R	Center of Automotive Management, Karpenstein Longo Nübel Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, ETC
Wie werden die verschiedenen Arten von Wasserstoff (grau, blau, türkis, grün) beim Import bewertet?	Entwicklung und Bewertung der CO_2-Bilanz auch im Kontext der Ergebnisse von CertifHy. Wie sind die regionalen Importziele (und Ökobilanzen) mit der nationalen Wasserstoffstrategie in Einklang zu bringen? Durchführung einer Ökobilanz/ Lebenszyklusanalyse	ETC, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Wie kann das bestehende Wissen über Wasserstoff, Power to Gas und verwandte Themen aus Forschung und Projekten genutzt werden, um Projekte voranzutreiben?	Aufbau einer KI-basierten Datenbank "H2PRO3"	HyCologne, Technische Hochschule Köln
	H_2-Erzeugung	
Welches Potenzial der Effizienzsteigerung gibt es für das Gesamtsystem bzw. die einzelnen Komponenten (z. B. Brennstoffzelle, Elektrolyse)	Forschungsarbeiten am Brennstoffzellen-Stack zur Identifikation von Effizienzpotenzialen	tbd
In welchem Umfang kann der Einsatz von (Frisch-) Wasser bei der Elektrolyse verringert werden?	Entwicklung eines Testfeldes für Durchführung von Wasserelektrolyse	tbd

Wie kann Biomasse (Vergärung und Vergasung) ökologisch und ökonomisch sinnvoll zur Erzeugung von H2 eingesetzt werden?	Technische Konzepte und Reifegrade Ökologische und Ökonomische Bewertung (vergleichende Lebenszyklusanalyse)	ETC, Technische Hochschule Köln, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Wie erfolgt die ökologische Bewertung von Nebenproduktwasserstoff? Wie entwickeln sich die Nebenproduktquellen?	Entwicklung und Bewertung der CO_2-Bilanz auch im Kontext der Ergebnisse von CertifHy., Durchführung einer Ökobilanz/ Lebenszyklusanalyse	Technische Hochschule Köln, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Wie lässt sich der graduelle Übergang zu grünem H_2 realisieren?	Analyse der Ausgestaltung des Transformationspfades von Nebenproduktwasserstoff zu grünem Wasserstoff und Entwicklung eines Handlungsplan für die graduelle Umstellung	ETC, Center of Automotive Management
Unter welchen Gesichtspunkten ist eine On-site Elektrolyse (z. B. vs. Lieferwasserstoff) bei H_2-Tankstellen Sinn?	projektspezifische SWOT-Analyse zum Einsatz von Onsite-Elektrolyseuren an Wasserstofftankstellen	Ford,
	H_2-Verteilung	
Wie kann man einen diskrimierungsfreien Zugang zur Wasserstoffwirtschaft (insbesondere bei dezentraler Erzeugung in der Region) ermöglichen?	Entwicklung und Validierung verschiedener Konzepte, um einen diskriminierungsfreien Zugang zu Wasserstoff zu gewährleisten und Abgleich mit Anforderungen der angesprochenen Nutzer	Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Welche Rolle können H_2-Hubs in einer Wasserstoffinfrastruktur einnehmen?	Systemischer Vergleich einer Wasserstoffinfrastruktur mit H_2-Hubs und einer Wasserstoffinfrastruktur ohne H_2-Hubs, Auswirkungen auf Kosten, Verfügbarkeit und Versorgungssicherheit. Analyse der Möglichkeiten zur Schaffung eines diskrimierungsfreien Zugangs zur Einspeisung und Entnahme von Wasserstoff.	Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Wie werden H_2-Hubs optimal in eine Verteilnetzinfrastruktur integriert?	Simulation innerhalb eines Gasnetzes als zusätzlicher Abnehmer, Identifikation der optimalen Standorte im Hinblick auf die Pipelineinfrastruktur	Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI
Welche Anforderungen werden durch die Nutzer an H_2-Hubs gestellt und wie kann ein barrierefreier Zugang für Interessierte gewährleistet werden?	Abfrage der Anforderungen von Nutzer von Wasserstoffinfrastruktur (Busunternehmen, Logistikunternehmen) Entwicklung verschiedener Konzepte zur Organisation von H_2-Hubs	Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Welche Standortfaktoren spielen bei dem Aufbau eines Tankstellennetzes eine übergeordnete Rolle? An welchen Standorten bietet sich die Errichtung von Wasserstofftankstellen an?	Identifikation der optimalen Standortfaktoren, um kostengünstig eine flächendeckende Wasserstoffinfrastruktur für Logistiker und Schwerlastverkehr aufzubauen	ETC
Wie kann die Anbindung einer Wasserstoffpipeline an andere Regionen realisiert werden?	Erhebung von stillgelegten und umrüstbaren Leitungen im Rheinland	Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Welche technischen Anforderungen werden an die Umstellung einer Pipeline gestellt?	Aufbau eines Testfeldes zur Überprüfung der Permeabilität von bestehenden Gasleitungen, begleitende Simulation & Analyse	Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI, Technische Hochschule Köln, ETC

Welche genehmigungsrechtlichen Anforderungen werden bei der Umstellung einer Pipeline gestellt?	Bestandsaufnahme der regulatorischen Rahmenbedingungen durch Abgleich mit DIN und Technischen Regeln und weiterer Rahmenbedingungen	Karpenstein Longo Nübel Rechtsanwälte Partnerschaft mbB
Wie hoch ist die Akzeptanz in der Bevölkerung bezüglich der Implementierung einer H_2-Pipeline? Gibt es Möglichkeiten die Akzeptanz in der Bevölkerung zu erhöhen, beispielsweise durch die Umstellung bestehender Pipelines?	Stichprobenartige Befragung der Bevölkerung, Metaanalyse zu Akzeptanz von (Wasserstoff-) Pipelines und -Netzen, Workshops und Seminare für und mit Bürgern	Technische Hochschule Köln, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Center of Automotive Management, ETC
Welches Druckniveau für Lieferwasserstoff (200bar vs. 300bar vs. 500bar) ist unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten das sinnvollste?	Detaillierte Machbarkeitsanalyse zur Entwicklung eines Distributionskonzeptes im Rheinland unter Einbeziehung determinierten Standorten	tbd
Welche Chancen hat LOHC?	SWOT-Analyse zum Einsatz von LOHC-Trailern und einer LOHC-Infrastruktur für die Region	tbd
Lassen sich stillgelegte Stollen des Steinkohleabbaus zur Speicherung von H_2 nutzen (z. B. untertage)?	Machbarkeitsstudie zur Prüfung der Durchlässigkeit stillgelegter Schächte zur Speicherung von Wasserstoff unter Tage, Bestandaufnahme von Stollen sowie der Beschaffenheit der Stollenwände (Permeabilität, Diffusion)	tbd
	H_2-Nutzung	
Welche Möglichkeiten der großskaligen Anschaffung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen gibt es?	Befragung von Herstellern und Nutzern, Erarbeitung von Finanzierungsmodellen, Unterstützung bei Umsetzung von Projekten	EMCEL
Welche regionalen Nutzungsmöglichkeiten von Brennstoffzellensystemen zur Erzeugung von Strom und Wärme gibt es und wie ließen sich diese wirtschaftlich betreiben?	Befragung von Herstellern, Erarbeitung von Betriebsmodellen	EMCEL
Welche Hemmnisse bestehen für Unternehmen in die Wasserstoffmobilität einzusteigen und durch welche Maßnahmen können Anreize geschaffen werden, um die Attraktivität der Wasserstoffmobilität zu erhöhen?	Stichprobeninterviews mit relevanten Stakeholdern und mit an Wasserstoffmobilität interessierten Unternehmen	Center of Automotive Management, EMCEL
Welches weitere Potenzial zur Umstellung der kommunalen Fuhrparke gibt es?	Ausführliche Machbarkeitsstudie zu den Umstellungspotenzialen von kommunalen Fuhrparks, Erhebung des Status Quo sowie Erarbeitung von Finanzierungskonzepten (ggf. mit Förderprogrammen) und in Zusammenarbeit mit Fahrzeugherstellern	EMCEL, HyCologne e.V.
Wie kann die Langlebigkeit von u. a. Brennstoffzellen erhöht werden (müssen min. ein „Busleben“ halten (12 – 14 Jahre)	Grundlagenforschung an Brennstoffzellenstacks zur Identifikation von Stellschrauben zur Erhöhung der Lebensdauer	tbd

A.10. Langfassung Akzeptanz

Die Langfassung des Akzeptanzkapitels ist in der PDF-Version ab Seite 272 einsehbar.

A.11. Rechtspaper

A.11.1. Rechtspaper H_2-Pipeline

Das Rechtspaper zum Thema H_2-Pipeline ist in der PDF-Version ab Seite 272 einsehbar.

A.11.2. Rechtspaper H_2-Tankstelle

Das Rechtspaper zum Thema H_2-Tankstelle ist in der PDF-Version ab Seite 272 einsehbar.

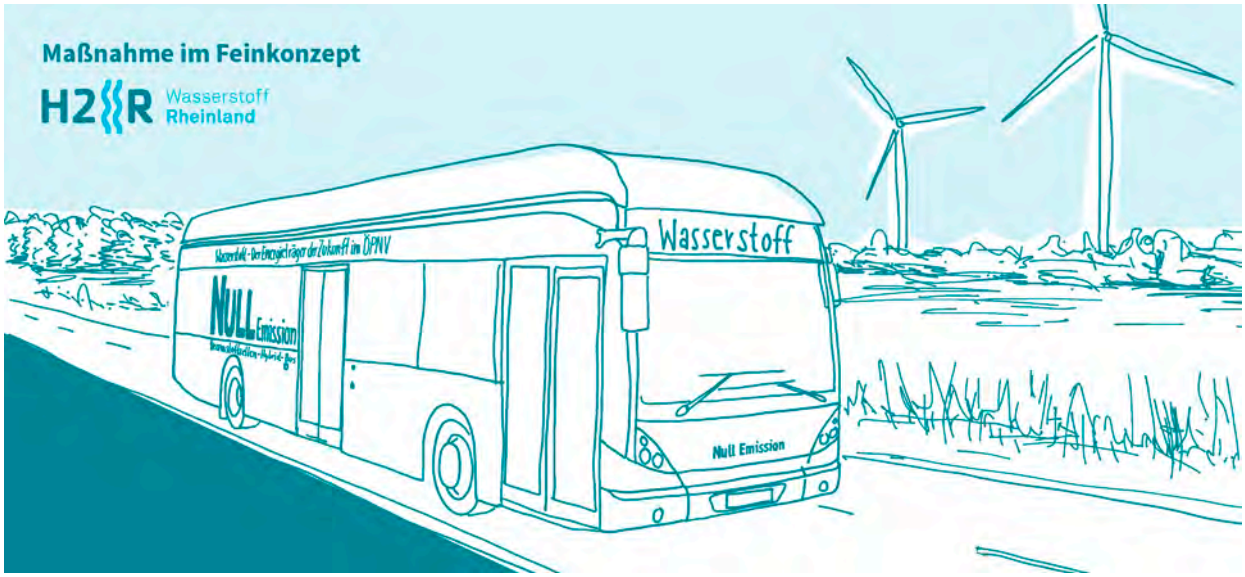
A.11.3. Rechtspaper Energierecht

Das Rechtspaper zum Thema Energierecht ist in der PDF-Version ab Seite 272 einsehbar.

B. Steckbriefe

B.1. Steckbrief »Nebenprodukt-Wasserstoff«

Akteur: Chemiepark Dormagen
Nebenproduktwasserstoff aus Chlor-Alkali-Elektrolyse von Linde.



Standort
Chemiepark Dormagen

Nutzen
Emissionsverringerung

Technische Daten
täglich bis zu 5 t grüner und zertifizierter Wasserstoff (Info von Linde)

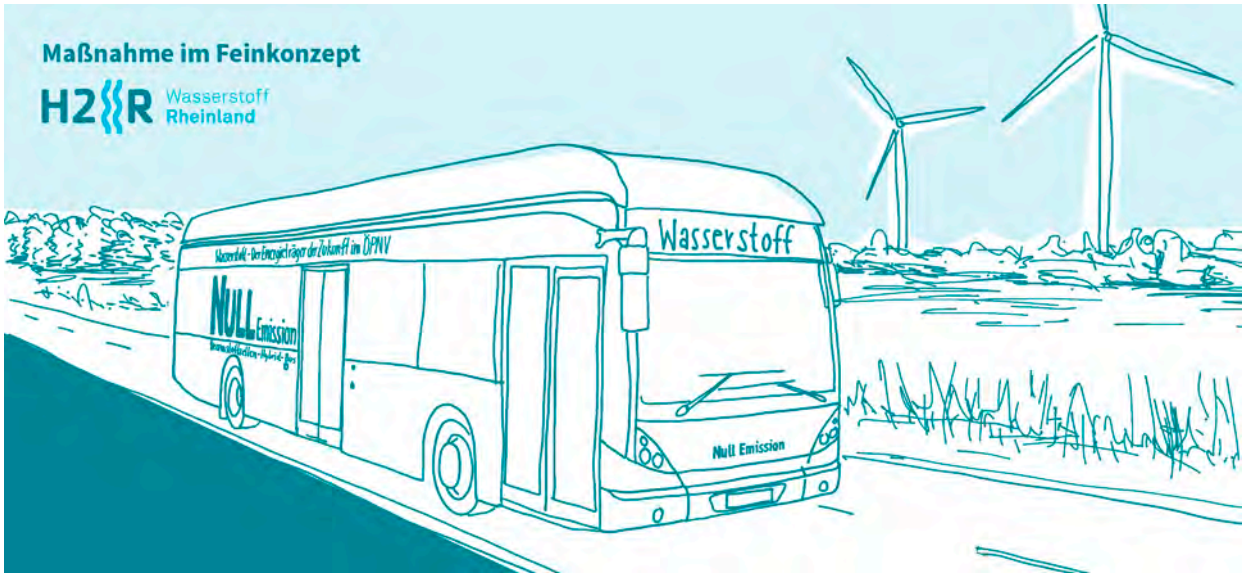
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
noch offen

Realisierungszeitraum
noch offen

B.2. Steckbrief »Nebenprodukt-Wasserstoff«

Akteur: HyCologne
Im Industriepark Knapsack fallen bei der Chlor-Alkali Elektrolyse große Mengen Wasserstoff als Nebenprodukt an. Der Wasserstoff wird bereits heute für die Betankung von BZ-Bussen genutzt.



Standort
Industriepark Knapsack
Industriestraße
50354 Hürth

Nutzen
günstige Bereitstellung von Nebenproduktwasserstoff, welcher ohne weitere CO_2-Erzeugung zur Verfügung steht.

Technische Daten
350 bar
theoretische Menge reicht für 1.000 BZ-Busse

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
Am Standort Knapsack wird weiterhin eine Chlor-Alkali-Elektrolyse betrieben.

Realisierungszeitraum
Seit 2010

B.3. Steckbrief »Nebenprodukt-Wasserstoff«

Akteur: INEOS
Im Krackprozess, mit den wesentlichen Hauptprodukten Ethylen und Propylen, fallen größere Mengen an Wasserstoff als Nebenprodukt an. Diese Mengen werden heute schon am Standort bspw. zur Ammoniakherstellung und zur Hydrierung sowie als CO_2-freier Brennstoff eingesetzt. Darüber hinaus wäre ein Export denkbar.



Standort
INEOS Werk
Neusser Landstraße 441
50769 Köln

Nutzen
Beitrag zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft.

Technische Daten
ca. 13.000 t/a Wasserstoff

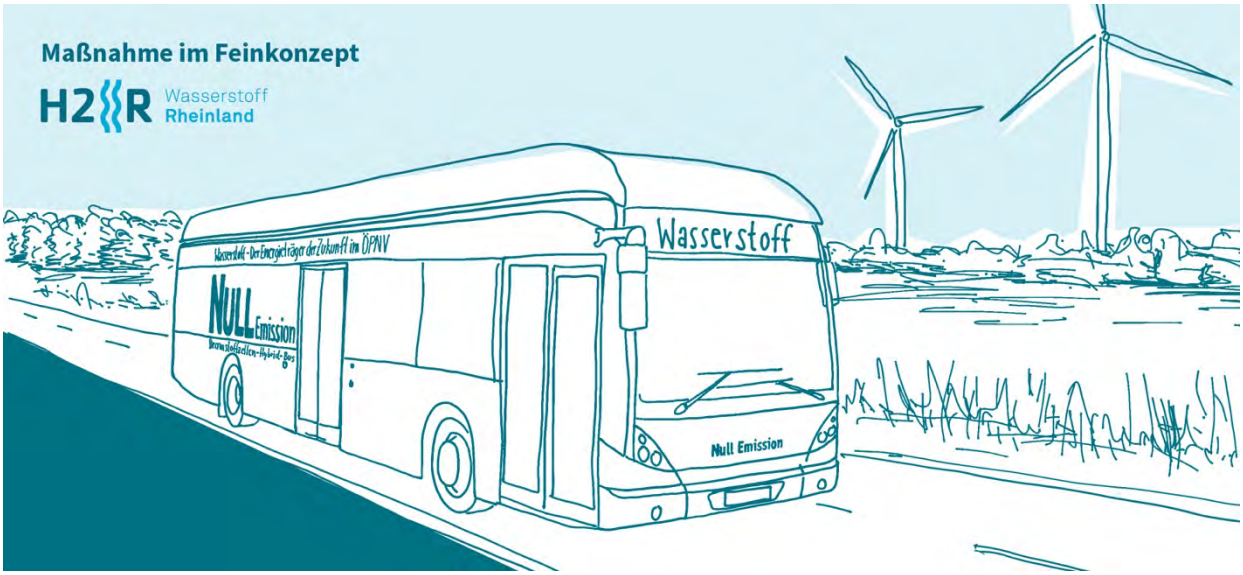
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
Noch im Detail zu definieren, u.a. hinsichtlich Aufreinigung und Anschluss.

Realisierungszeitraum
noch zu definieren

B.4. Steckbrief »Elektrolyse mit Netzstrom«

Akteur: Innogy
Innogy plant die Lokalisierung netzdienlicher Orte zum dauerhaften Betrieb einer Wasserelektrolyse.



Standort
Standortfindung unter Berücksichtigung der Netzsituation durch die Energiewende

Nutzen
Sektorenkopplung, Energiewandlung und Speicherung zur Umsetzung der Energiewende, Versorgungssicherheit, effizienter Klimaschutz.

Technische Daten
Noch offen
Planung 5 – 50 MW-Elektrolyseure

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
Finden von Orten mit hohem elektrischen Nutzen bei steigender Einspeisung von regenerativen Energien.

Realisierungszeitraum
Start Planung: ab sofort
Start Beschaffung: ab Zusage
Start Betrieb: ca.10 Monate nach Zusage

B.5. Steckbrief »Elektrolyse mit Netzstrom«

Akteur: Shell
Shell plant den Betrieb eines PEM Elektrolyseurs mit 10 MW elektrischer Leistung in der Shell Rheinland Raffinerie in Wesseling. Der Spatenstich für das von der EU geförderte Projekt "REFHYNE" erfolgte 2019.Mittel- bis langfristig soll die Elektrolyseleistung erweitert werden.



Standort
Shell Rheinland Raffinerie
Ludwigshafener Str. 1
50389 Wesseling

Nutzen
Erzeugung von (grünem) Wasserstoff für die interne Nutzung in der Raffinerie sowie die Versorgung weiterer Projekte von Wasserstoff Rheinland.

Technische Daten
Elektrolyse mit 10 MW mit ca. 1.460 t/a
perspektivisch 25MW
ca. 3650 t/a

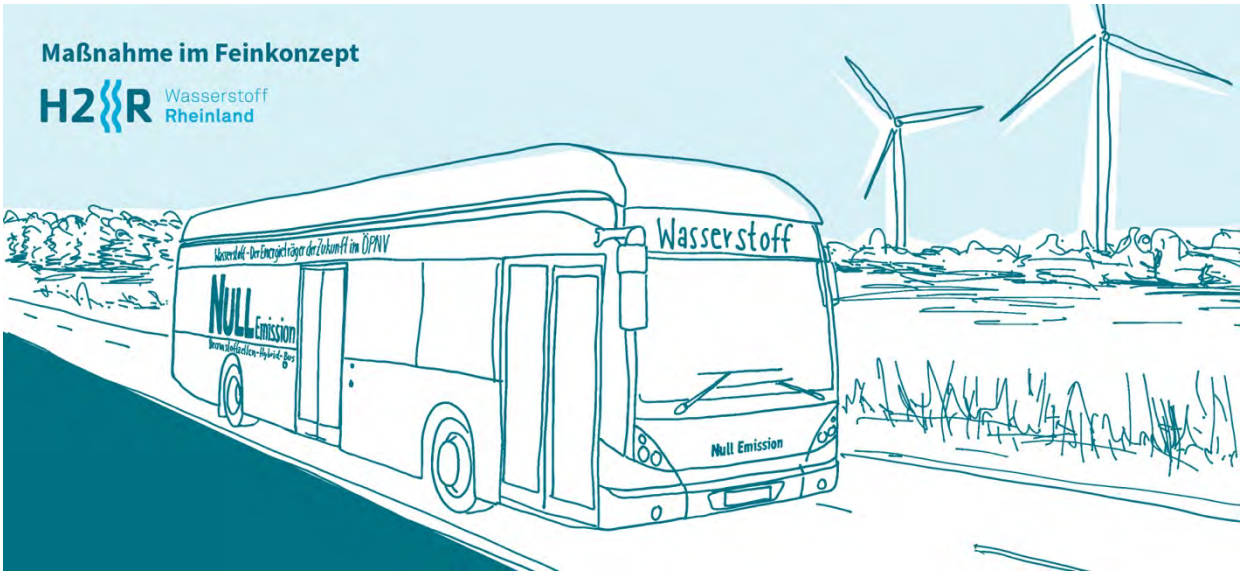
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
Elektrische Energie

Realisierungszeitraum
Baubeginn im Jahr 2019
Inbetriebnahme im Jahr 2020

B.6. Steckbrief »Elektrolyse mit BHKW & PV«

Akteure: Bergischer Abfallwirtschaftsverband Metabolon, AVEA, :metabolon Institut TH Köln
Mit Strom aus der Deponiegasverstromung soll grüner Wasserstoff per Elektrolyse erzeugt werden. Weitere Mengen können durch Forschungsaktivitäten der Bergischen Ressourcenschmiede aus der Biogasnutzung generiert werden. Die Errichtung einer H_2-Tankstelle ermöglicht die Bereitstellung von grünem Wasserstoff für den ÖPNV und für die Erprobung von Brennstoffzellen-Abfallsammelfahrzeuge.



Standort
BAV / Metabolon
Am Berkebach
51789 Lindlar

Nutzen
Versorgung von ca. 10 NFZ ,
Forschungsaktivitäten zu Produktions-möglichkeiten aus Abfall,
Kompetenznetzwerk.

Technische Daten
500 kW Elektrolyse
überschlägig im Feinkonzept ermittelt:
Produktion von ca. 50 t/a

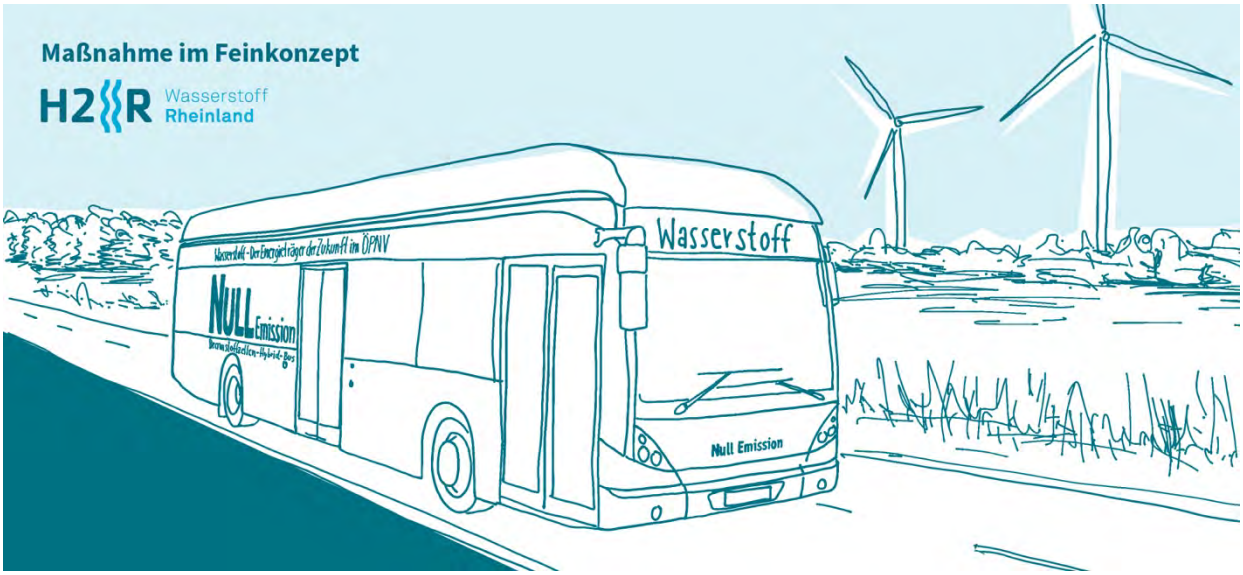
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
Förderung

Realisierungszeitraum
Planungsphase: ab 2020
Realisierungsphase: ab2021
Umsetzungsphase: ab 2021

B.7. Steckbrief »Elektrolyse mit PV«

Akteur: HGK
In Brühl wird die Erzeugung von grünem Wasserstoff in Verbindung mit einer Photovoltaikanlage geprüft.



Standort
Am Volkspark 20
50321 Brühl

Nutzen
Erzeugung von grünem Wasserstoff

Technische Daten
Dachfläche Brühl: 300 kWpeak

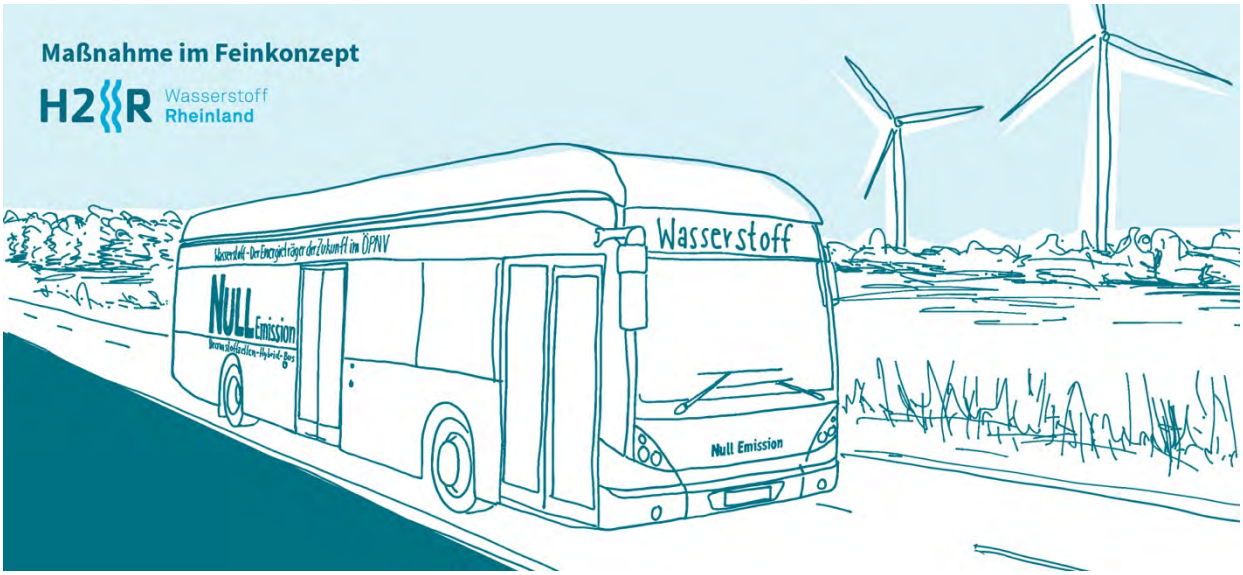
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
ökonomischer Betrieb

Realisierungszeitraum
Start Planung 2021
Start Beschaffung 2022
Start Betrieb 2024

B.8. Steckbrief »Elektrolyse mit PV«

Akteur: HGK
In Köln-Niehl wird die Erzeugung von grünem Wasserstoff in Verbindung mit einer Photovoltaikanlage geprüft.



Standort
Am Stapelkai
Hafen Köln Niehl

Nutzen
Erzeugung von grünem Wasserstoff

Technische Daten
-/-

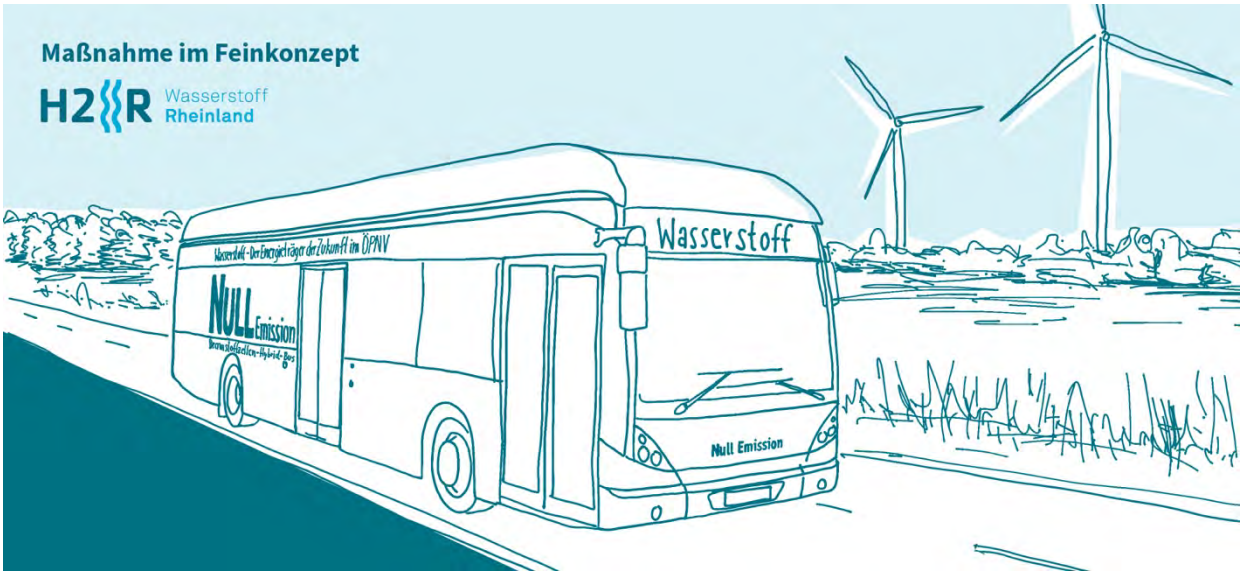
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
ökonomischer Betrieb
Zuschüsse

Realisierungszeitraum
Start Planung 2021
Start Beschaffung 2022
Start Betrieb 2024

B.9. Steckbrief »Elektrolyse mit PV«

Akteur: Koelnmesse
Die Koelnmesse plant in Kooperation mit externen Ingenieurbüros und der Beteiligung der RheinEnergie eine nachhaltige Energieversorgung ihres Standortes. Hierbei wird auch der Einsatz von Photovoltaik-Anlagen mit einer gekoppelten Wasserelektrolyse geprüft.



Standort
Koelnmesse GmbH
Messeplatz 1
50675 Köln

Nutzen
Reduzierung insbesondere der CO_2- und Stickoxidemissionen.

Technische Daten
ca. 100.000 m^2 Fläche zur Verfügung
überschlägig ermittelt im Feinkonzepts:
2 MW Elektrolyse mit ca. 100 t/a

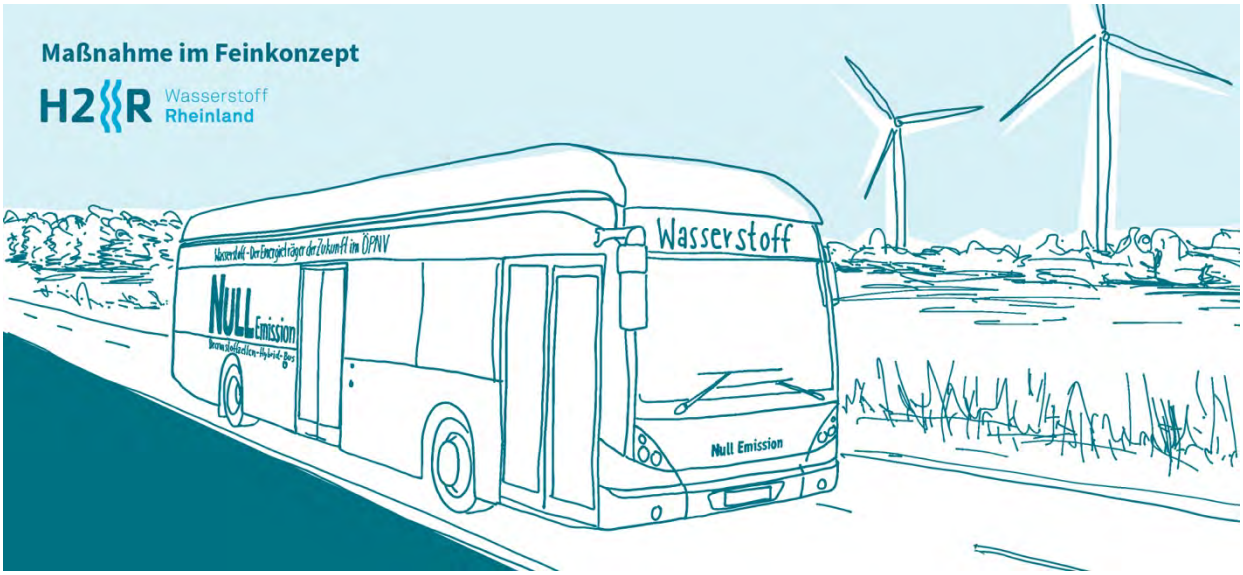
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
Beauftragung des Ingenieurbüros

Realisierungszeitraum
2020: Beauftragung Ingenieurbüro
2020/2021: Erste Machbarkeits- und Wirtschaftlichkeitsergebnisse

B.10. Steckbrief »Elektrolyse mit PV und BHKW«

Akteur: Flughafen Köln/Bonn
Am Flughafen Köln/Bonn wird die Erzeugung von grünem Wasserstoff mittels erneuerbarer Energien (PV) geprüft. Der Wasserstoff soll u. a für die Versorgung der Vorfeldfahrzeuge eingesetzt werden.



Standort
Flughafen Köln/Bonn
Nordallee 1
51147 Köln

Nutzen
Emissionsverringerung und CO_2-Einsparung zur Verbesserung des Mikroklimas, lokal erzeugter H_2, kein Logistikaufwand.

Technische Daten
1 MW Elektrolyse (5 MW PV möglich)
überschlägig im Feinkonzept ermittelt:
Produktion von ca. 54 t/a

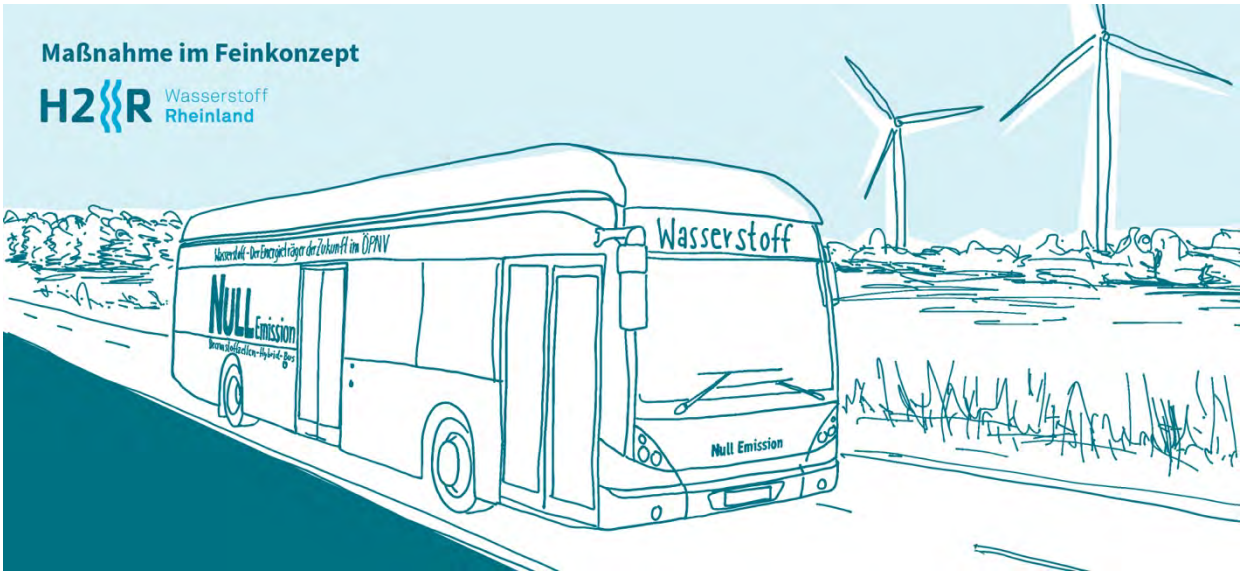
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
Errichtung von PV-Anlagen auf geeigneten Gebäudedächern.

Realisierungszeitraum
Start Planung 2020
Start Beschaffung 2021
Start Umsetzung 2021-2024

B.11. Steckbrief »Elektrolyse mit PV und BHKW«

Akteure: Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR
Auf den Kläranlagen der Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR (StEB Köln) wird die Machbarkeit der dezentralen Erzeugung von grünem Wasserstoff durch Wasserstoffelektrolyse aus PV und BHKW-Überschuss-Strom mit Nutzung des Sauerstoffs im Abwasserreinigungsprozess geprüft.



Standort
Fünf Klärwerksstandorte im Kölner Stadtgebiet, u.a. Großklärwerk Stammheim und Klärwerk Langel

Nutzen
Dezentral erzeugter grüner Wasserstoff, Verwertung des Reinsauerstoffs in der Belebungsanlage der Kläranlage, Übertragbarkeit auf weitere Klärwerke.

Technische Daten
17 - 84 tH_2/a durch Elektrolyse mit EE-Strom
überschlägig im Feinkonzepts ermittelt:
1 MW Elektrolyse mit ca. 52 t/a

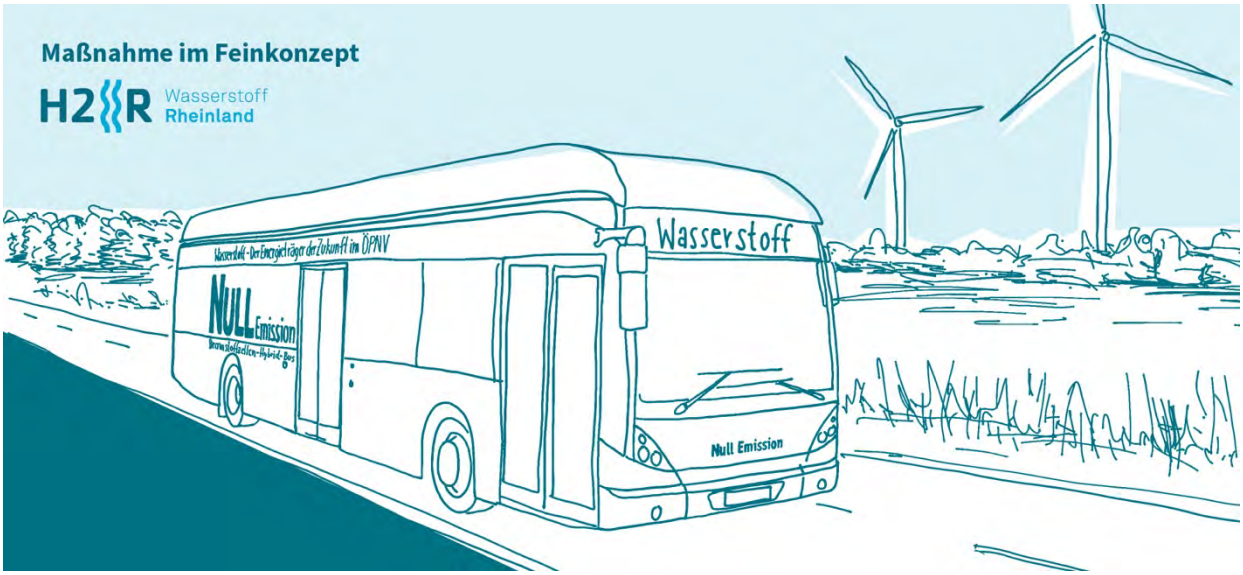
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
Überschuss an EE-Strom

Realisierungszeitraum
Projektidee: 2020
Umsetzung Forschungsprojekt: 2023
Realisierung: 2030

B.12. Steckbrief »Elektrolyse mit Wasserkraft«

Akteur: Wupperverband KdöR
Der Wupperverband betreibt am Standort der Wupper-Talsperre eine Talsperre zum Hochwasserschutz und zur Niedrigwasseraufhöhung. Zur Regulierung der Abgabemengen setzt der Wupperverband eine Wasserkraftanlage ein. Ein Elektrolyseur kann die Herstellung von grünem Wasserstoff ermöglichen.



Standort
Wupperverbrand
Betriebshof Wupper-Talsperre
Rader Str. 1
42477 Radevormwald

Nutzen
Sektorenkopplung,
Reinsauerstoffverwendung in der Abwasserreinigung,
ökologisch grüner H_2.

Technische Daten
1 oder 1,5 MW Elektrolyse
ca. 70 tH_2/a - 72 tH_2/a

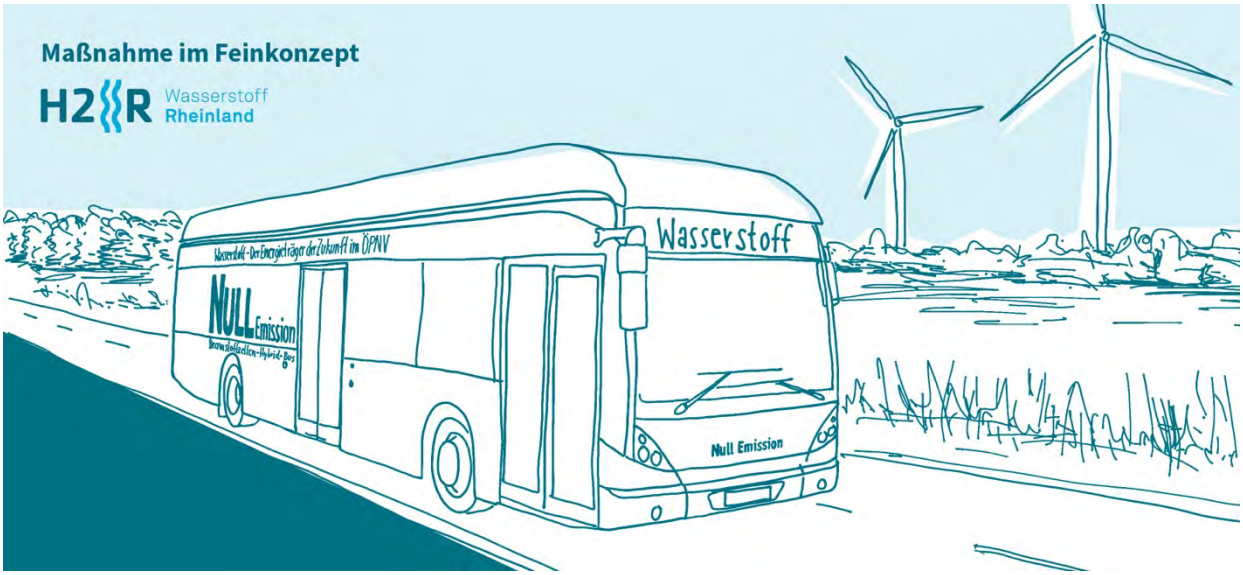
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
Wirtschaftlichkeit (Teilnahme am negativen Regelleistungsmarkt),
Förderungsprogramme,
langfristige Liefervereinbarungen.

Realisierungszeitraum
2020: Machbarkeitsstudie
2022: Umsetzung vorbehaltlich der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie

B.13. Steckbrief »Erzeugung von grünem H_2 mit Wind und PV«

Akteur: ABO Wind
Es sollen Windparks und PV-Anlagen gebaut werden zur Erzeugung von grünem Strom für Industrie und Mobilität.



Standort
Verschiedene Standort in NRW

Nutzen
Erneuerbare Energie für Mobilität und Industrie

Technische Daten
Typische Windparkgröße: 10 -50 MW mit einer Produktion von 20 – 100 GWh/a, Potenzial: 400 – 2.000 tH_2/a

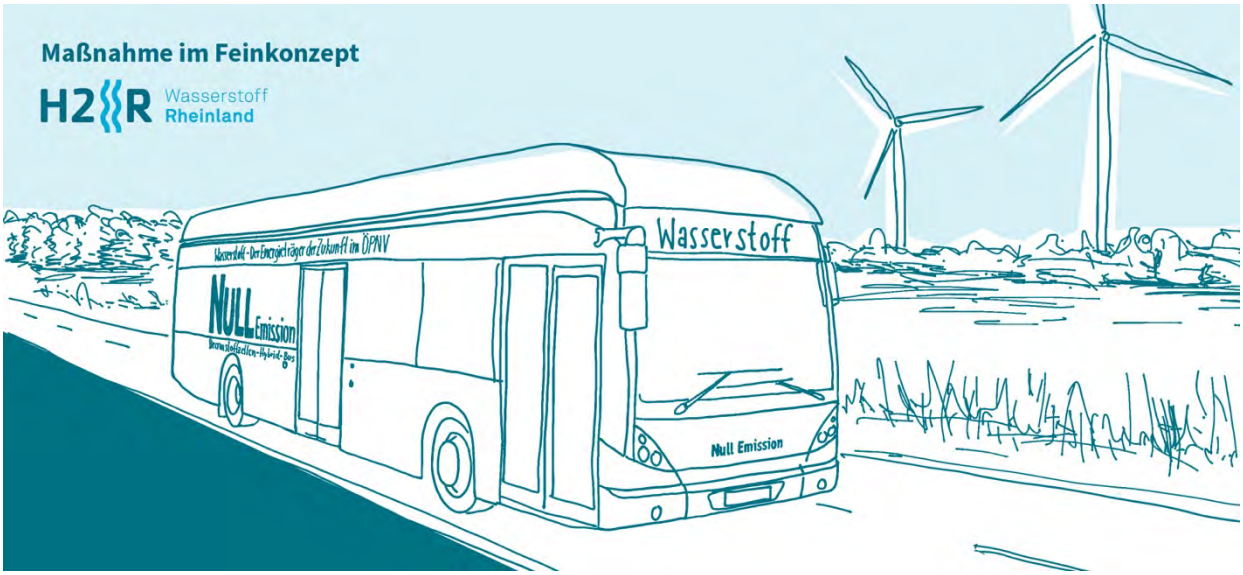
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
Genehmigung und Akzeptanz von Windparks

Realisierungszeitraum
Realisierung eines Windparks dauert typischerweise 3-4 Jahre.

B.14. Steckbrief »Regionaler Elektrolyseurhersteller«

Akteur: AREVA H2Gen
AREVA H2Gen liefert von PEM-Elektrolysesystemen zur Produktion von Wasserstoff per Wasserelektrolyse mit der Option einer zusätzlichen Abwärmenutzung im Wärmesektor.



Standort
AREVA H2Gen
Eupener Straße 165
50933 Köln

Nutzen
Produktion von klimaneutralem Wasserstoff, Sektorenkopplung (Strom, Gas und Wärme, Industrie und Verkehr).

Technische Daten
Skalierbare Systemgrößen von 25 kW bis 1 MW. Die Systeme können kombiniert werden, um mehrere Megawatt zu realisieren.

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

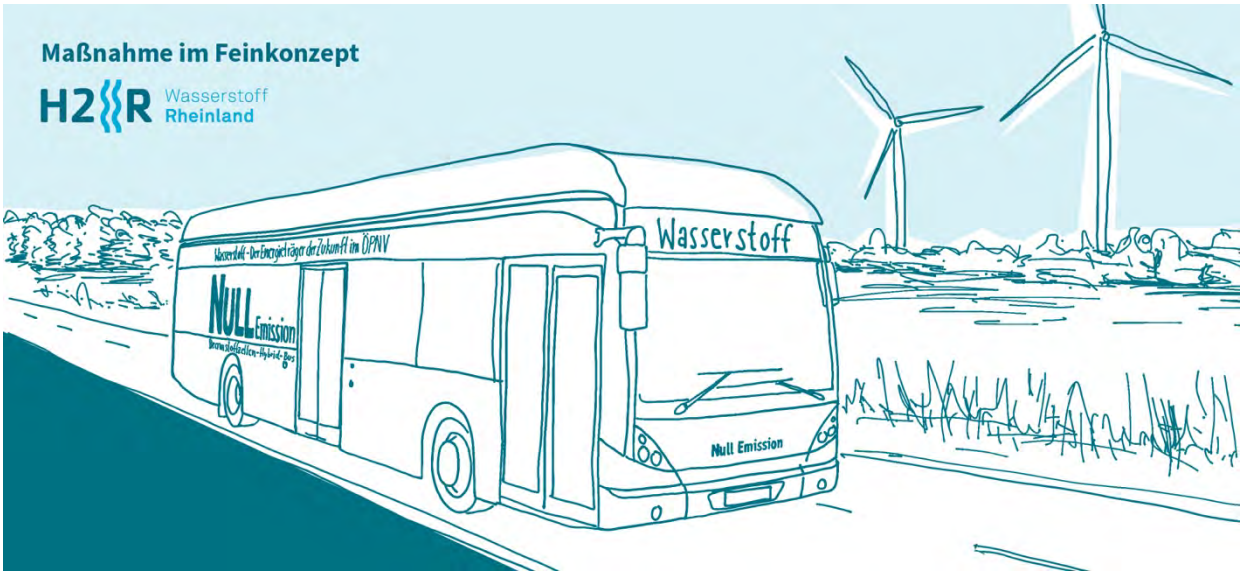
Voraussetzung
Stromversorgung, Wasserstoffabnehmer und Anwendungen und Wärmesenke.

Realisierungszeitraum
Konzepterstellung und Produktion möglich, sobald Anwendung für Wasserstoff (und Wärme) definiert wurde.

B.15. Steckbrief »Elektrolyseur mit konzentrierter Sonnenstrahlung«

Akteur: DLR

Durch konzentrierte Solarstrahlung können hohe Temperaturen erzeugt werden, welche die Produktion von grünem Wasserstoff sowohl durch Hochtemperaturelektrolyse als auch durch thermochemische Prozesse effizienter machen. Das DLR entwickelt mit Partnern aus der Region Köln Materialien, Komponenten und Anlagen für diese Prozesse.



Standort
Deutsches Zentrum für
Luft- und Raumfahrt e.V.
Linder Höhe,
51147 Köln

Nutzen
Höhere Effizienz bei der H_2-Erzeugung
Unterstützung regionaler Akteure beim Einstieg in das Thema und der Weiterentwicklung von High-Tech Produkten.

Technische Daten
-/-

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
Ausbau von Partnerschaften mit regionalen Unternehmen. Nutzung von Laboratorien und Großanlagen.

Realisierungszeitraum
kontinuierlich

B.16. Steckbrief »Biomassevergasung aus Holz und Grünschnitt«

Akteur: RSAG
Die RSAG möchte die Möglichkeiten zur Wasserstofferzeugung durch Biomassevergasung aus Grünschnitt und Holz im Rhein-Sieg-Kreis untersuchen.



Standort
RSAG-Entsorgungsanlage Swisttal
Lützermiel 1
53913 Swisttal

Nutzen
Verwertung von Biomasse und Produktion von grünem H_2.

Technische Daten
Potenzial für ca. 365 t H_2/a

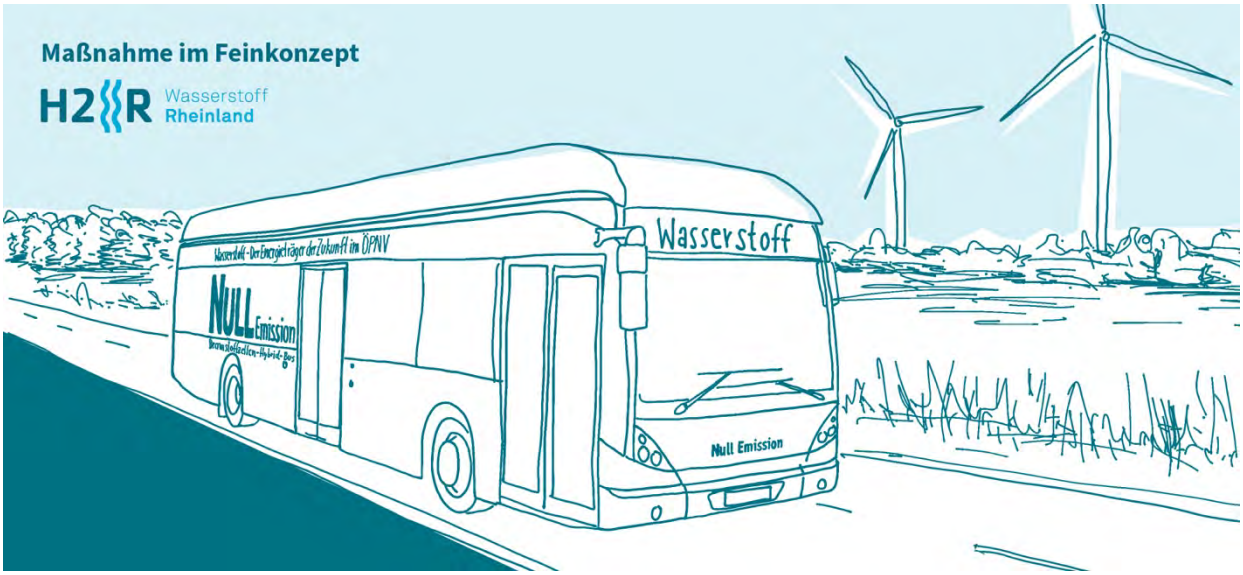
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
Technologiepartner für die Untersuchung sowie eine Pilotanlage, Fördermittel.

Realisierungszeitraum
Untersuchungen bis 2020
Pilotanlage im Jahr 2022

B.17. Steckbrief »Wasserstoff aus Kläranlage«

Akteure: Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR
Auf den Kläranlagen der Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR (StEB Köln) wird die Machbarkeit der dezentralen Erzeugung von grünem Wasserstoff durch Biogas-Reformierung auf Basis von Faulgas und durch Vergasung von Klärschlamm (Biomasse) geprüft.



Standort
Fünf Klärwerksstandorte im Kölner Stadtgebiet, u.a. Großklärwerk Stammheim und Klärwerk Langel

Nutzen
Bereitstellung von dezentral erzeugtem grünem Wasserstoff,
Übertragbarkeit auf Klärwerke in NRW/Deutschland.

Technische Daten
Potenzial für Reformierung ca. 300 tH_2/a
Potenzial für Vergasung bis zu ca. 400 tH_2/a

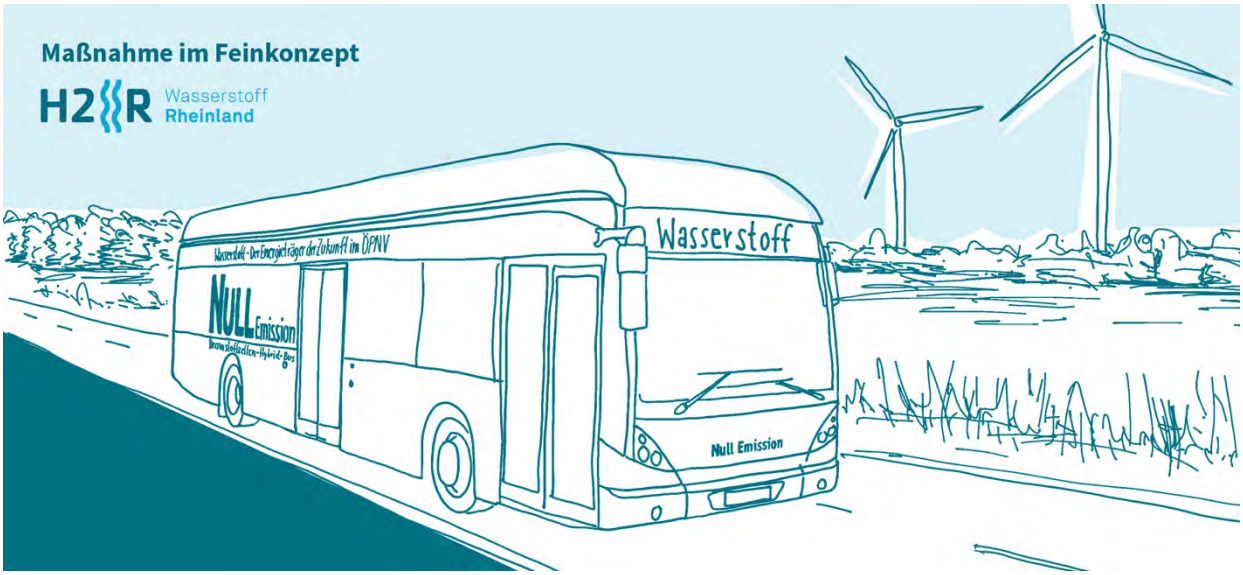
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
Technologische Reife Vergasungsanlage

Realisierungszeitraum
Projektidee: 2020
Umsetzung Forschungsprojekt: 2023
Realisierung: 2030

B.18. Steckbrief »Thermochemische Vergasung zur H_2-Erzeugung aus Biomasse«

Akteur: Blue Energy Europe GmbH
Die BEE entwickelt, baut und betreibt thermochemische Vergasungsanlagen mit dem Ziel aus energiehaltigen Stoffen (Biomasse, Waldrestholz, Klärschlamm usw.) Wasserstoff herzustellen.



Standort
-/-

Nutzen
Klimaneutraler Wasserstoff,
Wertschöpfung in der Region

Technische Daten
Skalierbare Anlagen, eine gute Anlagengröße liegt bei ca.1.700 kgH_2/d.

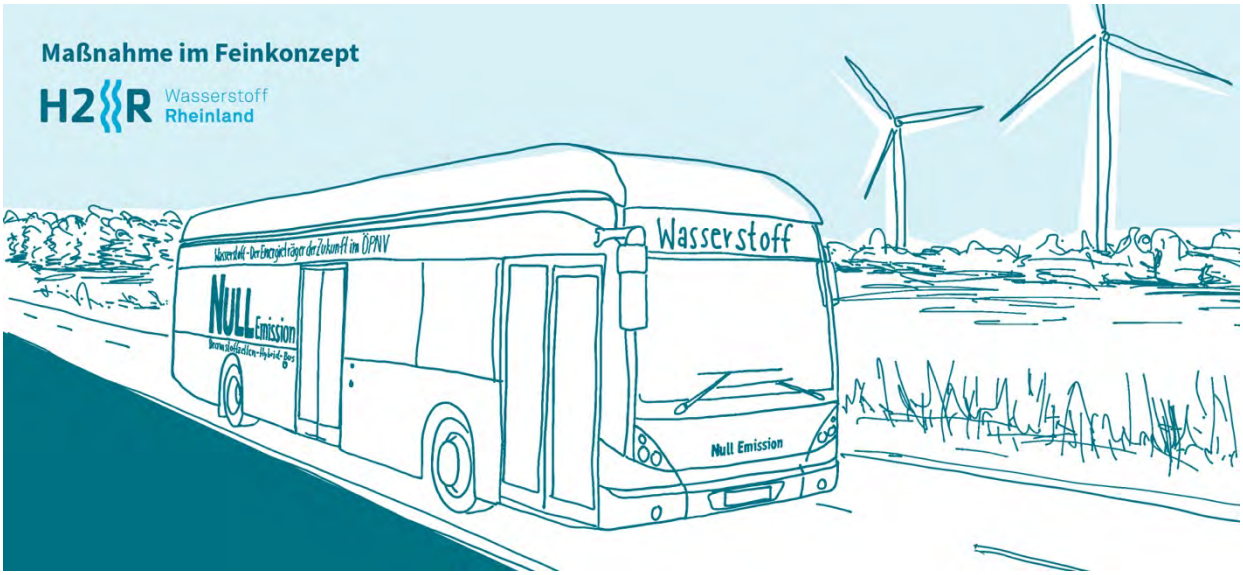
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Erzeugung

Voraussetzung
Geeignete Eingangsstoffe,
Anschluss an eine H_2-Pipeline oder H_2-Speicher

Realisierungszeitraum
Insgesamt ca. 3 Jahre.

B.19. Steckbrief »Vorfeld-Tankstelle«

Akteur: Flughafen Köln/Bonn
Zum Betrieb von Vorfeldfahrzeugen mit Brennstoffzelle ist eine Betankungsmöglichkeit von Wasserstoff in Vorfeldnähe erforderlich. Die Kapazität muss mit der Anzahl der in Betrieb genommenen Geräte mitwachsen.



Standort
Flughafen Köln/Bonn
Nordallee 1
51147 Köln

Nutzen
Emissionsverringerung,
CO_2-Einsparung,
Verbesserung des Mikroklimas für Passagiere und Beschäftigte.

Technische Daten
Druckstufe 350 bar
Betankung von ca. 200 Vorfeldgeräten

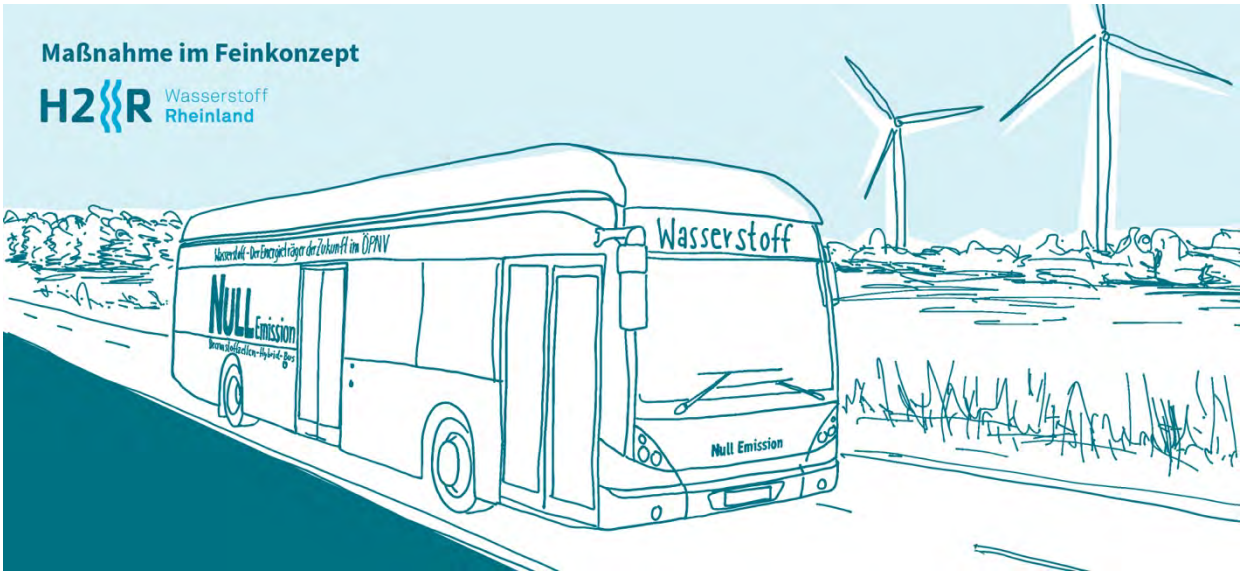
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Betankungsmöglichkeit mit der Möglichkeit einer Kapazitätsanpassung muss auf dem Markt verfügbar und finanzierbar sein.

Realisierungszeitraum
Start Planung 2020
Start Beschaffung 2021
Umsetzung 2021-2030

B.20. Steckbrief »Flächendeckender Aufbau von H_2-Tankstellen für PKW«

Akteur: H2-Mobility
Die H2Mobility koordiniert den flächendeckenden Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur zur Versorgung von BZ-Pkw in Deutschland.



Standort
Noch offen

Nutzen
Ermöglicht die flächendeckende Betankung von BZ-PKW.

Technische Daten
Druckstufe 350 bar
Druckstufe 700 bar

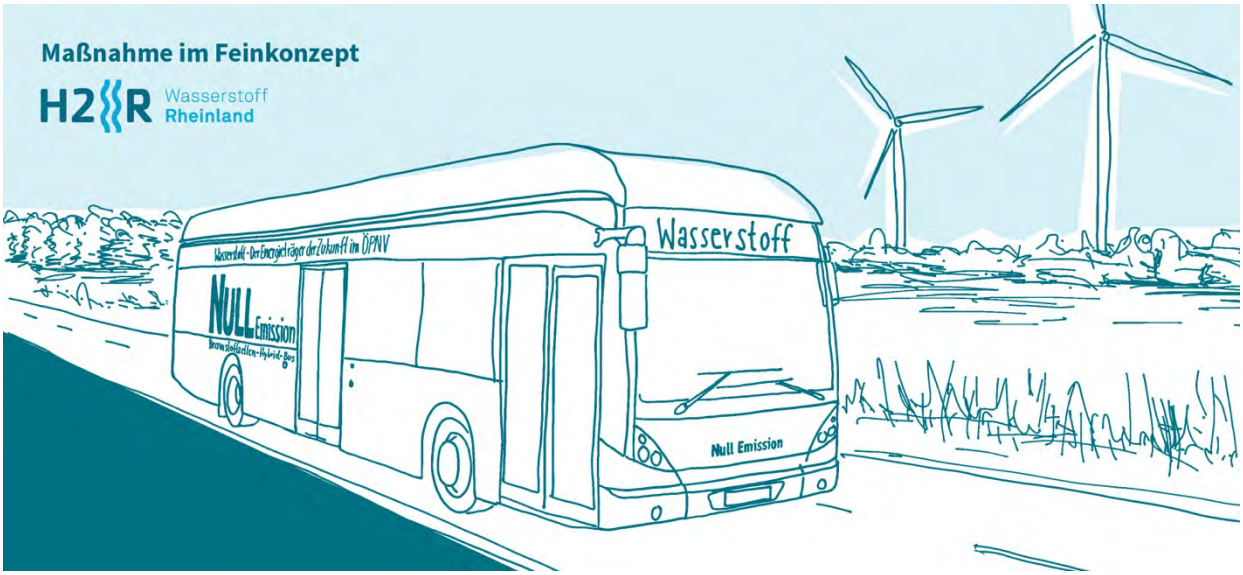
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle
Wasserstoffanlieferung

Realisierungszeitraum
laufend

B.21. Steckbrief »H_2-Tankstelle für PKW«

Akteur: H2 Mobility
Die Errichtung einer H_2-Tankstelle zur PKW-Betankung in Köln Ehrenfeld wird geprüft.



Standort
Köln-Ehrenfeld
Noch offen"

Nutzen
Die Wasserstofftankstelle ermöglicht den lokal emissionsfreien Betrieb von PKW, LNF und Abfallsammelfahrzeugen im Rheinland.

Technische Daten
Druckstufe 700 bar

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Erfolgreiche Standortprüfung,
Abgesichertes Nachfragekonzept von 25t H_2/a,
Genehmigungen lokaler Behörden.

Realisierungszeitraum
Planungsphase ab Q2 2020
Genehmigungsphase ab Q4 2020
Bau- und Testphase ab Q2 2021
Inbetriebnahme ab Q4 2021

B.22. Steckbrief »H_2-Tankstelle für PKW«

Akteure: H2Mobility, Air Liquide
Die H2Mobility koordiniert den flächendeckenden Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur zur Versorgung von BZ-PKW in Deutschland. An der Air Liquide Tankstelle in Frechen können PKW in 3 Minuten betankt werden.



Standort
H2 Mobility Air Liquide
Kölner Straße 209
50226 Frechen

Nutzen
Die Wasserstofftankstelle ermöglicht den lokal emissionsfreien Betrieb von PKW im Rheinland.

Technische Daten
Druckstufe 700 bar

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle
Wasserstoffanlieferung

Realisierungszeitraum
Seit Herbst 2018 in Betrieb

B.23. Steckbrief »H_2-Tankstelle für PKW«

Akteure: H2Mobility, Shell
Die H2Mobility koordiniert den flächendeckenden Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur zur Versorgung von BZ-PKW in Deutschland. An der Shell Tankstelle in Leverkusen können PKW in 3 Minuten betankt werden.



Standort
H2Mobility Shell
Karl Krekeler-Str. 2
51373 Leverkusen

Nutzen
Die Wasserstofftankstelle ermöglicht den lokal emissionsfreien Betrieb von PKW im Rheinland.

Technische Daten
Druckstufe 700 bar

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle
Wasserstoffanlieferung

Realisierungszeitraum
Seit Frühling 2019 in Betrieb

B.24. Steckbrief »H_2-Tankstelle für PKW«

Akteure: H2Mobility, Shell
Die H2Mobility koordiniert den flächendeckenden Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur zur Versorgung von BZ-PKW in Deutschland. An der Shell Tankstelle in Wesseling können in Zukunft PKW in 3 Minuten betankt werden.



Standort
H2Mobility, Shell
Ahrstraße 99
50389 Köln Wesseling

Nutzen
Die Wasserstofftankstelle ermöglicht den lokal emissionsfreien Betrieb von PKW im Rheinland.

Technische Daten
Druckstufe 700 bar

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle
Wasserstoffanlieferung

Realisierungszeitraum
Baubeginn im Jahr 2019
Inbetriebnahme im Jahr 2020

B.25. Steckbrief »H_2-Tankstelle für PKW«

Akteure: H2Mobility, Shell
Die H2Mobility koordiniert den flächendeckenden Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur zur Versorgung von BZ-PKW in Deutschland. An der Shell Tankstelle in Bonn können in Zukunft PKW in 3 Minuten betankt werden.



Standort
H2Mobility, Shell
Hermann-Wandersleb-Ring 53121 Bonn

Nutzen
Die Wasserstofftankstelle ermöglicht den lokal emissionsfreien Betrieb von PKW im Rheinland.

Technische Daten
Druckstufe 700 bar

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle
Wasserstoffanlieferung

Realisierungszeitraum
Inbetriebnahme im Jahr 2020

B.26. Steckbrief »H_2-Tankstelle für PKW«

Akteure: H2Mobility, Total
Die H2Mobility koordiniert den flächendeckenden Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur zur Versorgung von BZ-PKW in Deutschland. An der TOTAL Tankstelle am Flughafen Köln/Bonn können PKW, Busse und LKW betankt werden.



Standort
Flughafen Köln/Bonn
Nordallee 1
51147 Köln

Nutzen
Die Tankstelle ermöglicht den Betrieb von Brennstoffzellen-PKW, -Bussen und -Nutzfahrzeugen zur Vermeidung lokaler Emissionen im Straßenverkehr.

Technische Daten
Druckstufe 350 bar
Druckstufe 700 bar

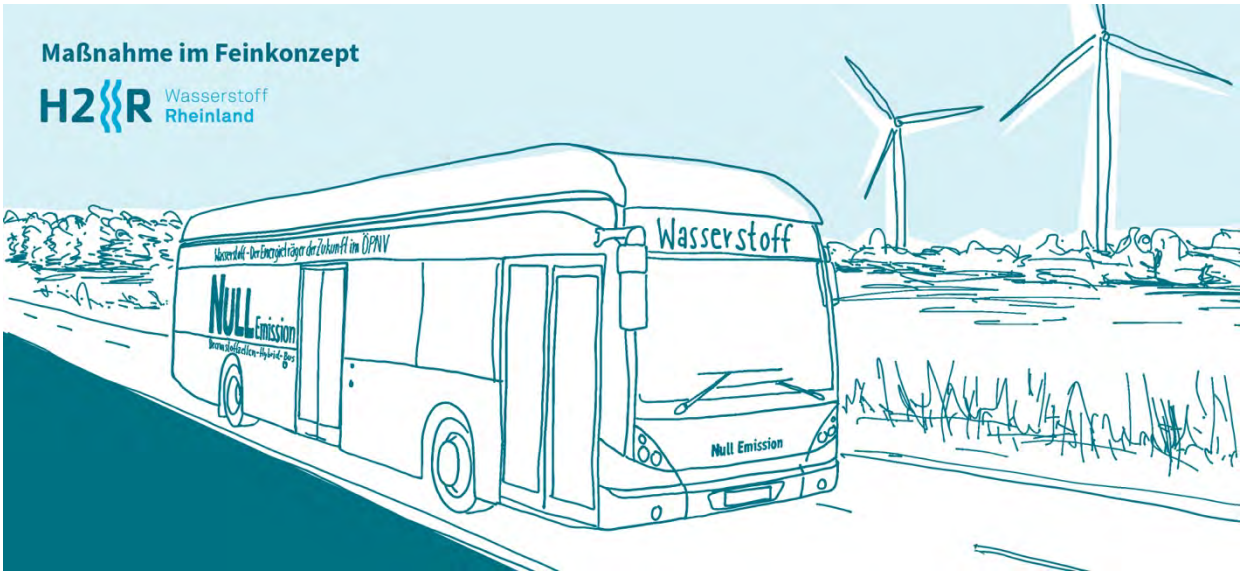
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle
Wasserstoffanlieferung

Realisierungszeitraum
Seit Herbst 2017 in Betrieb

B.27. Steckbrief »H_2-Tankstelle an der H-BRS«

Akteur: H-BRS
Auf dem Gelände der H-BRS in Sankt Augustin wird eine Wasserstofftankstelle errichtet.



Standort
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Grantham-Allee 20
53757 Sankt Augustin

Nutzen
Schließung der Versorgungslücke, Sichtbarkeit der Technologie, enge Verbindung zu Forschung und Lehre.

Technische Daten
Wasserstofftankstelle

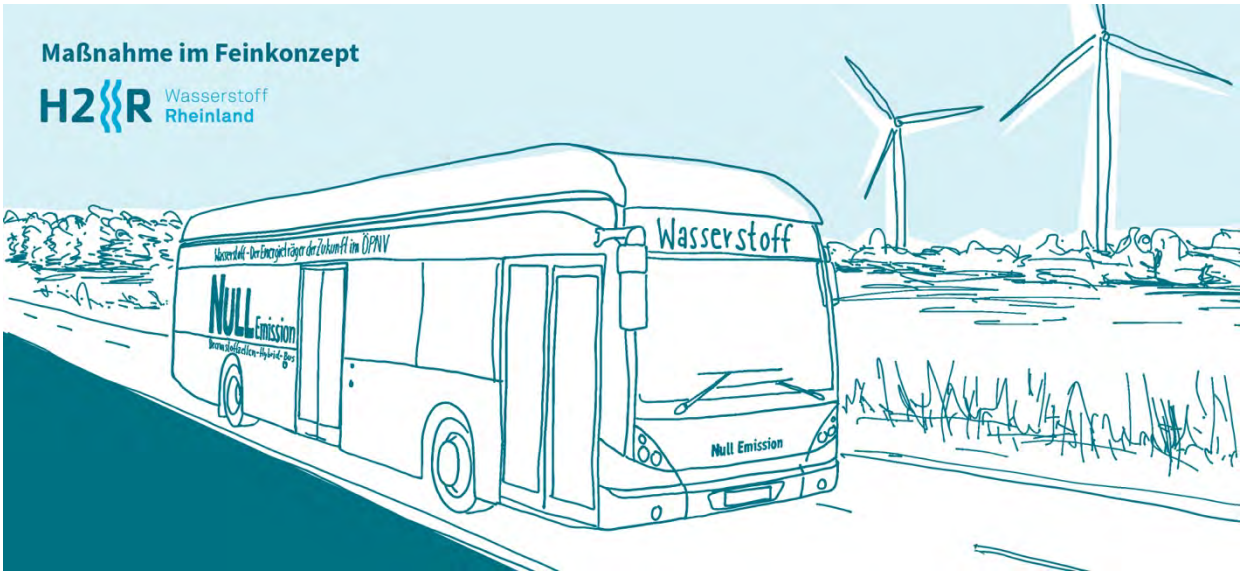
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Machbarkeit geprüft, Investor identifiziert, Finanzierung gewährleistet.

Realisierungszeitraum
Vermutlich 2023

B.28. Steckbrief »H_2-Tankstelle für NFZ«

Akteur: HGK
Die bestehende LNG-Tankstelle im Hafen kann um Wasserstoff erweitert werden.



Standort
Hafen Köln Niehl
Am Stapelkai
50735 Köln

Nutzen
Betankungsmöglichkeit für BZ-Fahrzeuge

Technische Daten
-/-

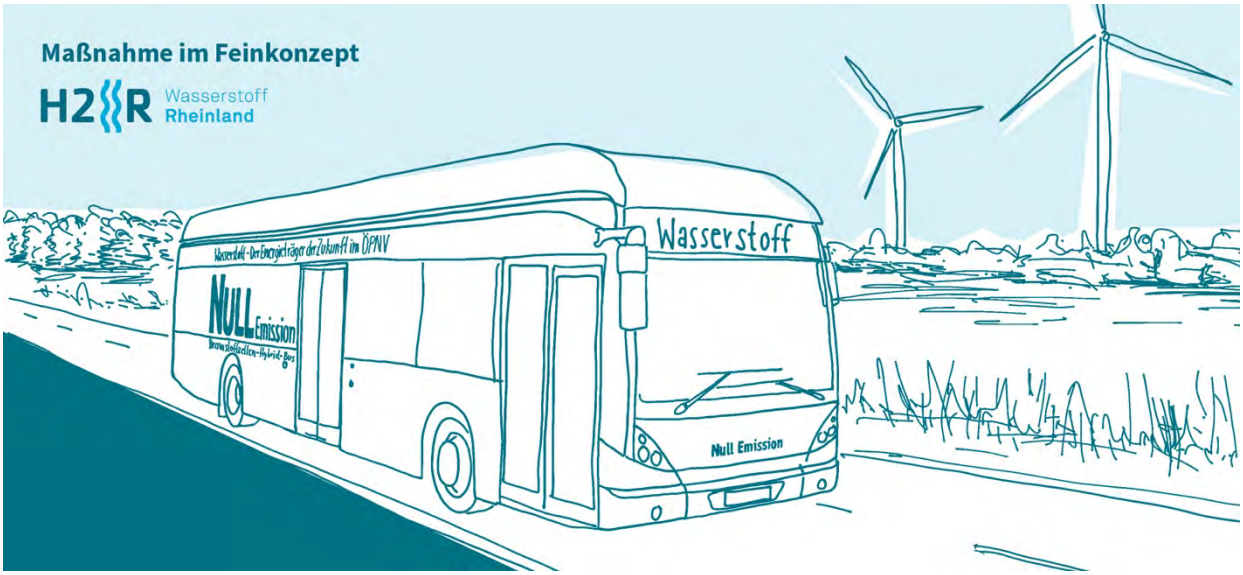
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle
Zuschüsse

Realisierungszeitraum
Start Planung 2021
Start Beschaffung 2022
Start Betrieb 2024

B.29. Steckbrief »H_2-Tankstelle für NFZ«

Akteur: HGK
Der Bau einer Tankstelle für H_2-Lokomotiven soll geprüft werden. Evtl. kann die Anlieferung des erforderlichen Wasserstoffs von Shell auf einer existierenden Bahnlinie erfolgen.



Standort
Betriebswerk Brühl-Vochem
Am Volkspark 20
50321 Brühl

Nutzen
Betankungsmöglichkeit für BZ-Güterzüge für einen emissionsfreien Güternahverkehr.

Technische Daten
noch offen

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle
Zuschüsse

Realisierungszeitraum
Start Planung 2021
Start Beschaffung 2022
Start Betrieb 2024

B.30. Steckbrief »H_2-Tankstelle für Busse«

Akteur: Kölner Verkehrs-Betriebe AG
Die KVB prüft in einer Machbarkeitsstudie zur Wasserstoffinfrastruktur auf dem Betriebshof Hürth insbesondere die Machbarkeit der Errichtung einer Wasserstofftankstelle (hinsichtlich Infrastruktur und Wirtschaftlichkeit).



Standort
Betriebshof der Schilling Omnibusverkehr GmbH
Bonnstraße 260
50354 Hürth

Nutzen
Erreichung der Klimaschutzziele und höherer Lebensqualität durch den Einsatz von alternativen Antriebstechnologien und einem emissionsfreien ÖPNV.

Technische Daten
-/-

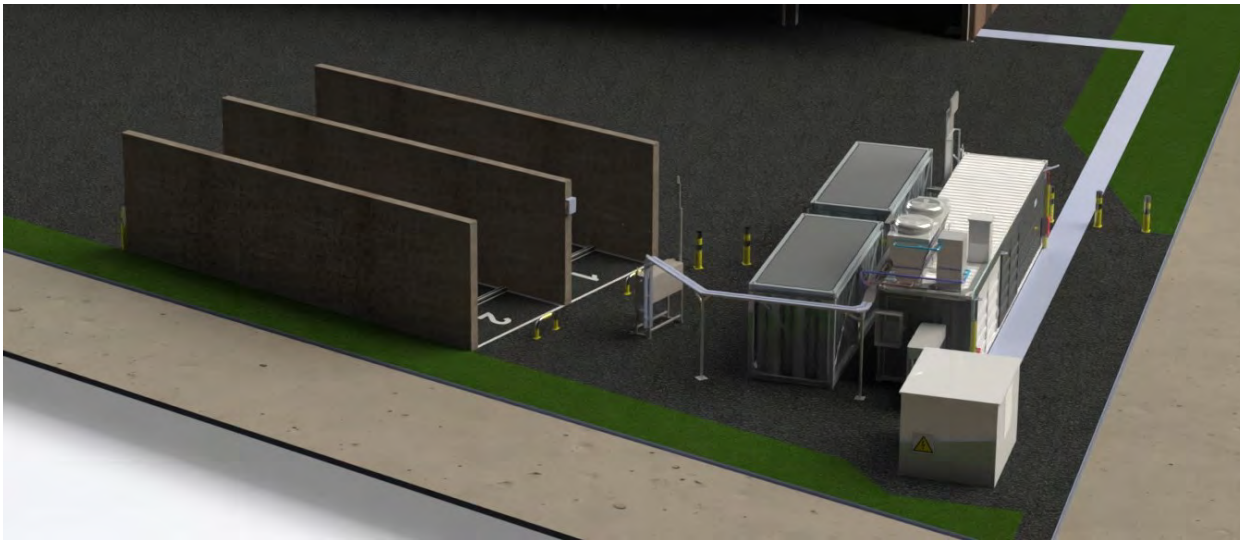
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Technische/Infrastrukturelle Voraussetzungen,
Wirtschaftlichkeit,
Strategische Entscheidung für BZ-Busse auf ausgewählten Linien.

Realisierungszeitraum
Abschluss der Machbarkeitsstudie bis Ende 2020 angestrebt

B.31. Steckbrief »H_2-Tankstelle für Busse«

Akteure: Regionalverkehr Köln GmbH
Die Regionalverkehr Köln GmbH errichtet auf ihrem Betriebshof in Meckenheim eine Wasserstofftankstelle zur Betankung von Brennstoffzellenbussen mit 350 bar. Die Tankstelle wird Ende August/Anfang September im Betrieb sein.



Standort
RVK Niederlassung
Rhein-Sieg-Kreis Kalkofenstraße 1
53340 Meckenheim

Nutzen
Die Tankstelle ermöglicht die Umstellung der Busflotte der RVK und stellt somit die Grundlage für einen emissionsfreien ÖPNV dar.

Technische Daten
Druckstufe 350 bar für Busse und Nfz
Mögliche Erweiterung auf Druckstufe 700 bar für Pkw

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle
Wasserstoffanlieferung

Realisierungszeitraum
Inbetriebnahme Ende August/Anfang September 2020

B.32. Steckbrief »H_2-Tankstelle für Busse«

Akteure: Regionalverkehr Köln GmbH
Die Regionalverkehr Köln GmbH errichtet auf ihrem Betriebshof in Wermelskirchen eine Wasserstofftankstelle zur Betankung von Brennstoffzellenbussen mit 350 bar. Die Tankstelle wird Ende August/Anfang September im Betrieb sein.



Standort
RVK Niederlassung
Rheinisch-Bergischer Kreis Braunsberger Str. 1
42929 Wermelskirchen

Nutzen
Die Tankstelle ermöglicht die Umstellung der Busflotte der RVK und stellt somit die Grundlage für einen emissionsfreien ÖPNV dar.

Technische Daten
Druckstufe 350 bar für Busse und Nfz
Mögliche Erweiterung auf Druckstufe 700 bar für Pkw

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle
Wasserstoffanlieferung

Realisierungszeitraum
Inbetriebnahme Ende August/Anfang September 2020

B.33. Steckbrief »H_2-Tankstelle für Busse und NFZ«

Akteur: Regionalverkehr Köln GmbH
Die RVK plant die Errichtung eines grünen Betriebshofes im Bereich Bergisch Gladbach / Bensberg. Dort sollen ausschließlich emissionsfreie Fahrzeuge eingesetzt und klimaneutrale Mobilitätskonzepte für die Region etabliert werden. Das Energiekonzept für den Betriebshof ist ebenfalls weitgehend regenerativ.



Standort
Bergisch Gladbach/Bensberg/A4 Anschlussstelle Bensberg (früher Moitzfeld)

Nutzen
Höhere Lebensqualität und Klimaschutz neue ÖPNV-Konzepte im Ballungsraum. Generierung und Vermittlung von Wissen durch Kooperationen.

Technische Daten
ca. 50 Busse mit rd. 50-70.000 km/a

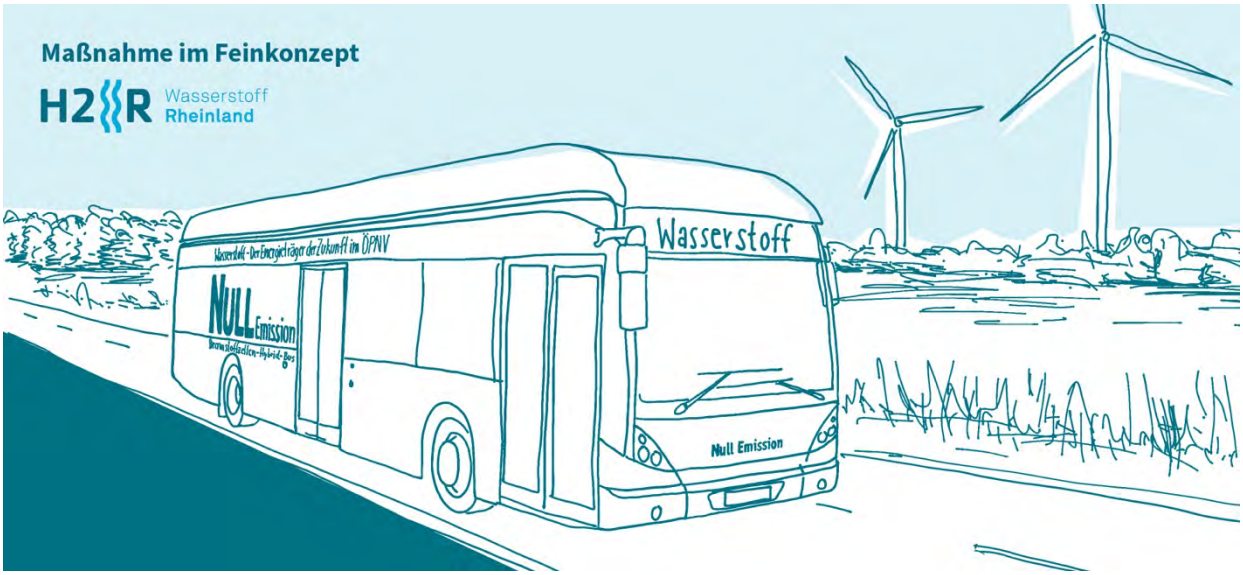
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Geeignetes Grundstück, H_2-Tankstelle, Energiekonzept für Betriebshof, Anlagen für Produktion (Satelliten)/Transport von H_2.

Realisierungszeitraum
Realisierung: Bau 2021/2022
Umsetzung: Anfang 2023, jeweils bei zeitgleicher Entwicklung der Satelliten

B.34. Steckbrief »H_2-Tankstelle für NFZ«

Akteur: Stadtwerke Hürth
Die Errichtung einer weiteren Wasserstofftankstelle in Hürth stellt die Versorgungssicherheit der RVK-Busflotte sicher und bietet Optionen für eine H_2-LKW-Betankung & ggf. PKW.



Standort
Hürth Kalscheuren mit räumlicher Nähe zur B265

Nutzen
Die Tankstelle ermöglicht den Betrieb von BZ-PKW, -Bussen und -LKW zur Vermeidung lokaler Emissionen,
Öffentliche Sichtbarkeit.

Technische Daten
Druckstufe 350 bar und 700 bar
bei 30 Fahrzeugen: 750 kg/d

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Grundstück
Genehmigung für Bau und Betrieb
Betreiber und Bauherr

Realisierungszeitraum
Planung Sommer 2020
Betreibersuche bis Herbst 2020
Betriebsstart Ende 2021- Anfang 2022

B.35. Steckbrief »H_2-Tankstelle Knapsack«

Akteure: Stadtwerke Hürth, Air Products, InfraServ Knapsack, Nippon Gases, HyCologne
Die Tankstelle in Hürth wurde 2008 von HyCologne konzipiert, um den Nebenproduktwasserstoff aus der Chlor-Alkali-Elektrolyse kostengünstig der Mobilität und insbesondere dem ÖPNV zur Verfügung zu stellen. Dies ermöglicht die Betankung von Bussen und LKW. Auch PKW mit einem passenden Tankstutzen können hier betankt werden.



Standort
Industriepark Knapsack
Industriestraße
50354 Hürth

Nutzen
Die Tankstelle in Hürth ermöglicht die Betankung von Bussen und LKW. Auch PKW mit einem passenden Tankstutzen können hier betankt werden.

Technische Daten
Druckstufe 350 bar
Betankung von 10 - 12 BZ-Bussen

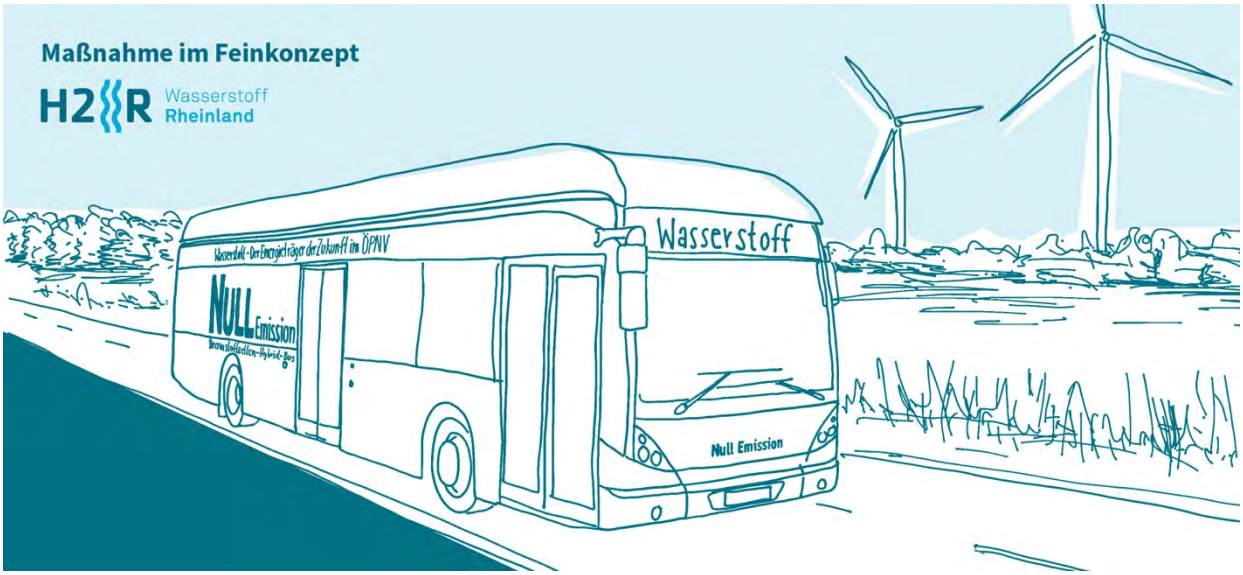
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Am Standort Knapsack wird weiterhin eine Chlor-Alkali-Elektrolyse betrieben.

Realisierungszeitraum
Seit 2010 in Betrieb

B.36. Steckbrief »Mobile H_2-Tankstelle«

Akteure: Toyota Tsusho & Wystrach
Toyota und Wystrach planen den Bau einer mobilen Tankstelle. Durch die mobile Tankstelle kann Wasserstoff räumlich flexibel und zeitlich befristet bereitgestellt werden.



Standort
Flexible Einsatz durch mobile Lösung an Standorten, an denen eine fixe H_2 Station noch nicht möglich/ nicht sinnvoll ist.

Nutzen
Mobile Befüllung von Bus, LKW, Gabelstapler, etc.

Technische Daten
Entnahmekapazität 120 kg H_2/Tag,
Druckniveau 350 bar

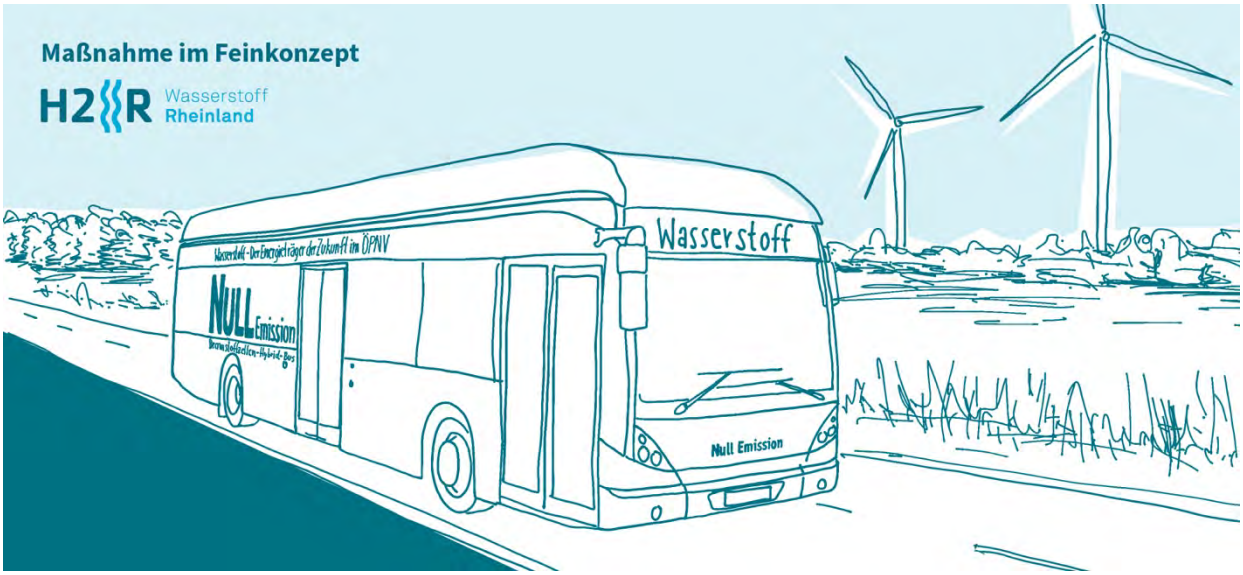
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Fördermöglichkeiten

Realisierungszeitraum
Start Planung 2020
Start Beschaffung 2021
Start Betrieb Mitte/Ende 2021

B.37. Steckbrief »Wasserstofftransport per Trailer«

Akteur: Air Products
Air Products plant die Erweiterung der Wasserstoff-Hochdrucktrailer-Flotte.



Standort
Marl

Nutzen
höhere Lebensqualität und Klimaschutz durch z.B. emissionsfreien ÖPNV, Reduzierung der Emissionen beim Wasserstofftransport.

Technische Daten
300 -500 bar

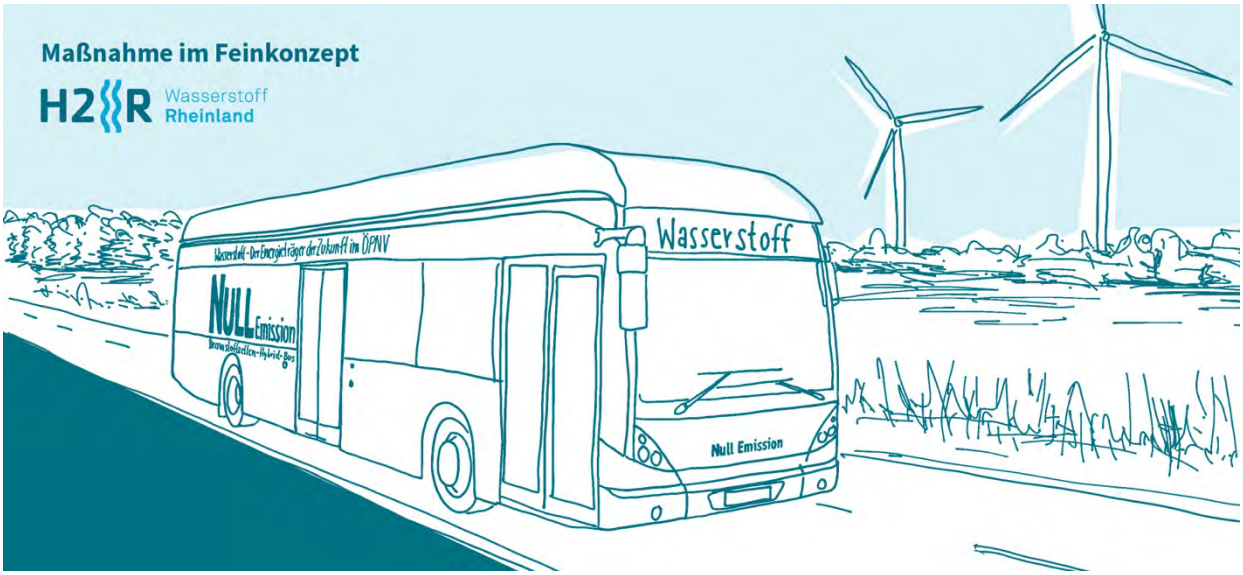
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Großabnehmer
Bus/Lkw-Tankstellen

Realisierungszeitraum
ab 2021 bei ausreichender Nachfrage

B.38. Steckbrief »H_2 Trailerabfüllung

Akteur: Linde
Linde plant den Bau einer 300 bar Wasserstoff-Trailer-Abfüllung. Perspektivisch kann aus dieser Quelle auch grüner (zertifizierter) Wasserstoff angeboten werden. Bestandteil der Investition ist auch die Anschaffung von 300 bar Trailern bei einem Investitionsvolumen im 2-stelligen Millionenbereich.



Standort
Chemiepark Dormagen

Nutzen
Bereitstellung von grünem H_2, Einsparung von Kosten und CO_2 beim Transport (Verdopplung der Transportmenge ggn. 200 bar-Trailern).

Technische Daten
5 Trailer-Füllplätze,
Druckniveau 300 bar, Wasserstoffreinheit 5.0

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
-/-

Realisierungszeitraum
Trailer-Abfüllung befindet sich im Bau, geplante Inbetriebnahme Mitte 2021

B.39. Steckbrief »HyCologne HyPipCo«

Akteure: HyCologne, Thyssengas, Stadtwerke Hürth, GVG, Propan Rheingas, Neuman+Esser, Rheinische Netzgesellschaft, Westnetz, Innogy

HyCologne schafft eine Plattform zur Umwidmung, zur Vernetzung und zum Aufbau eines Wasserstoff-Pipeline-Netzwerkes um die Millionenmetropole Köln. Diese könnte in einem zweiten Schritt in die Region wachsen und sich zudem an weitere Pipelines außerhalb der Region anschließen.



Standort
HyCologne Hürth
Goldenbergstraße 1
50354 Hürth

Nutzen
Versorgungssicherheit/kostengünstigere Bereitstellung von H_2,
Möglichkeit nachhaltigen H_2 anzubieten,
Hochskalierung der H_2-Mengen.

Technische Daten
Im Feinkonzept überschlägig ermittelt:
ca. 100 km Pipeline
Durchsatz im Jahr 2030 ca. 17.300 t/a

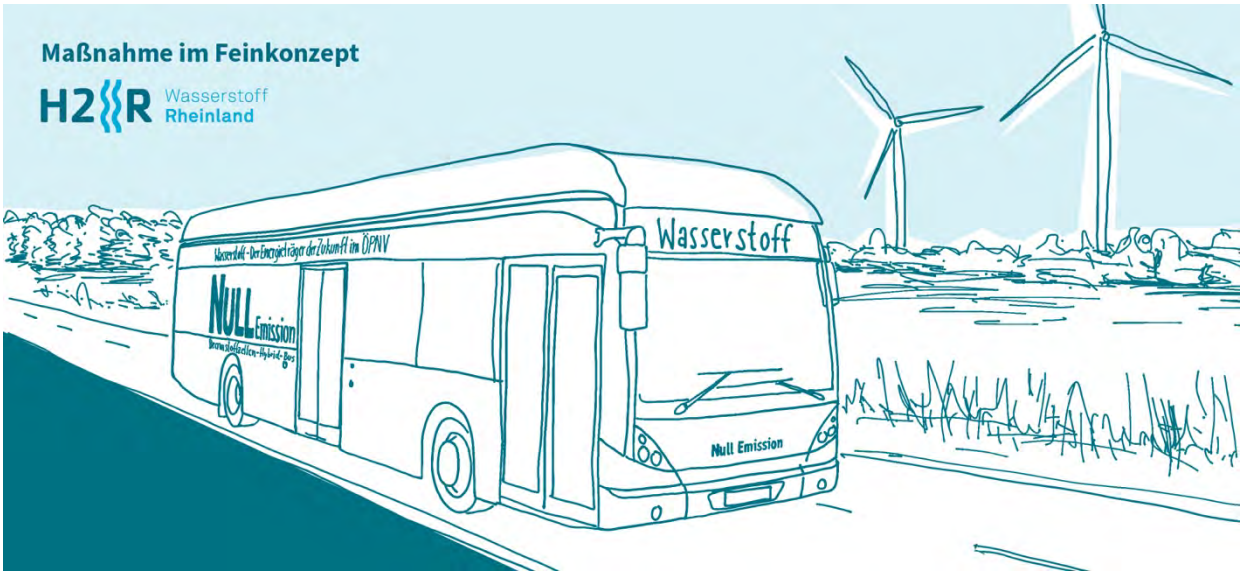
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
kritische Mengen an Akteuren, politische und rechtliche Rahmenbedingungen gegeben.

Realisierungszeitraum
Planungsphase seit 2019
Betrieb: noch offen

B.40. Steckbrief »H_2-Hubs und Pipelinesimulation«

Akteur: H-BRS
Im Rahmen der Untersuchungen zum Aufbau und Betrieb einer Wasserstoffpipeline in der rheinischen Region soll die technische Umsetzbarkeit von sogenannten H_2-Hubs (dezentrales Verteilzentrum der Wasserstoffwirtschaft) geprüft werden. In einer Machbarkeitsstudie werden technische und physikalische Auswirkungen von H_2-Hubs in einem Wasserstoffleitungsnetz untersucht.



Standort
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Grantham-Allee 20
53757 Sankt Augustin

Nutzen
Diskriminierungsfreier Zugang zum Wasserstoffmarkt für alle Akteure,
Minimierung des Henne-Ei-Problems der Wasserstoffwirtschaft.

Technische Daten
Erarbeitung der technischen und physikalischen Anforderungen an H_2-Hubs

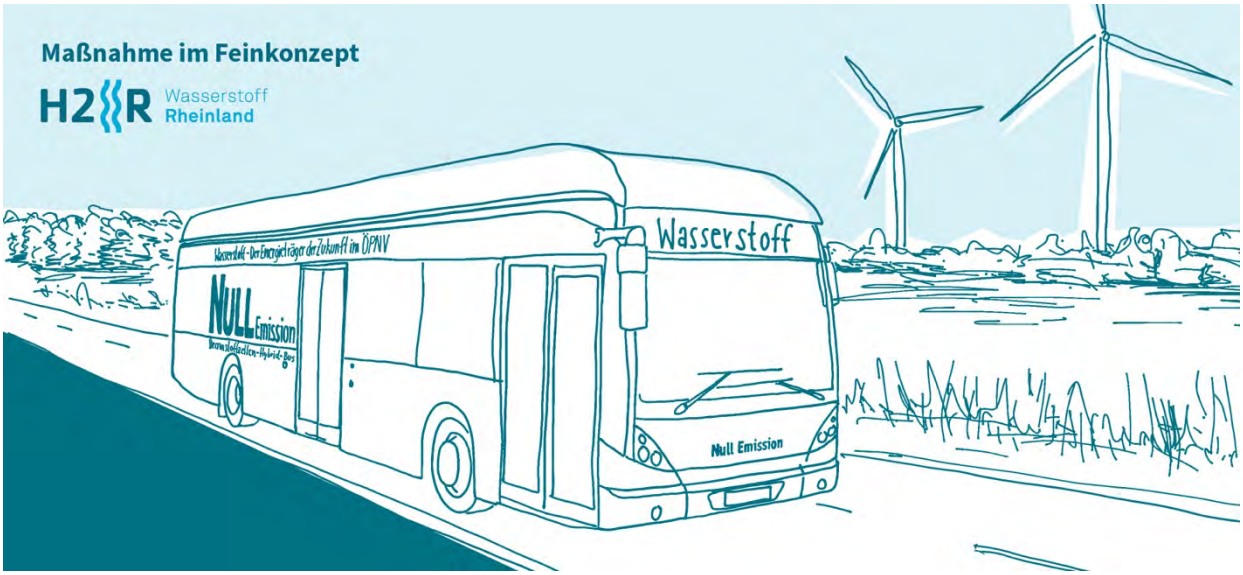
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Finanzierung der Machbarkeitsstudie

Realisierungszeitraum
Vermutlich 2020/2021

B.41. Steckbrief »Großvolumiger H_2-Transport«

Akteur: Hydrogenious LOHC Technologies GmbH
Im Rahmen des europäischen Förderregimes IPCEI ist die großskalige Erzeugung von grünem Wasserstoff und der Transport mittels der LOHC Technologie geplant. Dabei wird der Transport auch über die Binnenschifffahrt entlang des Rheins erfolgen. In diesem Rahmen ergibt sich die Möglichkeit grünen Wasserstoff über eine bestehende Infrastruktur entlang des Rheins zu beziehen.



Standort
Entlang des Rheins

Nutzen
Wir stellen die Infrastruktur zur Verfügung. Sie reduzieren Emissionen durch den Einsatz von grünem Wasserstoff.

Technische Daten
ca. 10.000 t H_2/a

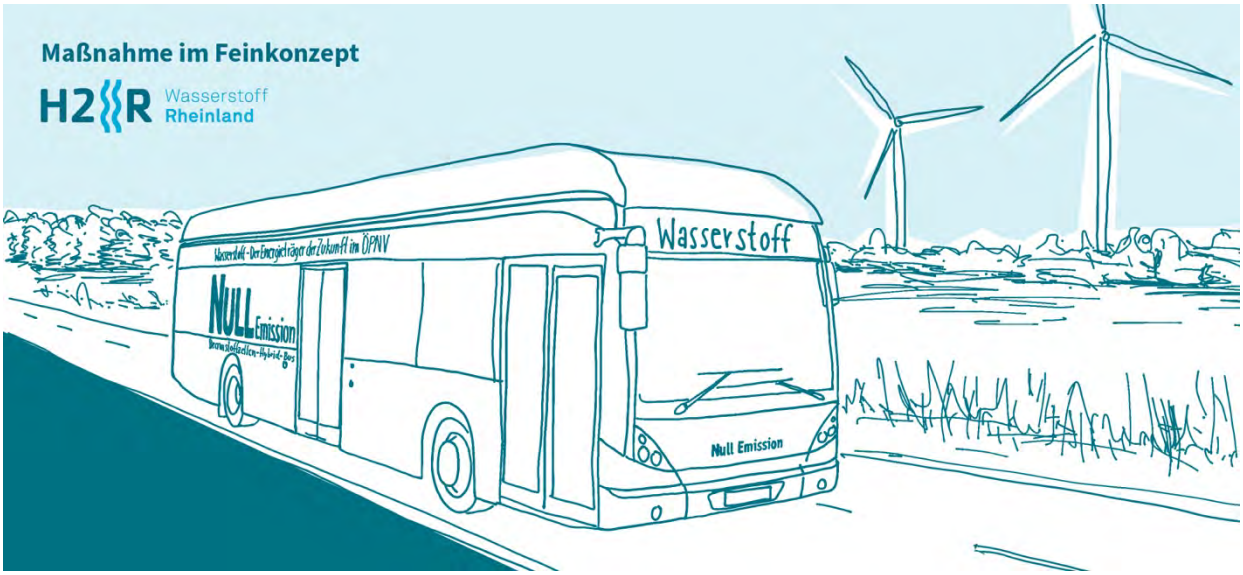
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Prozess oder Vorhaben mit größerem Wasserstoffbedarf.

Realisierungszeitraum
Start Planung: laufen schon
Start Betrieb: Aktuell geplant im Jahr 2025

B.42. Steckbrief »H_2 StoragePLANT Dormagen«

Akteure: Hydrogenious LOHC Technologies GmbH, Chemiepark Dormagen
Zusammen mit einem großen Chemiekonzern werden wir im Chemiepark Dormagen die erste Einspeicheranlage (StoragePLANT) im Rahmen eines Pilotprojektes errichten. Die Anlagen sind so konzipiert, dass zusätzliche Kapazitäten vorhanden sind und dadurch ab 2022 weitere Abnehmer in der Region mit grünem Wasserstoff beliefert werden können.



Standort
Chemiepark Dormagen

Nutzen
Wir stellen die Infrastruktur zur Verfügung. Sie reduzieren Emissionen durch den Einsatz von grünem Wasserstoff.

Technische Daten
Kapazität mit 5 t H_2/d
Kurzfristig verfügbar: 3,5 t H_2/d

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Prozess oder Vorhaben mit größerem Wasserstoffbedarf.

Realisierungszeitraum
Start Planung: laufen
Start Betrieb: Aktuell geplant für Ende 2022

B.43. Steckbrief »H_2-Messgerät zur Messung der Wasserstoffreinheit«

Akteur: EMCEL
Das Ingenieurbüro EMCEL GmbH plant den Aufbau eines weiteren Messgeräts zur kontinuierlichen Messung der Reinheit des Wasserstoffs. Das Messgerät wird auch für den mobilen Einsatz ausgelegt.



Standort
EMCEL GmbH
Am Wassermann 28a
50829 Köln

Nutzen
Die Messung der Wasserstoffreinheit ermöglicht die Identifizierung von Verunreinigungen.

Technische Daten
Online-Messung von Verunreinigungen im ppb-Bereich

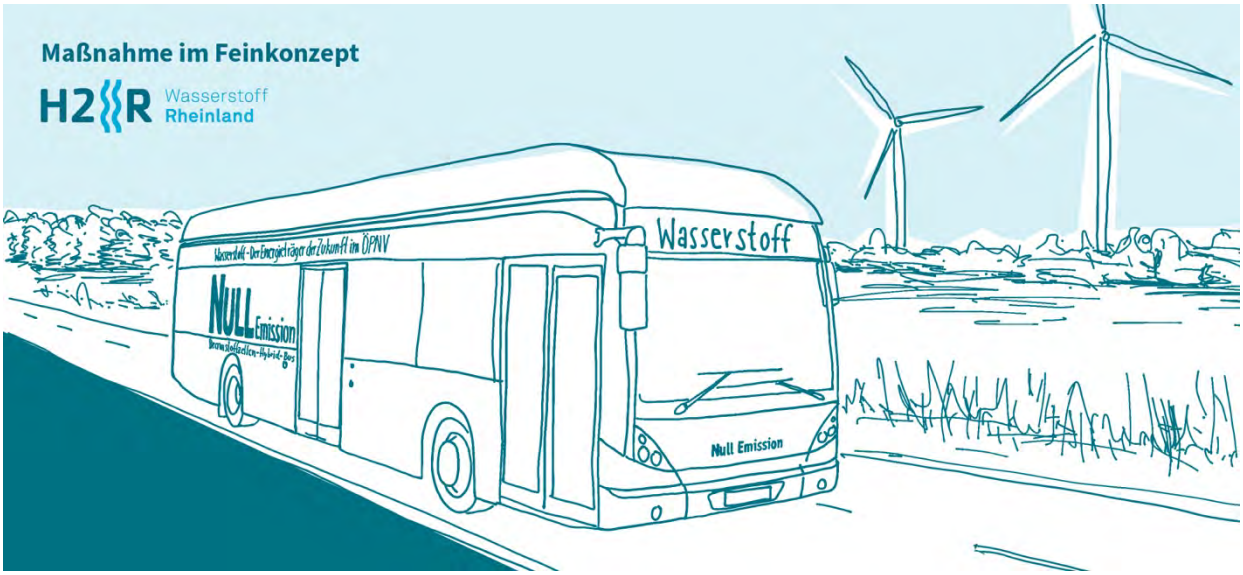
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Verteilung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle
Messstelle

Realisierungszeitraum
Aufbau des Systems von 2019 – 2020
Inbetriebnahme 2020

B.44. Steckbrief »Ride-Pooling mit BZ-Fahrzeugen«

Akteur: CleverShuttle
CleverShuttle prüft die Voraussetzungen, um im Rheinland ein Ride-Pooling mit Brennstoffzellen-Fahrzeugen zu betreiben.



Standort
Region Wasserstoff Rheinland

Nutzen
Einsparung lokaler Emissionen im Straßenverkehr durch ein innovatives Mobilitätskonzept.

Technische Daten
Einsatz von 50 – 100 BZ-Fahrzeugen überschlägig ermittelt im Rahmen des Feinkonzepts: Abnahme von bis zu 140 t/a

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Investition nicht signifikant höher (als. Batterie-elektrischen Fahrzeugen), mind. 2-3 Wasserstoff-Tankstellen in der Region.

Realisierungszeitraum
Planungsphase ab 2020
Realisierungsphase ab 2021-2025

B.45. Steckbrief »Brennstoffzellen-Busse der RVK«

Akteure: Regionalverkehr Köln GmbH, Kommunen und Kreise
Die Regionalverkehr Köln GmbH plant den Busbetrieb ab 2030 komplett emissionsfrei durchzuführen. Dafür werden seit 2011 Brennstoffzellenbusse beschafft.



Standort
Regionalverkehr Köln GmbH
Betriebshof Bonnstraße 260
50354 Hürth

Nutzen
Der Einsatz von Brennstoffzellen-Bussen spart lokale und CO_2-Emissionen. Zudem fahren die Busse leiser als Dieselbusse.

Technische Daten
bisher: 12 BZ-Busse in Betrieb ggf. Ausweitung auf 52 Busse bis 2021/2022
Wasserstoffbedarf pro Bus ca. 5t/a

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
H_2-Versorgung
H_2-Tankstelle
H_2-Werkstatt

Realisierungszeitraum
Seit 2011
ab 2030 sollen alle Busse der RVK (ca. 250) emissionsfrei fahren

B.46. Steckbrief »Flughafenbus der RVK«

Akteur: Regionalverkehr Köln GmbH
Zur Verbindung der östlichen Städte Bergisch-Gladbach, Bensberg und Refrath mit dem Flughafen fährt ein BZ-Flughafenbus seit der zweiten Jahreshälfte im Jahr 2020.



Standort
Flughafen Köln/Bonn
Nordallee 1
51147 Köln

Nutzen
Der Einsatz von Brennstoffzellen-Bussen spart lokale und CO_2-Emissionen. Zudem fahren die Busse leiser als Dieselbusse.

Technische Daten
Wasserstoffbedarf pro Bus ca. 5 t/a

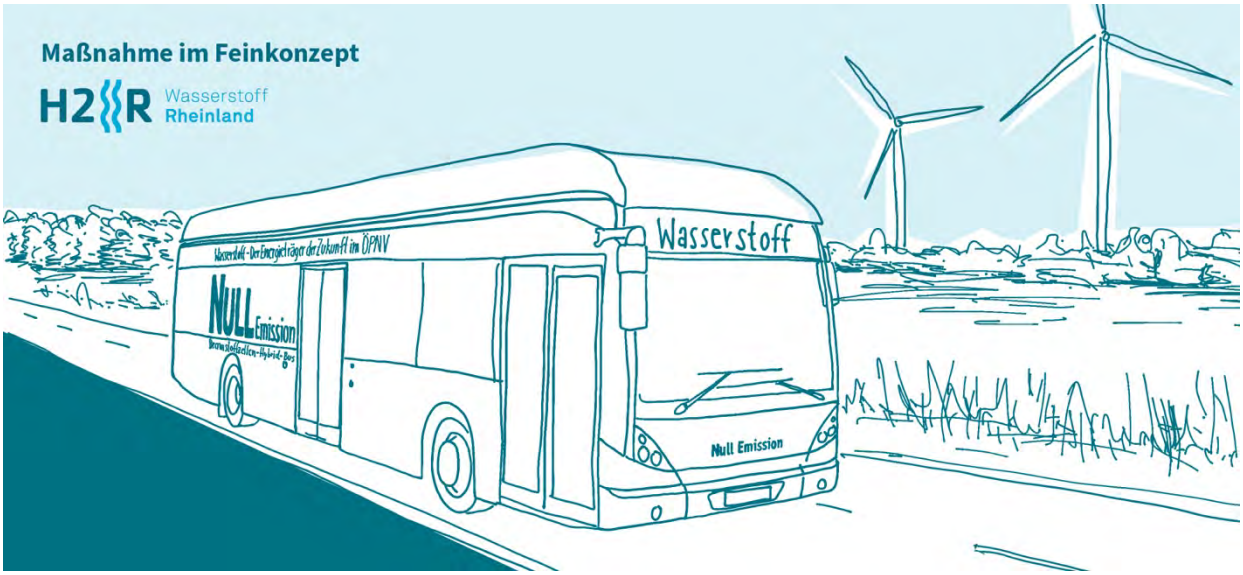
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle, Wasserstofftankstelle

Realisierungszeitraum
Inbetriebnahme Anfang 2020

B.47. Steckbrief »Prüfung der Elektrifizierung der Busflotte«

Akteur: Kölner Verkehrs-Betriebe AG
Die KVB prüft in einer Machbarkeitsstudie den Ausbau der Busflotte mit brennstoffzellen-betriebenen Bussen und ein Betrieb auf dafür wirtschaftlich geeigneten Linien.



Standort
Betriebshof der Schilling Omnibusverkehr GmbH
Bonnstraße 260
50354 Hürth

Nutzen
Erreichung der Klimaschutzziele und höherer Lebensqualität durch den Einsatz von alternativen Antriebstechnologien und einem emissionsfreien ÖPNV.

Technische Daten
-/-

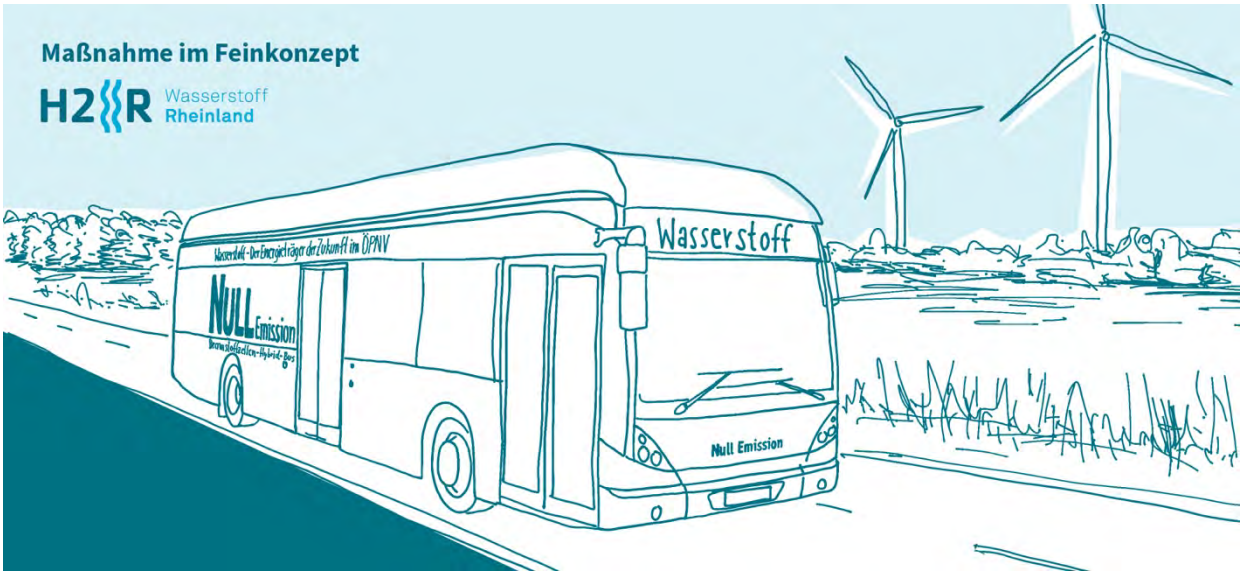
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Technische/Infrastrukturelle Voraussetzungen,
Wirtschaftlichkeit,
Strategische Entscheidung für BZ-Busse auf ausgewählten Linien.

Realisierungszeitraum
Abschluss der Machbarkeitsstudie bis Ende 2020 angestrebt

B.48. Steckbrief »Bus-Shuttle«

Akteur: Stadt Köln
Eine Studie soll für den Shuttle-Betrieb von einem Reisebusterminal am Kuhweg in die Innenstadt einen Systemvergleich zwischen dem Einsatz von batterie-elektrisch angetriebenen und auf Wasserstoffbasis angetriebenen Shuttle-Bussen durchführen.



Standort
Bus-Shuttle
Kuhweg
50735 Köln

Nutzen
Das Vorhaben spart Emissionen, verbessert die Auslastung vorgesehener Wasserstofftankstellen und stärkt die Wirtschaftlichkeit dieser Investitionen.

Technische Daten
Ca. 900 Fahrzeugkilometer pro Tag überschlägig ermittelt im Rahmen des Feinkonzepts: Ca. 70 kg H_2/d bei Einsatz eines 12m-Busses

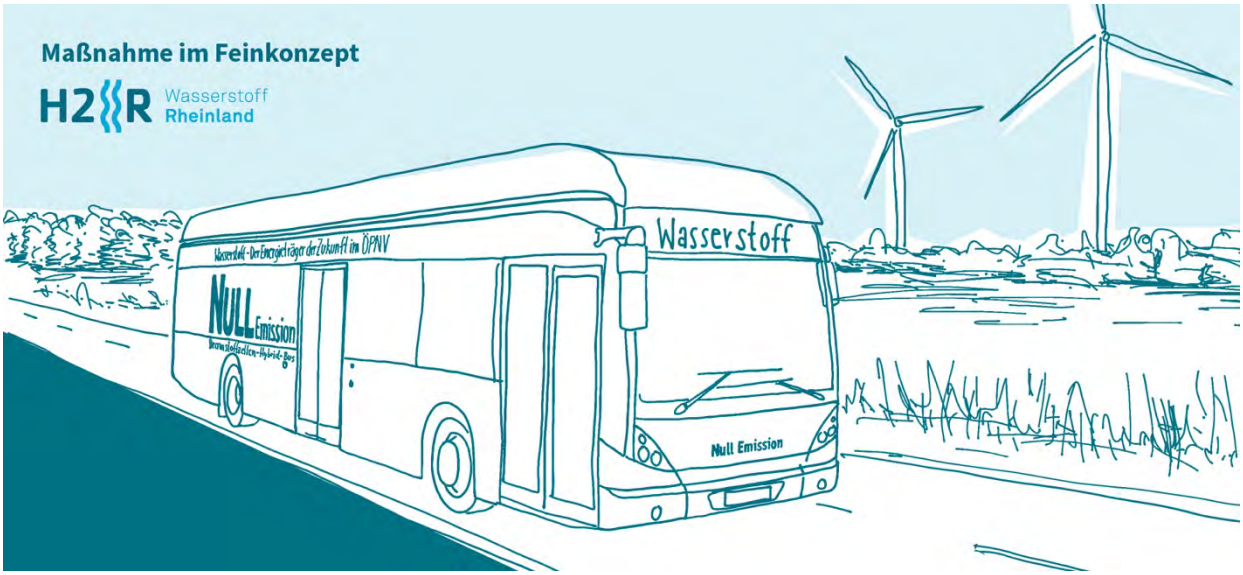
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Wasserstofftankstelle,
geeignetes Fahrzeug,
Wirtschaftlichkeit ggn. vergleichbarem emissionsarmen Antrieb.

Realisierungszeitraum
Bis Mai 2020 Ergebnisse des Systemvergleichs

B.49. Steckbrief »Einsatz von BZ-LKW und BZ-Terminalfahrzeugen«

Akteur: HGK
Am Standort Niehl ist eine Machbarkeitsstudie zur Umstellung von Fahrzeugen geplant. Im ersten Schritt soll ein Terminalfahrzeug und 5 Brennstoffzellen-LKW eingesetzt werden. Die Anzahl Fahrzeuge soll auf 5 Terminalfahrzeuge und 80 Brennstoffzellen-LKW ausgebaut werden.



Standort
Häfen und Güterverkehr
Am Stapelkai
Hafen Köln Niehl

Nutzen
höhere Lebensqualität und Klimaschutz durch emissionsfreien Güternahverkehr.

Technische Daten
Im Feinkonzept überschlägig ermittelt:
ca. 310 t H_2/a

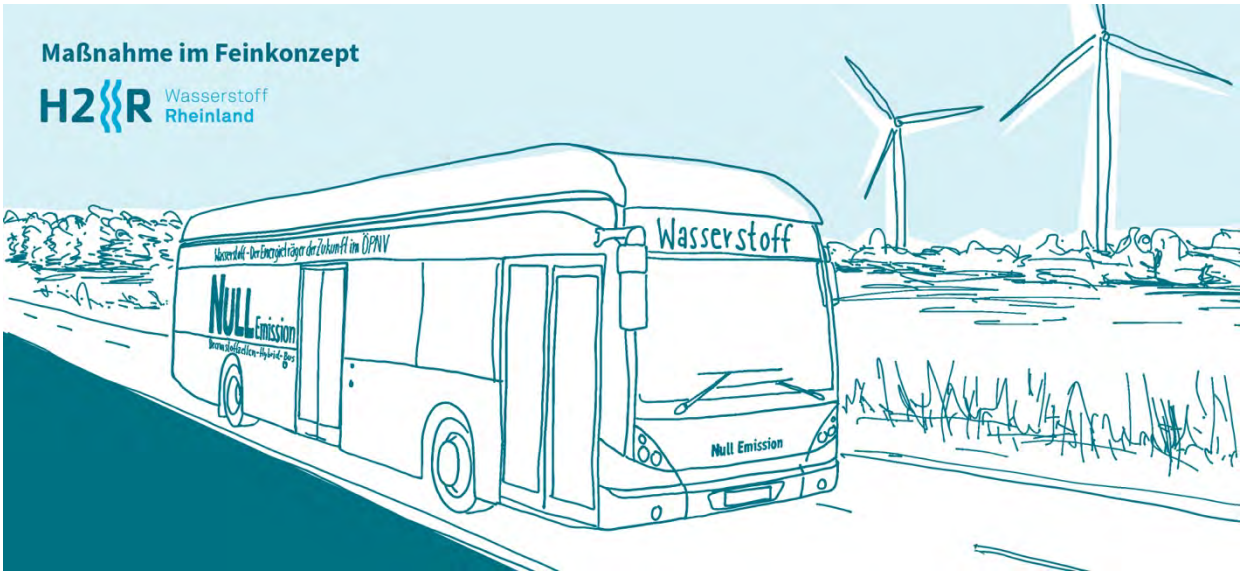
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
H_2-Tankstelle
Zuschüsse

Realisierungszeitraum
Start Planung 2021
Start Beschaffung 2022
Start Betrieb 2024

B.50. Steckbrief »BZ-Fahrzeuge für REWE Digital«

Akteur: REWE Digital
REWE Digital prüft die Wasserstoff-Antriebstechnologie für den Einsatz in Auslieferfahrzeugen im Online-Lebensmittelhandel.



Standort
REWE Food Fulfillment Center Köln-Niehl
Scarletallee 6
50735 Köln

Nutzen
größere Reichweiten,
Unterbrechungsfreie Lenkzeiten,
Energieversorgung für weitere Aggregate, z.B. Kühlung.

Technische Daten
abhängig vom Ergebnis der Prüfung

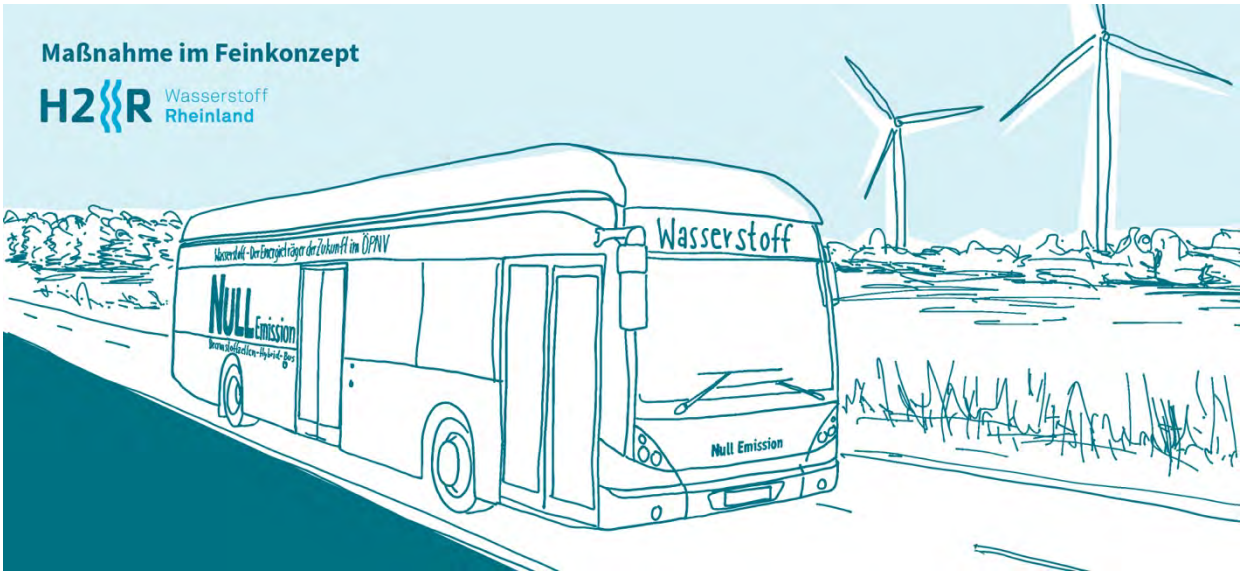
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
positiver Business Case,
Erfüllung unserer technischen und betrieblichen Anforderungen.

Realisierungszeitraum
Kurzfristiger Einsatz eines Prototyps (2020)
Weiteres Vorgehen in Abhängigkeit der Erfahrungen aus dem Test

B.51. Steckbrief »H_2-Tankstelle für Busse und NFZ«

Akteur: AWB Bergisch Gladbach
Die AWB ist an der Anschaffung eines Abfallsammelfahrzeuges als Einstieg in die Wasserstofftechnologie interessiert. Langfristig ist die Anschaffung weiterer H_2-Abfallsammelfahrzeug angedacht. Das Fahrzeug kann idealerweise durch eine Kooperation mit der RVK am Grünen Mobilhof betankt werden.



Standort
AWB Bergisch Gladbach
Obereschbach 1
51429 Bergisch Gladbach

Nutzen
Emissionsminderung im innerstädtischen Verkehrsbereich,
deutlich geringere Lärmemissionen.

Technische Daten
Ca. 40 kg H_2/d pro Abfallsammelfahrzeug

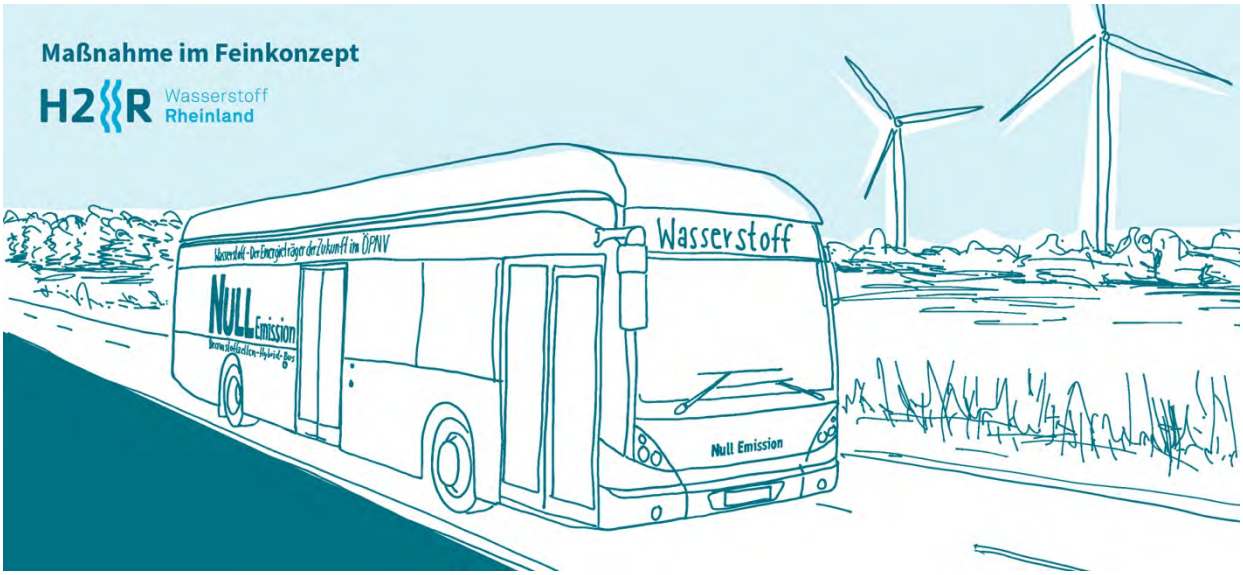
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Förderung
Tankstelleninfrastruktur

Realisierungszeitraum
Umsetzungsphase 2022 - 2023

B.52. Steckbrief »BZ-Müllsammelfahrzeuge (AWB Köln)«

Akteur: Abfallwirtschaftbetriebe Köln GmbH (AWB Köln)
Die AWB GmbH prüft den Einsatz von alternativ angetriebenen Kommunalfahrzeugen mit H_2-Antrieb.



Standort
Maarweg 271, 50825 Köln
Gießenerstr. 6, 50679 Köln
Alteburger Straße 141 a, 50968 Köln

Nutzen
Beitrag zur Luftreinhaltung und Lärmminderung.

Technische Daten
Rd. 130 Abfallsammelfahrzeuge, Rd. 20 Containerfahrzeuge, Rd. 75 Kehrmaschinen, Rd. 60 sonst. Lkw, Rd. 70 PKW/Transporter.

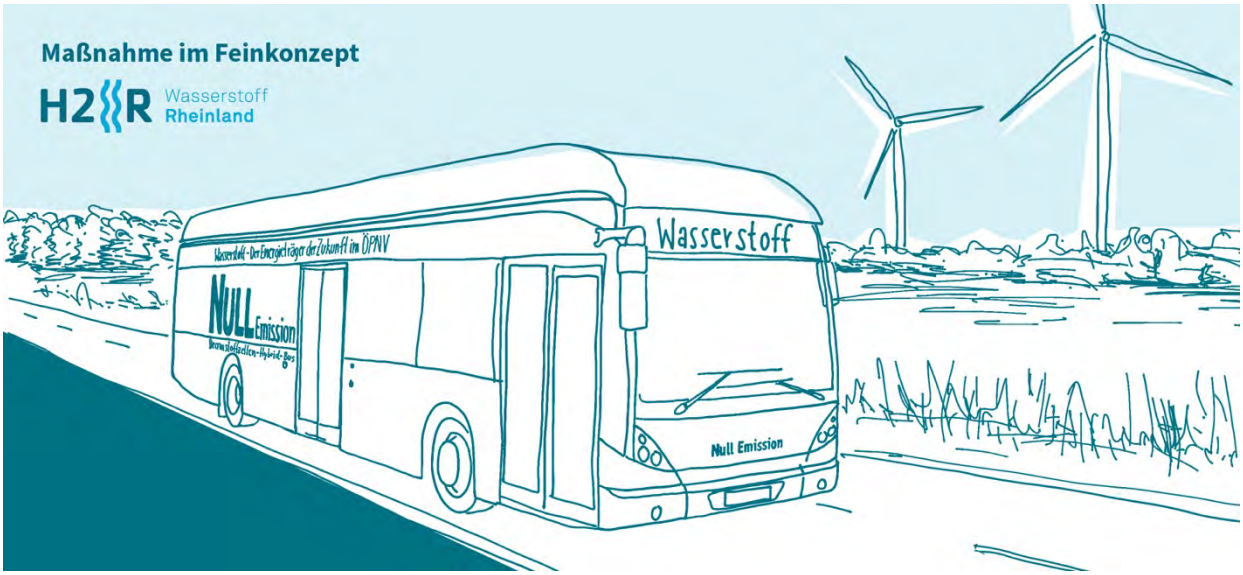
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Wirtschaftlich vertretbare Investition, Logistisch brauchbare Betankungsinfrastruktur, Zuverlässige Fahrzeugtechnik, Technischer Service (ortsnah).

Realisierungszeitraum
mangels Voraussetzungen nicht zu beziffern.

B.53. Steckbrief »Umstellung des kommunaler Fuhrparks Hürth«

Akteur: Stadtwerke Hürth
Die Fuhrparks der Stadtwerke Hürth sollen teilweise auf Brennstoffzellenantrieb umgestellt werden (NFZ zur Müllentsorgung, Grünschnittentsorgung, etc.). Anfang 2020 wurde bereits ein Fahrzeug im Probebetrieb getestet.



Standort
Städtischer Baubetriebshof Hürth
Kalscheurener Str. 105
50354 Hürth

Nutzen
Höhere Lebensqualität und Klimaschutz durch emissionsfreien Verkehr der Nutzfahrzeuge des Baubetriebshofes in Hürth

Technische Daten
30 Fahrzeuge mit bis zu 750 kg/d überschlägig ermittelt im Rahmen des Feinkonzepts: 11 BZ-Abfallsammelfahrzeuge
ca. 100 t H_2/a

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
ausreichend dimensionierte Tankstelle, Standort mit Erweiterungsmöglichkeit

Realisierungszeitraum
Beschaffung erster Fahrzeuge ab Herbst 2020
Betrieb erster Fahrzeuge ab 2021

B.54. Steckbrief »BZ-Müllsammelfahrzeuge (RSAG)«

Akteur: Rhein-Sieg-Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH (RSAG)
Der Einsatz von Müllsammelfahrzeugen im linksrheinischen Rhein-Sieg-Kreis wird im Rahmen des Feinkonzepts untersucht.



Standort
RSAG-Entsorgungsanlage Swisttal
Lützermiel 1
53913 Swisttal

Nutzen
Emissionsfreie Müllsammelfahrzeuge mit ausreichender Reichweite/Energiekapazität durch Wasserstoff.

Technische Daten
1 Pilotfahrzeug, ca. 30 - 60 kg/d H_2-Verbrauch

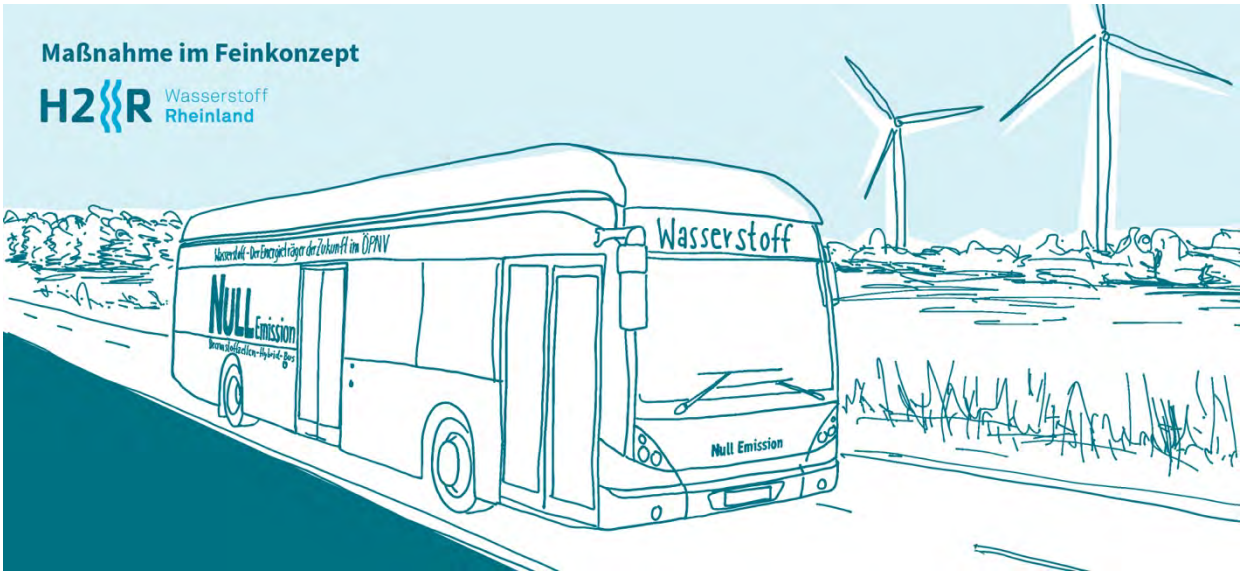
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Technologiepartner für die Untersuchung sowie ein Pilotfahrzeug, Fördermittel.

Realisierungszeitraum
Untersuchung im Jahr 2020
Pilotfahrzeuge im Jahr 2022

B.55. Steckbrief »Einsatz von BZ- Flurförderfahrzeugen«

Akteur: Koelnmesse
Die Koelnmesse plant in Kooperation mit ihrem Logistikdienstleister DB Schenker die Prüfung und sukzessive Umrüstung des Diesel-Gabelstaplerparks (insg. 120 Flurförderzeugen) auf Wasserstoffantrieb.



Standort
Koelnmesse GmbH
Messeplatz 1
50675 Köln

Nutzen
Reduzierung der CO_2 und Stickoxidemissionen.

Technische Daten
durchschnittlich 17,5 kg/d
ca. 800 h/a bei 25 FFZ
Druckniveau von 350 bar
HRS. Ca. 1 Mio. €, FFZ ca. 1,3 Mio. €

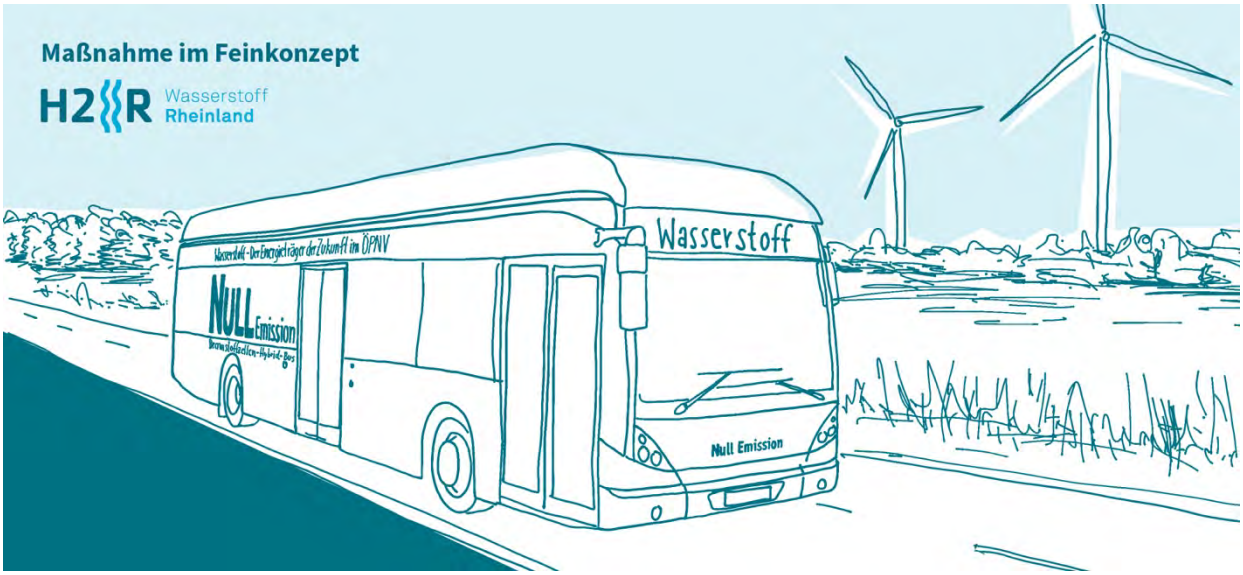
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Wasserstoff-Tankstelle, im ersten Schritt mit grauem Wasserstoff per Anlieferung.

Realisierungszeitraum
Die Planung läuft, die Beschaffung soll 2021 starten

B.56. Steckbrief »Einsatz von BZ-Flurförderfahrzeugen«

Akteur: VOSS Fluid GmbH
Der Einsatz eines BZ-Flurförderfahrzeugs wird geprüft.



Standort
VOSS Fluid GmbH
Lüdenscheider Str. 52 -54
51688 Wipperfürth

Nutzen
Reduzierung von Stillstandzeiten, Einsparungspotenzial bei Dauerbetrieb, Verbesserung der Luftqualität im Gebäude.

Technische Daten
1-3 BZ-Fahrzeuge, muss mit Partnern bestimmt werden
Verbrauch von ca. 0,3 kg/h

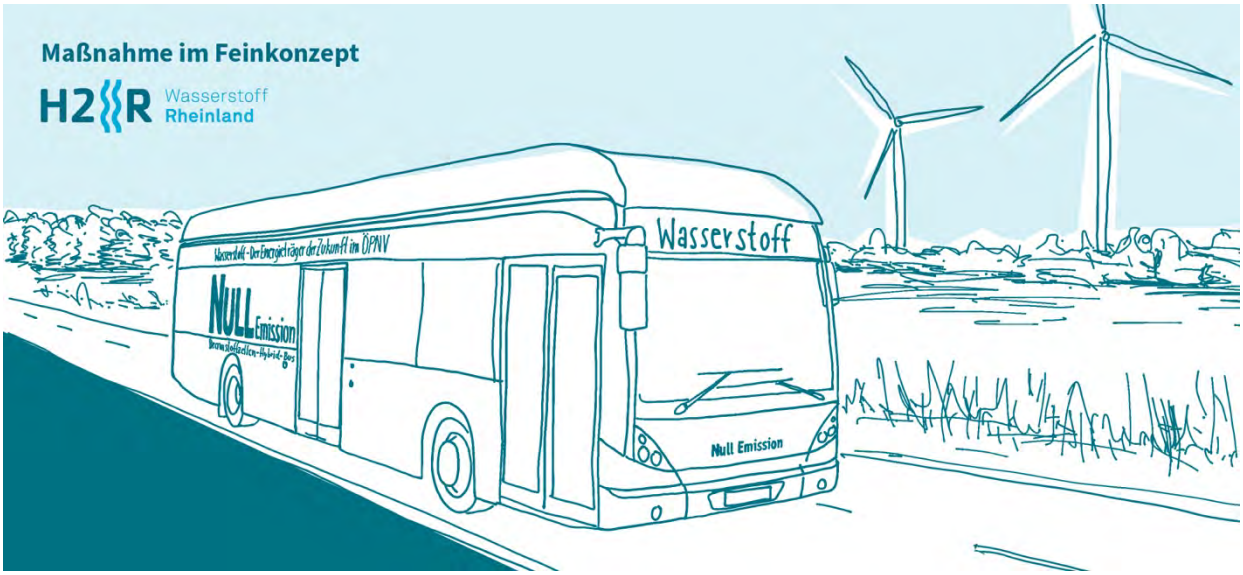
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Betankungsmöglichkeit für Fahrzeuge, Bereitschaft von Fahrzeugherstellern Fördermittel.

Realisierungszeitraum
Untersuchung im Jahr 2020
Umsetzung im Jahr 2021/2022

B.57. Steckbrief »BZ-Güterzüge«

Akteure: RheinCargo, HGK
RheinCargo setzt im Kölner Stadtbereich 16 Diesel-elektrische Lokomotiven des Typs DE1002 ein. Eine Umrüstung der bestehenden Lokomotiven auf Wasserstoffantriebe wird geprüft. Darüber hinaus besteht weiteres Potenzial für bis zu 30 bauähnliche Lokomotiven der DB.



Standort
RheinCargo Köln
Bahnbetriebswerk Brühl Vochem
Am Volkspark 20
50321 Brühl

Nutzen
NO_x und CO_2-Emissionsreduktion,
Leiserer Betrieb der Fahrzeuge,
Einsparung von Ressourcen/Emissionen durch Umbau der Loks.

Technische Daten
zunächst 16 Fahrzeuge, danach bis zu 30
überschlägig ermittelt im Feinkonzepts:
Verbrauch von ca. 150 t H_2/a

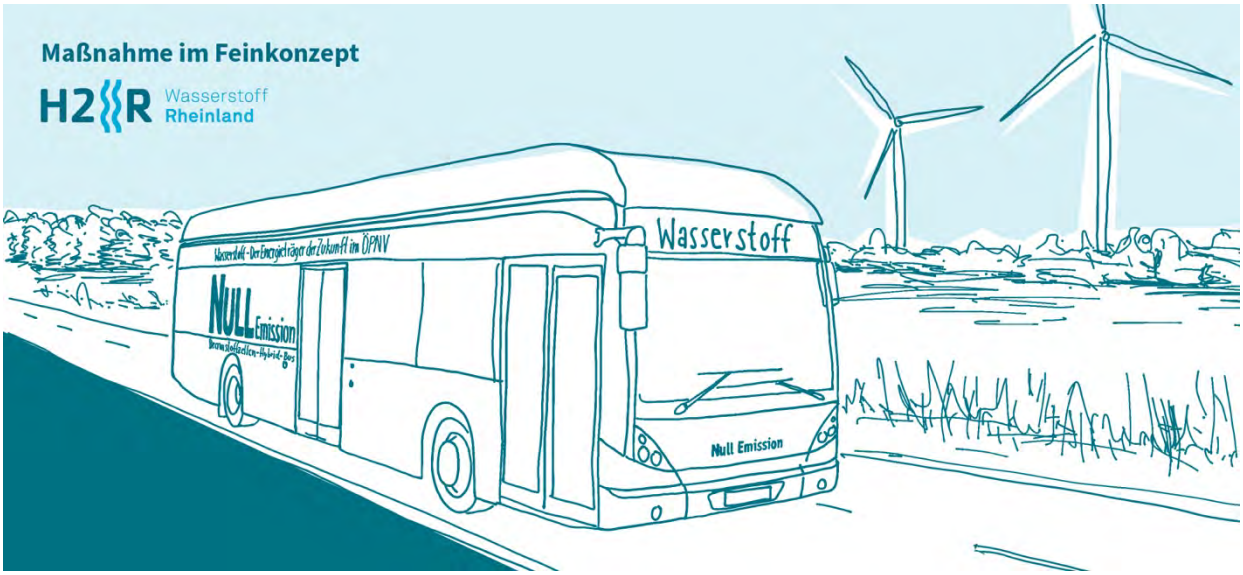
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Wasserstofftankstelle,
Wasserstoff- Werkstatt,
Zulassung durch Eisenbahn-Bundesamt (EBA).

Realisierungszeitraum
Planung 2021 - 2023
Start Umrüstung 2024
Start Betrieb 2024
Abschluss Umrüstung 2030

B.58. Steckbrief »Rheinfähre Köln-Langel/Hitdorf mit BZ-Antrieb«

Akteur: RheinFähre Köln-Hitdorf GmbH
Der Einsatz von Brennstoffzellen für die Rheinfähre Langel/Hitdorf wird geprüft.



Standort
Rheinfähre Köln Langel/Hitdorf
Fährstraße
51371 Leverkusen

Nutzen
Einsparung lokaler Emissionen,
Leiser Betrieb.

Technische Daten
4 * 75kW Leistung
4600 h/a Betriebsstunden pro Jahr
362 d/a

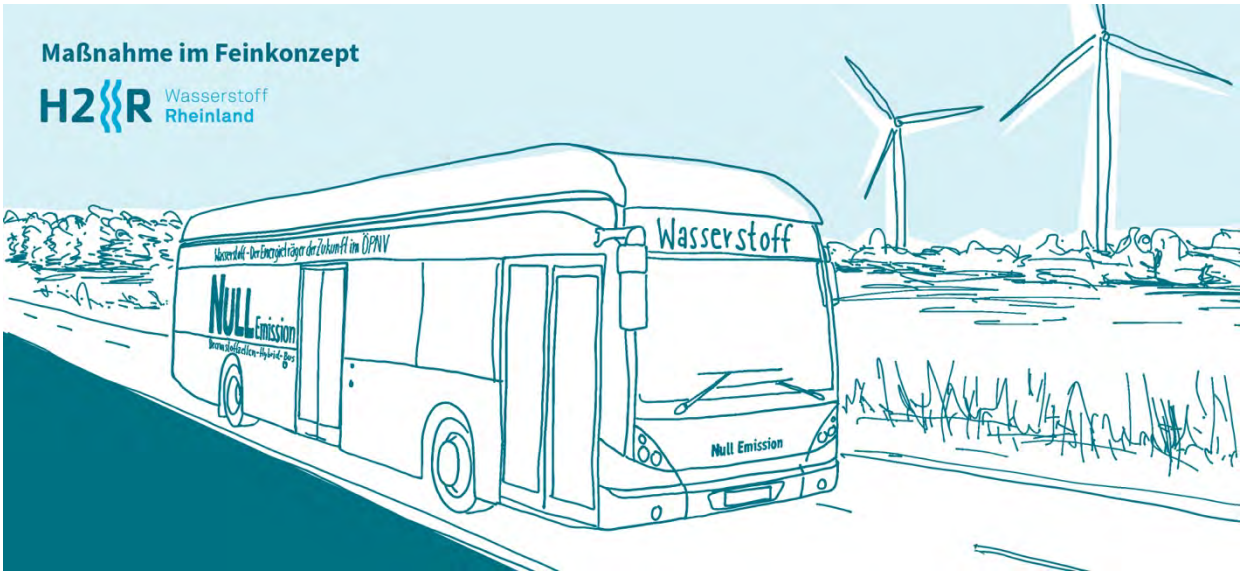
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle
Zuschüsse

Realisierungszeitraum
Planungsphase: 2021
Beschaffung: bis 2022
Betrieb: 2023

B.59. Steckbrief » Entwicklung & Pilotbetrieb eines Baggers mit H_2-Verbrenner«

Akteure: DEUTZ AG
Prüfung der Projektidee einer Off-Road-Anwendung von H_2-Verbrennungsmotoren: Entwicklung eines Baggers für innerstädtische Baustellen mit einem Antrieb auf Basis des Wasserstoff-Verbrennungsmotors. Austausch der Diesel-Komponenten durch eine OnBoard H_2-Versorgung sowie des H_2-Verbrennungsmotors.



Standort
DEUTZ AG
Ottostraße 1
51149 Köln

Nutzen
Realisierung von Zero Emission Baustellen auf Basis bestehender Bagger-Technologie mit einer robusten und Baustellen-tauglichen Lösung.

Technische Daten
Pilotbetrieb mit zunächst mittleren Mengen H_2-Verbrauch
Druckniveau: 350 bar, Mobile H_2-Versorgung bspw. aus Tanklastern

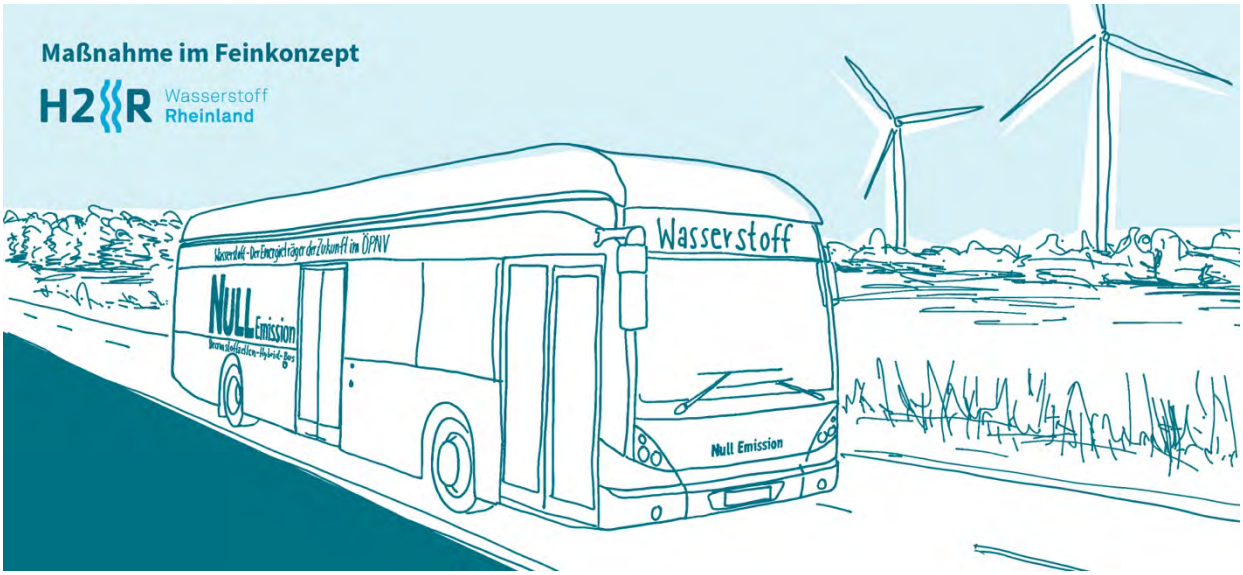
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Fördergelder für Entwicklungskosten, OEM-Partner auf Bagger-Seite (vorhanden), Infrastruktur-Partner für mobile H_2Versorgung, Anwender.

Realisierungszeitraum
Bei Vorliegen der Voraussetzungen:
Start der Entwicklung bspw. ab Herbst 2020
Start Pilotbetrieb ab Frühjahr 2022

B.60. Steckbrief »Umstellung der Vorfeldfahrzeuge«

Akteur: Flughafen Köln/Bonn
Die Vorfeldfahrzeuge am Flughafen Köln/Bonn, insbesondere die dieselbetriebenen Vorfeldgeräte, sollen auf emissionsfreie Antriebe umgestellt werden.



Standort
Flughafen Köln/Bonn
Nordallee 1
51147 Köln

Nutzen
Emissionsverringerung,
CO_2-Einsparung,
Verbesserung des Mikroklimas für Passagiere und Beschäftigte.

Technische Daten
ca. 200 Vorfeldgeräte (u.a. Busse, Gepäckschlepper, etc.) mit 350 bar
im Feinkonzepts überschlägig ermittelt:
ca. 1.350 t H_2/a

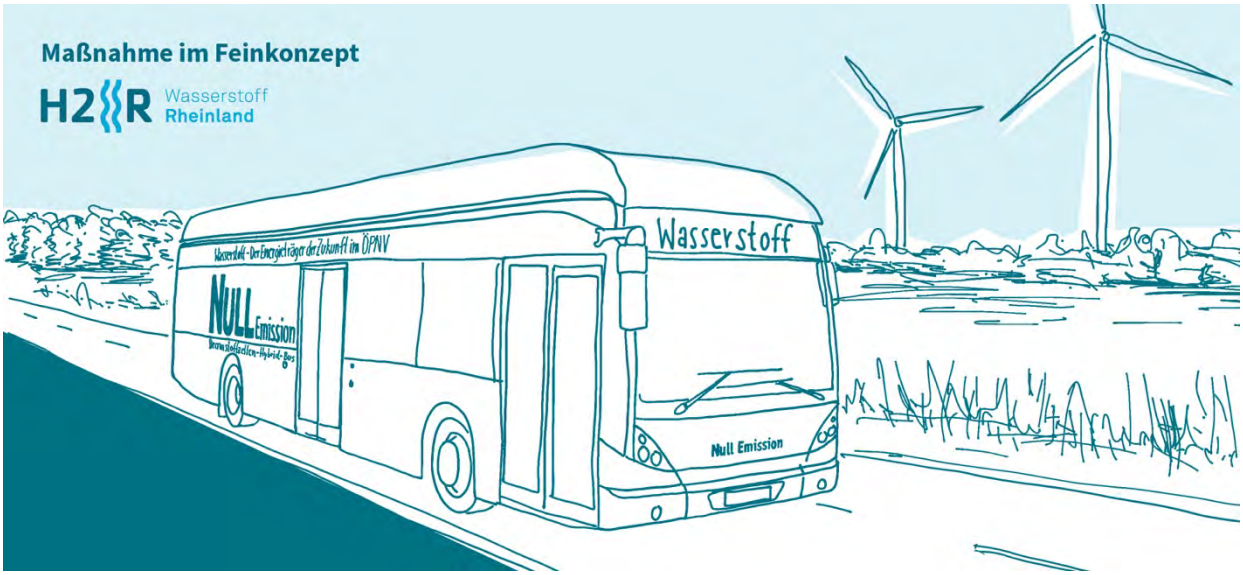
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Produktverfügbarkeit am Markt,
Betankungsmöglichkeit im Vorfeldbereich.

Realisierungszeitraum
Planungsphase: 2020
Realisierungsphase: 2021
Umsetzungsphase: 2021 - 2030

B.61. Steckbrief »Einsatz von BZ-NFZ«

Akteur: Stadtentwässerungsbetriebe Köln (AöR)
Die StEB Köln prüfen den Einsatz von Wasserstoff für 10 Sonderfahrzeuge der Kanalreinigung (Hochdruckspül- und Saugfahrzeuge mit/ohne Rückgewinner/HD-Kombi mit/ohne Rückgewinner, Saugfahrzeuge/Straßenreiniger).



Standort
Stadtentwässerungsbetriebe Köln (AöR)
Ostmerheimer Str. 555
51109 Köln

Nutzen
Luftreinhaltung,
Lärm- und Klimaschutz in der Stadt Köln durch emissionsfreie Kanalreinigung.

Technische Daten
5 Kanal- und 5 Sinkkastenreinigungsfahrzeuge (ca.110.000l Diesel)
im Feinkonzepts überschlägig ermittelt:
ca. 22 t H_2/a

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Verfügbarkeit von Wasserstoffnutzfahrzeuge
Wasserstofftankstelle
grüner H_2

Realisierungszeitraum
Projektidee: 2020
Umsetzungsphase bis 2030

B.62. Steckbrief »1111 BZ-Fahrzeuge«

Akteure: Toyota & weitere Fahrzeughersteller, HyCologne
Die Kampagne soll zur zügigen Einführung von 1.111 Fahrzeugen in den H2R-Kommunen animieren. An der Kampagne sollten sich potenzielle Fahrzeughersteller und Kommunen beteiligen. Anreize wie z.B. günstige Finanzierung könnten geschaffen werden.

HyCologne

1111 BZ-Fahrzeuge



Standort
Region Wasserstoff Rheinland

Nutzen
Beitrag zu Klimaschutz, Luftreinhaltung, Kommunikation des Themas H_2-Mobilität in der Öffentlichkeit, Skalierungseffekte/Marktaktivierung.

Technische Daten
H_2-Tankstellen

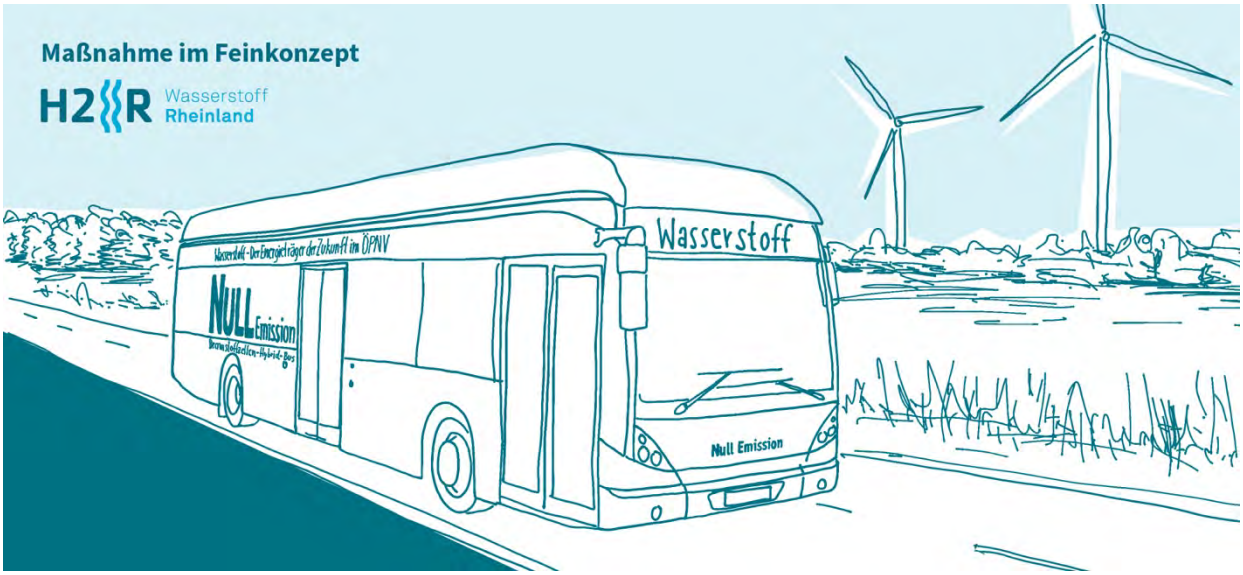
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
kritische Mengen an bereitwilligen Unternehmen und Kommunen, politische und rechtliche Rahmenbedingungen gegeben.

Realisierungszeitraum
Planungsphase seit 2019
Realisierung ab 2021

B.63. Steckbrief »Substitution von Erdgas im BHKW am Flughafen«

Akteur: Flughafen Köln/Bonn
Der Flughafen Köln/Bonn plant die Umstellung des BHKW von Erdgas auf Wasserstoff zur Substitution des fossiler Energieträgers Methan. Bei Austausch und Erweiterung der Anlagen sollen diese durch H_2-betriebene Anlagen ersetzt werden.



Standort
Flughafen Köln/Bonn
Nordallee 1
51147 Köln

Nutzen
Emissionsverringerung
CO_2-Einsparung

Technische Daten
Erdgasnetzt bis zum BHKW + DLR vorhanden
Prüfung ob Ergänzung/Änderung möglich ist

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Anbindung des Flughafens an ein H_2-Pipelinenetz (Abstimmung mit DLR als großen Nutzer von CH_4 und H_2), alternative H_2-Verteilung.

Realisierungszeitraum
Start Planung 2020
Start Beschaffung 2021
Umsetzung 2022 -2030

B.64. Steckbrief »Entwicklung eines 100 kW BZ-BHKW«

Akteur: HEE Technologies GmbH
HEE Technologies entwickelt Brennstoffzellensysteme für Haustechnik. Die stationären KWK-BZ-Systeme stellen Strom, Wärme und mittelfristig auch Kälte für die Industrie sowie Gewerbe- und Wohngebäude bereit.



Standort
HEE Technologies GmbH
Am Wassermann 28a
50829 Köln

Nutzen
Emissionsfreie Versorgung von Gebäuden mit Strom und Wärme/Kälte durch die direkte Nutzung von Wasserstoff.
Stabilisierung des Stromnetzes.

Technische Daten
100 kW elektrische Leistung
100 kW thermische Leistung
ca. 30 t H_2/a

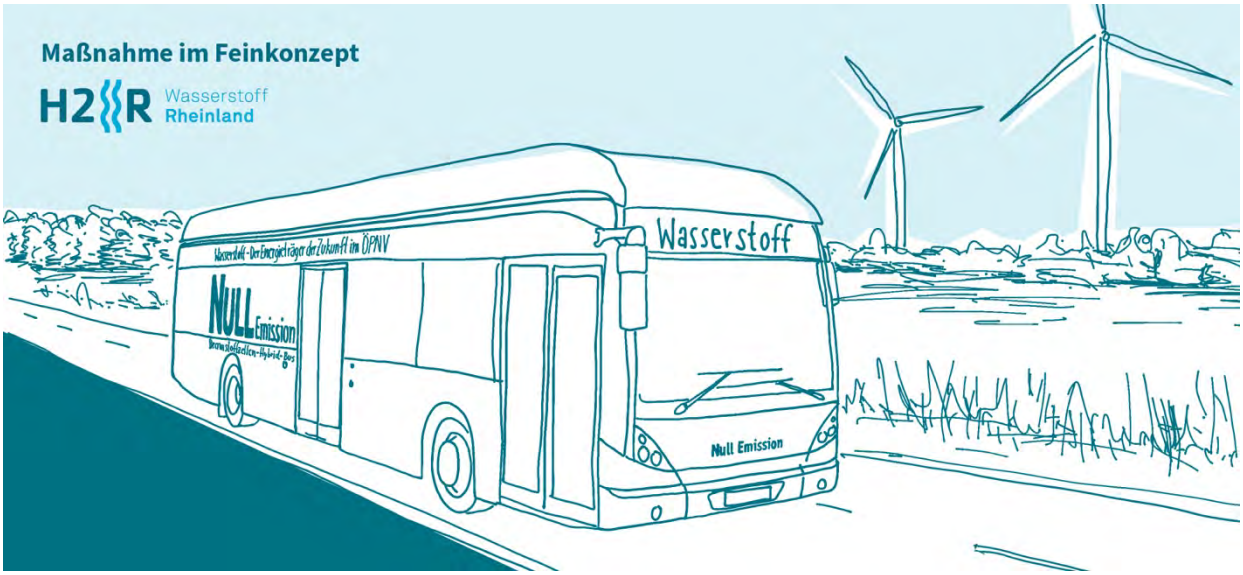
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle

Realisierungszeitraum
Aufbau des Prototyps bis 2021

B.65. Steckbrief »H_2-betriebenes BHKW für Betriebswerk Brühl-Vochem«

Akteur: HGK
Die Häfen und Güterverkehr Köln GmbH prüft die Versorgung des Betriebswerk mit Strom und Wärme mittels eines BZ-BHKW, evtl. in Kombination mit öffentlicher Tankstelle für H_2-Lokomotiven auf dem Betriebsgelände.



Standort
Betriebswerk Brühl-Vochem
Am Volkspark 20
50321 Brühl

Nutzen
Emissionsfreie Versorgung von Gebäuden mit Strom und Wärme durch die direkte Nutzung von Wasserstoff.

Technische Daten
überschlägig ermittelt im Rahmen des Feinkonzepts: ca. 90 t H_2/a

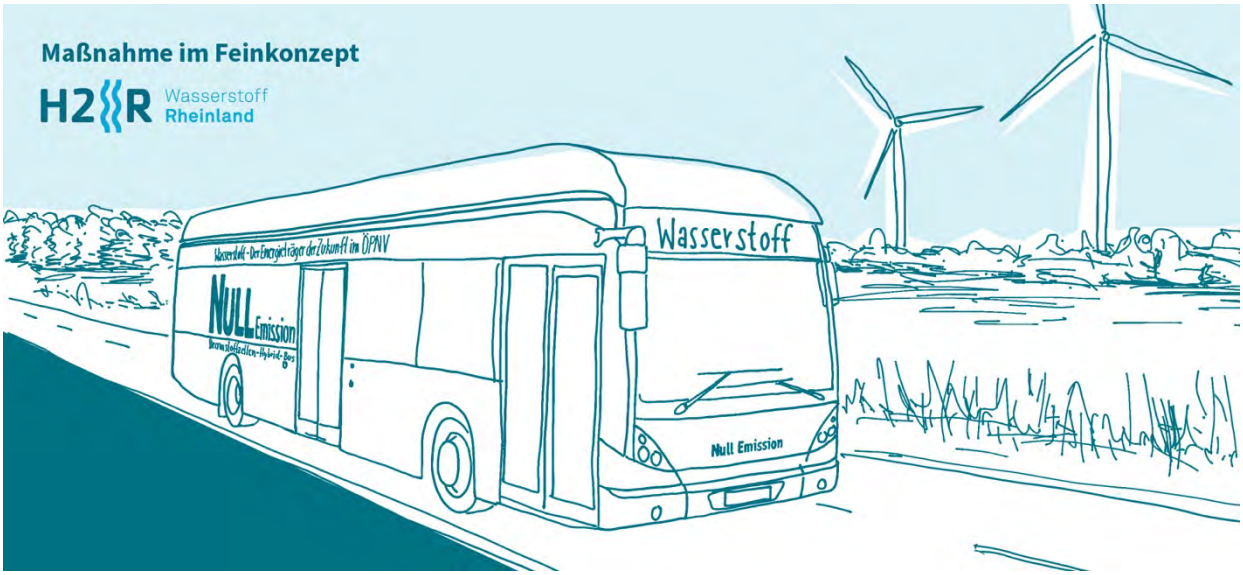
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle
Wasserstoffversorgung

Realisierungszeitraum
Start Planung 2021
Start Beschaffung 2022
Start Betrieb 2024
Abschluss Umrüstung 2030

B.66. Steckbrief »H_2-betriebenes BHKW für Betriebswerke in Köln-Niehl«

Akteur: HGK
Die Häfen und Güterverkehr Köln GmbH prüft die Versorgung des Betriebswerk mit Strom und Wärme mittels eines BZ-BHKW.



Standort
Häfen und Güterverkehr
Am Stapelkai
Hafen Köln Niehl

Nutzen
Emissionsfreie Versorgung von Gebäuden mit Strom und Wärme durch die direkte Nutzung von Wasserstoff.

Technische Daten
überschlägig ermittelt im Rahmen des Feinkonzepts: ca. 11 t H_2/a

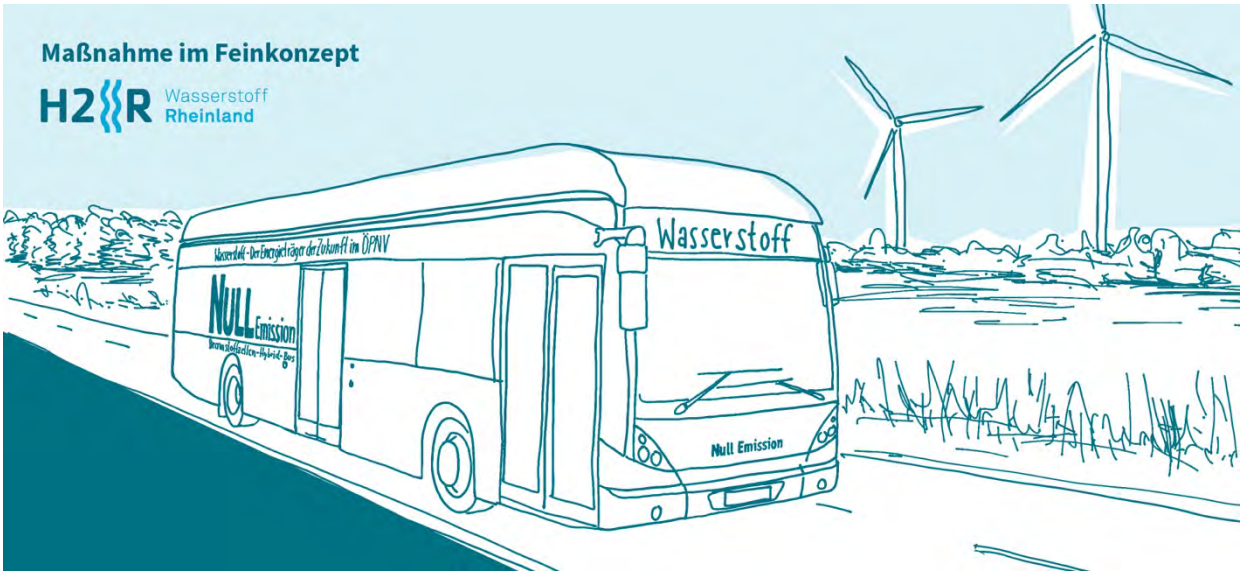
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Wasserstoffquelle

Realisierungszeitraum
Start Planung 2021
Start Beschaffung 2022
Start Betrieb 2024

B.67. Steckbrief »Wasserstoffbetriebene Farm«

Akteur: NEXUS Farms
Der Einsatz eines BZ-BHKW zur Deckung des elektrischen Bedarfs der ersten Aquaponic-Farm-Anlage in NRW bei gleichzeitiger Sicherstellung eines emissionsfreien Betriebs wird geprüft.



Standort
Bergheim
NRW

Nutzen
Emissionsfreier Betrieb der Farm, Wärme wird für die Beheizung von Aquaponic-Systeme verwendet.

Technische Daten
100 kW elektrische Leistung
100 kW thermische Leistung
ca. 30 t H_2/a

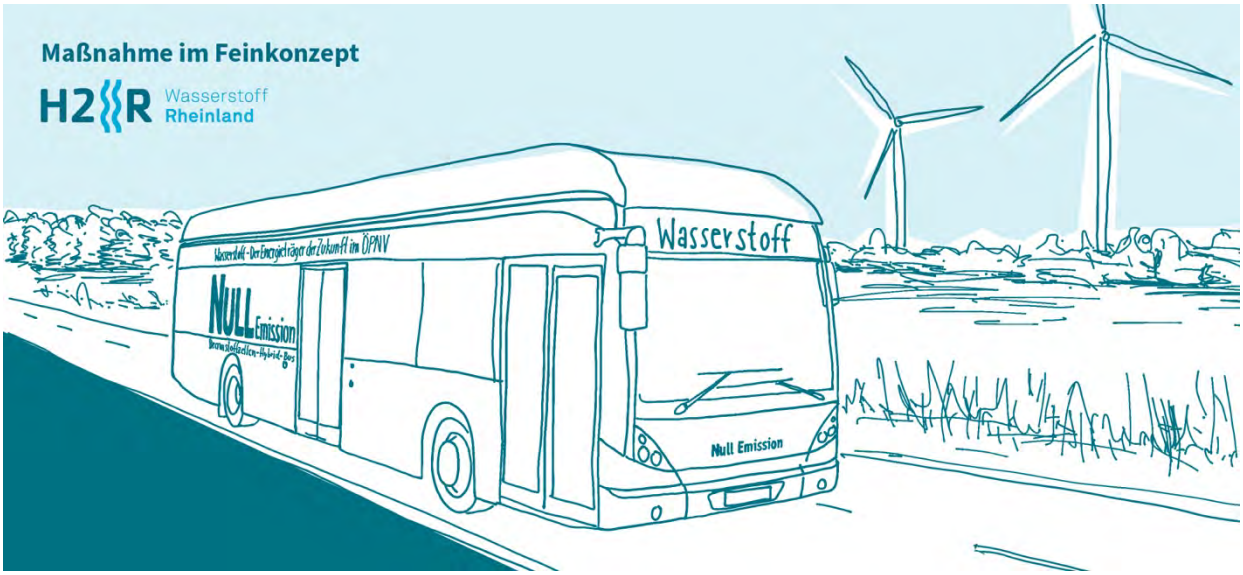
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Brennstoffzellen-BHKW,
Anschluss an die regelmäßige Wasserstoffversorgung.

Realisierungszeitraum
Betrieb 2022

B.68. Steckbrief »H_2-Nutzung als Rohstoff«

Akteur: b.Fab
b.fab bietet eine Plattform-Technologie, die effizient CO_2 und Wasserstoff (H_2) aus regenerativer Energie in biotechnologischen Wertschöpfungsketten verwertet. Über die Kombination von Elektrochemie und Synthetischer Biologie wird CO_2 und H_2 in Chemikalien und Kunststoffen gebunden und der chemischen Industrie zugeführt.



Standort
b.fab GmbH
Gottfried-Hagen-Str. 60-62
51105 Köln

Nutzen
Speicherung von H_2 und CO_2 in Chemikalien zur Substitution fossiler Rohstoffe und zur Unterstützung der Circular Economy.

Technische Daten
Anfangs nur 10-20 kg H_2/Tag,
bei Errichtung einer Produktion
bis zu 10.000 – 20.000 t H_2/Jahr,
Druckniveau: 1-10 bar.

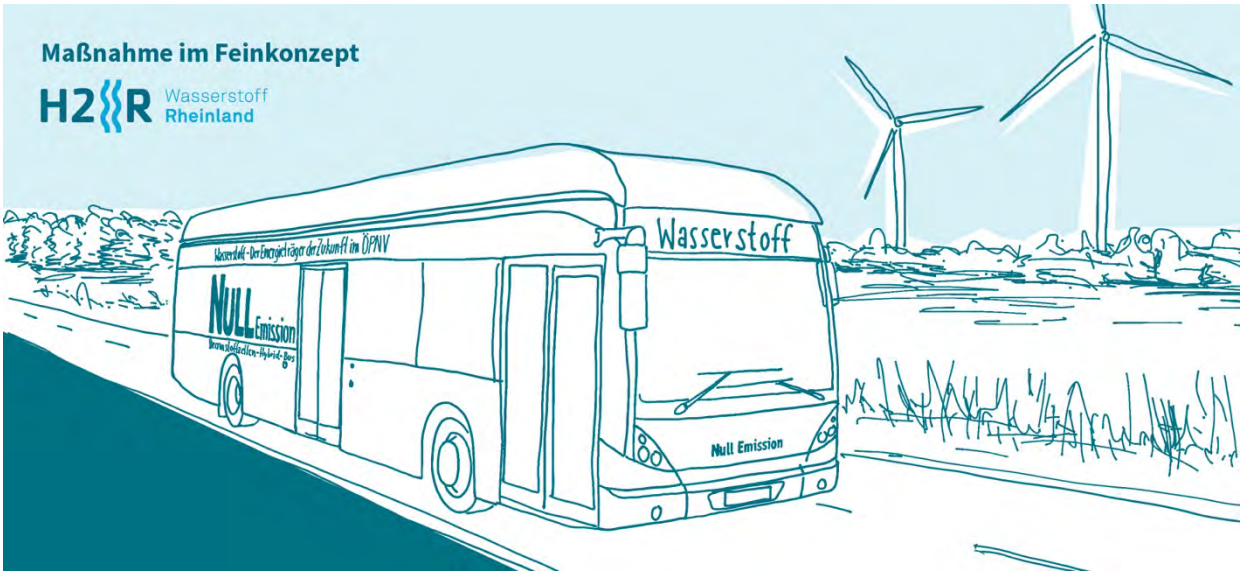
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
Zugang zu regenerativem Wasserstoff (H_2) oder Installation eines eigenen Hydrolyseurs.

Realisierungszeitraum
Start der Forschung sofort für einen Zeitraum von 2 Jahren
Start einer Produktion > 3-4 Jahre

B.69. Steckbrief »eGo Mover REX«

Akteur: E.GO:REX
Das Unternehmen E.GO:REX entwickelt Range Extender für BEV-Nutzfahrzeuge (Kleintransporter/Busse). Zur Zeit ist die Range-Extender-Erweiterung für den EGO Mover (Kleinbus) in Arbeit. E.GO steht bereit für bedarfsindividuelle Pilot- und Entwicklungsprojekte in diesem Bereich.



Standort
E.GO:REX
Campus-Boulevard 30
52074 Aachen

Nutzen
Reichweitenverlängerung von batterie-elektrischen Fahrzeugen,
Technologie für einen emissionsfreien und flexiblen ÖPNV.

Technische Daten
Elektrischer Kleinbus e.GO Mover mit Range-Extender
Reichweite: 300 km
Einsatzdauer: 10 h

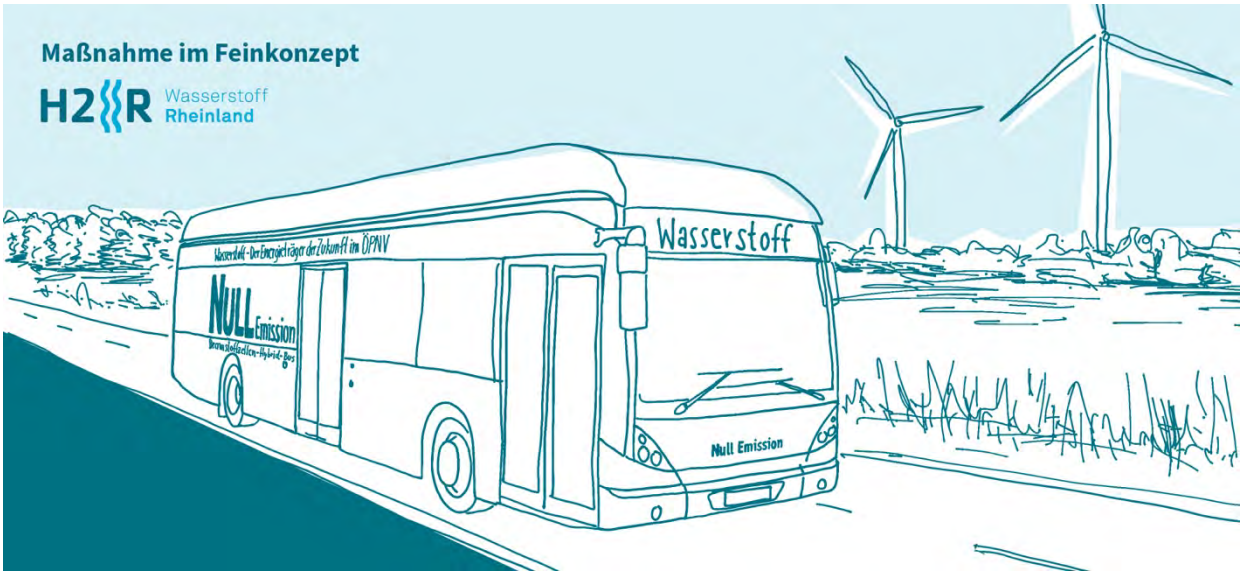
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
H_2-Infrastruktur,
Kooperationspartner für Pilotprojekte
Nutzer für H_2-Fahrzeuge im Flottenbetrieb.

Realisierungszeitraum
Erste Pilotprojekte: voraussichtlich 2022
geplanter Anlauf Serienproduktion: 2023

B.70. Steckbrief »Entwicklung eines BZ-Transit«

Akteure: Ford Research and Advanced Engineering Europe
Ford analysiert die Anforderungsprofile verschiedener Fahrzeugflottenbetreiber im Kleintransporter- und Kleinbusbereich. Darauf aufbauend werden Wasserstoff-Antriebssysteme konzeptionell ausgearbeitet und eine interne Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Prüfung der Konzepte auf Realisierbarkeit durchgeführt.



Standort
Ford Research and Advanced Engineering Europe
Süsterfeldstraße 200
52072 Aachen

Nutzen
Alternative zu Batteriefahrzeugen, höhere Reichweiten bzw. Energieversorgung für weitere Aggregate, z.B. Kühlung ,kürzere Betankungszeiten.

Technische Daten
abhängig vom Ergebnis der Prüfung

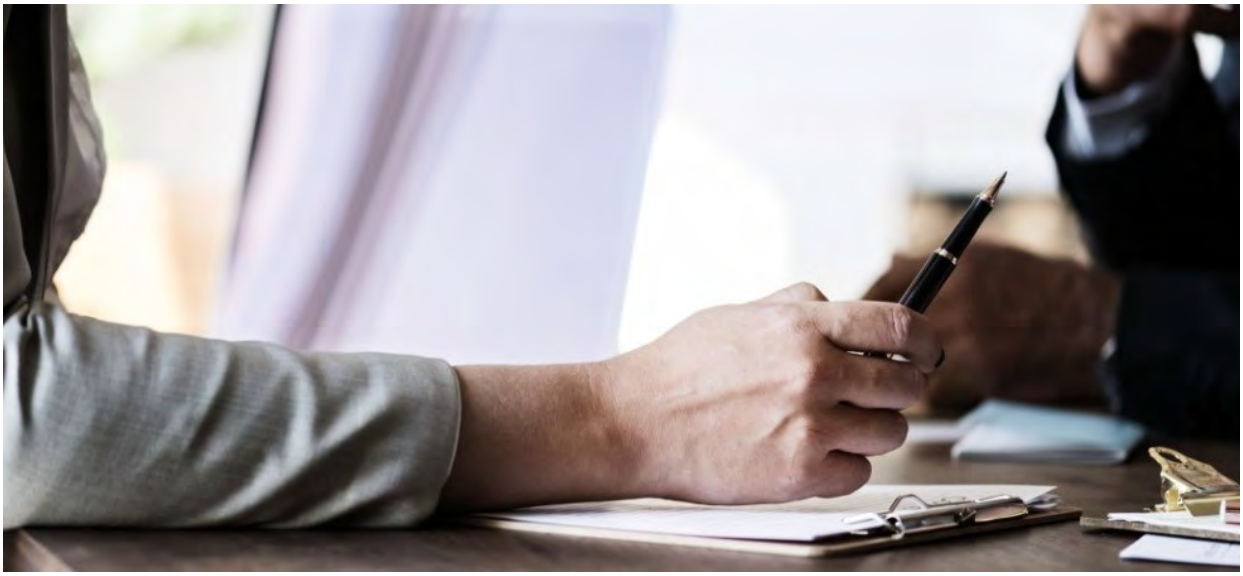
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Nutzung

Voraussetzung
positiver Business Case
Einklang mit Unternehmensstrategie

Realisierungszeitraum
Analyse der Anforderungsprofile, Ausarbeitung von geeigneten Wasserstoff-Antriebskonzepte und Prüfung der Realisierbarkeit (12/2020)

B.71. Steckbrief »Feinkonzept«

Akteure: CAM, EMCEL, ETC, FZJ, HyCologne, KLN, KVP24
Ein Konsortium erstellt das Feinkonzept zu *H2R-Wasserstoff Rheinland* im Zuge des Wettbewerbsaufrufs der Modellregion "Wasserstoff-Mobilität NRW".



Standort
Brüsseler Sr. 85
50672 Köln

Nutzen
Vernetzung der Maßnahmen in *H2R – Wasserstoff Rheinland* sowie eine Roadmap zum Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur.

Technische Daten
-/-

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Bündelung der Kompetenzen verschiedener Akteure zur Analyse des Status-Quo und zur Ausarbeitung der Roadmap.

Realisierungszeitraum
Oktober 2019 – August 2020

B.72. Steckbrief »Begleitforschung«

Akteur: CAM
Die Begleitforschung analysiert die Fortschritte bei der Umsetzung von H2R und spricht die spezifischen Forschungsfragen des Feinkonzepts an. Strategische Ziele werden mit realen Fortschritten abgeglichen und wichtige Fragen beantwortet.



Standort
Dr. Bratzel Center of Automotive Management GmbH & Co. KG (CAM)
An der Gohrsmühle 25
51465 Bergisch Gladbach

Nutzen
Durch Abgleich strategischer Ziele mit Umsetzungserfahrungen sowie Erforschung spezifischer Fragen, wird das Umsetzungskonzept H2R optimiert.

Technische Daten
-/-

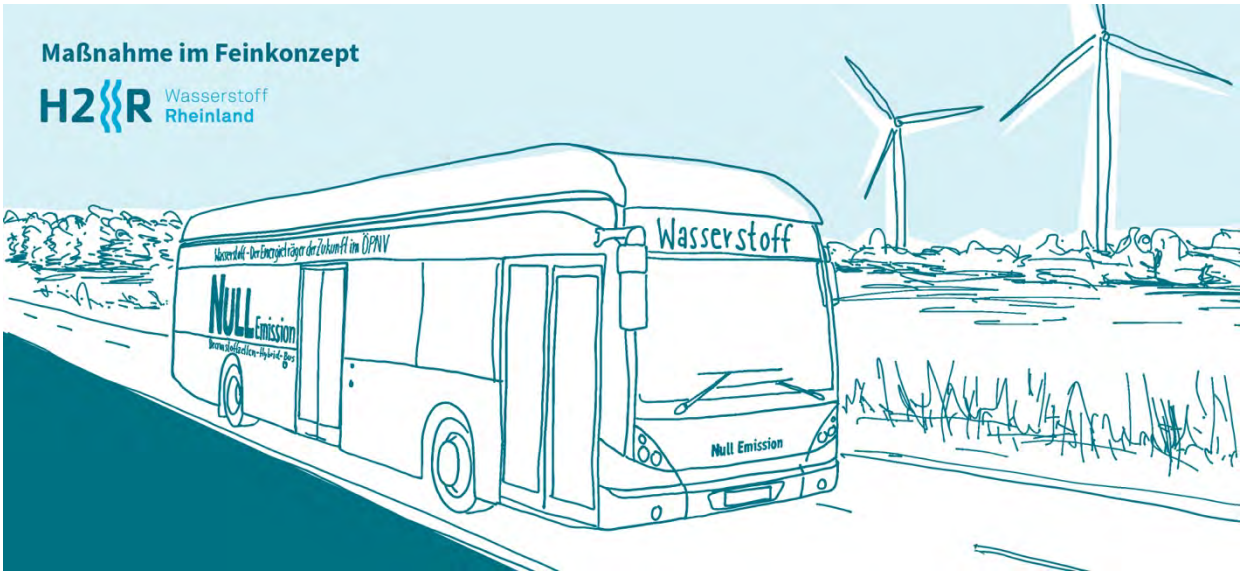
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Fortlaufende Analyse von H_2-Projekten in der Region.
Kooperation diverser Akteure ist zur Beantwortung der Fragen wichtig.

Realisierungszeitraum
September 2020 – Dezember 2023

B.73. Steckbrief »Kommunikation«

Akteur: CAM
Die laufende Ergebniskommunikation gegenüber Entscheidungsträgern und Öffentlichkeit stärkt die Akzeptanz gegenüber H2R, ermöglicht Wissenstransfer und liefert wichtige Erkenntnisse für die Durchführung zukünftiger Projekte.



Standort
Dr. Bratzel Center of Automotive Management GmbH & Co. KG (CAM)
An der Gohrsmühle 25
51465 Bergisch Gladbach

Nutzen
Kommunikation informiert über die Umsetzung von H2R und stärkt Akzeptanz und Wissenstransfer,
hohe Medienpräsenz/Fachkompetenz.

Technische Daten
-/-

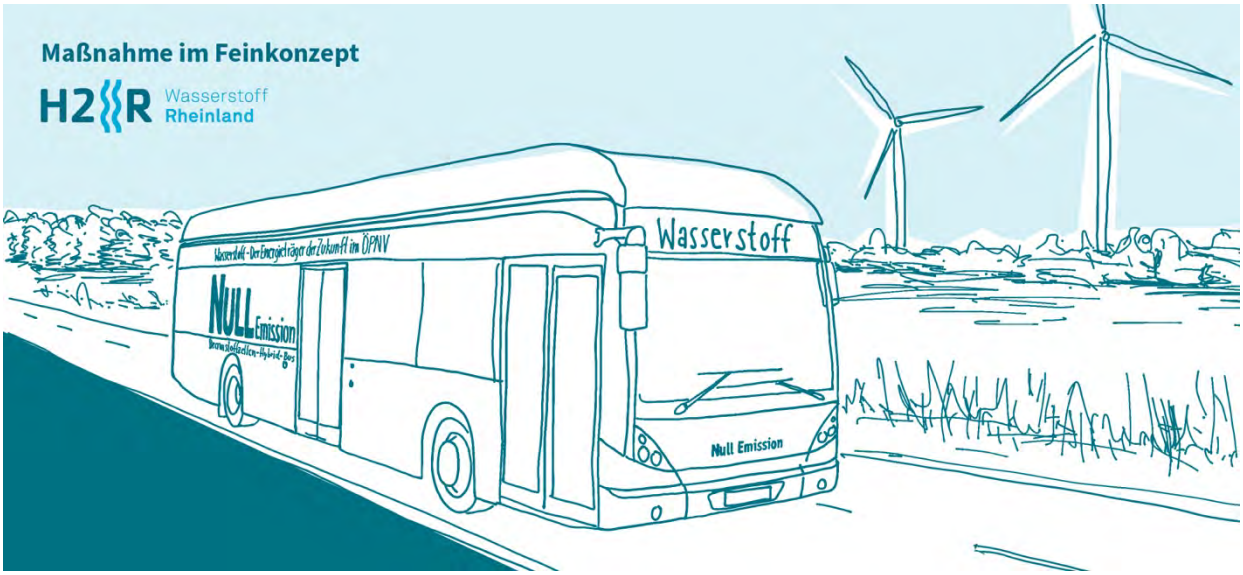
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Stetiger Austausch mit den H2R-Stakeholdern zu Projektergebnissen und Kommunikationsbedürfnissen (Ebene der Region/individueller Vorhaben).

Realisierungszeitraum
September 2020 – Dezember 2023

B.74. Steckbrief »Akzeptanzstärkung«

Akteur: CAM
Im Feinkonzept H2R wurde ein innovatives Konzept zu Kommunikation, Akzeptanzmonitoring und -stärkung verankert. Es nutzt die Wechselwirkungen zwischen den Aspekten und wird zur Akzeptanzwerbung für H2R eingesetzt.



Standort
Dr. Bratzel Center of Automotive Management GmbH & Co. KG (CAM)
An der Gohrsmühle 25
51465 Bergisch Gladbach

Nutzen
Stärkung von Einstellungs- und Handlungsakzeptanz (Öffentlichkeit und bei Stakeholdern) ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Umsetzung von H2R.

Technische Daten
-/-

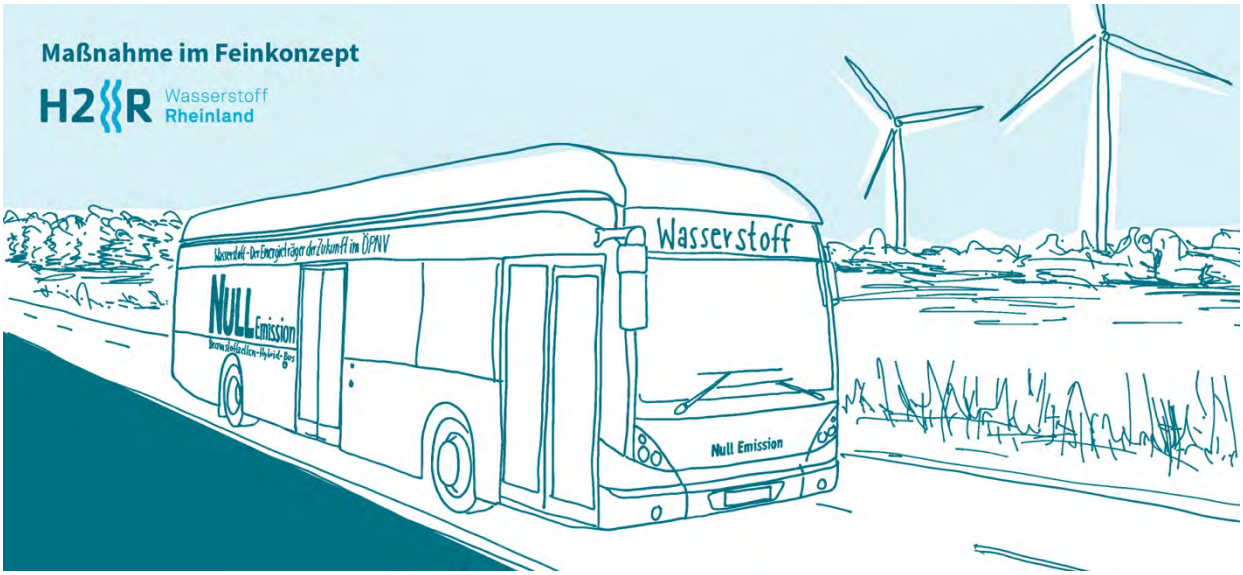
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Regelmäßige Akzeptanzerhebung bei Öffentlichkeit und Stakeholdern. Definition und Umsetzung von Optionen zur Akzeptanzsteigerung ggü. H2R.

Realisierungszeitraum
September 2020 – Dezember 2023

B.75. Steckbrief »Bereitstellung von KnowHow«

Akteur: DLR
Das Deutsche Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V. besitzt ein weitreichendes Know-how von der Wasserstofferzeugung basierend auf erneuerbaren Ressourcen, über die Speicherung und Nutzung von Wasserstoff zur Stromerzeugung bis hin zum Einsatz in der Mobilität, für Straßen- und Schienenfahrzeuge, für Flugzeuge und Schiffe.



Standort
Deutsches Zentrum für
Luft- und Raumfahrt e.V.
Linder Höhe
51147 Köln

Nutzen
Die Beteiligung am Zusammenschluss *H2R – Wasserstoff Rheinland* bringt das Wissen des DLR in das regionale Netzwerk ein.

Technische Daten
-/-

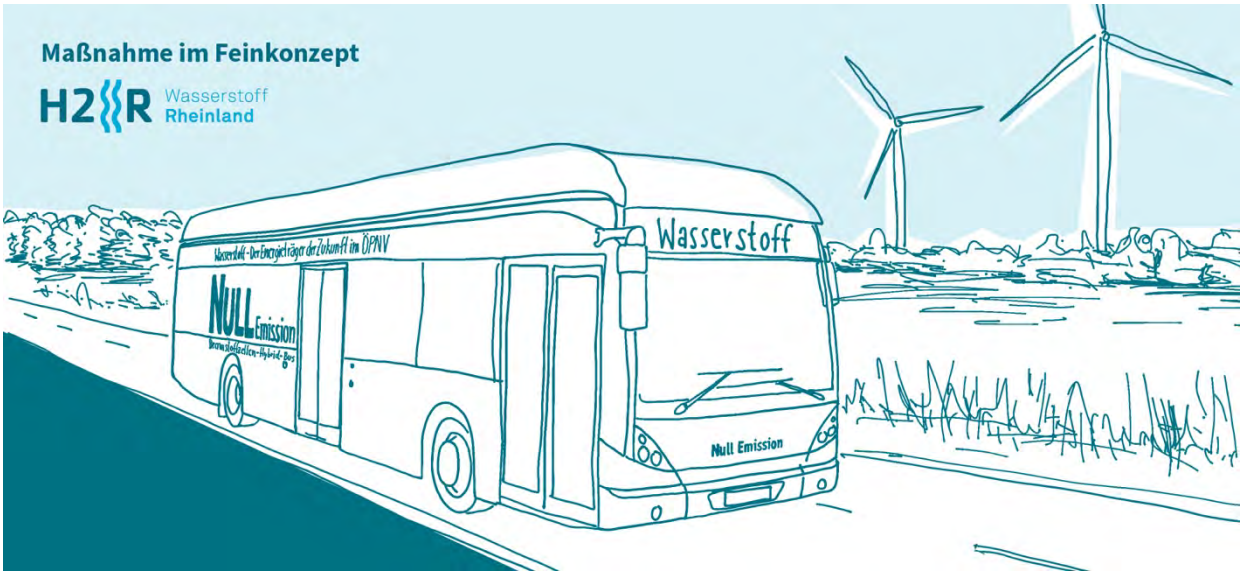
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
-/-

Realisierungszeitraum
Kontinuierlich bei der Erstellung des Feinkonzepts und in der Realisierung

B.76. Steckbrief »ETC«

Akteur: ETC Energy Transition Consulting GmbH
ETC wurde im September 2019 als Start up aus dem Forschungszentrum Jülich gegründet und setzt langjährige Erfahrungen aus energietechnischer Forschung in Beratung um.



Standort
ETC
Sperberweg 2
52076 Aachen

Nutzen
Verschiedenste Beratungsleistungen bspw. Tranformation des Energiesystems und Wasserstoff von der Erzeugung bis zur Nutzung

Technische Daten
-/-

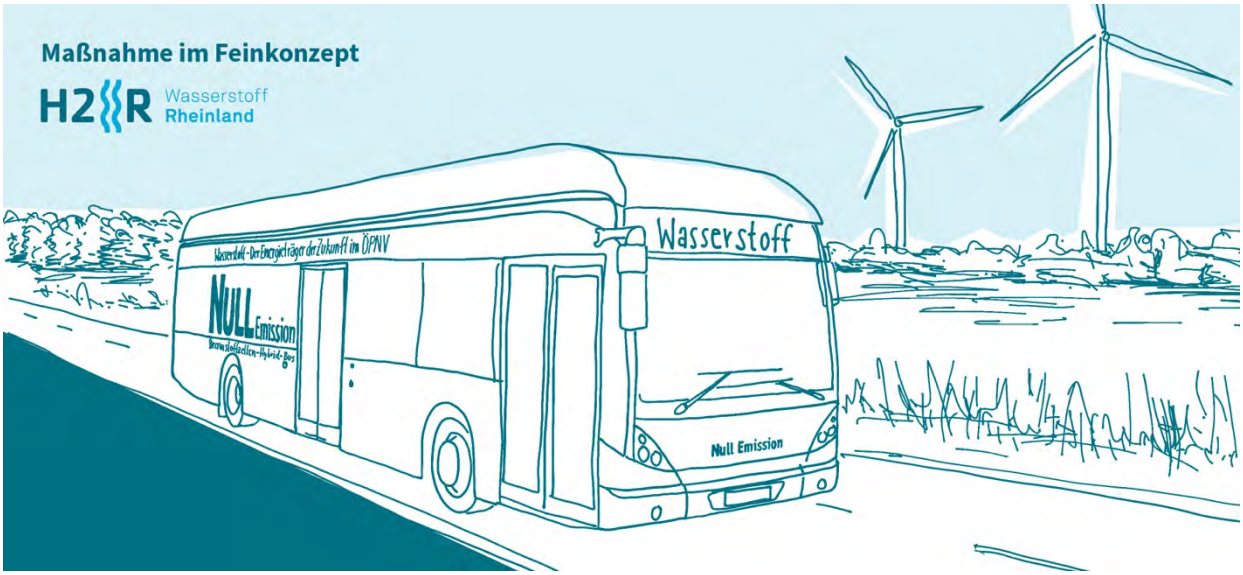
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Finanzierung

Realisierungszeitraum
Beliebig

B.77. Steckbrief »Framatome«

Akteur: Framatome
Framatome unterstützt als EPC (Engineering Procurement & Construction) und erstellt Studien und Konzepte. Framatome stellt technisches Know-how bereitet und deckt das gesamte Spektrum der Wasserstofftechnologie ab.



Standort
Region NRW

Nutzen
Emissionsarmer ÖPNV/Industrie, Integration von Erneuerbaren Energien, Voranbringen der Energiewende und Sektorenkopplung.

Technische Daten
Nach Kundenwunsch

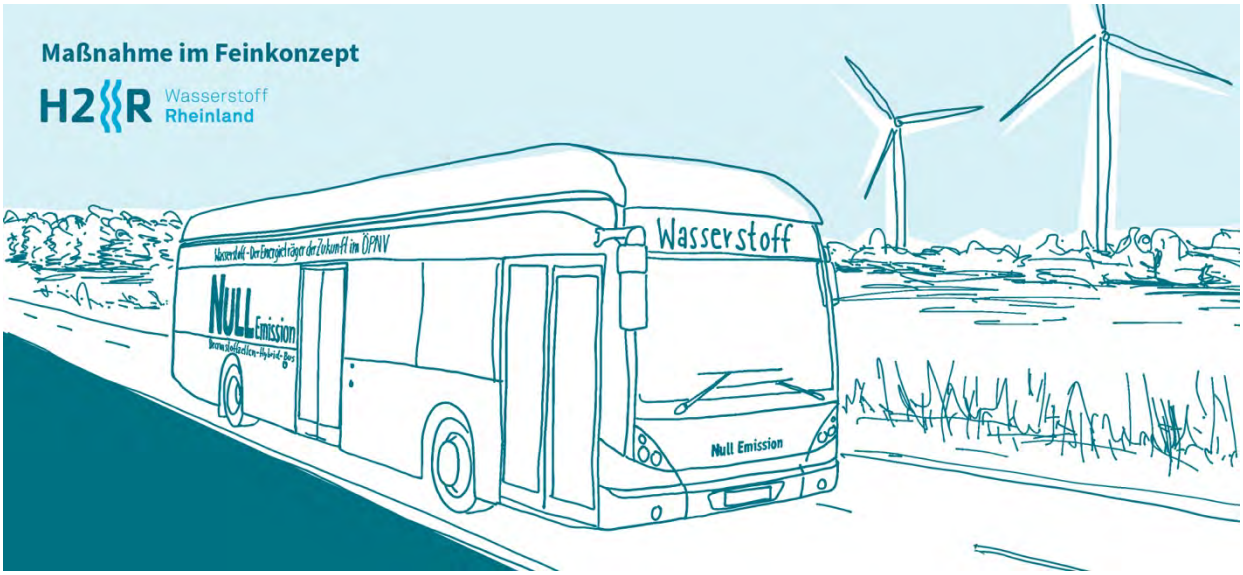
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Projektpartner.

Realisierungszeitraum
Nach Kundenwunsch

B.78. Steckbrief »Lehre zum Thema Wasserstoff«

Akteur: Handwerkskammer zu Köln
Die Handwerkskammer zu Köln soll als fundierter H_2-Wissensvermittler etabliert werden. Einerseits soll dies durch allgemeine Öffentlichkeitsarbeit (Presse, Newsletter, soziale Medien), andererseits durch die technische Betriebsberater (Einzel- und Gruppenberatung, Veranstaltungen) umgesetzt werden.



Standort
Handwerkskammer zu Köln
Heumarkt 12
50667 Köln

Nutzen
Verstärkter Einzug von H_2-Kompetenzen in die Handwerksbranche, bzgl. Fachwissen, Ausbau, Nutzung und Technologieentwicklung.

Technische Daten
Allgemeine Informationen zum Thema über Newsletter, Presse, soziale Medien, Veranstaltungen und Einzelberatungen bei H_2 Projekten in Betrieben.

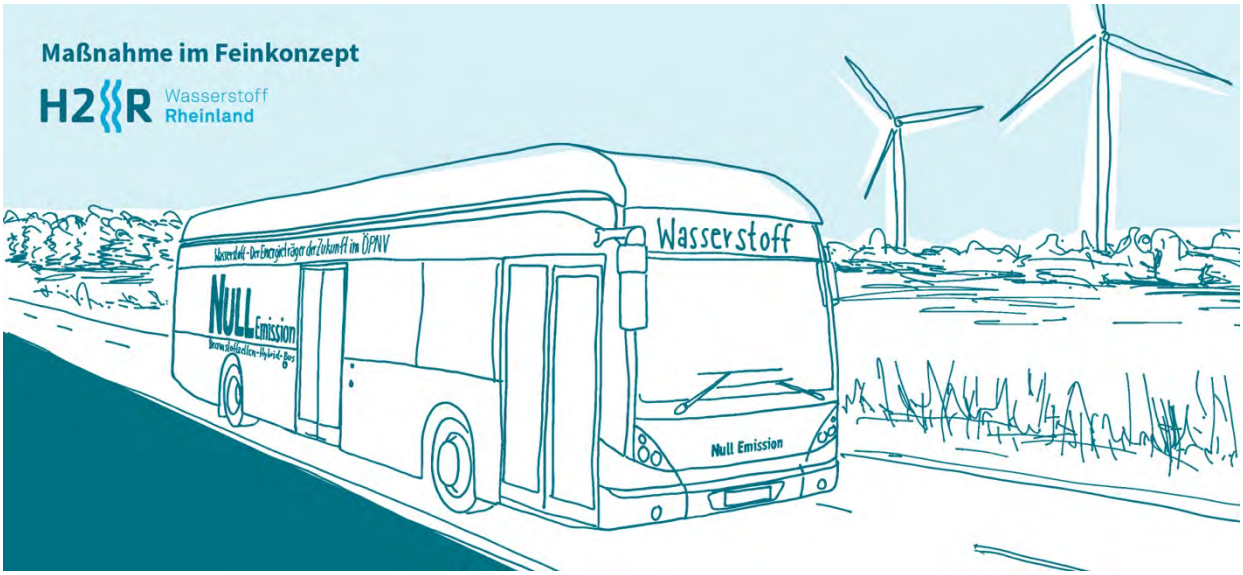
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Weiterbildung der Multiplikatoren.

Realisierungszeitraum
allgemeine Informationen ab sofort, Einzelberatungen ab Sommer 2020, vorraussichtlich ab Herbst 2020 Veranstaltungen mit Publikum

B.79. Steckbrief »H_2-Wissensvermittlung durch Öffentlichkeitsarbeit«

Akteur: Handwerkskammer zu Köln
Die Handwerkskammer zu Köln strebt eine theoretische Wissensvermittlung und die Aufnahme praxisnaher Lerninhalte in der Ausbildung an Übungsanlagen an. Möglich sind z.B. der Einsatz einer KWK-Brennstoffzelle für Demonstrationszwecke und ein H_2-Bus für Anschuungszwecke im Kfz-Unterricht.



Standort
Bildungszentrum Butzweilerhof
Hugo-Eckener-Straße 16
50829 Köln

Nutzen
Etablierung von H_2-Nutzung durch geschultes Montage- und Wartungspersonal.

Technische Daten
praktische Anschauungsobjekte

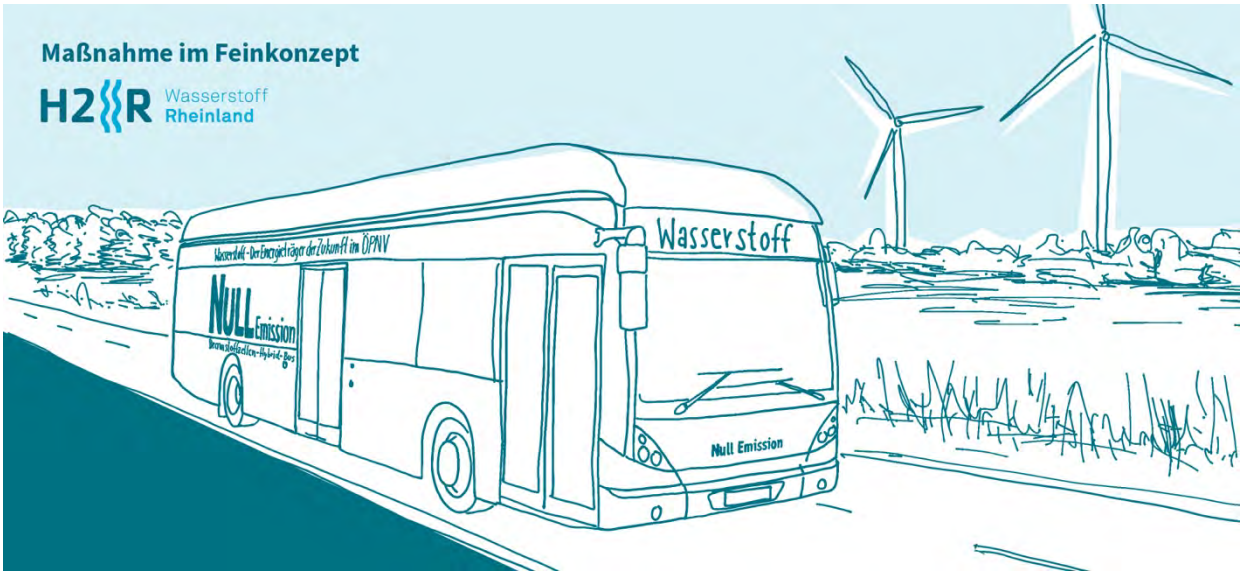
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Theoretisches und praktisches Lehrmaterial, Weiterbildung der Ausbilder.

Realisierungszeitraum
nach Absprache mit dem Ausbildungszentrum

B.80. Steckbrief »Analyse der Gasinfrastruktur«

Akteur: H-BRS
Die Anforderungen und Potenziale für den Betrieb von Gasnetzinfrastrukturen mit Wasserstoff (H_2 Beimischung, reine H_2-Netze) auf Basis von entsprechenden regionalen Daten werden untersucht.



Standort
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Grantham-Allee 20
53757 Sankt Augustin

Nutzen
Zeigt Potenziale sowie Hürden für H_2 in der Region auf.

Technische Daten
Daten (bspw. energiemeteorologische Daten der Region- und Simulationsmodelle) sind bereits vorhanden, H_2-Laborausstattung weiter im Aufbau.

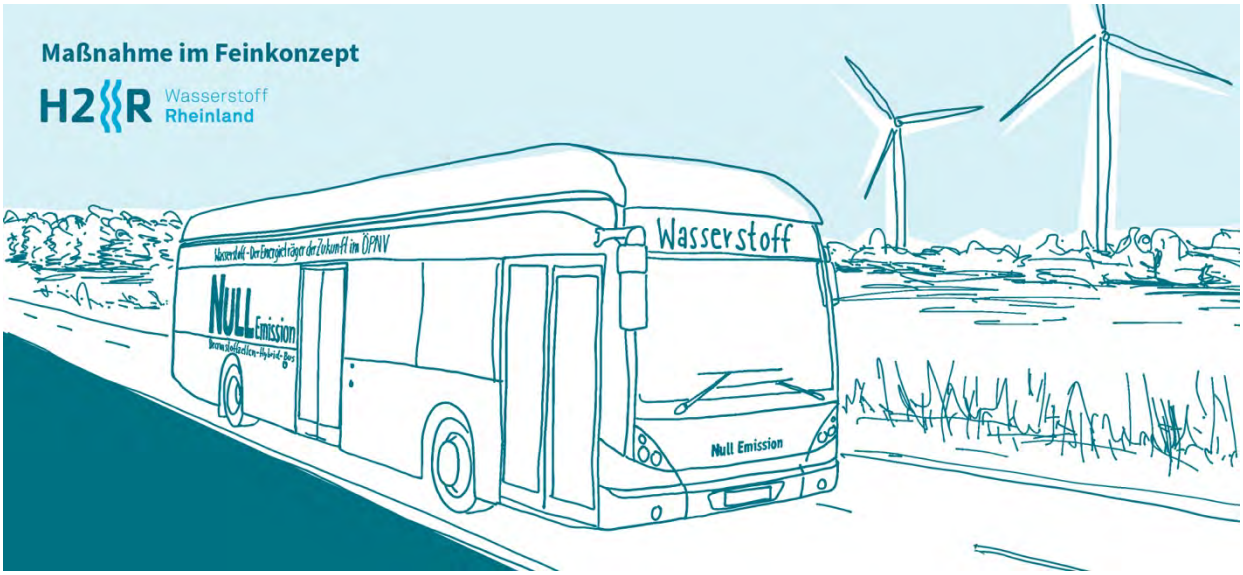
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Daten, wissenschaftliches Personal (ca. 2-3 Doktorandenstellen).

Realisierungszeitraum
2021-2024

B.81. Steckbrief »Studiengang Sektorenkopplung und Nachhaltigkeit«

Akteur: H-BRS
Studierende erlangen im Masterstudiengang ein tiefes Verständnis über Elemente und Nachhaltigkeit der Sektorenkopplung. Der Praxisbezug mit entsprechenden Seminar- und Abschlussarbeiten in Kooperation mit Unternehmen steht dabei im Vordergrund.



Standort
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Grantham-Allee 20
53757 Sankt Augustin

Nutzen
Akkumulation und Nutzung von Expertise zum Thema Sektorenkopplung, Modellierung und Nachhaltigkeit der regionalen Wasserstoffwirtschaft.

Technische Daten
Labor- und Rechnerausstattung der H-BRS für Lehrzwecke.

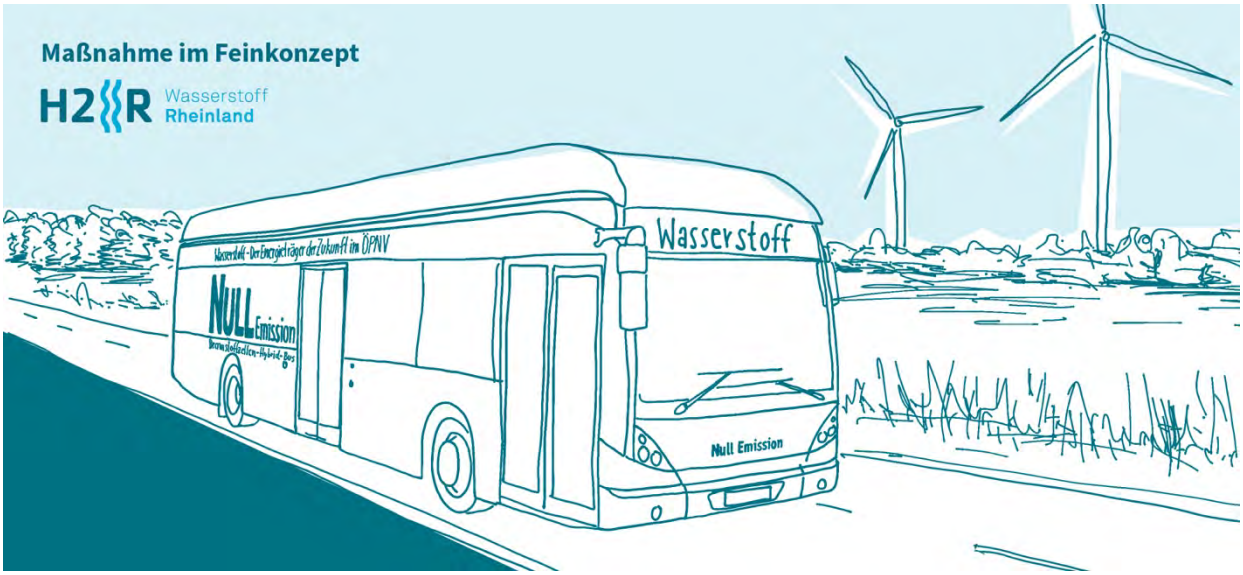
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Akkreditierung des Masterstudiengangs "Nachhaltige Ingenieurwissenschaften".

Realisierungszeitraum
ab Sommersemester 2021

B.82. Steckbrief »Informationsplattform für Bürger«

Akteur: H-BRS
Im Projekt Campus to World (CitizenLab) werden Bürgerinnen und Bürger in die Forschung einbezogen. Wasserstoff kann hier thematisch aufgegriffen und über verschiedene Formate abgebildet werden.



Standort
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Grantham-Allee 20
53757 Sankt Augustin

Nutzen
Vermittlung relevanter Informationen und Sensibilisierung für das Thema.

Technische Daten
-/-

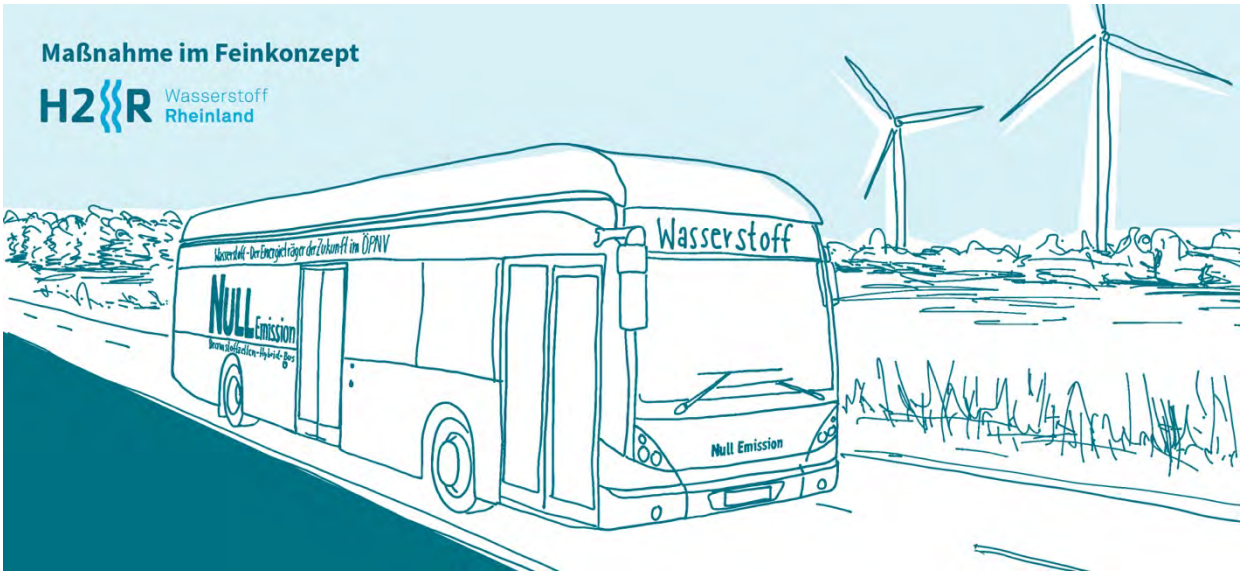
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
interessierte Bürgerinnen und Bürger sowie Praxispartner.

Realisierungszeitraum
Bis 2022

B.83. Steckbrief »Transformationsforschung«

Akteur: H-BRS
Transformationsforschung stellt am Internationalen Zentrum für Nachhaltige Entwicklung (IZNE) der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg einen Schwerpunkt dar. Im Bereich Wasserstoff kann das Wechselspiel der Akteure, der Umwelt und der neuen Technologien analysiert werden.



Standort
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Grantham-Allee 20
53757 Sankt Augustin

Nutzen
Tieferes Verständnis der Chancen und Hürden einer Transformation zu einer breiten Wasserstoff-Nutzung.

Technische Daten
-/-

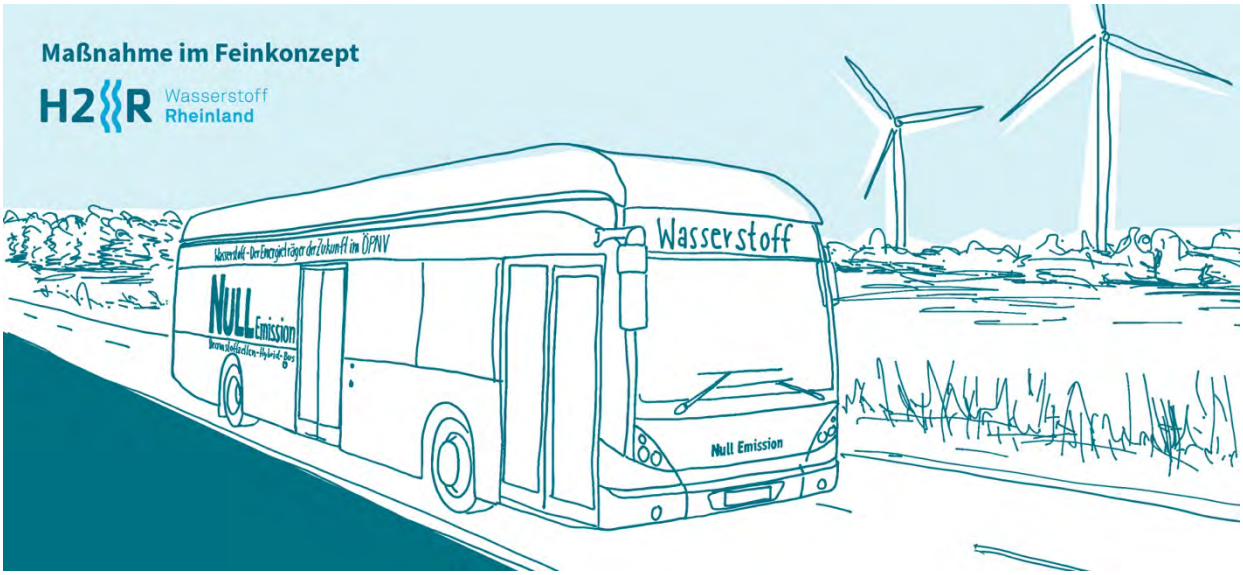
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
2 Stellen für wissenschaftliche Mitarbeiter oder Doktoranden
ggf. Kooperationspartner (Gebietskörperschaften und Unternehmen).

Realisierungszeitraum
2021-2024

B.84. Steckbrief »Kooperative Forschung und Lehre«

Akteur: H-BRS
Die Hochschule Bonn-Rhein-Sieg bietet Möglichkeiten zur kooperativen Forschung und Lehre im Bereich Wasserstoff sowohl mit Unternehmen als auch Kommunen und weiteren Partnern aus der Region.



Standort
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Grantham-Allee 20
53757 Sankt Augustin

Nutzen
neue Kooperationen anregen, Akquirierung von Forschungsmitteln, Vermittlung von Praxis- und Abschlussarbeiten.

Technische Daten
Elektrolyseur,
Metallhybridspeicher,
Brennstoffzelle und
Simulationsmodelle verfügbar

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
je nach Projekt:Wissenschaftliche Mitarbeiter, technische Ausstattung.

Realisierungszeitraum
projektabhängig

B.85. Steckbrief »H2pro3 Plattform«

Akteure: HyCologne, TH Köln, coac GmbH
Eine webbasierte Plattform ermöglicht einen Austausch zwischen Akteuren, Nutzern und Anbietern von wasserstoffbasierten Energietechnologien aus der Privatwirtschaft und dem öffentlichen Bereich.



Standort
HyCologne Hürth
Goldenbergstraße 1
50354 Hürth

Nutzen
innovative Projekte im Bereich H_2-Erzeugung, -nutzung und -planung
Steigerung der regionale Wertschöpfung.

Technische Daten
Webplattform

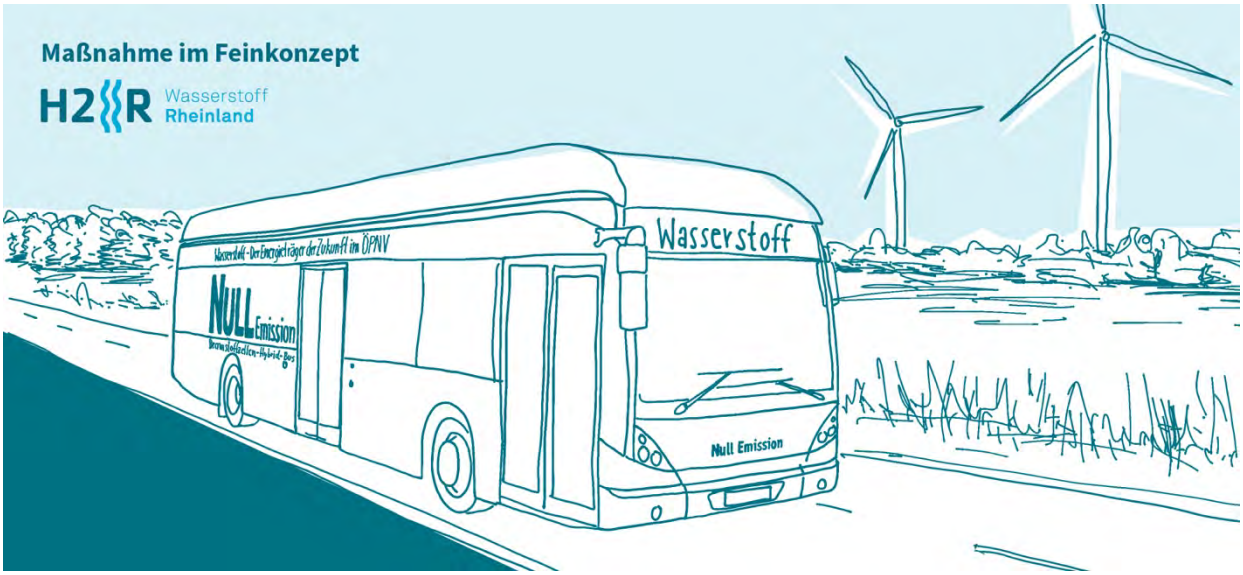
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Förderung BMWi

Realisierungszeitraum
Start der Planung 2019
Start Betrieb 2020

B.86. Steckbrief »Online-Konferenz #H2R«

Akteur: KölnBusiness Wirtschaftsförderung GmbH
Mit Unterstützung der TH Köln und HyCologne plant die KölnBusiness Wirtschaftsförderung GmbH zur Präsentation des Verbundkonzepts *H2R – Wasserstoff Rheinland* eine KickOff-Veranstaltung #H2R und die Etablierung des Formats als Online-Konferenz.



Standort
Online-Konferenz, ggf. unter Berücksichtigung von Streaming-Einheiten

Nutzen
Beitrag zur öffentlichen Wahrnehmung, Erfahrungen als "Blaupause" für weitere Regionen, Vernetzung der H_2-Akteure (über-)regional, Wissenstransfer.

Technische Daten
Online-Konferenz

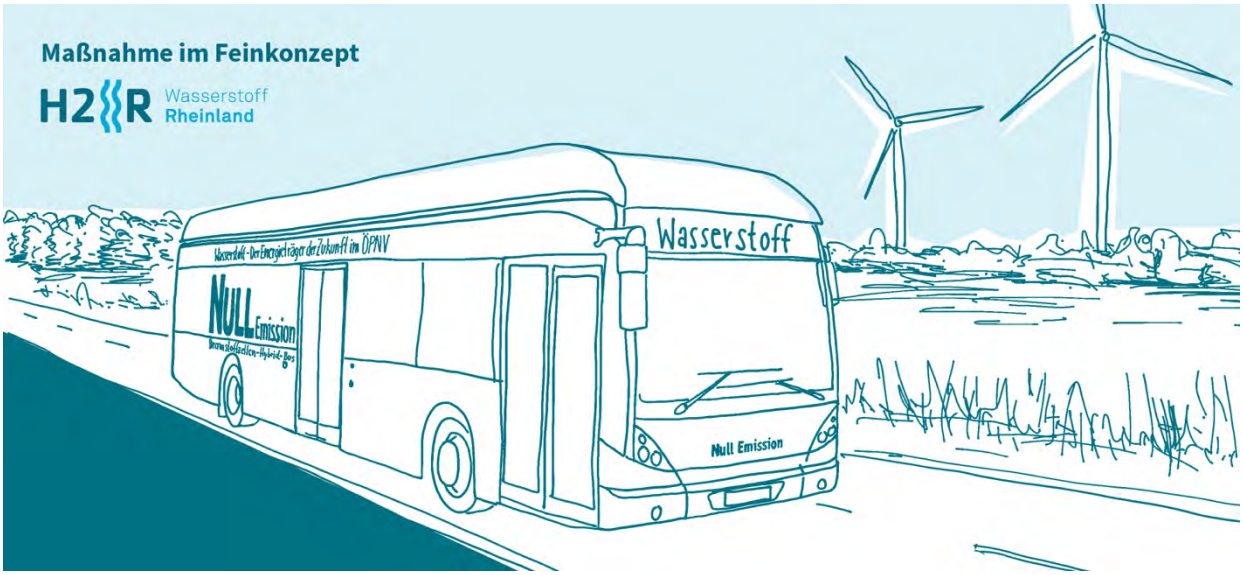
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Kooperationspartner des Gesamtkonzepts *H2R – Wasserstoff Rheinland* biten mit ihren Projekten ein denkbar breites Spektrum.

Realisierungszeitraum
Start Planung: sofort
Start Betrieb: KickOff-Konferenz Okt. 2020
Folgekonferenzen: vsl. jährlich

B.87. Steckbrief »Finanzierung für H_2-Projekte«

Akteur: Kreissparkasse Köln
Die KSK begleitet die Finanzierungsgestaltung von H_2-Projekten fachlich und wirtschaftlich. Projektorientiert werden Finanzierungsmöglichkeiten analysiert und ökologische Investments platziert (z.B. Sparbriefe, Inhaberschuldverschreibungen, H_2-Fonds). Die KSK bringt sich durch direkte und indirekte Finanzierungshilfen nach Projektfortschritt und Umsetzungsstufen in die (Teil-)Projekte ein.



Standort
Kreissparkasse Köln
Neumarkt 18 - 24
50667 Köln

Nutzen
Fachliche und finanzwirtschaftliche Projektbegleitung und Gewährung von Finanzierungshilfen bei nachhaltigen Projekten.

Technische Daten
-/-

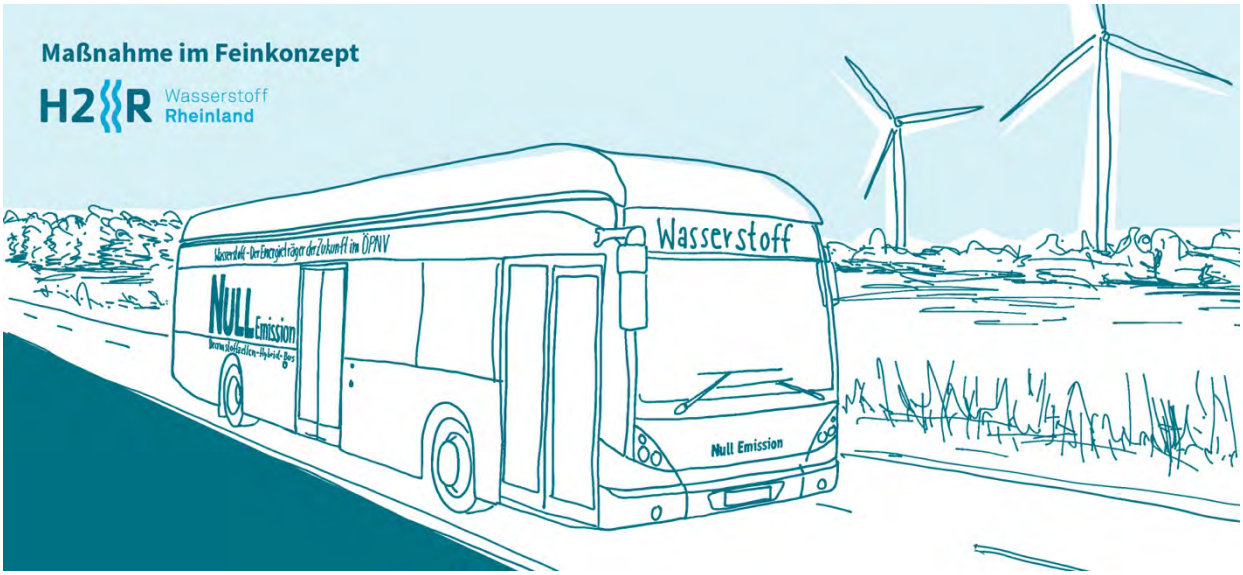
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
-/-

Realisierungszeitraum
projektbegleitend

B.88. Steckbrief »Aufbau von Schulkooperationen«

Akteur: Nicolaus-August-Otto-Berufskolleg
Schüler*innen werden für alternative Antriebskonzepte im Fahrzeugtechnischem Kontext sensibilisiert. Die Mitglieder des Team NAOB geben ihr Wissen an Schüler*innen anderer Schulen weiter.



Standort
Nicolaus-August-Otto-Berufskolleg (NAOB)
Eitorfer Str. 16
Köln-Deutz

Nutzen
Bildungsarbeit, Expertise für ingenieurswissenschaftliche Aufgaben
Wissen bzgl. der BZ- und H_2-Technik einem jungen Publikum näherbringen.

Technische Daten
Antrieb: Brennstoffzelle (ca. 350W)
Elektromotoren (ca. 250W)
Karosserie: Kohlefaserverbundwerkstoff und Kohlefasersandwichbau

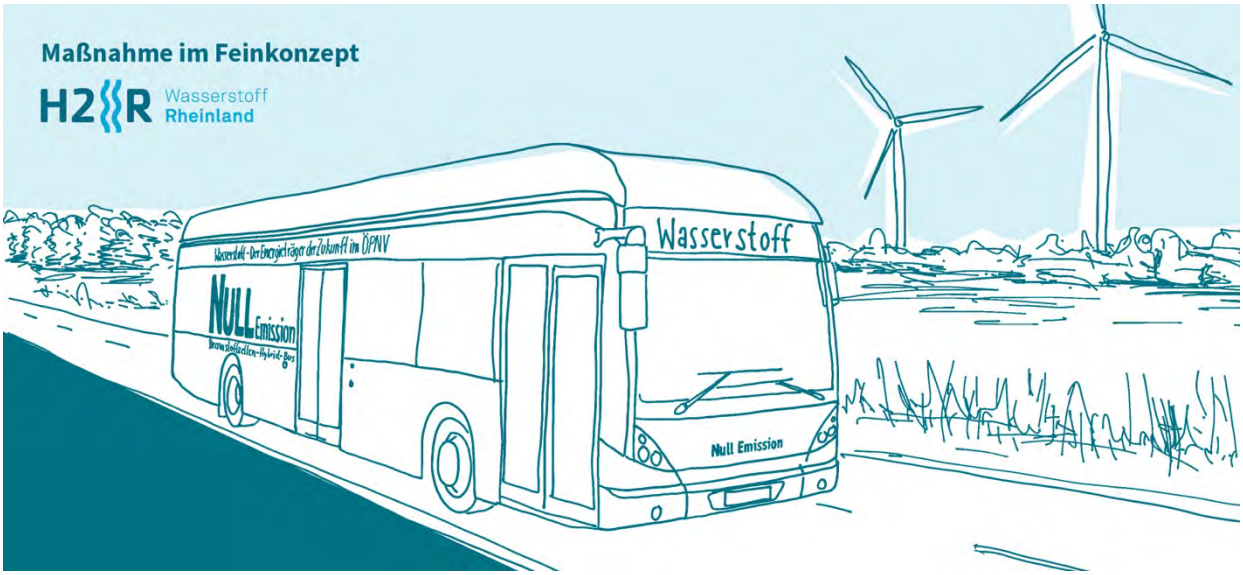
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
-/-

Realisierungszeitraum
Schuljahr 2020/21: Pilot für Schulkooperation mit Kölner Gymnasium 2021: Ausbau der Beteiligung an Projektwochen/Workshops am NAOB

B.89. Steckbrief »Wissensaustausch«

Akteur: RFH gGMBH
Die RFH ist Träger von Wissen zur Erzeugung (solarthermisch/elektrolytisch) und Verteilung von Wasserstoff. Aktuelles Beispiel ist das Forschungsprojekt ASTOR (Automatisierung Solar-Thermochemischer Kreisprozesse zur Reduzierung von H_2-Gestehungskosten). In diesem Projekt wird ein solarthermischer Wasserstoffreaktor entwickelt.



Standort
RFH gGMBH
Schaevenstr. 1 a/b
50676 Köln

Nutzen
Allgemeiner Nutzen ist der Austausch von Wissen und Erweitern des regionalen H_2-Netzwerkes.

Technische Daten
-/-

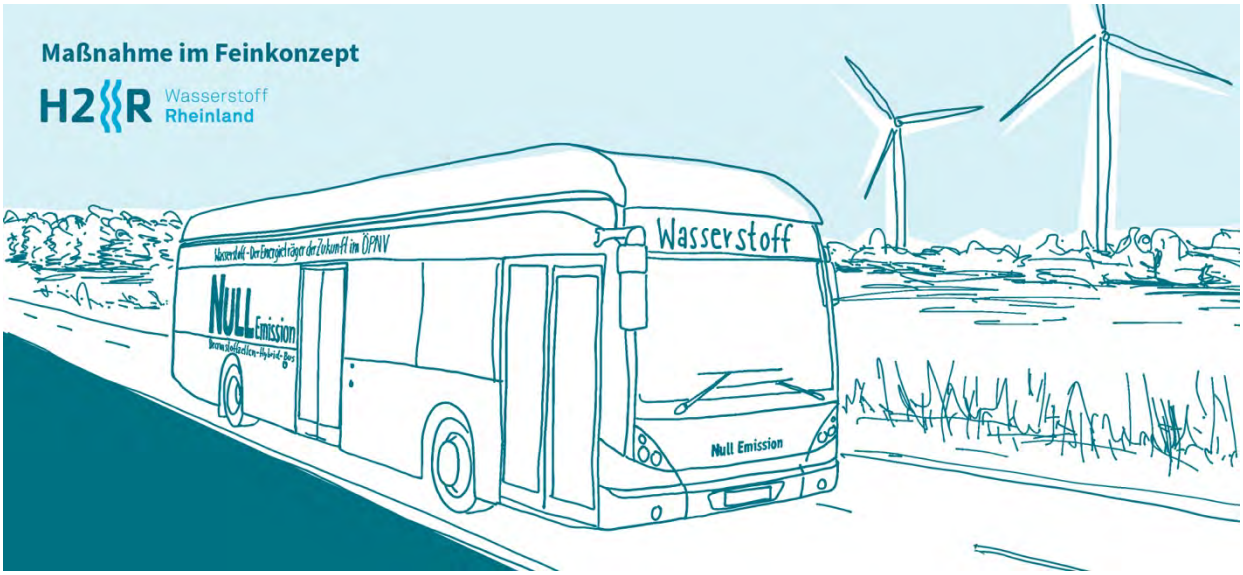
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
-/-

Realisierungszeitraum
während der Dauer von *H2R – Wasserstoff Rheinland*

B.90. Steckbrief » Bergisches Wasserstoffzentrum H2Berg«

Akteur: Rheinisch-Bergischer Kreis, Rhein-Sieg-Kreis, Akteure aus Wirtschaft, Forschung
Das Bergische Wasserstoffzentrum H2Berg soll die Erfahrungen mit BZ-Bussen in den ÖPNV im Bergischen Land implementieren und auf SNF übertragen. Es soll die Herstellung des Grünen Wasserstoffs mit weiteren Projektpartnern unterstützen und fördern.



Standort
„Grüner Mobilhof“,
Bergisch Gladbach
Rheinisch-Bergischer Kreis

Nutzen
Förderung von „Grünem H_2“, Zugang zumThema H_2 für eine breite Öffentlichkeit, Initiierung neuer Projekte mit Strahlkraft in den Oberbergischen Kreis.

Technische Daten
Abhängig von der Ausstattung und Gestaltung des Kompetenzzentrums ca. 4 – 6 MitarbeiterInnen.

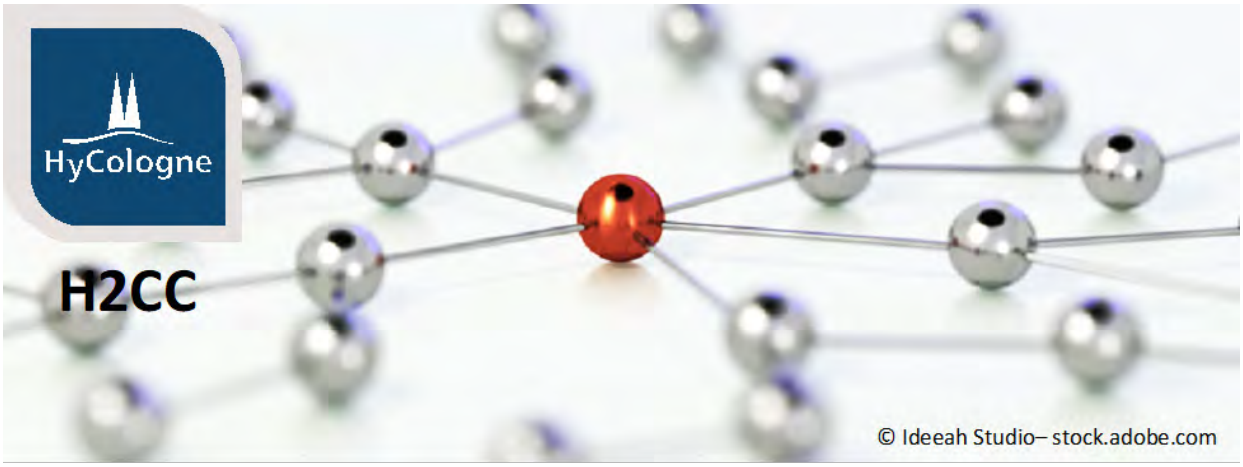
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Finanzierung
Personelle Ausstattung
Nutzung vorhandener Ressourcen/ Wissensquellen

Realisierungszeitraum
Start Planung: Ende 2019
Start Betrieb: geplant 2022

B.91. Steckbrief »HyCologne-H2CC«

Akteure: Stadt Köln, Stadt Hürth, TH Köln, HyCologne, etc.,
Das Kompetenzzentrum H2-CC ermöglicht Interessenten einen Einblick in die Welt des Wasserstoffs und soll als Plattform für die Weiterentwicklung der Modellregion *H2R- Wasserstoff Rheinland* dienen. Akteuren wird die Möglichkeit geboten, sich aktiv in das Projekt einzubinden und die Umsetzung des Feinkonzepts weiterzuverfolgen.



Standort
Ermittlung über Ausschreibung

Nutzen
Aktivitäten für die H_2-Nutzung in den Sektoren Verkehr, Industrie und Energie anzustoßen, zu unterstützen, zu begleiten (transparent und nachhaltig).

Technische Daten
5 Mitarbeiter Äquivalente

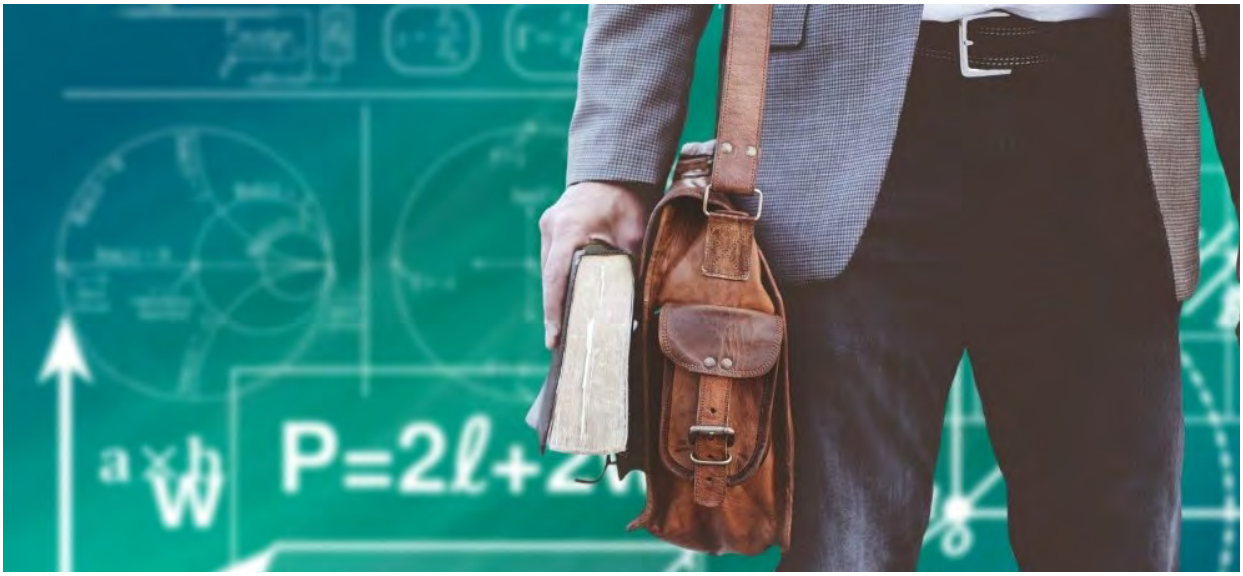
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Finanzierung
Standorteinigung
politikunabhängige und überregionale Zusammenarbeit

Realisierungszeitraum
Start Planung: seit 2018
Start Betrieb: 2022

B.92. Steckbrief »Professur Wasserstoff-Systemtechnik«

Akteur: TH Köln
Die Technische Hochschule Köln wird zeitnah eine Professur zum Thema "Wasserstoff-Systemtechnik" am Cologne Institute for Renewable Energy (CIRE) der Fakultät für Anlagen, Energie und Maschinensysteme vergeben, um die Lehr- und Forschungskompetenzen im Bereich Wasserstoff-Wirtschaft zu erweitern.



Standort
TH Köln
Betzdorfer Str. 2
50678 Köln

Nutzen
Erweiterung bestehender Kompetenzen
Unterstützung des Aufbaus der Wasserstoffwirtschaft im Rheinland
Weiterführende Forschungsprojekte.

Technische Daten
Eine Professur unterstützt von wissenschaftlichen Mitarbeiter*innen

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Durchführung des Berufungsverfahrens.

Realisierungszeitraum
Bewerbungsfrist bis 01.04.2020, daran anschließend Auswahlverfahren im Jahr 2020
Berufung voraussichtlich im Jahr 2021

B.93. Steckbrief »Akzeptanzforschung und Partizipation«

Akteur: TH Köln
Im Rahmen der Forschung des „Virtuellen Instituts Smart Energy“ wurden Methoden und Formate (z.B. Workshops, Online-Umfragen) entwickelt, mit denen sich die Akzeptanz für Aspekte der Wasserstoffwirtschaft untersuchen lassen, Verständnis für die Aspekte der Wasserstoffwirtschaft geschaffen werden und Partizipationsprozesse durchgeführt werden können.



Standort
TH Köln
Betzdorfer Str. 2
50678 Köln

Nutzen
Umfangreiche Analyse der Stakeholder und ihrer. Interessenslage zum Aufbau einer „kundengerechten“ Kommunikation für H_2-Projekte.

Technische Daten
Team von Fachprofessor*innen und wissenschaftlichen Mitarbeiter*innen mit umfangreicher Erfahrung in Akzeptanzforschung und Partizipation.

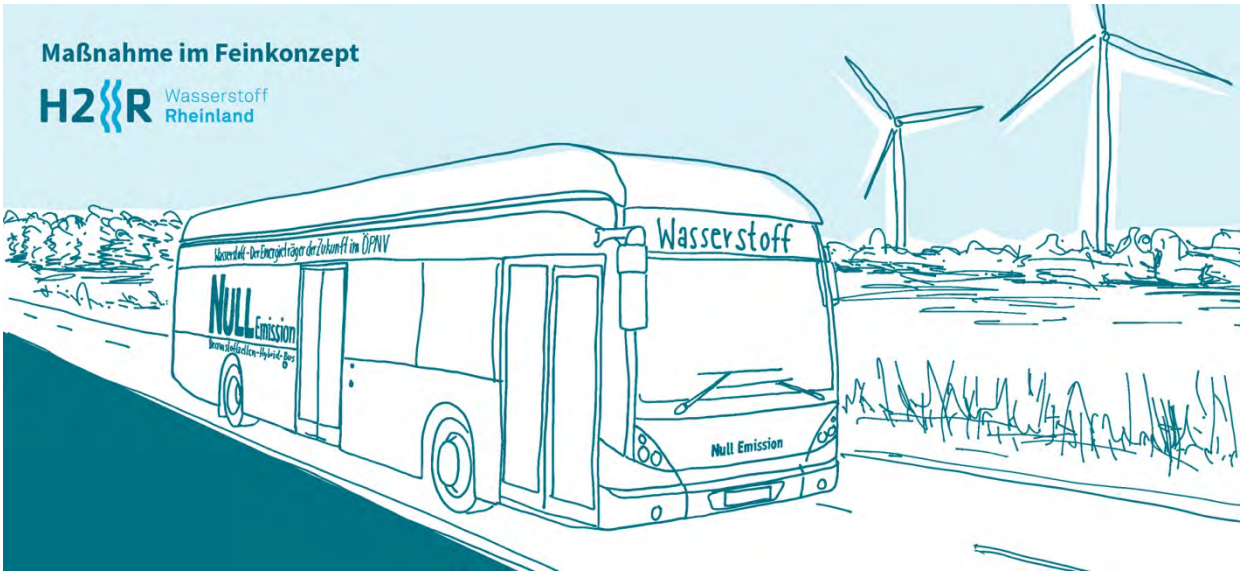
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Schaffung entsprechender Mitarbeiterstellen an der TH Köln.

Realisierungszeitraum
Ab sofort.

B.94. Steckbrief »Entwicklung, Modellbildung, Aufbau und Testen von Leistungselektronik«

Akteur: TH Köln
Die Technische Hochschule Köln unterstützt die Entwicklung, Modellbildung, den Aufbau und das Testen von Leistungselektronik für mobile und stationäre, Wasserstoff nutzende Systeme bis zu einer Leistung von 200 kW.



Standort
TH Köln
Betzdorfer Str. 2
50678 Köln

Nutzen
Unterstützung der lokalen Industrie bei der Entwicklung von wasserstoffbasierten Systemen und Bündelung der Kompetenz rund um H_2-Anwendungen.

Technische Daten
-/-

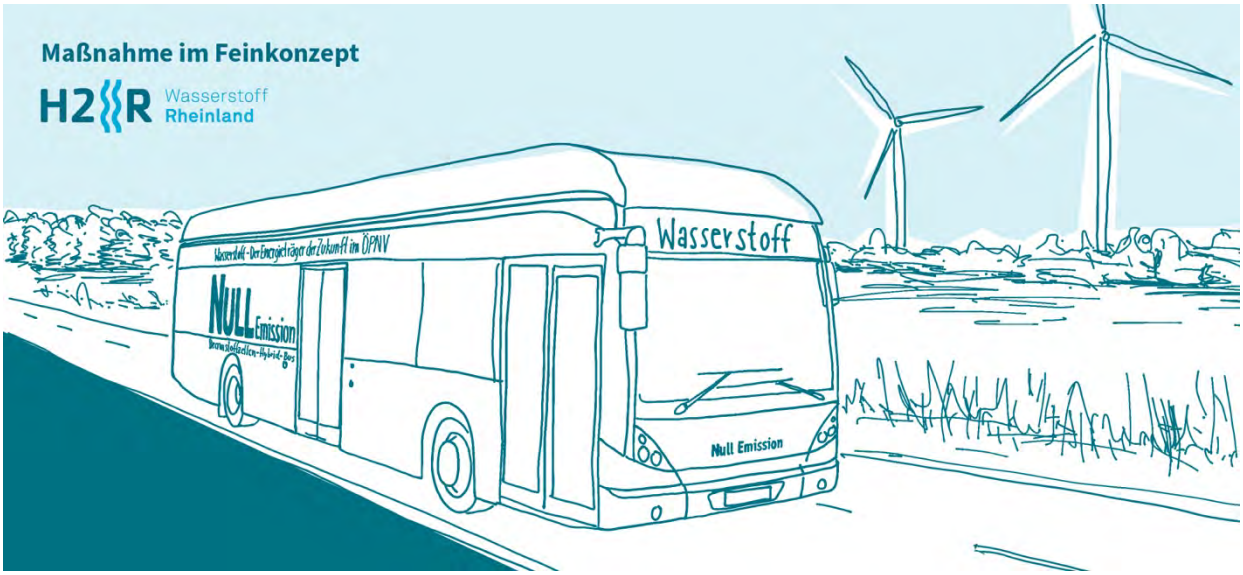
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Es kann industrielle Auftragsforschung genauso wie öffentlich geförderte Forschung und Entwicklung sein.

Realisierungszeitraum
jederzeit

B.95. Steckbrief »Modellierung von Energiesystemen«

Akteur: TH Köln
Im Rahmen der Arbeiten des „Cologne Institute for Renewable Energy“ wurden umfangreiche Modellierungswerkzeuge für Energiesysteme aufgebaut. Diese können für die Auslegung, Simulation und Optimierung von wasserstoffbasierten Energiesystemen genutzt werden.



Standort
TH Köln
Betzdorfer Str. 2
50678 Köln

Nutzen
Nutzen von Modellierungswerkzeugen zur Auslegung, Simulation und Optimierung von wasserstoffbasierten Energiesystemen auf Basis realer Betriebsdaten

Technische Daten
Team von Fachprofessor*innen und wissenschaftlichen Mitarbeiter*innen mit Erfahrung in der Modellierung von Energiesystemen

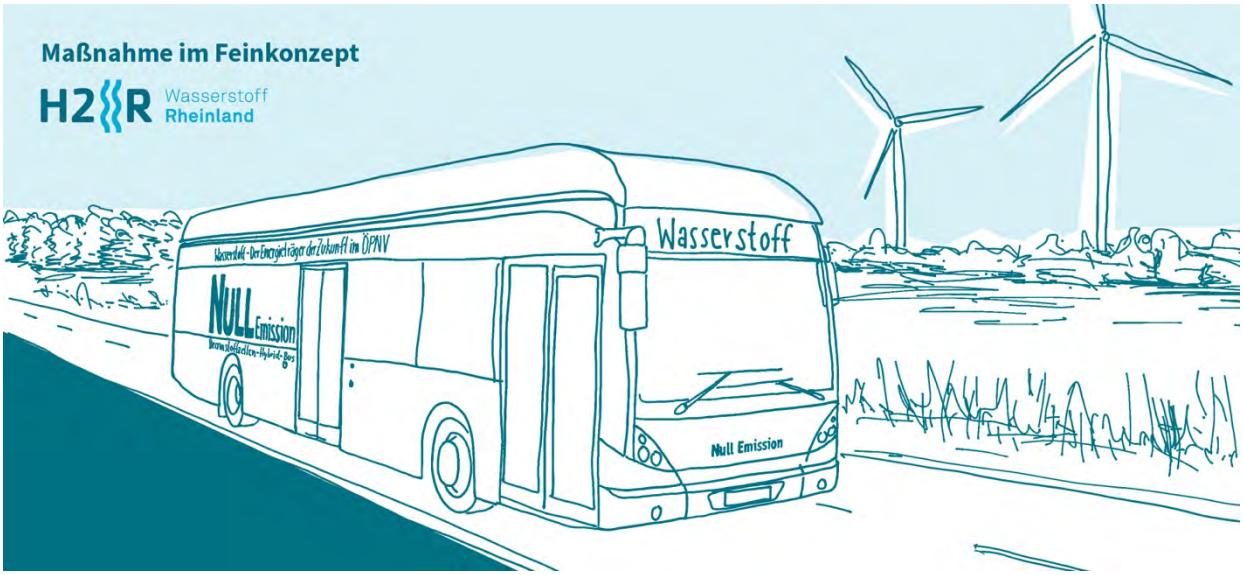
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Einbeziehung in entsprechende Projekte und Forschungsprojekte.

Realisierungszeitraum
Ab sofort.

B.96. Steckbrief »Organisation von Plattformen«

Akteur: TH Köln
Im Rahmen der Arbeiten des „Virtuellen Instituts Smart Energy“ (VISE) und einer NRW-weiten interdisziplinären Forschungsplattform zur Digitalisierung der Energiewirtschaft (mit aktuell über 500 Stakeholdern) wurden Formen der Organisation, Stakeholder-Kommunikation und Governance entwickelt, die auch als Grundlage für die Gestaltung von H2R nutzbar sind.



Standort
TH Köln
Betzdorfer Str. 2
50678 Köln

Nutzen
Nutzen von Erfahrungswerten aus umfangreichen Forschungsprojekten zur Vermittlung von Wissen, Organisation von Formaten und Plattformen.

Technische Daten
Team aus Fachprofessor*innen und wissenschaftlichen Mitarbeiter*innen mit Erfahrung in der Organisation von Plattformen wie dem VISE.

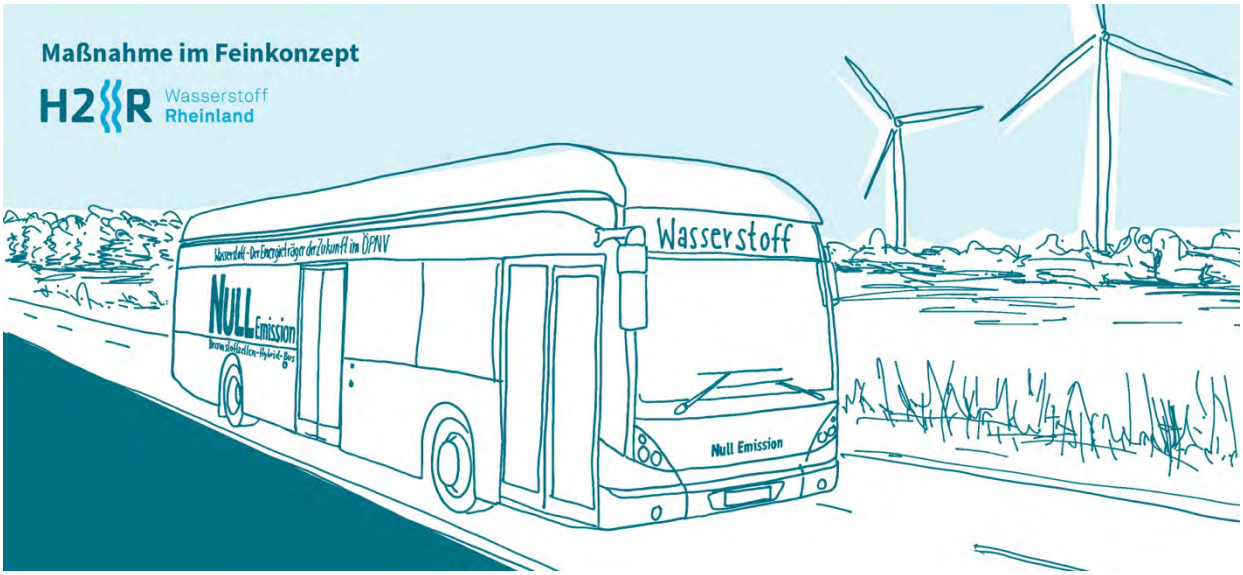
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Einbeziehung des VISE-Teams in H2R-Organisation

Realisierungszeitraum
Ab sofort.

B.97. Steckbrief »Wasserstoffwirtschaft in der Hochschul-Lehre«

Akteur: TH Köln
An der TH Köln wird in verschiedenen Fakultäten das Themengebiet Wasserstoffwirtschaft, Sektorenkopplung und Power to Gas behandelt. Es wurden vielfältige studentische Projekte und Abschlussarbeiten im Themengebiet durchgeführt. Daraus ergeben sich vielfältige Anknüpfungspunkte für Unternehmen und Stakeholder.



Standort
TH Köln
Betzdorfer Str. 2
50678 Köln

Nutzen
Unternehmen/Stakeholdern bietet die TH Köln die Möglichkeit, Studierende für Abschlussarbeiten, Werksstudententätigkeiten und Anstellung zu gewinnen. Die

Technische Daten
Projektformate mit unterschiedlicher Dauer und Umfang, Formulierung und Betreuung von studentischen Projekten und Abschlussarbeiten.

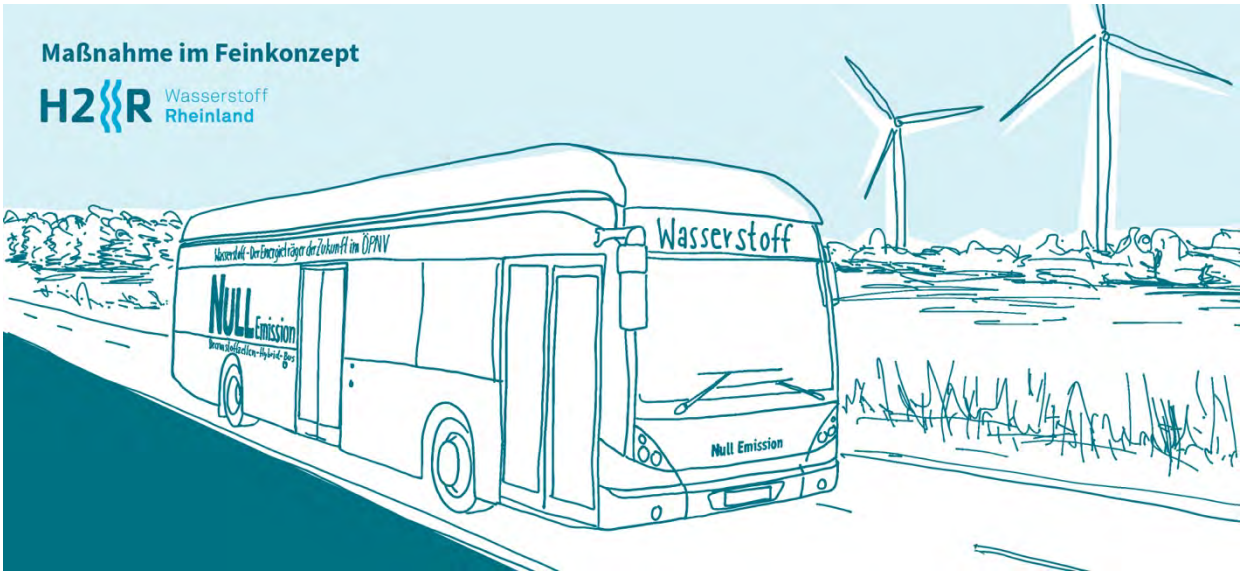
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
-/-

Realisierungszeitraum
Ab sofort.

B.98. Steckbrief »Schulunterricht über „Alternative Mobilität“«

Akteur: TH Köln
In Kooperation mit der RVK, dem zdi-Netzwerk MINT Rhein-Berg sowie dem AMG Bensberg ist eine Unterrichtseinheit zum Thema Wasserstoffmobilität erarbeitet worden, um Schüler und Schülerinnen das Thema im Unterricht sowie an einem Tag an der TH Köln näher zu bringen.



Standort
TH Köln
Betzdorfer Str. 2
50678 Köln

Nutzen
Schüler*innen werden an die Thematik „Alternative Mobilität“ herangeführt.

Technische Daten
Das Projekt läuft seit 2016 und erreicht pro Jahr ca. 4 bis 6 Schulklassen bzw. Kurse.

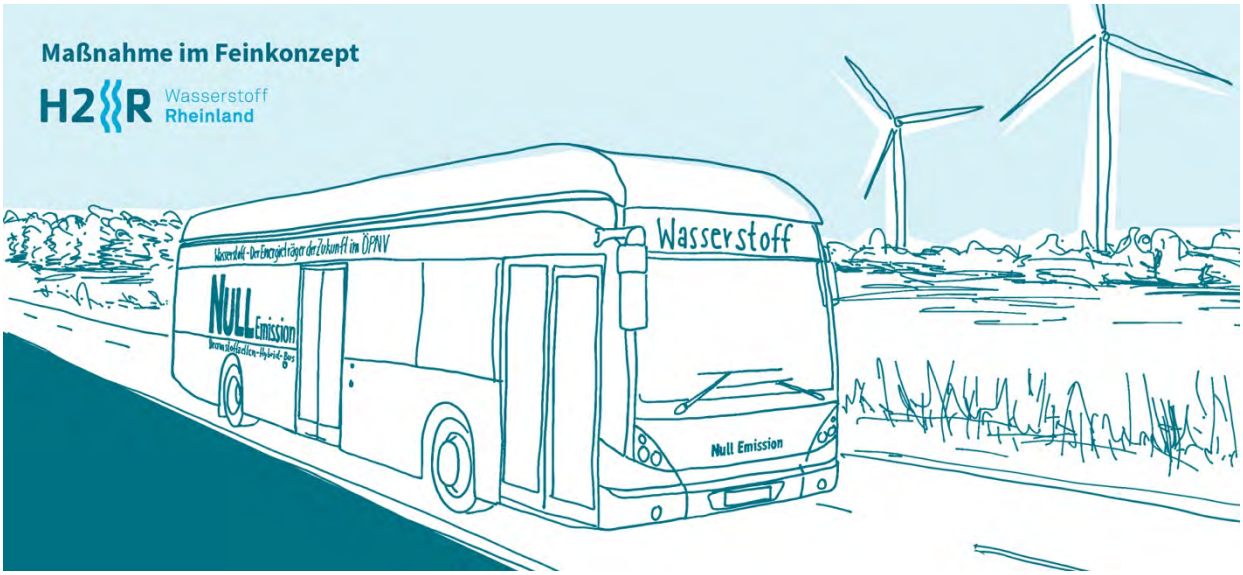
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
Transport mit einem H_2-Bus der RVK zur TH Köln, dort wird ein Praktikum Labor zu dem genannten Thema durchgeführt.

Realisierungszeitraum
Seit 2016

B.99. Steckbrief »Interdisziplinäres Kompetenzteam Wasserstoffwirtschaft«

Akteure: TH Köln, H-SRM
Ein interdisziplinäres Kompetenzteam von Professor*innen (Maschinenbau, Elektrotechnik, Energietechnik, Verfahrenstechnik, Fahrzeugtechnik, Wirtschaftswissenschaften) an der TH Köln als Ansprechpartner*innen und für Projekte, Forschung und Lehre im Bereich Wasserstoffwirtschaft, in enger Kooperation mit den Fachprofessoren und Fachprofessor*innen der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg.



Standort
TH Köln
Betzdorfer Str. 2
50678 Köln

Nutzen
interdisziplinäre Expertise für die Vorbereitung, Planung, Durchführung von (Forschungs-)Projekten, Lehre/Betreuung studentischer Arbeiten.

Technische Daten
Lehre und Forschung an verschiedenen Fakultäten der TH Köln, Forschungsprojekte/Projekte (u.a. Wissensmanagement für H_2-Wirtschaft).

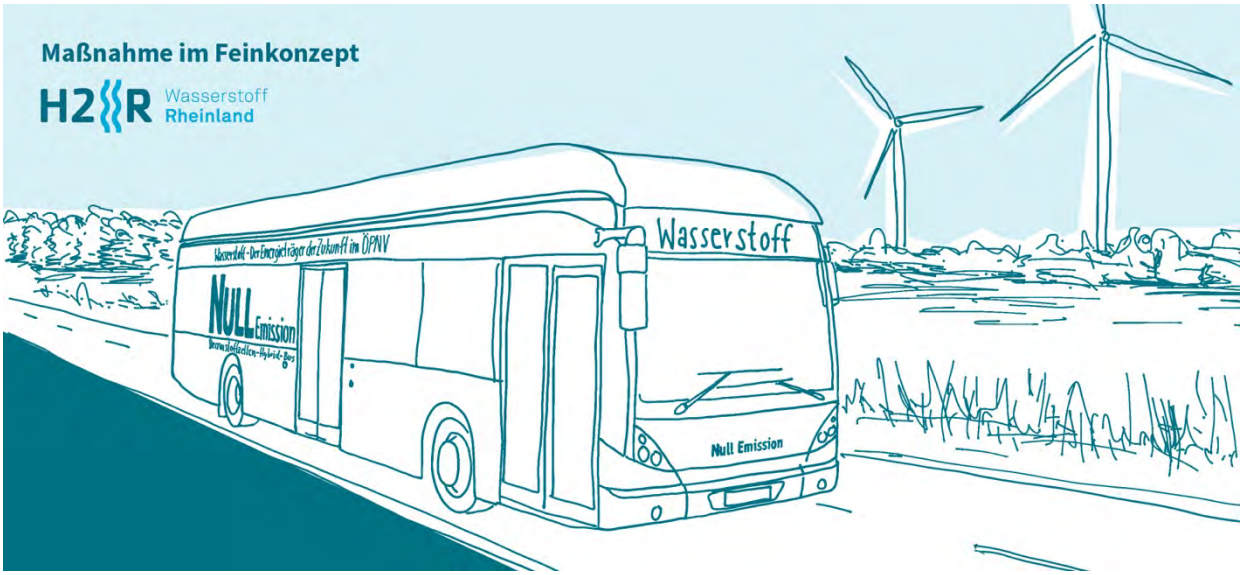
Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
-/-

Realisierungszeitraum
Ab sofort.

B.100. Steckbrief »Entwicklung von Finanz- und Leasingprodukten für Wasserstoff-Fahrzeuge«

Akteur: Toyota Kredit Bank
Es werden innovative Finanz- und Leasingprodukte für Wasserstofffahrzeuge und individuelle Mobilitätskonzepte unter besonderer Berücksichtigung von Wasserstoff-Technologien entwickelt.



Standort
Toyota Kredit Bank
Toyota-Allee 5
50858 Köln

Nutzen
Höhere Lebensqualität und Klimaschutz durch nachhaltige Reduktion von Emissionen und Mobilität der Zukunft

Technische Daten
-/-

Funktion in Wasserstoff Rheinland
H_2-Wissen

Voraussetzung
H_2 Infrastruktur, engagierte Politik, partnerschaftliche Zusammenarbeit mit Verwaltung.

Realisierungszeitraum
PKW: Mirai Leasing verfügbar
Bus: Leasing in der Entwicklung

B.101. Quellen zu den Bildern der Steckbriefe

B.5	SHELL
B.16	RSAG
B.22	EMCEL
B.23	SHELL
B.24	SHELL
B.25	SHELL
B.26	RVK
B.31	Anleg GmbH
B.32	RVK
B.33	EMCEL
B.35	EMCEL
B.39	HyCologne
B.43	EMCEL
B.45	RVK
B.46	RVK
B.54	RSAG
B.62	HyCologne
B.64	HEE
B.85	HyCologne
B.91	HyCologne

C. Absichtserklärungen

Die Absichtserklärungen sind in der PDF-Version ab Seite 272 einsehbar.

C.1. Absichtserklärungen der Auftraggeber

C.1.1. Stadt Brühl
C.1.2. Stadt Hürth
C.1.3. Stadt Köln
C.1.4. Stadt Wesseling
C.1.5. Rheinisch-Bergischer Kreis
C.1.6. Rhein-Sieg Kreis
C.1.7. Regionalverkehr Köln GmbH

C.2. Absichtserklärungen der Unternehmen und Einrichtungen

C.2.1. Abfallwirtschaftsbetrieb Bergisch Gladbach GmbH
C.2.2. Abfallwirtschaftsbetrieb Köln GmbH
C.2.3. ABO Wind AG
C.2.4. Air Products GmbH
C.2.5. AREVA H2Gen GmbH
C.2.6. b.fab GmbH
C.2.7. Bergischer Abfallwirtschaftsverband, AVEA GmbH, :metabolon Institut der TH Köln
C.2.8. Blue Energy Europe GmbH
C.2.9. Center of Automotive Management GmbH & Co. KG
C.2.10. CleverShuttle Köln GmbH
C.2.11. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
C.2.12. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
C.2.13. Deutz AG
C.2.14. e.GO REX GmbH
C.2.15. EMCEL GmbH
C.2.16. ETC Energy Transition Consulting GmbH
C.2.17. Flughafen Köln/Bonn GmbH
C.2.18. Ford Research and Advanced Engineering Europe
C.2.19. Framatome GmbH
C.2.20. Fronius Deutschland GmbH
C.2.21. Fujikura Technology Europe GmbH
C.2.22. H2 Mobility Deutschland GmbH & Co.KG
C.2.23. Handwerkskammer zu Köln
C.2.24. Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
C.2.25. HEE Technologies GmbH
C.2.26. Häfen und Güterverkehr Köln AG, neska Schifffahrts- und Speditionskontor GmbH, Rheincargo
C.2.27. HyCologne – Wasserstoff Region Rheinland e.V.
C.2.28. Hydrogenious LOHC Technologies GmbH
C.2.29. Industrie- und Handelskammer zu Köln
C.2.30. INEOS Manufacturing Deutschland GmbH
C.2.31. Innogy SE
C.2.32. Karpenstein Longo Nübel Rechtsanwälte Partnerschaft mbB
C.2.33. KölnBusiness Wirtschaftsförderung GmbH
C.2.34. Koelnmesse GmbH
C.2.35. Kölner Verkehrs-Betriebe AG
C.2.36. Kreis Düren

C.2.37. Kreissparkasse Köln
C.2.38. Linde GmbH
C.2.39. Maier Bros. GmbH
C.2.40. Manderla Ingenieurbüro
C.2.41. Microcab Industries Ltd.
C.2.42. NEXUS Farms, OHG
C.2.43. Nicolaus-August-Otto-Berufskolleg
C.2.44. Oberbergischer Kreis
C.2.45. Region Köln/Bonn e.V.
C.2.46. Rewe Digital GmbH
C.2.47. RheinEnergie AG
C.2.48. Rheinfähre Köln-Langel/Hitdorf GmbH
C.2.49. Rheinische Fachhochschule Köln gGmbH
C.2.50. Rhein-Sieg-Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH, AöR
C.2.51. Shell Deutschland Oil GmbH
C.2.52. Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR
C.2.53. Stadt Köln
C.2.54. Stadtwerke Hürth
C.2.55. Technische Hochschule Köln
C.2.56. Toyota Kreditbank GmbH
C.2.57. Toyota Tsusho Europe SA
C.2.58. Voss Fluid GmbH
C.2.59. Wupperverband KdöR

C.3. Absichtserklärungen für den Bau einer H_2-Pipeline

C.3.1. ETC Energy Transition Consulting GmbH
C.3.2. Evonik Technology & Infrastructure GmbH
C.3.3. Forschungszentrum Jülich GmbH
C.3.4. Gasversorgungsgesellschaft mbH Rhein-Erft
C.3.5. Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
C.3.6. Innogy SE
C.3.7. Linde AG
C.3.8. Neuman-Esser Deutschland GmbH & Co. KG
C.3.9. Nippon Gases Deutschland GmbH
C.3.10. Propan Rheingas GmbH & Co. KG
C.3.11. RheinEnergie AG
C.3.12. Rheinische NETZGesellschaft mbH
C.3.13. Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR
C.3.14. Thyssengas GmbH
C.3.15. Westnetz GmbH

C.4. Absichtserklärungen für die Anschaffung von BZ-Lkw

C.4.1. All Road International GmbH
C.4.2. Breuer Spedition Köln GmbH
C.4.3. Dietrich Gass oHG Internationale Spedition
C.4.4. H2 Energy AG
C.4.5. Hochschule RheinMain
C.4.6. Spedition Kellershohn GmbH & Co. KG
C.4.7. Stadt Fulda
C.4.8. WTL Spedition und Transport GmbH

C.5. Memorandum of Understanding

C.5.1. Stadt Köln und Stadt Guiyang

D. Verzeichnisse

D.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Daten und Fakten zu H2R – Wasserstoff Rheinland	8
Abbildung 1-1	Energiebedingter Wasserstoffbedarf im Jahr 2050 je nach CO_2-Minderungsziel [9]	14
Abbildung 2-1	Übersicht der Region *H2R – Wasserstoff Rheinland*	18
Abbildung 2-2	Flächen- und Einwohnerverteilung in der Region	18
Abbildung 2-3	CO_2-Emissionen in der Region	20
Abbildung 2-4	Straßengebundene Fahrzeuge in der Region	21
Abbildung 2-5	ÖPNV-Busse in der Region	22
Abbildung 2-6	Schematische Darstellung von Erzeugung, Verteilung und Nutzung von Wasserstoff in *H2R – Wasserstoff Rheinland*	24
Abbildung 2-7	Technologiereifegrade (TRL) verschiedener wasserstoffbasierter Technologien	25
Abbildung 2-8	Beschreibung der genutzten Technologiereifegrade	25
Abbildung 2-9	Zahl der Anbieter ausgewählter wasserstoffbasierter Technologien	26
Abbildung 2-10	Marktdurchdringung verschiedener Wasserstofffahrzeuge für eine geringe, mittlere und hohe Marktdurchdringung. Züge im Vergleich zu dieselbetriebenen Triebwagen.	27
Abbildung 2-11	Wasserstoffnachfragepotenzial im Verkehrssektor der Region für verschiedene Marktdurchdringungen in t H_2 / a	28
Abbildung 2-12	Einsparpotenzial klimaschädlichen Kohlendioxids für die jeweilige Marktdurchdringung in kt CO_2 / a (Tank-to-Wheel)	28
Abbildung 2-13	Einsparpotenzial für gesundheitsschädliches Stickoxid (NO_x) zur Verbesserung der lokalen Luftqualität in t NO_x/a	29
Abbildung 2-14	Einsparpotenzial für Feinstaub (PM_{10}) zur Verbesserung der lokalen Luftqualität in t PM_{10}/a	29
Abbildung 2-15	Wasserstofferzeugungspotenzial der Region in t H_2/a ohne neue EE-Anlagen.	30
Abbildung 2-16	Farben des Wasserstoffs	31
Abbildung 2-17	Spezifische CO_2-Emissionen für verschiedene Wasserstoffquellen in kg CO_2 / kg H_2	32
Abbildung 2-18	Zusätzliches Potenzial für grüne Wasserstofferzeugung in der Region	33
Abbildung 3-1	Übersicht der aktuellen Akteure	36
Abbildung 3-2	Geschäftsschwerpunkte der aktuellen Akteure	37
Abbildung 3-3	Anzahl der von den Akteuren eingebrachten Maßnahmen	41
Abbildung 3-4	Ausbaubedarf für H_2-Tankstellen bis 2030 nach dem „StandortTOOL“ der NOW GmbH. Links: Pkw – regressives Szenario. Rechts: Lkw – progressives Szenario	45
Abbildung 3-5	„Lernkurve“ für die Entwicklung der Kosten für Brennstoffzellenbusse (12m Solobus)	46
Abbildung 3-6	Bestandteile unseres Technologiekonzepts	48
Abbildung 4-1	Übersichtskarte über die Maßnahmen in der Region *H2R – Wasserstoff Rheinland*	51
Abbildung 4-2	Modell des 10 MW Elektrolyseurs in der Shell Rheinland Raffinerie (Quelle: Shell)	53
Abbildung 4-3	Öffentliche Wasserstofftankstelle am Flughafen Köln/Bonn (Quelle: RVK)	57
Abbildung 4-4	Wasserstofftrailer von Linde (Quelle: Linde)	60
Abbildung 4-5	Fiktiver Verlauf einer möglichen Pipeline entlang bestehender und geplanter Wasserstoffaktivitäten in der Region	62

Abbildung 4-6	Brennstoffzellenbus der RVK im Linienbetrieb (Quelle: RVK)	66
Abbildung 4-7	Brennstoffzellen-LKW von Hyundai (Quelle: H2 Energy)	68
Abbildung 4-8	Unser Fahrplan zur Umsetzung der Wasserstoffregion	81
Abbildung 5-1	CO_2-Emissionen und Gestehungskosten verschiedener Quellen zur Wasserstofferzeugung gemäß den Daten geplanter Maßnahmen	86
Abbildung 5-2	Sensitivitätsanalyse für die H_2-Erzeugung durch Wasserelektrolyse	89
Abbildung 5-3	Kumulierte Wahrscheinlichkeitsdichte und Wahrscheinlichkeitsdichte der Stromkosten (netto) als Input für die Monte-Carlo-Simulation	90
Abbildung 5-4	Kumulierte Wahrscheinlichkeitsdichte und Wahrscheinlichkeitsdichte der Wasserstoffgestehungskosten (netto) an der Bustankstelle als Output der Monte-Carlo-Simulation	90
Abbildung 5-5	Jährliche CO_2-Emissionseinsparungen durch die angestoßenen Maßnahmen	92
Abbildung 5-6	Entwicklung der CO_2-Emissionen pro kg Wasserstoff des H_2-Mixes gemäß unserem Konzept	93
Abbildung 5-7	Schematische Darstellung der Zertifizierung	94
Abbildung 5-8	Steigerung der lokalen Wertschöpfung bei Nutzung von lokaler erneuerbarer Energie zur Erzeugung von Wasserstoff statt Diesel	95
Abbildung 6-1	Strompreisbestandteile für Haushaltskunden, Industriekunden, Großabnehmer ohne und mit Privilegierung [45] [46]	99
Abbildung 6-2	Vereinfachte Darstellung der Wasserstoffbereitstellung (On- und Off-site-Produktion) und des Verantwortungsbereichs im Betreibermodell (umrahmt)	103
Abbildung 6-3	Beispiel einer Kooperation mit der H2 Mobility [50]	104
Abbildung 6-5	Ausgesuchte Förderprogramme zum Thema Wasserstoff (1/2)	107
Abbildung 6-4	Ausgesuchte Förderprogramme zum Thema Wasserstoff (2/2)	108
Abbildung 8-1	Links: Existentes Wasserstoff-Pipeline-Netz in NRW [65]; Rechts: Vorschlag eines zukünftigen H_2-Netzes im Rahmen des Netzentwicklungsplans Gas [66] und Niederländisches Wasserstoff-Konzept Green Octopus [67]	118
Abbildung 8-2	Übersicht über Initiativen und Regionen, die sich dem Thema Wasserstoff widmen (Quelle: EMCEL).	120
Abbildung A-1	Einschätzungen zu den Entwicklungsperspektiven verschiedener Technologien zu Produktion und Nutzung von Wasserstoff	125
Abbildung A-2	Einschätzung der Wichtigkeit verschiedener Argumente zum Ausbau der Wasserstofftechnologie in der Region	126
Abbildung A-3	Hürden und Herausforderungen für die Umsetzung von Wasserstofftechnologien in den Städten/Kreisen	126
Abbildung A-4	Erwartungen der Städte/Kreise hinsichtlich der strategischen Vorteile durch den regionalen Zusammenschluss	127
Abbildung A-5	Auswahl einiger Aussagen der Städte/Kreise zu deren beabsichtigten Rollen beim Ausbau der Wasserstofftechnologie in der Region	127
Abbildung A-6	Portfoliodarstellung der H2R-Stakeholder zum Zeitpunkt der Erstellung des Feinkonzepts (anonymisiert)	129
Abbildung A-7	Ableitung generischer Ansätze aus der Portfoliodarstellung zur optimalen Einbindung der Stakeholder	130
Abbildung A-8	Bestandsaufnahme des Akteurspotfolios hinsichltich Stärken/Schwächen sowie Chancen/Risiken	132
Abbildung A-9	Strategische Ansätze in der kombinierten SWOT-Matrix	132

Abbildung A-10	Erfahrungen (“Lessons Learned”) aus bundesweiten Wasserstoffprojekten	133
Abbildung A-11	Elemente und Potenziale im Technologiekonzept „Markt"	134
Abbildung A-12	Elemente und Potenziale im Technologiekonzept „Umwelt“	136
Abbildung A-13	Kosten von Elektrolyseuren in Abhängigkeit von Preisentwicklungen und Auslastung	140
Abbildung A-14	Beispiel für Elektrolysekosten in Abhängigkeit des Strompreises. Die Wasserstoffkosten steigen linear mit dem Strompreis.	141
Abbildung A-15	Verteilungskosten in Abhängigkeit von Transportdistanz und Fördermenge[40]	142
Abbildung A-16	Sensitivitätsanalyse der Transportkosten per Trailer in €/kg H_2	146
Abbildung A-17	Sensitivitätsanalyse der Transportkosten per Pipeline in €/kg H_2	146
Abbildung A-18	Sensitivitätsanalyse der Wasserstoffkosten an der Tankstelle in €/kg H_2	147
Abbildung A-19	Sensitivitätsanalyse der Kosten eines BZ-Busses (Solobus) in €/km	147
Abbildung A-20	Schnellcheck Wirtschaftlichkeit – H_2-Erzeugung aus erneuerbaren Energien	148
Abbildung A- 21	Schnellcheck Wirtschaftlichkeit – Anschaffung von BZ-Fahrzeugen	149

D.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1	Tabellarische Übersicht zentraler Kenngrößen unseres Technologiekonzepts	49
Tabelle 4-1	Maßnahmen für Nebenproduktwasserstoff	53
Tabelle 4-2	Maßnahmen zur Elektrolyse mit Netzstrom	54
Tabelle 4-3	Maßnahmen zur Elektrolyse aus Erneuerbaren Energien	55
Tabelle 4-4	Maßnahmen zur Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse	56
Tabelle 4-5	Maßnahmen für H_2-Tankstellen	58
Tabelle 4-6	Maßnahmen H_2-Trailer	61
Tabelle 4-7	Maßnahme für H_2-Pipeline	63
Tabelle 4-8	Maßnahmen für H_2-Hubs	63
Tabelle 4-9	Maßnahme für H_2-speicherung	64
Tabelle 4-10	Maßnahme für H_2-Qualitätsüberwachung	64
Tabelle 4-11	Maßnahmen für BZ-PKW	65
Tabelle 4-12	Maßnahmen für BZ-Busse	67
Tabelle 4-13	Maßnahmen für BZ-LKW	67
Tabelle 4-14	Maßnahmen für BZ-Müllsammelfahrzeuge	69
Tabelle 4-15	Maßnahmen für BZ-Flurförderfahrzeuge	70
Tabelle 4-16	Maßnahmen für BZ-Züge	70
Tabelle 4-17	Maßnahmen für Rheinschifffahrt	71
Tabelle 4-18	Maßnahmen für Sonderfahrzeuge	72
Tabelle 4-19	Maßnahmen für 1111 BZ-Fahrzeuge	73
Tabelle 4-20	Maßnahmen für Strom- und Wärmeversorgung durch BZ-KWK-Systeme	73
Tabelle 4-21	Weitere Maßnahme zur Wasserstoffnutzung	74
Tabelle 4-22	Maßnahmen für H_2-Wissen	76
Tabelle 5-1	Fahrzeuganzahl pro Fahrzeugkategorie im Jahr 2030	91
Tabelle 7-1	Adressaten, Ziele und Botschaften des Kommunikations- und Akzeptanzkonzepts	112
Tabelle 7-2	Beispiele für öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen	113
Tabelle A-1	Harmonisierte Wasserstoffverbräuche in kg H_2 / 100 km	123
Tabelle A-2	Harmonisierte Energieaufwände der Wasserstofferzeugungspfade	123
Tabelle A-3	Spezifische CO_2-Emissionen je Wasserstofferzeugungspfad in kg CO_2 / kg H_2.	124
Tabelle A-4	Tabellarische Übersicht zentraler Kenngrößen des alternativen Technologiekonzepts „Markt“	135
Tabelle A-5	Tabellarische Übersicht zentraler Kenngrößen des alternativen Technologiekonzepts „Umwelt“	137
Tabelle A-6	Vergleich weicher Faktoren der Technologiekonzepte	138
Tabelle A-7	Investitionskosten für Brennstoffzellen-Fahrzeuge und konventionelle Fahrzeuge	142
Tabelle A-8	Investitionskosten für H_2-Infrastruktur und Elektrolyseure	143
Tabelle A 9	Überschlägige Investitionskosten der Maßnahmen für die H_2-Erzeugung	144
Tabelle A-10	Überschlägige Investitionskosten der Maßnahmen für die H_2-Verteilung	144
Tabelle A-11	Überschlägige Investitionskosten und CO_2-Einsparung der Maßnahmen der Kategorie H_2-Nutzung	145
Tabelle A-12	Forschungsfragen im Rahmen des Zusammenschlusses *H2R – Wasserstoff Rheinland*	153

D.3. Literaturverzeichnis

[1] IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

[2] Europäische Kommission, „Folgen des Klimawandels," [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_de. [Zugriff am 2 Juni 2020].

[3] Framework Convention on Climate Change, "Adoption of the Paris Agreement," United Nations, Paris, 2015.

[4] Europäische Kommission, „Ein europäischer Grüner Deal," [Online]. Available: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de. [Zugriff am 2 Juni 2020].

[5] Europäische Kommission, „klima- und energiepolitischer Rahmen bis 2030," [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_de. [Zugriff am 2 Juni 2020].

[6] F. Simon, "EU announces 'Clean Hydrogen Alliance' for launch in the summer," EURACTIV Media Network BV, 13 März 2020. [Online]. Available: https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/eu-announces-clean-hydrogen-alliance-for-launch-in-the-summer/. [Accessed 2 Juni 2020].

[7] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, „Der Klimaschutzplan 2050 – Die deutsche Klimaschutzlangfriststrategie," 5 Oktober 2017. [Online]. Available: https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/klimaschutzplan-2050/. [Zugriff am 2 Juni 2020].

[8] Umweltbundesamt, „Treibhausgasminderungsziele Deutschlands," 19 Februar 2020. [Online]. Available: https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgasminderungsziele-deutschlands. [Zugriff am 2 Juni 2020].

[9] P. Markewitz, M. Robinius, P. Lopion , P. Kullmann, P.-M. Heuser, K. Syranidis, S. Cerniauskas, M. Reuß, S. Ryberg, L. Kotzur, D. Caglayan, L. Welder, J. Linßen, T. Grube, H. Heinrichs, P. Stenzel und D. Stolten, „Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050," Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, 2019.

[10] J. Michalski, M. Altmann, U. Bünger und W. Weindorf, „Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen: Eine Expertise für das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen," Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 2019.

[11] Umweltbundesamt, *Nationale Trendtabelle für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990-2018,* 2020.

[12] Land Nordrhein-Westfalen, „Nordrhein-Westfalen zeichnet drei Modellregionen für Wasserstoffmobilität aus," 30 Januar 2019. [Online]. Available: https://www.land.nrw/de/pressemitteilung/nordrhein-westfalen-zeichnet-drei-modellregionen-fuer-wasserstoffmobilitaet-aus. [Zugriff am 2 Juni 2020].

[13] DEUTZ AG, *DEUTZ Investorenpräsentation,* Köln: DEUTZ AG, 2018.

[14] Europäisches Parlament; Rat der Europäischen Union, *Richtlinie (EU) 2019/1161 Des Europäischen Parlaments und des Rates,* Brüssel: Europäische Union, 2019.

[15] J. Adolf, C. H. Balzer, J. Louis, U. Schabla, M. Fischedick, K. Arnold, A. Pastowski und D. Schüwer, „Shell Wasserstoffstudie: Energie der Zukunft? Nachhaltige Mobilität durch Brennstoffzelle und H2," Shell Deutschland Oil GmbH, Hamburg, 2017.

[16] R. Berger, „Auf dem Weg zur H2 Wirtschaft: Perspektiven und Herausforderungen für die weitere Marktentwicklung von H2 und Brennstoffzellen," 2020.

[17] A. Brinner, M. Schmidt, S. Schwarz, L. Wagener und U. Zuberbühler, „Technologiebericht 4.1 Power-to-gas (Wasserstoff)," Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal, 2018.

[18] C. Müller, F. Graf, F. Lehnert und R. Erler, „Technologien und Potentiale der Biomassevergasung," *energie / wasser-praxis,* pp. 36-42, September 2019.

[19] C. Azzaro-Pantel, Hydrogen Supply Chains, New York: Academic Press, 2018.

[20] S. Cerniauskas, T. Grube, A. Praktiknjo, D. Stolten und M. Robinius, „Future Hydrogen Markets for Transportation and Industry: The Impact of CO2 Taxes," *Energies,* pp. 1-26, 10 Dezember 2019.

[21] BMVI, „Bundesverkehrswegeplan," 25 Juli 2019. [Online]. Available: https://www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Infrastrukturplanung-Investitionen/Bundesverkehrswegeplan-2030/bundesverkehrswegeplan-2030.html. [Zugriff am 2 Juni 2020].

[22] Prognos AG, EWI und GWS, „Entwicklung der Energiemärkte - Energiereferenzprognose," Bundes Ministerium für Wirtschaft und Energie, Basel, 2014.

[23] BNetzA, EEG-Anlagenregister, 2015.

[24] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, „Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Teil 1 - Windenergie. LANUV-Fachbericht 40," Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen, 2012.

[25] G. Ludes, B. Siebers und T. Stock, „Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Teil 2 - Solarenergie. LANUV-Fachbericht 40," Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen, 2013.

[26] W. Lara, R. D. Severin, K. Leander, G. Thomas, R. Martin and S. Detlef, "Spatio-temporal optimization of a future energy system for power-to-hydrogen applications in Germany," *Energy 158,* pp. 1130-1149, 1 September 2018.

[27] Tankerkönig UG, „Willkommen bei Tankerkönig," [Online]. Available: https://creativecommons.tankerkönig.de/. [Zugriff am 7 August 2020].

[28] FOSSGIS e.V., „OpenStreetMap - Deutschland," [Online]. Available: https://www.openstreetmap.de/. [Zugriff am 7 August 2020].

[29] DB Energie GmbH, „Anhang zu den Allgemeinen Nutzungs- und Geschäftsbedingungen," DB Energie GmbH, Frankfurt am Main, 2018.

[30] Ingenieurgruppe IVV; ISB; DLR; RLI, „StandortTOOL," 2020. [Online]. Available: https://www.standorttool.de/wasserstoff/ausbaupotenzial/. [Zugriff am 7 Juli 2020].

[31] D. Krieg, Konzept und Kosten eines Pipelinesystems zur Versorgung des deutschen Straßenverkehrs mit Wasserstoff, Jülich: Forschungszentrum Jülich, 2012.

[32] R. Berger, H. Ammermann, Y. Ruf, S. Lange, D. Fundulea and A. Martin, "Fuel Cell Electric Buses – Potential for Sustainable Public Transportin Europe," Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, Brüssel, 2015.

[33] H2 Energy, „Hyundai und H2 Energy unterzeichnen Joint Venture-Vertrag und übernehmen damit eine führende Rolle in der Einführung der Wasserstoff-Elektromobilität – in der Schweiz und in Europa," 15 April 2019. [Online]. Available: https://h2energy.ch/hyundai-motor-und-h2-energy-unterzeichnen-joint-venture-vertrag-zur-fuehrung-in-der-wasserstoff-mobilitaet-in-europa/. [Zugriff am 7 Juli 2020].

[34] J. Quentin, D. Sudhaus und M. Endell, „Was tun nach 20 Jahren?: Repowering, Weiterbetrieb oder Stilllegung von Windenergieanlagen nach Förderende," FA Wind, Berlin, 2018.

[35] M. Robinius, Strom- und Gasmarktdesign zur Versorgung des deutschen Straßenverkehrs mit Wasserstoff, Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH, 2016.

[36] C. Werwitzke, „Neuer Wasserstoff-Transportweg am Rhein entlang," 8 Februar 2020. [Online]. Available: https://www.electrive.net/2020/02/08/neuer-wasserstoff-transportweg-am-rhein-entlang/. [Zugriff am 23 Juli 2020].

[37] Covestro Deutschland AG, "Oxygen Depolarized Cathode (ODC) Technology. Innovative Chlorine Production for the Chlor-alkali Industry," Covestro Deutschland AG, Leverkusen.

[38] S. Cerniauskas, A. J. C. Junco, T. Grube, M. Robinius and D. Stolten, "Options of natural gas pipeline reassignment for hydrogen: Cost assessment for a Germany case study," *International Journal of Hydrogen Energy,* pp. 12095-12107, 17 April 2020.

[39] I. Bräuer, K. Umpfenbach, D. Blobel, M. Grünig, A. Best, M. Peter, H. Lückge und F. Kasser, „Klimawandel: Welche Belastungen entstehen für die Tragfähigkeit der Öffentlichen Finanzen," Ecologic Institute, Berlin, 2009.

[40] CertifHy, "CertifHy," [Online]. Available: https://www.certifhy.eu/. [Accessed 7 Juli 2020].

[41] P. e. al., „Optionen für den kostenoptimierten Aufbau einer H2-Infrastruktur in NRW," in *Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie GmbH; Forschungszentrum Jülich GmbH; novalink - Technologie, Kommunikation & Beratung*, Wuppertal, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, 2010, p. 24.

[42] Fachkommission des DWV e.V. Power-to-Fuel, „Grüne Wasserstoff-Industrie – Lösung für den Strukturwandel?," Deutsche Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V., Berlin, 2018.

[43] Bundesagentur für Arbeit, „Sozialversicherungspflichtig und geringfügig Beschäftigte (Minijobber)," 2019. [Online]. Available: https://statistik.arbeitsagentur.de/Navigation/Statistik/Statistik-nach-Themen/Beschaeftigung/Beschaeftigte/Beschaeftigte-Nav.html. [Zugriff am 2 Juni 2020].

[44] C. Yang and J. Ogden, "Determining the lowest-cost hydrogen delivery mode," *International Journal of Hydrogen Energy,* pp. 268-286, Februar 2007.

[45] Bundesnetzagentur, „Wie setzt sich der Strompreis zusammen?," 2019. [Online]. Available: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/FAQs/DE/Sachgebiete/Energie/Verbraucher/PreiseUndRechnungen/WieSetztSichDerStrompreisZusammen.html. [Zugriff am 7 Juli 2020].

[46] BDEW, „BDEW-Strompreisanalyse Januar 2019," Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, Berlin, 2020.

[47] Europäisches Parlament; Rat der Europäischen Union, *Verordnung (EU) 2019/1242 vom 20. Juni 2019 zur Festlegung von CO2-Emissionsnormen für neue schwere Nutzfahrzeuge und zur Änderund der Verordnungen (EG) Nr. 595/2009 und (EU) 2018/956 sowie der Richtlinie 96/53/EG,* Brüssel: Europäische Union, 2019.

[48] Europäisches Parlament; Rat der Europäischen Union, *Richtlinie (EU) 2019/1161 vom 20. Juni 2019 zur Änderung der Richtlinie 2009/33/EG über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge,* Brüssel: Europäische Union, 2019.

[49] O. Ehret, „Wasserstoffmobilität: Stand, Trends, Perspektiven," Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, 2020.

[50] H2Mobility, „Gemeinsam Wasserstoff tanken - Kombinierte Station für Busse und PKW," 2018.

[51] P. Altmaier, „Wir müssen bei Wasserstoff die Nummer 1 werden!," 5 November 2019. [Online]. Available: https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/wasserstoff-peter-altmaier-zur-energieversorgung-der-zukunft-16468458.html. [Zugriff am 7 Juli 2020].

[52] Next Kraftwerke GmbH, „Was ist ein Power Purchase Agreement (PPA)?," [Online]. Available: https://www.next-kraftwerke.de/wissen/power-purchase-agreement-ppa. [Zugriff am 7 Juli 2020].

[53] EnergieAgentur.NRW GmbH, „Überblick," [Online]. Available: https://www.energieagentur.nrw/finanzierung/ueberblick. [Zugriff am 7 Juli 2020].

[54] EnergieAgentur.NRW GmbH, „Bürgerenergie," [Online]. Available: https://www.energieagentur.nrw/finanzierung/buergerenergie. [Zugriff am 10 Juli 2020].

[55] EnergieAgentur.NRW GmbH, „Finanzierungs- und Geschäftsmodelle," [Online]. Available: https://www.energieagentur.nrw/finanzierung. [Zugriff am 10 Juli 2020].

[56] R. Zimmer, „HyTrust: Auf dem Weg in die Wasserstoffgesellschaft," Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, Berlin, 2013.

[57] F. Meißner, N. Hollmichel, S. Krüger und M. Tschirley, „HyTrustPlus: Kostenoptimale Marktdurchdringung von FCEV in Deutschland bis 2030 - Szenarienanalyse," Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, Berlin, 2016.

[58] U. Schneider und E. Dütschke, „Wasserstoff als neuer Energieträger: HYACINTH: Europaweite Akzeptanzbefragung," *HZwei: Das Magazin für Wasserstoff und Brennstoffzellen,* pp. 31-33, Januar 2017.

[59] T. Pfaff und V. Scheidler, „Wasserstoff in der Nachbarschaft: Studie zur Wahrnehmung und Akzeptanz von H2-Stationen," *HZwei: Das Magazin für Wasserstoff und Brennstoffzellen,* pp. 28-30, Juli 2019.

[60] Bundesministerium des Innern, „Leitfaden Krisenkommunikation," Bundesministerium des Innern, 2014, 2014.

[61] S. Geitmann, „Streit um die PtG-Anlage in Grenzach-Whylen," *HZwei: Das Magazin für Wasserstoff und Brennstoffzellen,* pp. 16-17, Januar 2017.

[62] S. Schaal, „Norwegen: Explosion an Wasserstoff-Tankstelle," 11 Juni 2019. [Online]. Available: https://www.electrive.net/2019/06/11/norwegen-explosion-an-wasserstoff-tankstelle/. [Zugriff am 3 Juni 2020].

[63] M. Prüser, „Krisenkommunikation im Digitalisierungsprozess," 8 Oktober 2019. [Online]. Available: https://crisis-prevention.de/innere-sicherheit/krisenkommunikation-im-digitalisierungsprozess.html. [Zugriff am 3 Juni 2020].

[64] I. Steinhardt, „Unterschiede zwischen Fokusgruppe und Gruppendiskussion," Sozialwissenschaftliche Methodenberatung, 25 September 2018. [Online]. Available: https://sozmethode.hypotheses.org/552. [Zugriff am 3 Juni 2020].

[65] EnergieAgentur.NRW GmbH, „Wasserstoff - Schlüssel zur Energiewende," EnergieAgentur.NRW GmbH, Düsseldorf, 2018.

[66] Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e.V., „Erläuterungen zur Karte des „visionären" Wasserstoffnetzes(H2-Netz)," Berlin, 2020.

[67] C. Hillegeer, R. Schutte, D. van Osselaer and A. Redenius, "Green Octopus," 9 Oktober 2019. [Online]. Available: https://static1.squarespace.com/static/5d3f0387728026000121b2a2/t/5d9f2b52965fb51f8c797156/1570712407675/8.D+GreenOctopus+project.pdf. [Accessed 7 Juli 2020].

[68] Hydrogen for Climate Action, “What’s an IPCEI?,” [Online]. Available: https://www.hydrogen4climateaction.eu/whats-an-ipcei. [Accessed 3 Juni 2020].

[69] J. L. Breuer, R. C. Samsun, R. Peters and D. Stolten, “The Impact of diesel vehicles on NOx and PM10 emissions from road transport in urban morphological zones: A case study in North Rhine-Westphalia, Germany,” *Science of The Total Environment,* 20 Juli 2020.

[70] J. L. e. a. Breuer, „Emissionsreduktionspotential alternativer Energieträger im Verkehrssektor: Eine Fallstudie für Nordrhein-Westfalen,“ Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, 2021.

[71] J. L. e. a. Breuer, „Road transport emissions and vehicle mileages in 2018 for counties, municipalities, urban areas and a 1 km^2 grid in North Rhine-Westphalia, Germany,“ 2019.

[72] S. Lechtenböhmer, C. Dienst, M. Fischedick, T. Hanke, T. Langrock, S. S. Assonov und C. A. M. Brenninkmeijer, „Treibhausgasemissionen des russischen Erdgas-Exportpipeline-Systems,“ Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie, Wuppertal, 2005.

[73] Ø. Ulleberg and R. Hancke, “Techno-economic calculations of small-scale hydrogen supply systems for zero emission transport in Norway,” *International Journal of Hydrogen Energy,* pp. 1201-1211, 6 Januar 2020.

[74] Europäisches Parlament: Rat der Europäischen Union, *Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung zur Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen,* Brüssel: Europäische Union, 2018.

[75] Infras, „Über HBEFA 4.1 (Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs),“ 2019. [Online]. Available: https://www.hbefa.net/e/index.html. [Zugriff am 2 Juni 2020].

[76] Bundesministerium für Bildung und Forschung, „Eine kleine Wasserstoff-Farbenlehre,“ 10 Juni 2020. [Online]. Available: https://www.bmbf.de/de/eine-kleine-wasserstoff-farbenlehre-10879.html. [Zugriff am 3 August 2020].