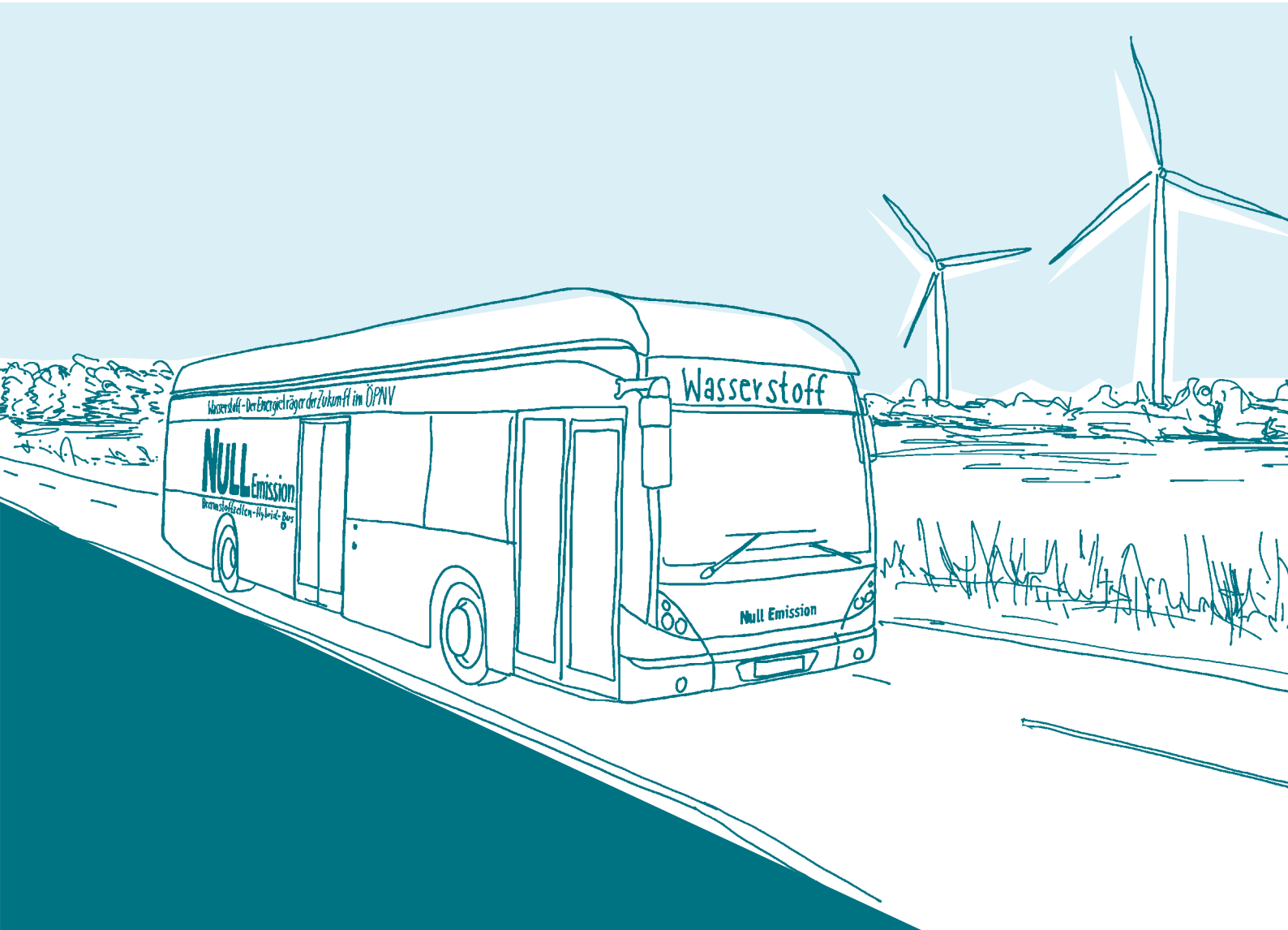
H2R Wasserstoff Rheinland

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.

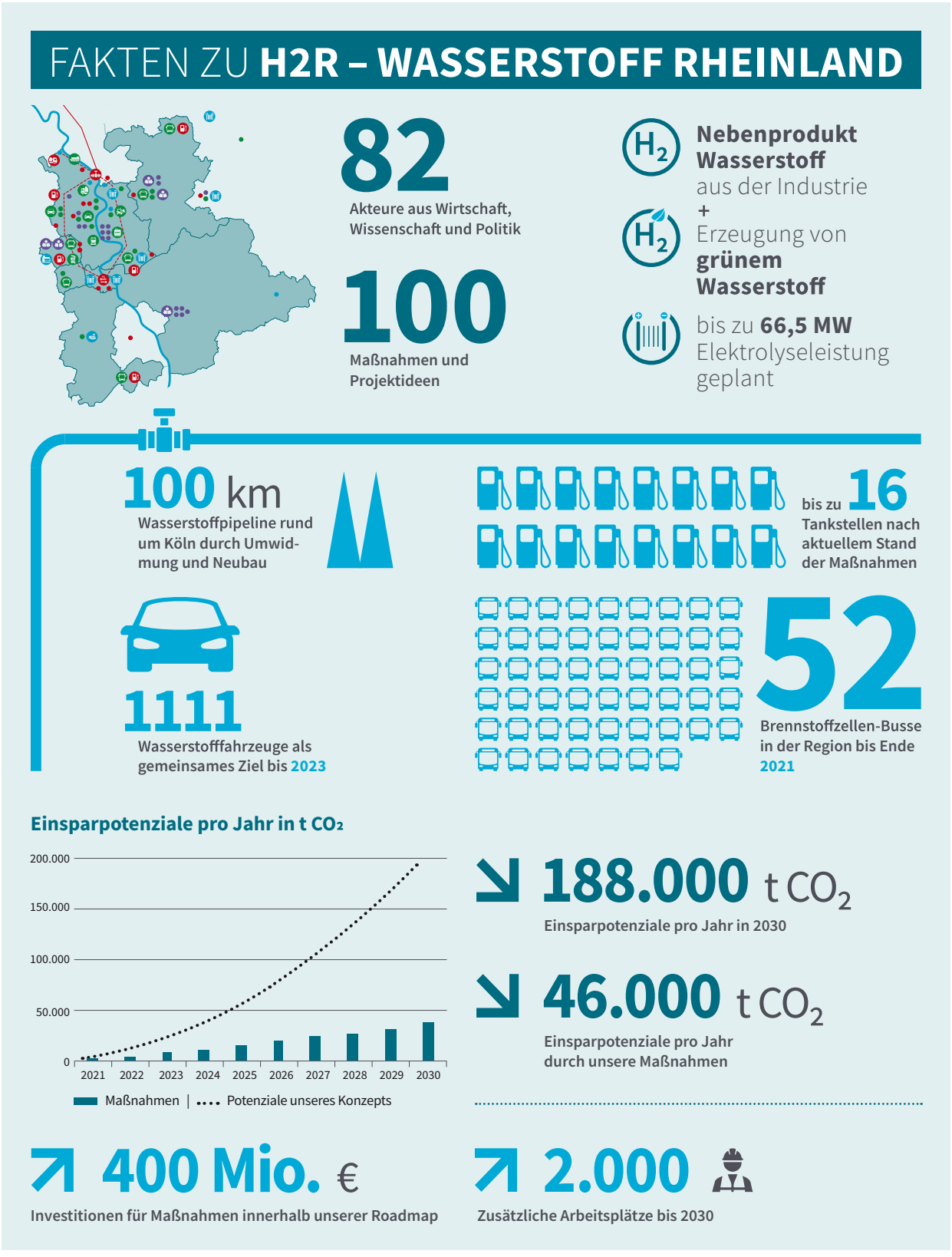


Abbildung 1 Daten und Fakten zu *H2R – Wasserstoff Rheinland*

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.

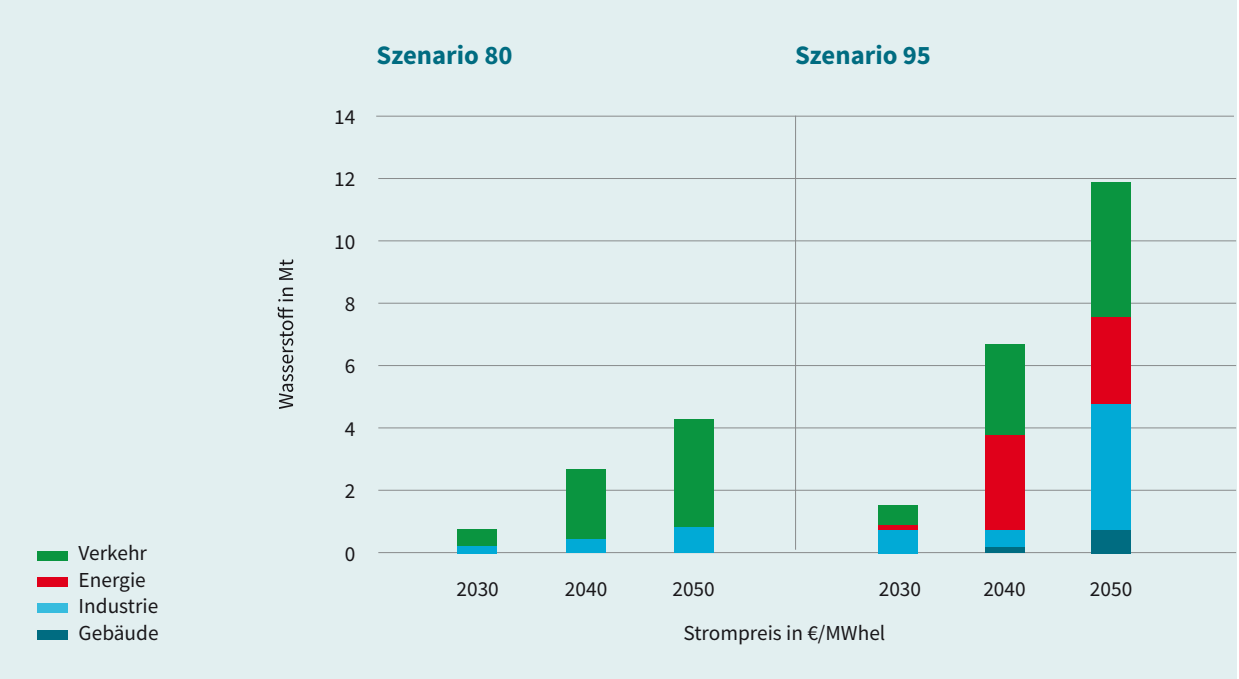


Abbildung 1-1 Energiebedingter Wasserstoffbedarf im Jahr 2050 je nach CO_2-Minderungsziel [9]

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*

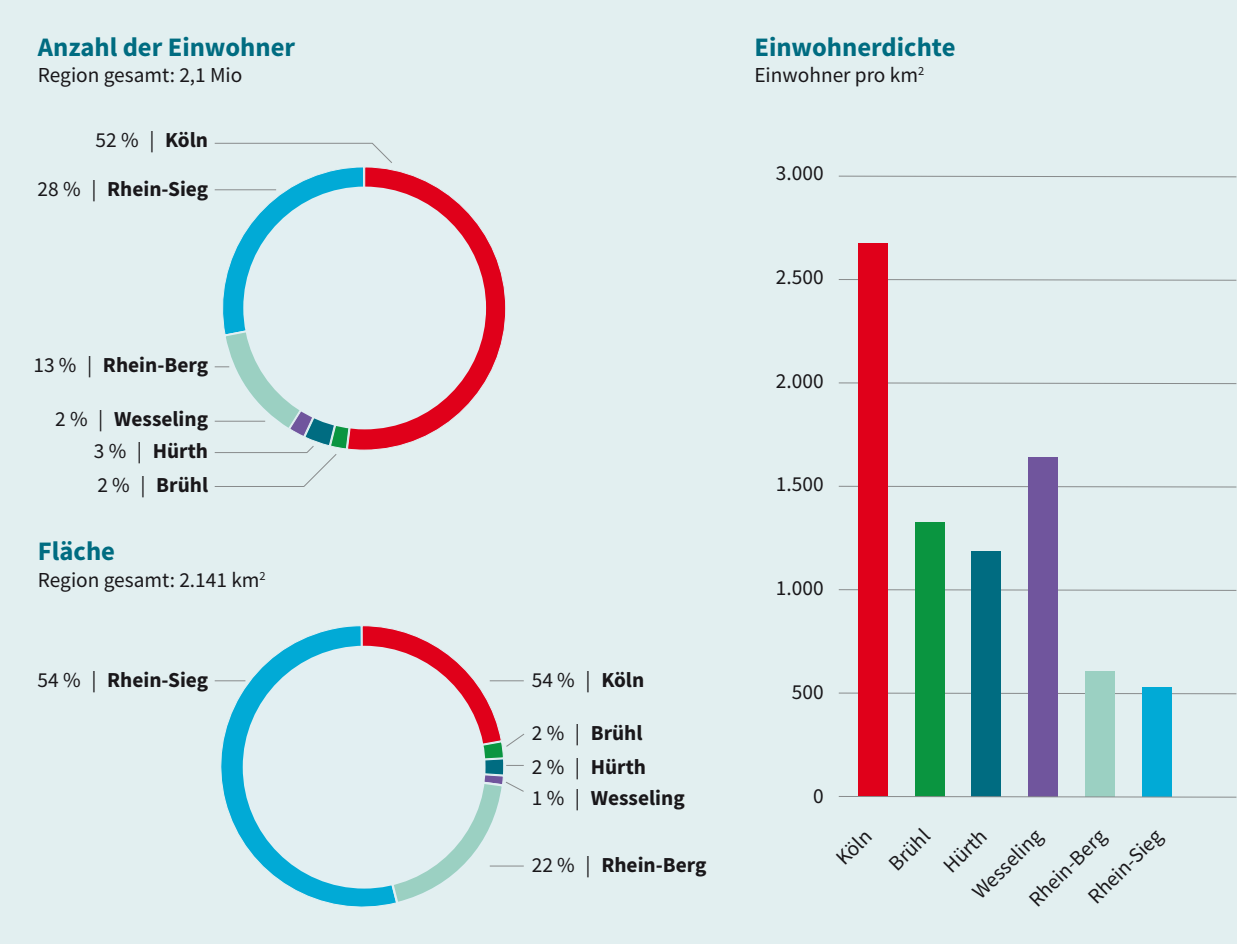


Abbildung 2-2 Flächen- und Einwohnerverteilung in der Region

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.

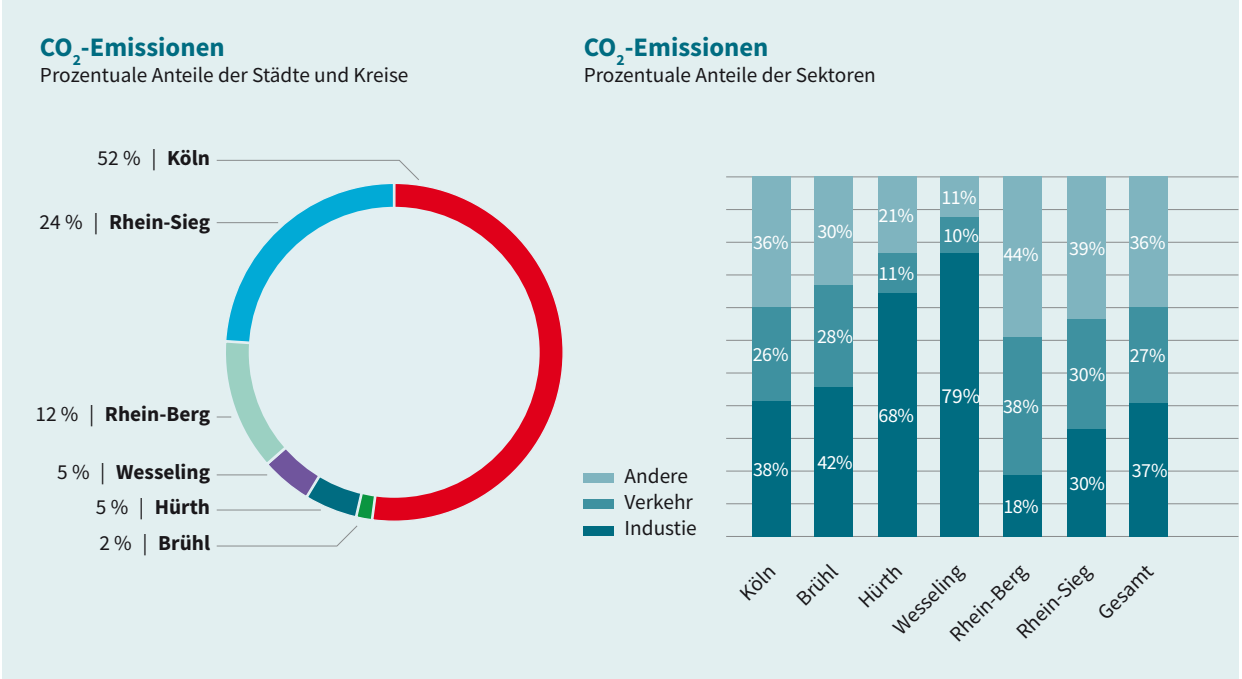


Abbildung 2-3 CO_2-Emissionen in der Region

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.

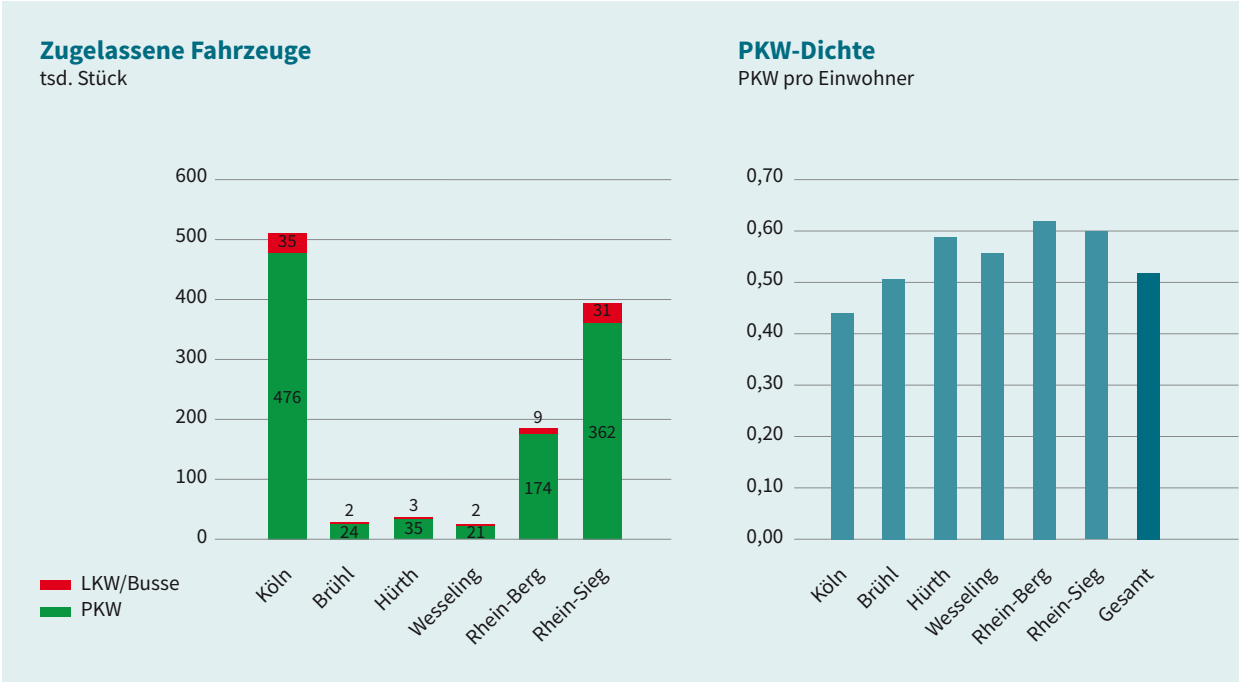


Abbildung 2-4 Straßengebundene Fahrzeuge in der Region

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.

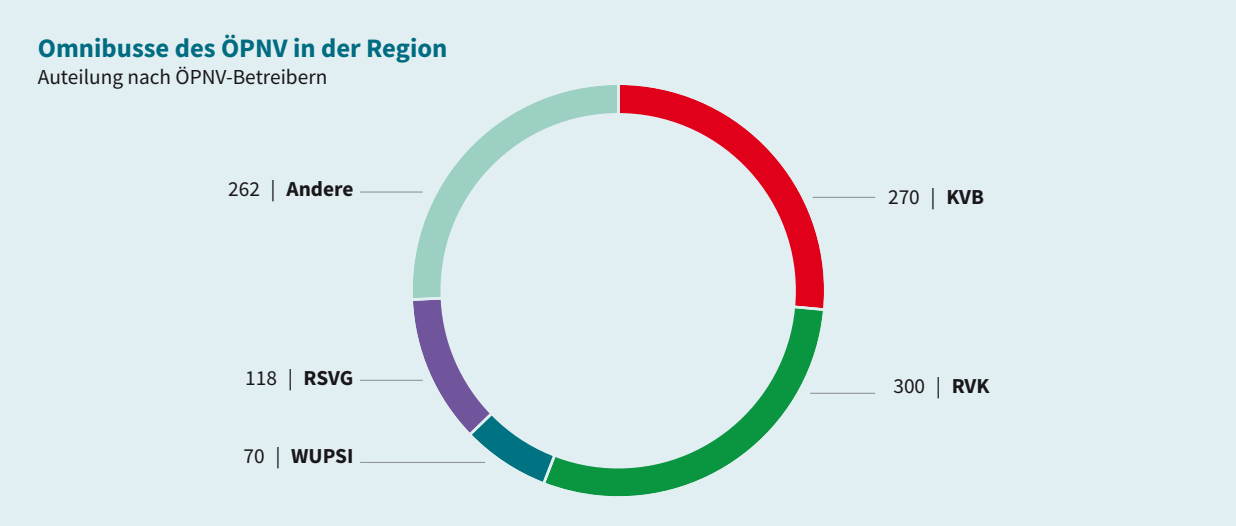


Abbildung 2-5 ÖPNV-Busse in der Region

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.

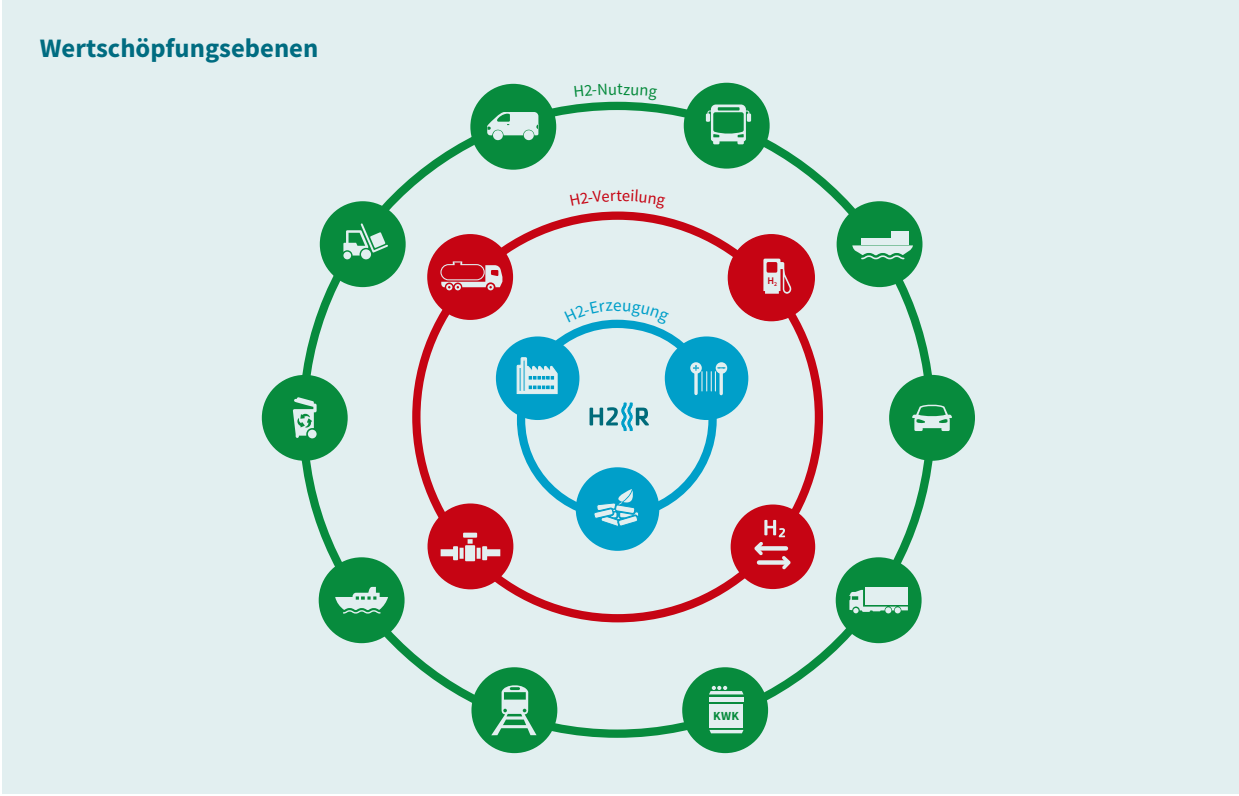


Abbildung 2-6 Schematische Darstellung von Erzeugung, Verteilung und Nutzung von Wasserstoff in *H2R – Wasserstoff Rheinland*

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

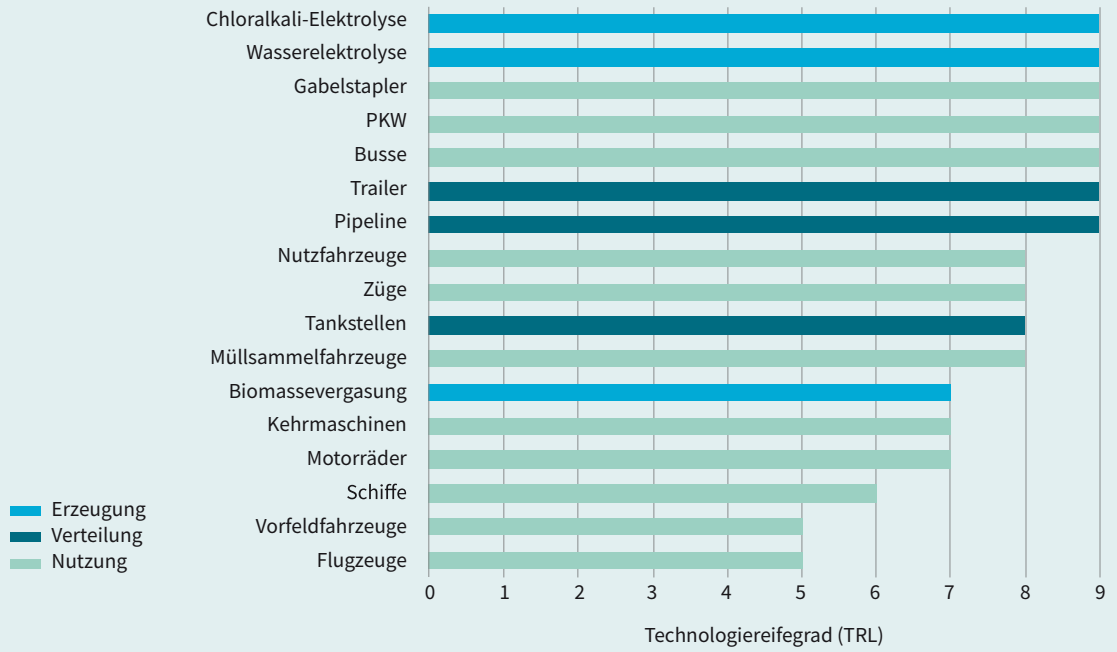


Abbildung 2-7 Technologiereifegrade (TRL) verschiedener wasserstoffbasierter Technologien[3]

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.

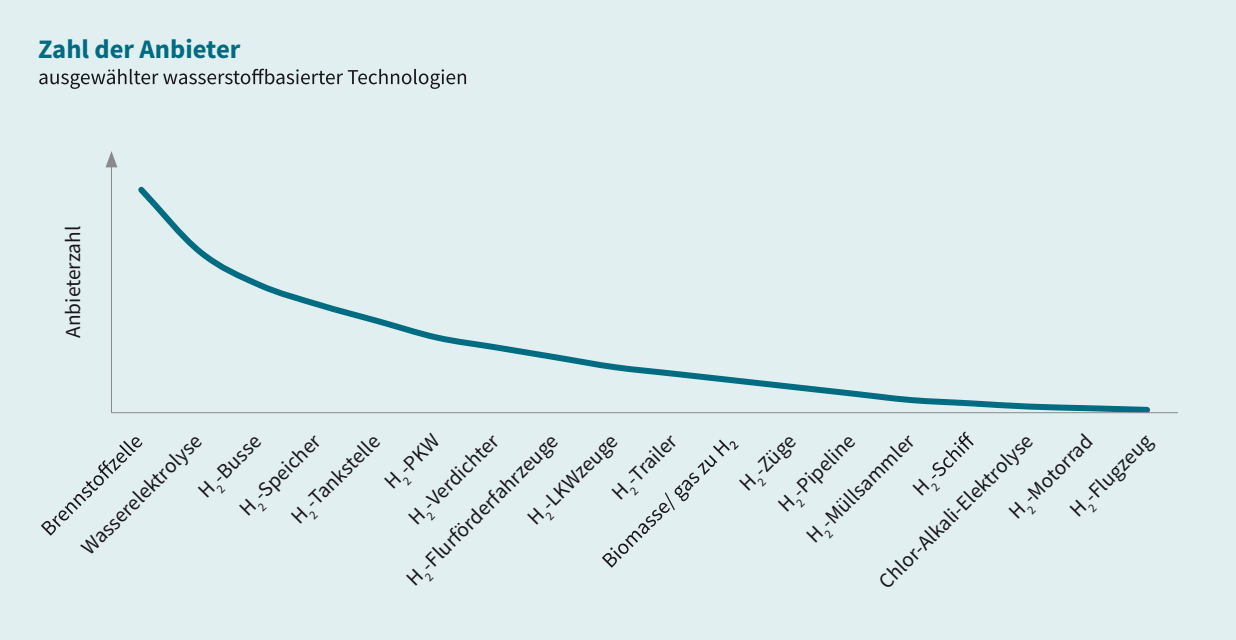


Abbildung 2-9 Zahl der Anbieter ausgewählter wasserstoffbasierter Technologien

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.

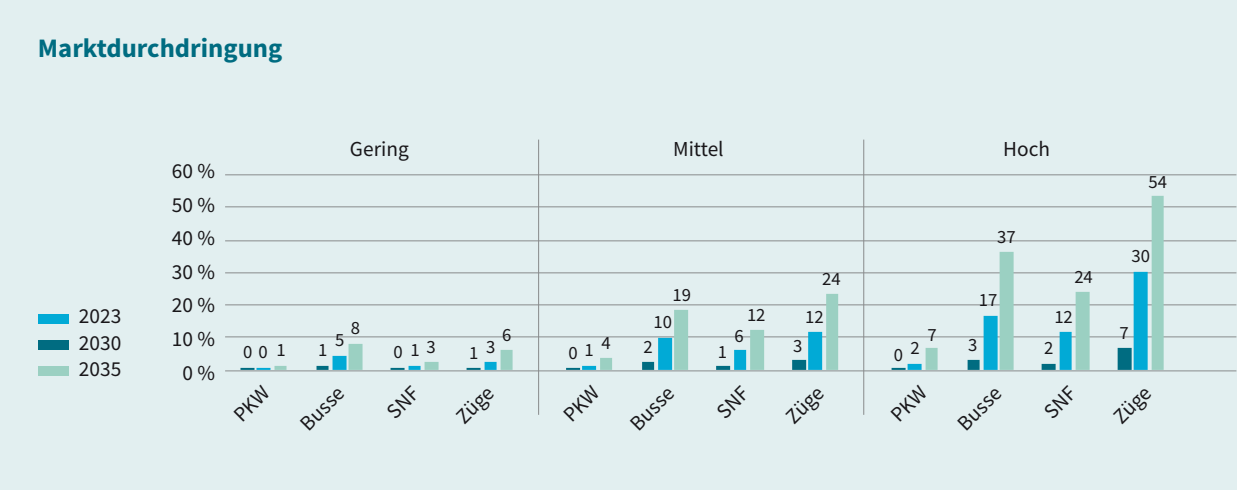


Abbildung 2-10 Marktdurchdringung verschiedener Wasserstofffahrzeuge für eine geringe, mittlere und hohe Marktdurchdringung. Züge im Vergleich zu dieselbetriebenen Triebwagen.

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.

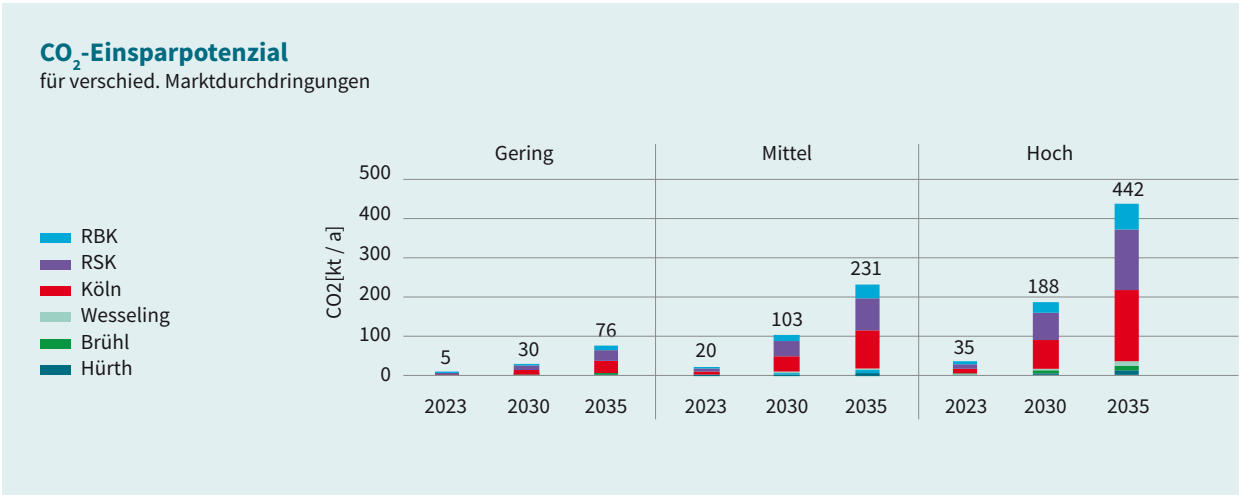


Abbildung 2-12 Einsparpotenzial klimaschädlichen Kohlendioxids für die jeweilige Marktdurchdringung in kt CO_2 / a (Tank-to-Wheel)

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

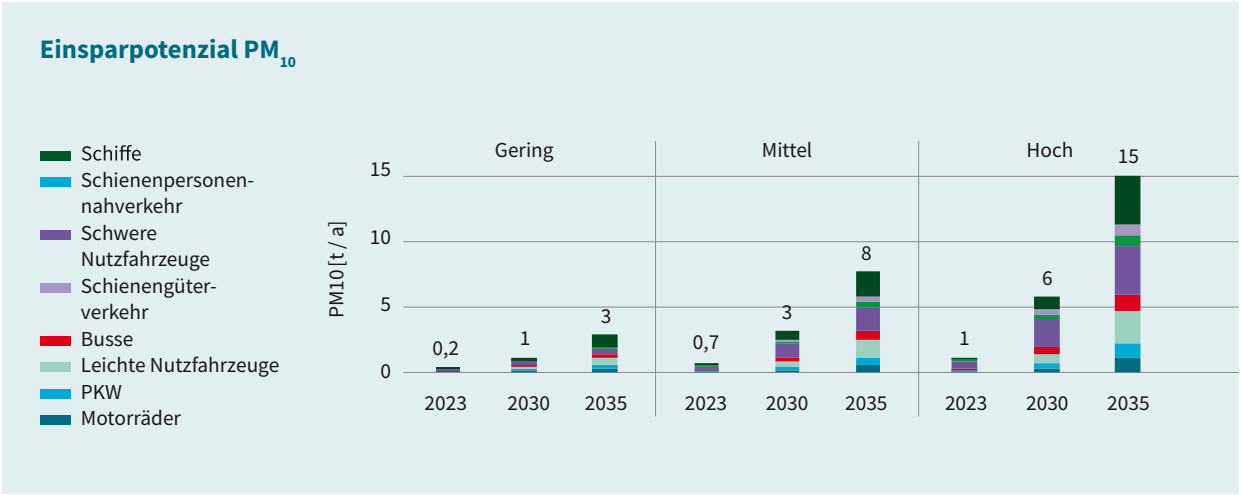


Abbildung 2-14 Einsparpotenzial für Feinstaub (PM_{10}) zur Verbesserung der lokalen Luftqualität in t PM_{10}/a

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.

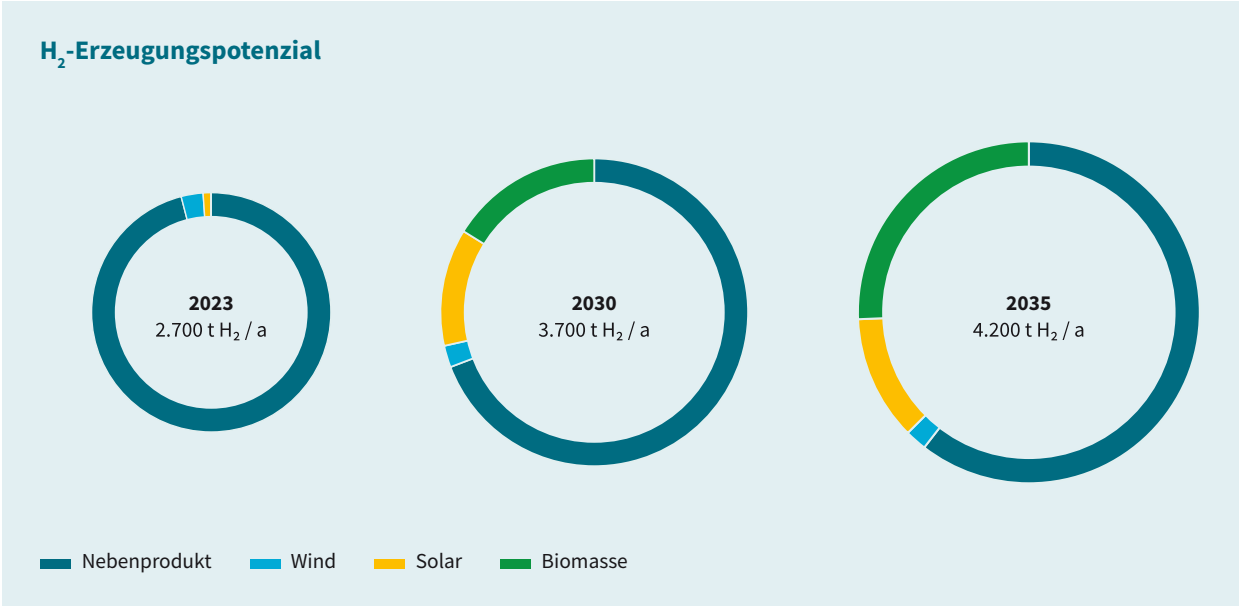


Abbildung 2-15 Wasserstofferzeugungspotenzial der Region in t H_2/a ohne neue EE-Anlagen.

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.

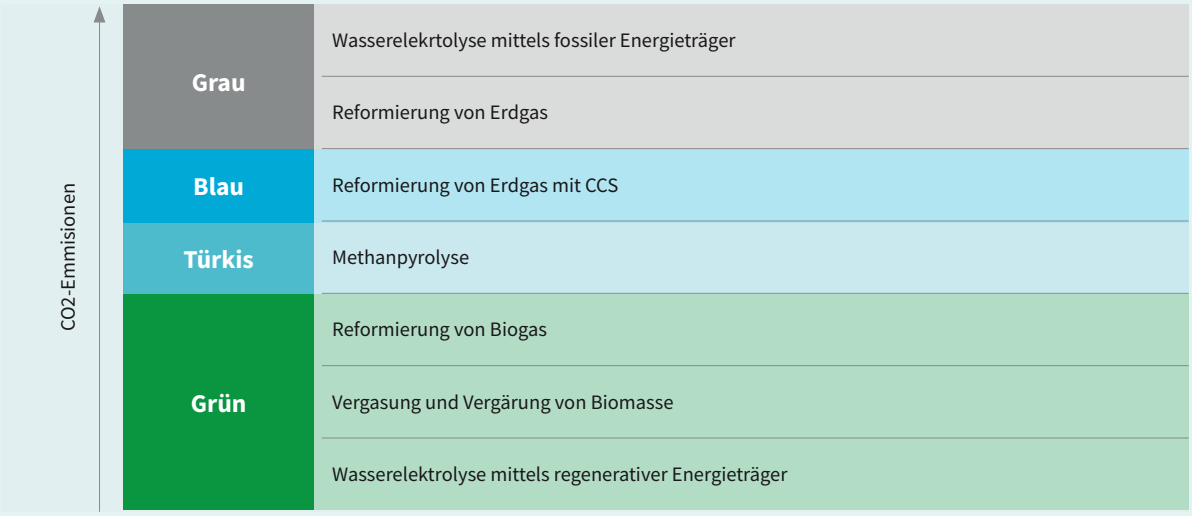


Abbildung 2-16 Farben des Wasserstoffs

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).

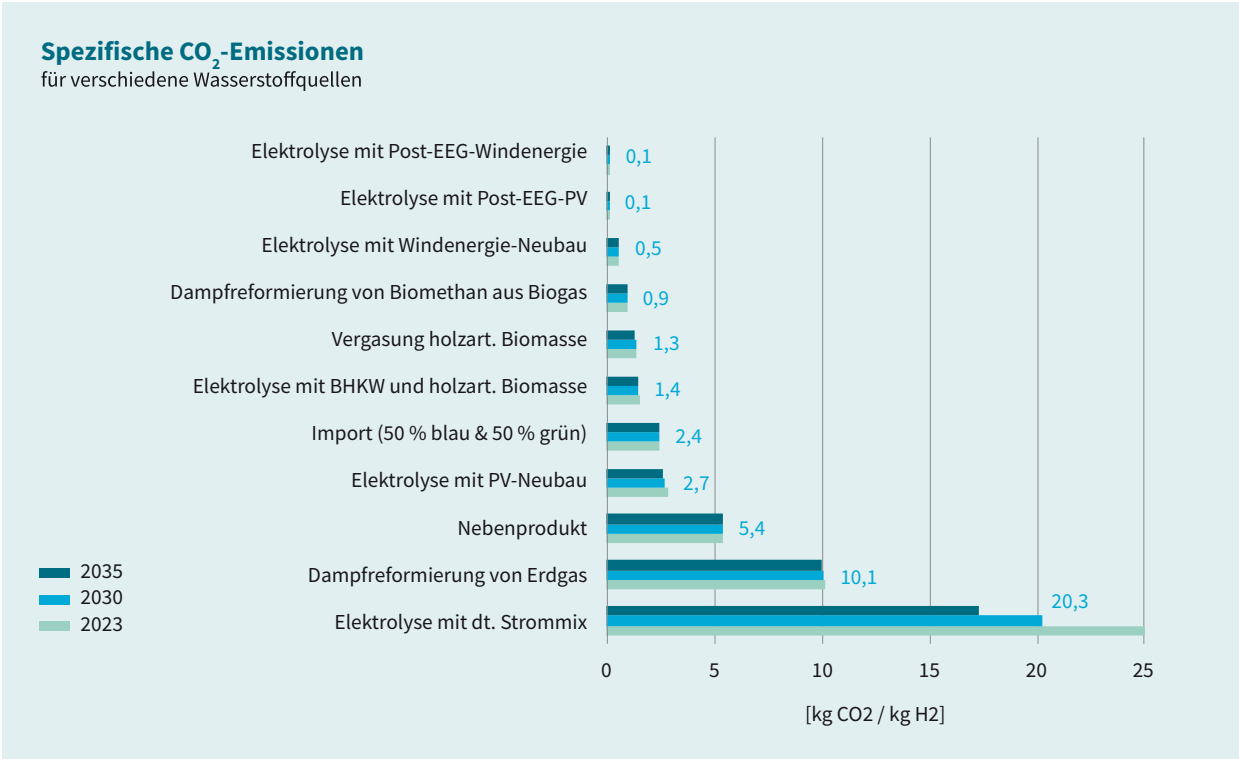


Abbildung 2-17 Spezifische CO_2-Emissionen für verschiedene Wasserstoffquellen in kg CO_2 / kg H_2

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.

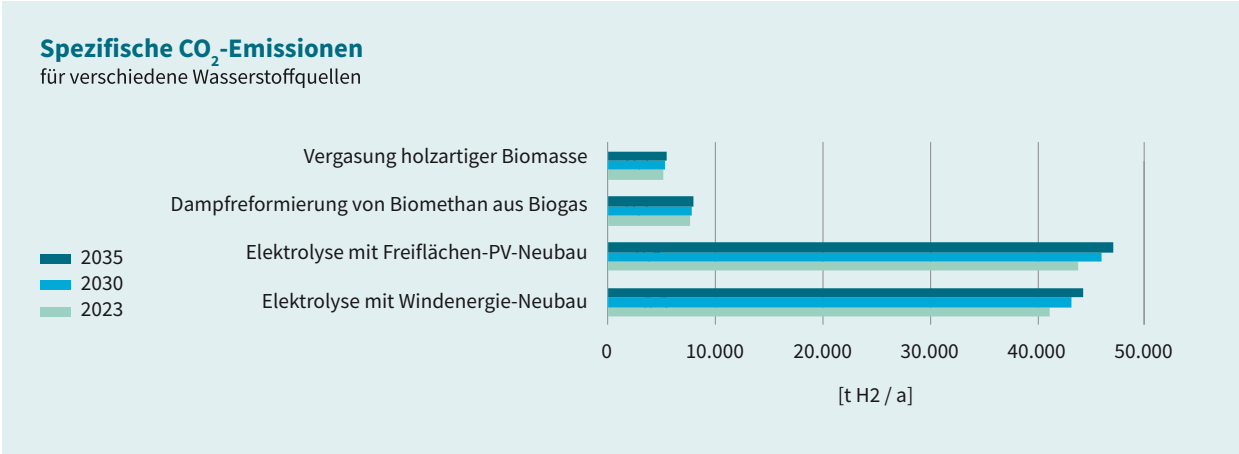


Abbildung 2-18 Zusätzliches Potenzial für grüne Wasserstofferzeugung in der Region

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:

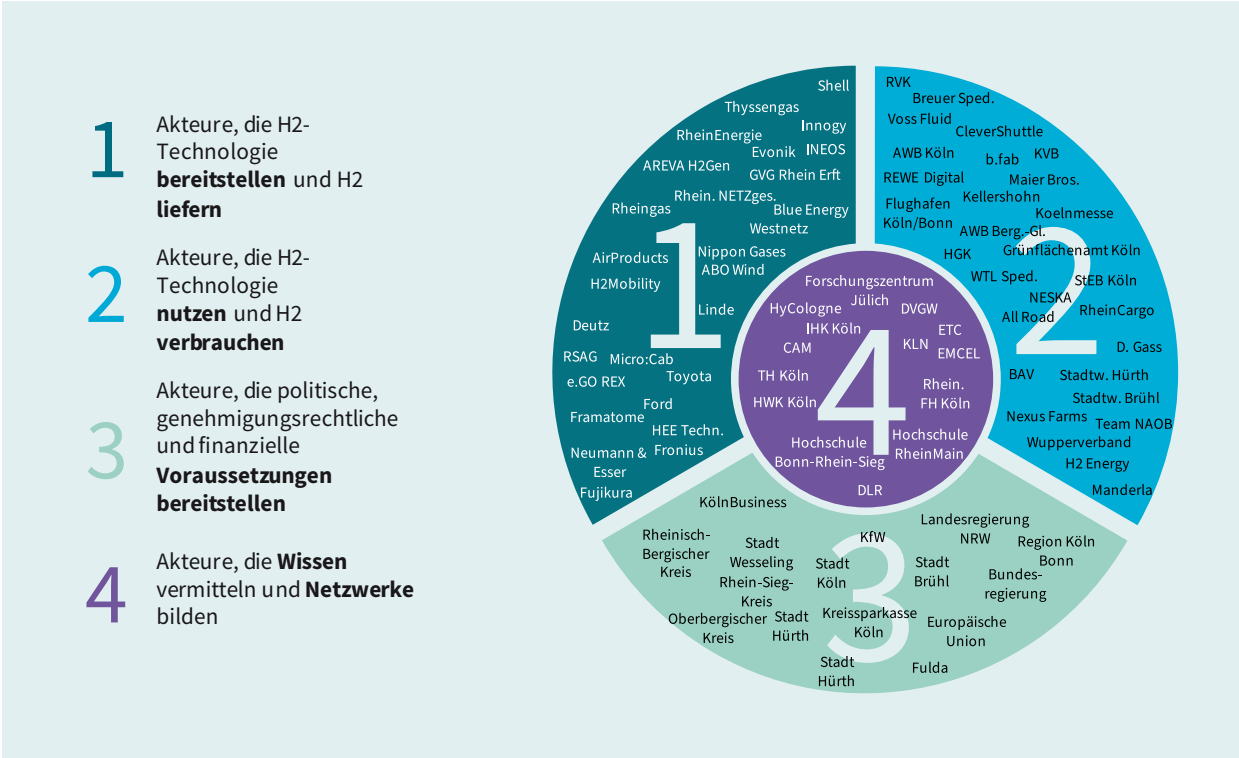


Abbildung 3-1 Übersicht der aktuellen Akteure

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.

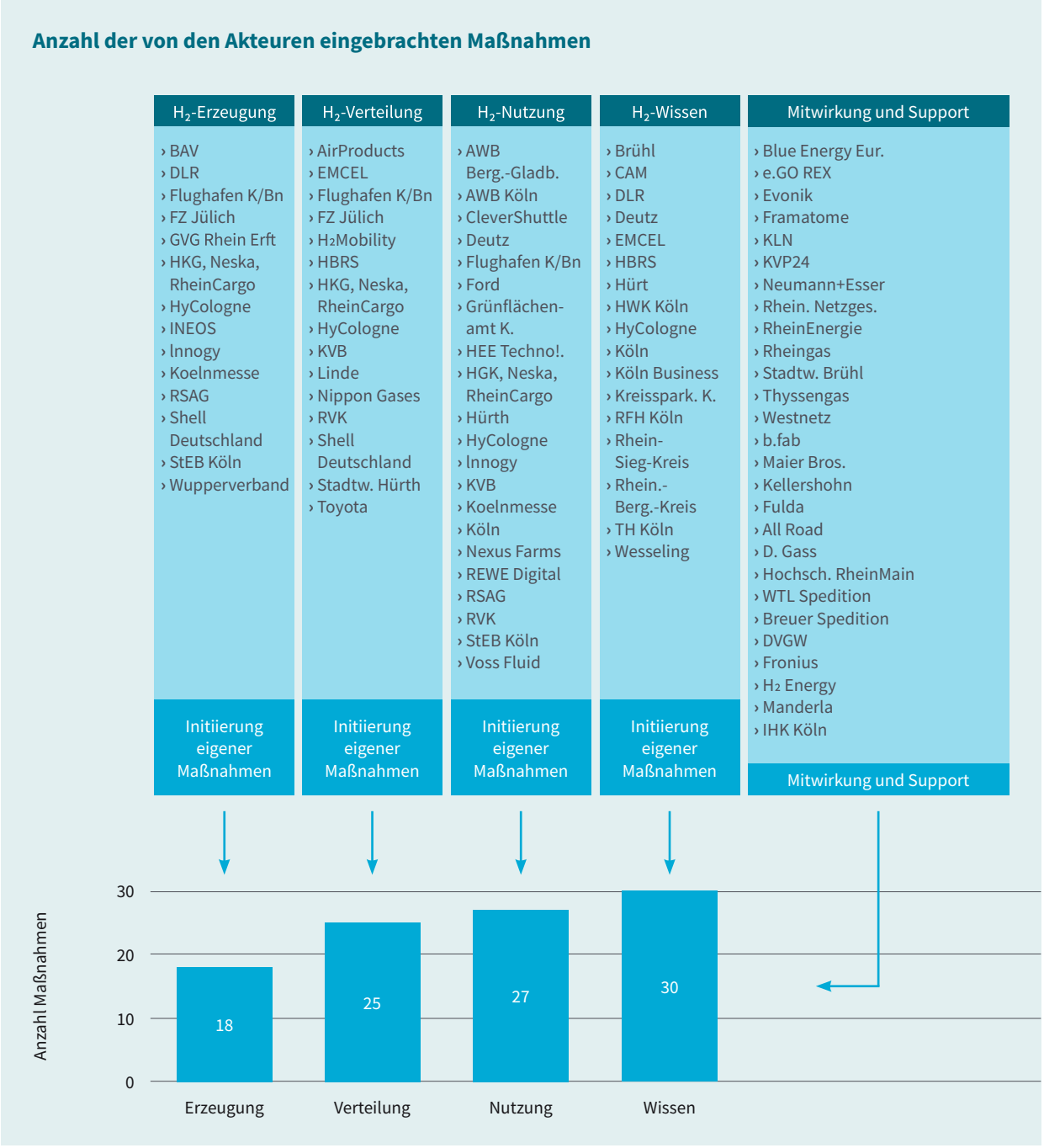


Abbildung 3-3 Anzahl der von den Akteuren eingebrachten Maßnahmen

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.

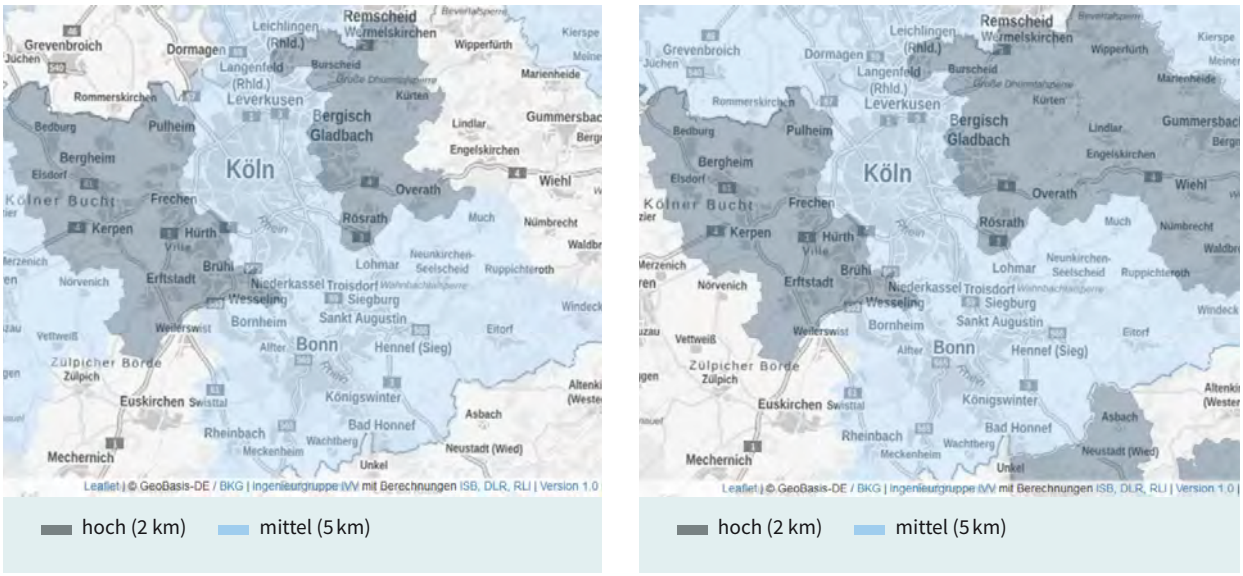


Abbildung 3-4 Ausbaubedarf für H_2-Tankstellen bis 2030 nach dem „StandortTOOL“ der NOW GmbH. Links: Pkw – regressives Szenario. Rechts: Lkw – progressives Szenario

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“

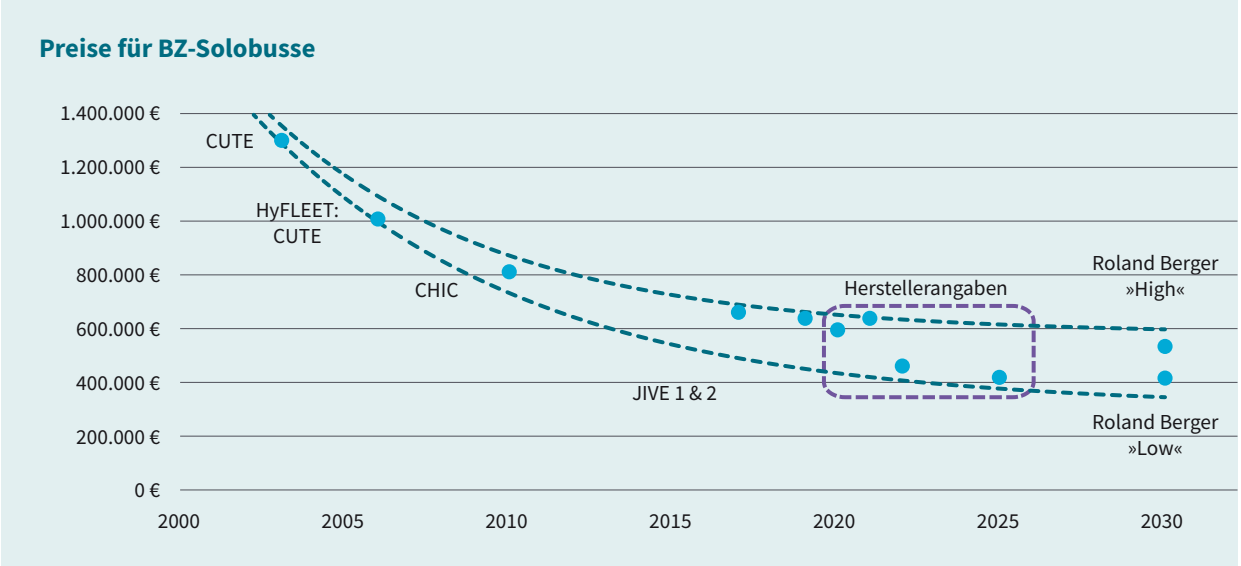


Abbildung 3-5 „Lernkurve“ für die Entwicklung der Kosten für Brennstoffzellenbusse (12m Solobus)

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.

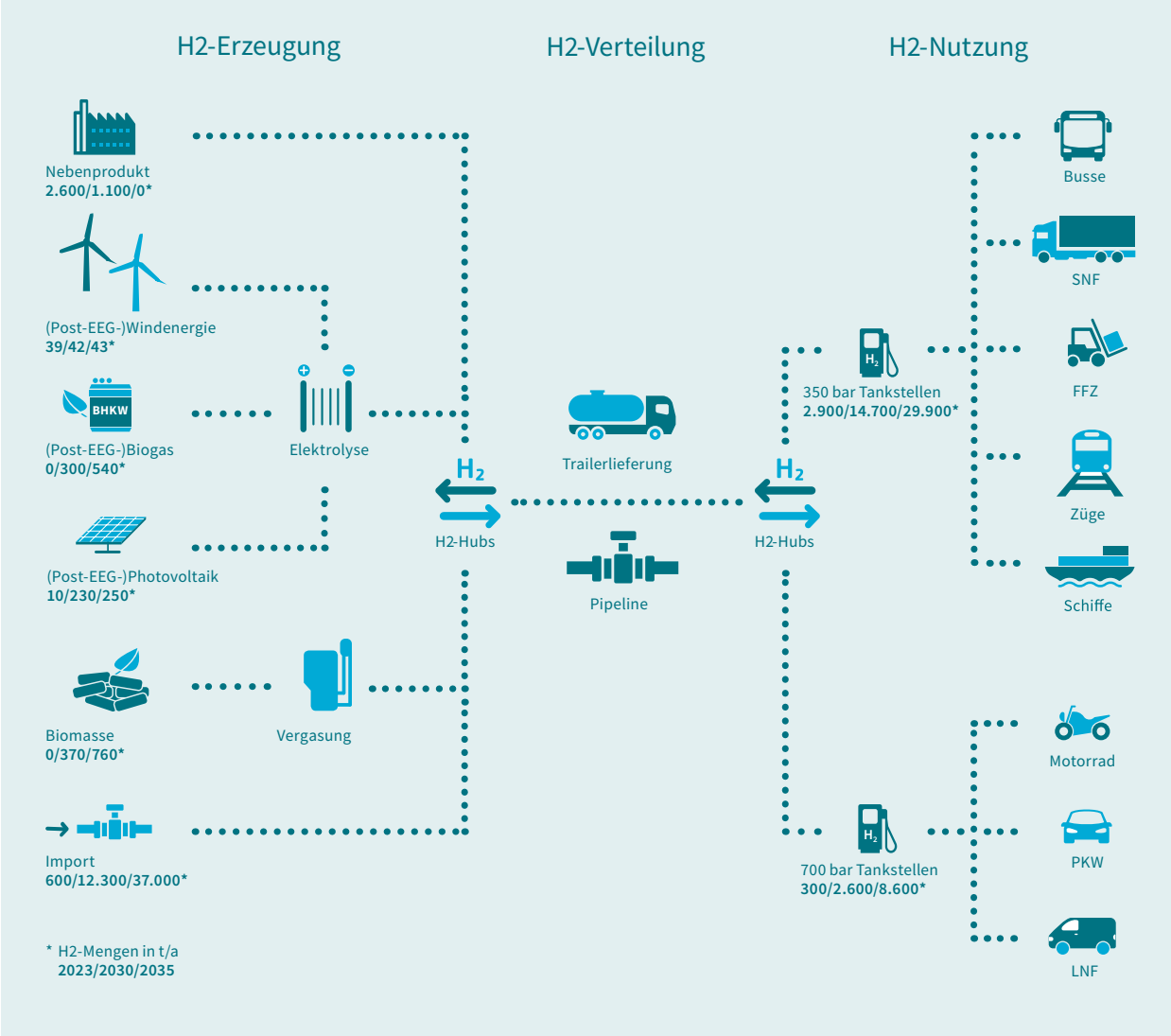


Abbildung 3-6 Bestandteile unseres Technologiekonzepts

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.

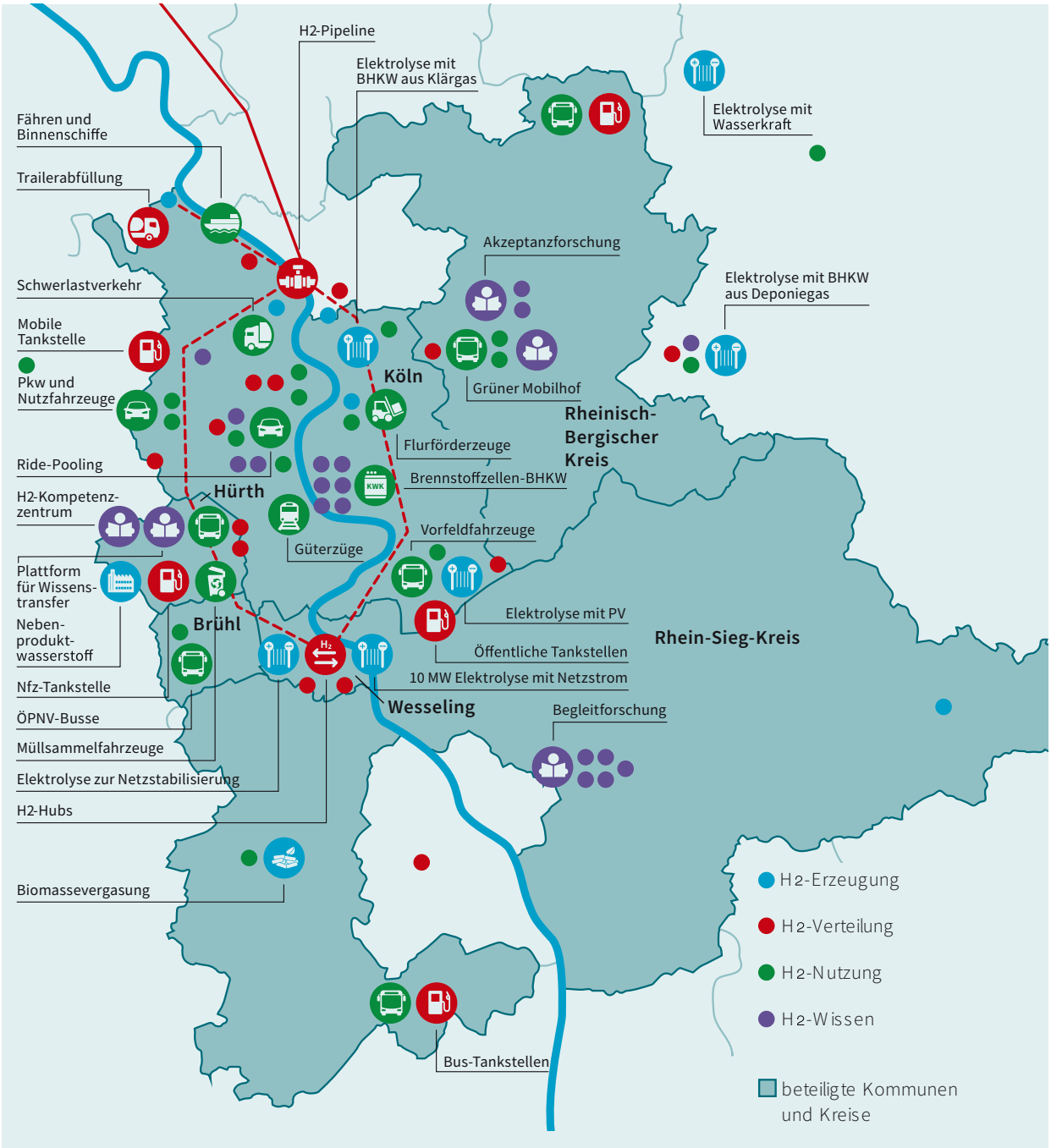


Abbildung 4-1 Übersichtskarte über die Maßnahmen in der Region *H2R – Wasserstoff Rheinland*

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

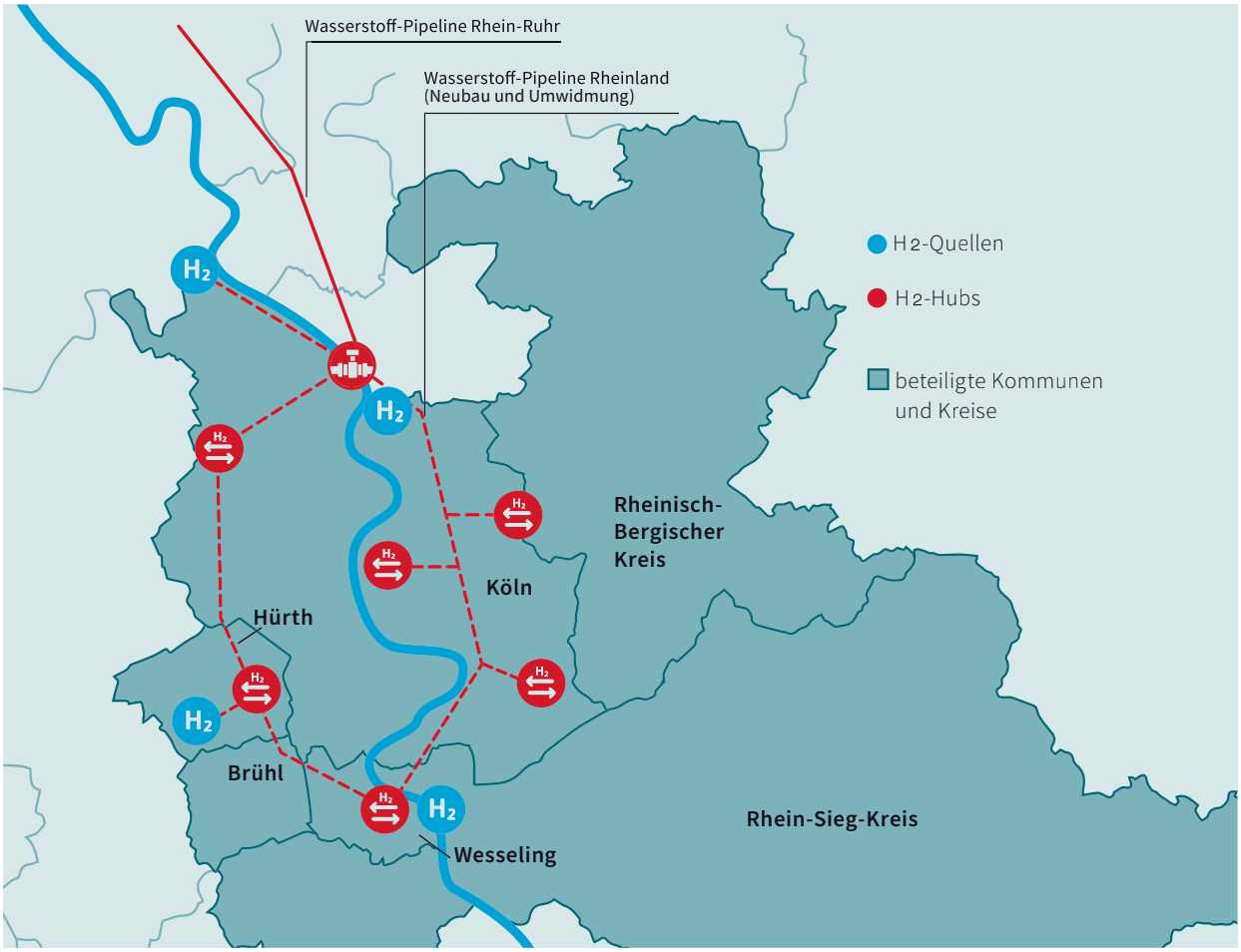


Abbildung 4-5 Fiktiver Verlauf einer möglichen Pipeline entlang bestehender und geplanter Wasserstoffaktivitäten in der Region

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.

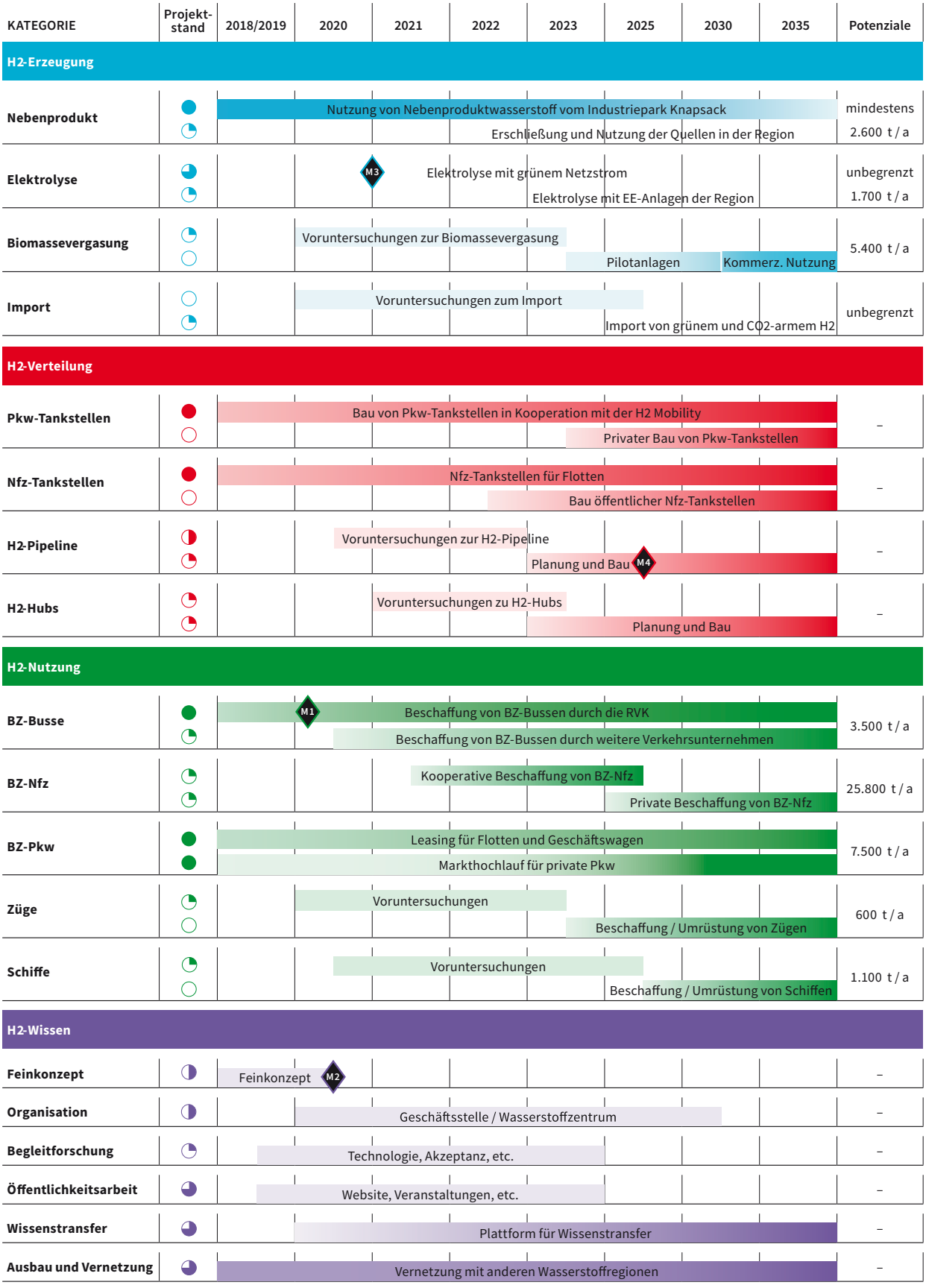


Abbildung 4-8 Unser Fahrplan zur Umsetzung der Wasserstoffregion

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.