



**Studie**

# Wasserstoffoffensive Kreis Düren



SEEN & ENTDECKEN | [kreis-dueren.de](https://kreis-dueren.de)

# WASSER- STOFF- OFFENSIVE

**Kreis Düren**

**Angebot für den Kreis Düren** Stand: 07.10.20

Wasserstoffoffensive | [kreis-dueren.de](https://www.kreis-dueren.de)

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>4</b>	<b>Grußwort</b> Der Landrat des Kreis Düren – Wolfgang Spelthahn – heißt Sie herzlich willkommen zur Wasserstoffoffensive	Hallo
<b>5</b>	<b>Kurzzusammenfassung</b> Alle wichtigen Informationen der Wasserstoffoffensive auf einen Blick.	Kurz und Knapp
<b>6</b>	<b>Die Wasserstoffoffensive im Kreis Düren</b> Unsere Motivation und der Aufbau dieses Dokuments kurz und knapp.	1
<b>11</b>	<b>Was zeichnet uns aus</b> Wir – der Landkreis Düren – stellen uns vor. Wir zeigen Ihnen was wir bereits im Bereich Wasserstoff gemeinsam erreicht haben.	2
<b>29</b>	<b>Wo wollen wir hin – Grundlagen</b> Sie suchen die Grundlagen der wichtigsten Wasserstofftechnologien und eine Einordnung für unseren Kreis. Dann sind Sie genau hier richtig.	3
<b>60</b>	<b>Wie können wir das gemeinsam schaffen</b> Es gibt viele Randbedingungen und Stellschrauben für Wasserstoff. Lernen Sie hier die wichtigsten kennen.	4
<b>78</b>	<b>Unsere Wasserstoffstrategie</b> Wir bringen Ihnen unsere Wasserstoffstrategie näher. Von der Vision über die Roadmap bis hin zu den wichtigsten Leuchtturmprojekten bei uns im Kreis.	5
<b>94</b>	<b>Unsere nächsten Schritte</b> Auch die längste Reise beginnt mit dem ersten Schritt. Wir stellen Ihnen unsere konkreten nächsten Schritte vor.	6
<b>96</b>	<b>Anhang</b>	Anhang

GRUSSWORT

# Der Landrat des Kreises Düren – Wolfgang Spelthahn – heißt Sie herzlich willkommen zur Wasserstoffoffensive.



Foto: Dieter Jacobi

Mit unserer Wasserstoff-Offensive wollen wir etwas ganz Einfaches zeigen: es funktioniert. Zwei Worte, eine Botschaft. Es funktioniert, Wasserstoff herzustellen, zu verteilen und zu nutzen. Alles gleich hintereinander, alles in einem Kreis.

Das ist unser Plan: Wir produzieren am Brainergy Park in Jülich grünen Wasserstoff aus Sonnenenergie und können ihn auf direktem Weg nutzen, zum Beispiel im Öffentlichen Nahverkehr. Noch in diesem Jahr erhalten wir die ersten Wasserstoffbusse und die erste Wasserstofftankstelle. Weitere folgen. Auch Züge werden in absehbarer Zeit mit grünem Wasserstoff made in Kreis Düren fahren. Damit ist der Anfang gemacht – und darum geht es uns. Zu zeigen, dass es funktioniert.

Die Wasserstoffoffensive des Kreises Düren ist kein abstraktes Thema, sondern ein konkretes. Das zeigt auch diese Studie, die zum Beispiel unterstreicht, dass schon bis 2030 rund 800 neue Arbeitsplätze entstehen können. In den darauffolgenden Jahren werden es noch mehr.

Vor allem: Die Wasserstoff-Offensive trägt dazu bei, dass der Kreis Düren seine selbst gesteckten Klimaziele erreicht und bis 2035 klimaneutral ist. Wir werden das Tankstellennetz ausbauen und den gesamten ÖPNV so schnell wie möglich auf Elektromobilität umstellen. Wasserstoff spielt dabei eine große Rolle. Aber auch die Industrie und die Bürger sollen und werden profitieren. Nach dem Ende des Braunkohleabbaus benötigt die Wirtschaft alternative Energieträger – dazu ist Wasserstoff sehr gut geeignet. Und längst ist es auch möglich, Wasserstoff beispielsweise in Privathäusern zum Heizen einzusetzen. In Japan und Südkorea ist das bereits an der Tagesordnung.

Unsere Studie zeigt: Die Wasserstoffoffensive des Kreises Düren sorgt für nachhaltiges Wachstum. Wir werden unseren Weg deshalb konsequent verfolgen und ausbauen. Wichtig ist, die Menschen mitzunehmen. Klimaschutz kann nur gemeinsam gelingen.

Wir verfolgen eine Vision, eine sehr greifbare Vision. Das zeigen unsere Ideen, ihre Umsetzung und unsere Ziele. Es funktioniert.

Viel Spaß bei der Lektüre unserer Studie,

wünscht herzlich

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'W. Spelthahn'. The signature is stylized and written in a cursive-like font.

**Wolfgang Spelthahn**  
Landrat des Kreises Düren

## KURZZUSAMMENFASSUNG

# Alle wichtigen Informationen der Wasserstoffoffensive auf einen Blick

Wir, der Kreis Düren, haben uns bereits seit Frühjahr 2019 intensiv mit dem Thema Wasserstoff beschäftigt und damit frühzeitig einen Fokus auf diesen – für die Energiewende so wichtigen Energieträger – gelegt.

Diesen Aktivitäten wollen wir mit unserer Wasserstoffoffensive nochmals einen wichtigen Schub für die Zukunft geben sowie breit in alle Sektoren erweitern. Unsere Vision lautet: „Wasserstoff frühestmöglich überall dort einsetzen, wo er einen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann. Weiterhin soll die lokale Wertschöpfung gestärkt, die Akzeptanz und Versorgungssicherheit gewährleistet werden und die Wirtschaftlichkeit auch unter den sich verändernden Rahmenbedingungen gegeben sein.“

Daher haben wir diese Studie, zu einem großen Teil finanziert durch Eigenmittel der Industrie, beauftragt und den ganzen Prozess über aktiv begleitet. Ziel der Studie ist es, unsere Wasserstoffvision in eine Roadmap zu überführen.

Hierzu haben wir ausgehend von unseren bisherigen Aktivitäten ([Kapitel 2](#)) die benötigten Grundlagen im Bereich Wasserstoff für die Bereiche Erzeugung, Anwendung, Speicherung und Verteilung beschrieben ([Kapitel 3](#)). Damit unsere Vision Realität werden kann, müssen wir uns national und international in bestehende Aktivitäten integrieren und einen wirtschaftlichen Wasserstoffpreis realisieren ([Kapitel 4](#)).

Unsere Vision wird schließlich durch unsere Wasserstoffroadmap, welche über eine Vielzahl von Workshops und Akteursbefragungen gemeinsam mit den Akteuren entwickelt wurde, bis zum Jahr 2035 planerisch umgesetzt ([Kapitel 5](#)). Der Fokus liegt neben der Erreichung der Meilensteine insbesondere auf der Unterstützung unserer drei identifizierten Leuchtturmprojekte:

- » Großskalige Wasserstoffherzeugung im Brainergy Park
- » Wasserstoffnutzung in unseren geplanten H<sub>2</sub>-Bussen und H<sub>2</sub>-Zügen und Aufbau der benötigten Tankstelleninfrastruktur – auch für private Nutzer
- » Umsetzung einer Gebäudeversorgung durch Wasserstoff

Entlang der gesamten Wertschöpfungskette können durch die Umsetzung der Roadmap bis zum Jahr 2030 etwa 800 und bis zum Jahr 2050 über 1.200 neue Arbeitsplätze im Kreis Düren entstehen. Zudem kann ein großer Teil der Kraftstoffausgaben für Wasserstoff an regionale Akteure im Sinne einer regionalen Wertschöpfung zurückfließen. Diese Zahlen verdeutlichen den enormen Beitrag der Wasserstoffoffensive für das nachhaltige Wachstum bei uns im Kreis.

Damit wir Sie im Prozess weiter informieren und Ihre Ideen unterstützen können, haben wir ein Wasserstoffinformationszentrum und eine Wasserstoffwerkstatt in Umsetzung. Hier haben wir zwei Mitarbeiter eingestellt, die das bestehende Know-how im Kreis Düren noch besser vernetzen bzw. auf bestehende Netzwerke aufbauen, gemeinsam mit den Partnern Veranstaltungsformate gestalten sowie diese kommunizieren und koordinieren.

Wir hoffen Ihr Interesse für unsere Wasserstoffoffensive geweckt zu haben und hoffen Sie bei einem unserer nächsten Veranstaltungsformate begrüßen zu dürfen.



# **WASSER- STOFF- OFFENSIVE**

# 1. Die Wasserstoffoffensive im Kreis Düren

Willkommen bei unserer gemeinsamen Wasserstoffoffensive. Warum Wasserstoff? Warum eine eigene Wasserstoffoffensive? Auf diese und weitere Fragen geben wir Ihnen hier eine Antwort. Dazu finden Sie in Kapitel 1.1 unsere diesbezügliche Motivation sowie in Kapitel 1.2 den Aufbau dieses Dokuments.

## 1.1 Unsere Motivation

Wir, der Kreis Düren, haben uns dazu verpflichtet, unseren Beitrag zur Erfüllung des Pariser Klimaabkommens zu leisten. Dieses sieht vor, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf 1,5 °C im Vergleich zur Vorindustrialisierung zu beschränken und bis zur zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts treibhausgasneutral zu sein<sup>[1]</sup>. Als ein geschichtlich durch den Kohlebergbau geprägtes Gebiet stellt uns dieser Transformationsprozess zwar vor eine besondere Herausforderung, bietet uns darüber hinaus aber auch erhebliche Chancen – als Vorbild für weitere Regionen, nicht nur in Deutschland, sondern auch in Europa. Wenn wir als Kreis Düren zeigen können, wie sich ein nachhaltiger Wandel ohne Wegfall von Wertschöpfung realisieren lassen kann, können wir unserer Vorbildfunktion gerecht werden und unseren Teil dazu beitragen, den Klimawandel zu stoppen.

Damit wir diese Ziele im Kreis Düren erreichen, müssen wir eine Reihe von Maßnahmen umsetzen. Neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien, der Energieeinsparung und der Energieeffizienz in allen Sektoren ist die Nutzung von **Wasserstoff** hierbei ein wesentliches Element.

Hierfür hat die europäische Kommission eine Wasserstoffstrategie vorgelegt. Diese sieht im Kern einen dreistufigen Ansatz für Europa vor<sup>[2][3]</sup>:

**Heute bis 2024:** Die Installation von Elektrolyseuren mit einer Elektrolyseleistung von mindestens 6 Gigawatt zur Erzeugung von **1 Million Tonnen** erneuerbarem Wasserstoff pro Jahr.

**2025 bis 2030:** Wasserstoff wird wesentlicher Bestandteil unseres integrierten Energiesystems. Die installierte Elektrolyseleistung steigt auf **mindestens 40 Gigawatt**, womit ungefähr **10 Millionen Tonnen erneuerbarer Wasserstoff** erzeugt werden können.

**2030 bis 2050:** Technologien für erneuerbaren Wasserstoff sind ausgereift und werden in großem Maßstab in allen Sektoren eingesetzt, in denen die Dekarbonisierung schwierig ist.

Dabei wird unter erneuerbarem bzw. grünem Wasserstoff die Erzeugung von Wasserstoff durch erneuerbare Energien verstanden. Er ist somit CO<sub>2</sub>-neutral.

Auch die **Bundesrepublik Deutschland** hat sich mit ihrer nationalen Wasserstoffstrategie 38 Maßnahmen verschrieben, die sicherstellen sollen, dass Wasserstoff auch hier bei uns Teil des Energiesystems wird und die Wertschöpfung zu großen Teilen in Deutschland erfolgen kann<sup>[4]</sup>. Diese Maßnahmen sehen unter anderem vor, dass

- » bis 2030 eine installierte Elektrolyseleistung von **bis zu 5 GW** einschließlich der dafür erforderlichen Offshore- und Onshore-Energiegewinnung entsteht. Dies entspricht einer grünen Wasserstoffproduktion von bis zu **160.000 Tonnen** und einer benötigten erneuerbaren Strommenge von bis zu 20 TWh.
- » bis 2035 (spätestens 2040) sollen **weitere 5 GW H<sub>2</sub>-Erzeugungsanlagen** zugebaut werden.

Unser Bundesland, **Nordrhein-Westfalen** hat als eines der ersten Bundesländer – auch aufgrund seiner Jahrzehnte langen Erfahrung mit der Nutzung von Wasserstoff in der (petro-)chemischen Industrie – eine detaillierte **Wasserstoff Roadmap** entwickelt<sup>[5]</sup>. Unter anderem sieht diese folgende Ziele vor:

#### Bis 2025:

- » **In der Industrie:** Bau einer ersten großen Anlage zur Erzeugung von Stahl auf Basis von Wasserstoff in Duisburg, sowie eine erste Demonstrationsanlage zur Herstellung synthetischer Kraft- und Rohstoffe im Raum Köln/Wesseling.
- » **In der Mobilität:** Inbetriebnahme von mehr als 400 Brennstoffzellen-LKW, 500 Wasserstoff-Busse für den ÖPNV, erste wasserstoffbetriebene Binnenschiffe sowie mindestens 20 Wasserstoff-Tankstellen für LKW und 60 Wasserstoff-Tankstellen für PKW.
- » **In der Energie & Infrastruktur:** Realisierung von 120 km Wasserstoffpipelines in Nordrhein-Westfalen mit Anbindung an überregionale Wasserstoffleitungen. Zusätzliche Installation von mehr als 100 Megawatt Elektrolyseanlagen für die industrielle Wasserstoffproduktion und die Weiterentwicklung von erdgasbasierten Strom- und Wärmeerzeugern in Richtung Wasserstoff.

#### Bis 2030:

- » **In der Industrie:** Einführung von wasserstoffbasierten Anlagen in weiteren Branchen: Glas, Fliesen- und Ziegelindustrie, Gießereien sowie Entwicklung und Pilotierung von Verfahren für die Zementindustrie und der Ausbau der wasserstoffbasierten Stahlherstellung.
- » **In der Mobilität:** Inbetriebnahme von insgesamt 11.000 Brennstoffzellen-LKW über 20 Tonnen, 1.000 Brennstoffzellen-Abfallsammlern und 3.800 Brennstoffzellen-Bussen für den ÖPNV sowie 200 Wasserstoff-Tankstellen für LKW und PKW.
- » **In der Energie & Infrastruktur:** Realisierung von 1.300 Kilometer Wasserstoffleitungen in Deutschland, wovon 240 km in Nordrhein-Westfalen entstehen sollen. Erste Investitionen in Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen sowie Installation von 1 bis 3 Gigawatt Elektrolyseleistung in Nordrhein-Westfalen.

In diesem Rahmen hat sich der Kreis Düren bereits seit Frühjahr 2019 frühzeitig intensiv mit dem Thema Wasserstoff beschäftigt und konnte hier bereits erste konkrete Erfolge feiern (vgl. Kapitel 2.2).

Diese Erfolge gilt es nun planerisch in eine Roadmap zu überführen, weitere Maßnahmen im Kreis Düren zu identifizieren und gemeinsam mit allen Akteuren umzusetzen. Unser erklärtes Ziel ist es nicht, nur bestehende Verpflichtungen defensiv umzusetzen, sondern offensiv vorneweg zu gehen. Unsere Wasserstoffoffensive hat daher als erklärtes Ziel:

*„Wasserstoff frühestmöglich überall dort einsetzen, wo er einen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann. Weiterhin soll die lokale Wertschöpfung gestärkt, die Akzeptanz und Versorgungssicherheit gewährleistet werden und die Wirtschaftlichkeit auch unter den sich verändernden Rahmenbedingungen gegeben sein.“*

Die vorliegende Studie gibt Auskunft über die Potentiale und Umsetzungsmöglichkeiten im Kreis Düren. Finanziert von Industriepartnern und koordiniert vom Kreis Düren haben sich eine Reihe lokaler Akteure in den Prozess der Erstellung eingebunden und damit wichtige neue Impulse in der Umsetzung gesetzt.

Die hier vorliegende Studie ist Ausgangspunkt für die weitere Entwicklung und besitzt explizit keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Vielmehr dient sie dazu, die nächsten Schritte mit Ihnen gemeinsam offen und kritisch zu diskutieren, um die Zukunft zu gestalten.

Begleiten Sie uns daher, um gemeinsam die Wasserstoffoffensive Realität werden zu lassen!

## Grau

Wasserelektrolyse mittels fossiler Energieträger  
Reformierung von Erdgas

## Blau

Reformierung von Erdgas mit CCS

## Türkis

Methanpyrolyse

## Grün

Reformierung von Biogas

Vergasung und Verärung von Biomasse

Wasserelektrolyse mittels regenerativer Energieträger

### Farbkarte Wasserstoff

**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<sub>2</sub>-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<sub>2</sub> umgewandelt wird. Auch die Elektrolyse mit dem aktuellen deutschen Strommix wird wegen hoher CO<sub>2</sub>-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<sub>2</sub> mithilfe der CCS-Technik (Carbon Capture Storage) unterirdisch gespeichert oder in der Industrie weiterverarbeitet. Dadurch kann der Wasserstoff bilanziell als CO<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-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.

## 1.2 Aufbau

Die hier vorliegende Studie ist wie folgt aufgebaut: Nach unserer Motivationsbeschreibung aus [Kapitel 1.1](#) stellen wir Ihnen unseren Kreis detailliert vor. Nach einem Überblick über unseren Kreis im Allgemeinen ([vgl. Kapitel 2.1](#)), stellen wir die bisher gemeinsam erreichten Erfolge im Bereich Wasserstoff vor ([vgl. Kapitel 2.2](#)).

Bevor wir auf die gemeinsame Reise gehen, müssen wir zuerst den Startpunkt kennen. Hierzu haben wir in [Kapitel 3](#) die Bereiche Wasserstofferzeugung ([vgl. Kapitel 3.1](#)), Wasserstoffanwendungen ([vgl. Kapitel 3.2](#)), Wasserstoffspeicherung und -verteilung ([vgl. Kapitel 3.3](#)) als Ausgangspunkt unserer Aktivitäten aufbereitet. Neben einer detaillierten Einführung in den Entwicklungsstand der Wasserstofftechnologien, stellen wir Ihnen unsere aktuellen Planungen und Potenziale detailliert vor und ordnen die Wasserstoffoptionen des Kreises Düren strategisch ein.

Die bereits in der Motivation beschriebene Kraftanstrengung zum Stopp des Klimawandels können wir nur gemeinsam erreichen. Auf die diesbezüglichen Ausgangslagen, Anforderungen und Ideen gehen wir in [Kapitel 4](#) ein. Die Ausgangslage unseres Kreises, als Teil einer europäischen und deutschlandweiten Entwicklung, beleuchten wir in [Kapitel 4.1](#). Eine der größten Herausforderungen ist die mangelnde wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit aller CO<sub>2</sub> freien Energieoptionen, inklusive Wasserstoff, gegenüber den mit Blick auf die Ziele des Pariser Klimaabkommens heute noch zu preiswerten CO<sub>2</sub> behafteten konventionellen Energieoptionen. Die diesbezüglichen aktuellen Wasserstoffkosten und -preise ([vgl. Kapitel 4.2.1](#)), die benötigten energiefiskalischen Stellschrauben ([vgl. Kapitel 4.2.2](#)) sowie ein konkretes Fallbeispiel für eine Wasserstoffdistribution bei uns werden in [Kapitel 4.2](#) beschrieben.

Neben diesen Herausforderungen ergeben sich aber umgekehrt erhebliche Wertschöpfungschancen bei uns, welche wir nachhaltig nutzen können. Eine diesbezügliche Einordnung befindet sich in [Kapitel 4.3](#).

Neben der regionalen Wertschöpfung ist die Zustimmung und Akzeptanz der Bürgerinnen und Bürger eines der wichtigsten Güter unserer Aktivitäten. Dementsprechend haben wir frühzeitig bereits als Start unserer Wasserstoffoffensive die Wasserstoffakzeptanz im Allgemeinen beleuchtet ([vgl. Kapitel 4.4](#)).

Basierend auf den zuvor beschriebenen Grundlagen haben wir gemeinsam mit ausgewählten Akteuren aus dem Kreis Düren eine initialisierende Wasserstoffstrategie entwickelt, welche wir in [Kapitel 5](#) detailliert vorstellen. Hierzu haben wir neben Fragebögen, die von verschiedenen Akteuren im Kreis Düren ausgefüllt wurden ([siehe Kapitel 5.1](#)), auch mehrere Strategie-Workshops durchgeführt. Das genaue Vorgehen erläutern wir Ihnen in [Kapitel 5.2](#). Als Ergebnis haben wir eine gemeinsame Vision entwickelt ([vgl. Kapitel 5.3](#)), welche wir in eine konkrete Roadmap inklusive einer Zeitplanung überführt haben ([vgl. Kapitel 5.4](#)).

Damit diese Wasserstoffstrategie Realität werden kann, haben wir bereits konkrete nächste Schritte definiert, die wir Ihnen detailliert in [Kapitel 6](#) vorstellen wollen.

Wir freuen uns darüber, dass Sie sich die Zeit nehmen, unsere gemeinsame Wasserstoffoffensive zu lesen und freuen uns auf Ihre aktive Teilnahme an diesem für uns und zukünftige Generationen wichtigen Transformationsprozess.

**WAS  
ZEICHNET  
UNS AUS**

## 2. Was zeichnet uns aus

Was zeichnet uns aus? Diese Frage beantworten wir Ihnen in diesem Kapitel. Dazu stellen wir uns Ihnen zuerst mit unseren fünf Städten und zehn Gemeinden vor und geben Ihnen einen Einblick in unsere aktuell anstehenden strukturellen Herausforderungen. Diesen Herausforderungen stehen unsere Alleinstellungsmerkmale gegenüber, die es uns ermöglichen, ein positives Beispiel für andere Regionen in Richtung nachhaltiger Energieversorgung zu sein und insbesondere in der Verwendung von Wasserstoff voranzugehen (siehe Kapitel 2.1).



Abbildung 1: Der Kreis Düren.

## 2.1 Der Kreis Düren stellt sich vor

Wir, der Kreis Düren, befinden uns zwischen den großen Städten Aachen und Köln, umgeben von den Nachbarkreisen Heinsberg, Euskirchen, Rhein-Erft sowie der Städteregion Aachen. Das Landschaftsbild wird im Wesentlichen durch die Jülicher Börde im Norden sowie durch die Voreifel und Eifel im Süden geprägt. Wir setzen uns aus fünf Städten: Düren, Heimbach, Jülich, Linnich und Nideggen sowie zehn Gemeinden: Aldenhoven, Hürtgenwald, Inden, Kreuzau, Langerwehe, Merzenich, Niederzier, Nörvenich, Titz und Vettweiß zusammen. Die größte Stadt in unserem Kreis ist die Stadt Düren mit rund 90.000 Einwohnern, gefolgt von Jülich (siehe Abbildung 1).

### Alleinstellungsmerkmal

Eines unserer bedeutendsten Alleinstellungsmerkmale ist es, dass wir nicht erst seit diesem Jahr Wasserstoff als Teil der Energiewende begreifen.

# Kurzsteckbriefe

Unsere Kommunen im Überblick



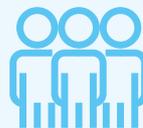
## Gemeinde Aldenhoven



**Gemeinde  
Aldenhoven**

**13.787**

EINWOHNER



**44,25 KM<sup>2</sup>**

FLÄCHE



### REGIONALE BESONDERHEITEN

Die Entwicklung von Gewerbeflächen hat in der Gemeinde Aldenhoven eine hohe Priorität. Bereits heute schon leistet die Kommune beispielsweise mit dem Aldenhoven Testing Center und dem Campus Aldenhoven einen wesentlichen Beitrag zur wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung der Region. Dabei stehen Forschung und Innovation im Bereich Mobilität und Automotive im Fokus und verschaffen Aldenhoven einen USP in diesem Segment. Aldenhoven liegt in der landwirtschaftlich geprägten Jülicher Börde. Aufgrund der hohen Bodenqualität und begünstigt durch ein agrarfreundliches Klima, spielt daher auch die Landwirtschaft eine bedeutende Rolle in der lokalen Wirtschaftsstruktur. Neben den bestehenden touristischen Attraktionen wie beispielsweise dem Römerpark, wird auch die Befüllung des Indesees einen Impuls für die weitere Entwicklung als Naherholungsdestination und attraktiven Wohnstandort geben.

# Kurzsteckbriefe



<h2>Stadt Düren</h2>		
	<b>92.971</b> EINWOHNER 	<b>85 KM<sup>2</sup></b> FLÄCHE 
<p><b>REGIONALE BESONDERHEITEN</b></p> <p>Die Stadt Düren stellt als Kreisstadt mit circa 35 Prozent den größten Anteil der Wohnbevölkerung. Zwar gibt es kein definiertes Wachstumsziel, doch wird die Quartiersentwicklung im Innenstadtbereich oder das Wohnpotenzial in Nord-Düren und in den dörflich geprägten Stadtteilen mit konkreten Bebauungsplänen unterlegt. Perspektivisch können Potenzialflächen entwickelt werden, die durch den Strukturwandel in räumlicher Nähe zu den späteren Tagebauseen entstehen. Diese Transformation ist auch der Motor für eine weitere touristische Entwicklung neben den bestehenden beiden Badeseen, den Grünflächen, der Ruraue und dem Burgauer Wald. Beim Ausbau von Gewerbeflächen setzt die Stadt Düren auf eine dezentrale Weiterentwicklung, interkommunale Kooperation und die Förderung neuer Technologien. Der Ausbau des Bahnhofes zu einem regionalen Mobilitätshub verknüpft verschiedene Aspekte und Formen der Mobilität. Darüber hinaus soll das Bahnhofsareal als „Innovationsquartier“ entwickelt werden und für den Strukturwandel wichtige Projekte wie das Gründerzentrum „Innovationscenter Düren“, die Modellfabrik Papier, D-NIC sowie das Nelly-Pütz-Berufskolleg angesiedelt werden. Als Mittelzentrum spielt die Stadt Düren eine wichtige Rolle in der Region als Einkaufsstadt und im kulturellen Leben.</p>		

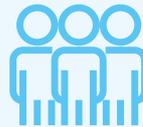
<h2>Stadt Heimbach</h2>		
	<b>4.328</b> EINWOHNER 	<b>64,96 KM<sup>2</sup></b> FLÄCHE 
<p><b>REGIONALE BESONDERHEITEN</b></p> <p>Heimbach als kleinste Stadt in NRW liegt in der Rureifel, im Süden des Kreises Düren. Das Stadtgebiet ist naturräumlich geprägt, und mit dem Nationalpark Eifel, dem Rursee, der Kunstakademie in der Burg Hengebach und der Abtei Mariawald verfügt Heimbach über einige Besuchermagnete. Der Naturtourismus spielt eine starke Rolle und soll weiter barrierefrei, naturverträglich und nachhaltig ausgebaut werden. Ziel ist die Erhöhung des Anteils der Übernachtungsgäste. Das Feriendorf in Schwammenauel ist einer der größten Beherbergungsanbieter in der Region. Bedingt durch seine geographische und topographische Lage hat Heimbach kaum Entwicklungspotenzial für die Ausweisung von Industrie- und Gewerbeflächen. Der Fokus liegt daher darauf, die Qualität und Quantität der Dienstleistungsbetriebe zu erhöhen. Als Wohnstandort zeichnet sich Heimbach beim Ausbau seniorengerechter Wohnungen und dem barrierefreien Ausbau der Innenstadt sowie in der Schließung vorhandener Baulücken und in der Vermittlung von Leerständen aus. Die Rurtalbahn schließt Heimbach im Stundentakt an die Stadt Düren an.</p>		

## Gemeinde Hürtgenwald



**8.700**

EINWOHNER



**88,05 KM<sup>2</sup>**

FLÄCHE



### REGIONALE BESONDERHEITEN

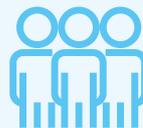
Neben der eigenen Nachfrage bringt die unmittelbare Nähe der Gemeinde Hürtgenwald zur Stadt Düren einen stetig wachsenden Bedarf an Wohnflächen und Grundstücken mit sich. Die Neuausweisung von Bauflächen wird jedoch eingeschränkt durch kleinteilige Eigentümerstrukturen sowie ökologisch und touristisch wertvolle Schutzgebiete, die die landwirtschaftlichen Flächen begrenzen. Durch die Höhenlage der Gemeinde abseits der Verkehrsadern wird die Entstehung von neuen gewerblichen Flächen erschwert, obwohl deren Ausweisung eine hohe Priorität für Hürtgenwald darstellt. Fokussiert wird sich auf die Ansiedlung von Betrieben unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte. Prädestiniert ist Hürtgenwald für die Entwicklung eines nachhaltigen Tourismus. Dazu tragen sowohl die Landschaftsschutzgebiete als auch der Nationalpark Eifel bei. Darüber hinaus wird in Hürtgenwald die umweltfreundliche Mobilität beispielsweise durch die Errichtung von E-Ladesäulen und den Ausbau des Radwegenetzes unterstützt.

## Gemeinde Inden



**7.397**

EINWOHNER



**35,92 KM<sup>2</sup>**

FLÄCHE



### REGIONALE BESONDERHEITEN

Die unmittelbare Lage der Gemeinde Inden am gleichnamigen Tagebau bietet Chancen und Risiken zugleich. Da ein Großteil der gemeindlichen Fläche durch den Braunkohleabbau entfiel, war das Gewerbe- und Industrieflächenmanagement sowie die Wohnflächen- und Freiraumentwicklung stark eingeschränkt. Die Fokussierung lag und liegt daher auf der Beteiligung an interkommunalen Gewerbegebieten. Der Strukturwandel bietet nach Beendigung des Tagebaus der Gemeinde Inden ein Entwicklungspotenzial für den Tourismus und die Siedlungsstruktur. In Verbindung mit der ressourcenschonenden Bauweise „Factor X“ kann die Kommune als „best practice“ Beispiel dienen. Attraktive Wohnflächen am künftigen Indesee und die Nähe zur Forschungsstadt Jülich machen Inden zu einem attraktiven Wohnort. Unterstützt wird diese Entwicklung durch die touristische Inwertsetzung der bereits vorhandenen Goltsteinkuppe und den Ausbau des indelands als Tourismusdestination. Innovative Freizeit- und Naherholungsmöglichkeiten auf und um den Indesee sowie umweltfreundliche Mobilitätslösungen sollten dabei im Mittelpunkt stehen.

# Kurzsteckbriefe



## Stadt Jülich



**33.792**  
EINWOHNER



**90,39 KM<sup>2</sup>**  
FLÄCHE



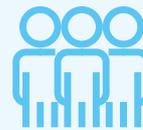
### REGIONALE BESONDERHEITEN

Die Festungs- und Forschungsstadt Jülich ist das zweite Mittelzentrum im Kreis Düren und bietet daher alle relevanten Einrichtungen für die Versorgung an Waren und Dienstleistungen sowie diverse Infrastrukturangebote. Das Forschungszentrum Jülich macht die Stadt als Wissenschaftsstandort weltweit bekannt. Durch die Ausweisung interkommunaler Gewerbegebiete wie beispielsweise den „Brainergy Park“ mit seiner innovativen und topmodernen Ausstattung und gepaart mit einer attraktiven Verkehrsanbindung, werden weitere Ansiedlungswillige angesprochen. Die touristische Entwicklung der Renaissancestadt Jülich mit der überregional bekannten Festung Zitadelle wird mit dem Strukturwandel und der Entwicklung der Seenlandschaft weiter Fahrt aufnehmen. Der Ausbau attraktiver Freizeit- und Naherholungsangebote wird sich aber auch positiv auf die Entwicklung von Einwohnerzahlen niederschlagen. Die gewachsene Kulturlandschaft der Jülicher Börde sollte unter ökologischen und klimaverträglichen Gesichtspunkten weiterentwickelt werden.

## Gemeinde Kreuzau



**17.904**  
EINWOHNER



**41,73 KM<sup>2</sup>**  
FLÄCHE



### REGIONALE BESONDERHEITEN

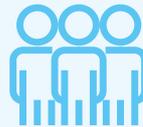
Die Gemeinde Kreuzau liegt an der Grenze zwischen Bördelandschaft und Eifel. Bei der Siedlungsentwicklung setzt die Kommune auf ein gesundes Wachstum mit Verdichtung der bereits bestehenden Kernbereiche. Das integrierte Handlungskonzept für den Zentralort Kreuzau soll durch Dorf-Innenentwicklungskonzepte ergänzt werden. Ein besonderes Augenmerk legt die Gemeinde auf den qualitativen Ausbau der Bildungs- und Betreuungsinfrastruktur. Die Ausweisung von Gewerbeflächen erfolgt aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit interkommunal, insbesondere in Zusammenarbeit mit der Stadt Düren. Während das Zentrum von Kreuzau eine gute Nahversorgung und einige Fachgeschäfte bietet, konzentriert sich die touristische Entwicklung hauptsächlich auf den Stausee Obermaubach und die Drover Heide. Aus dem gut ausgebauten Wander- und Radwegenetz stechen die Buntsandsteinroute und der RurUfer-Radweg qualitativ hervor und sind die Aushängeschilder der Gemeinde. Ein Mountainbike-Wegenetz komplettiert das Angebot. Die Anbindung mit der Rurtalbahn an die Kreisstadt Düren ist bis Untermaubach im Halb- und bis Obermaubach im Stundentakt gewährleistet. Ein Mobilitätskonzept soll die Mobilitätswende einläuten.

## Gemeinde Langerwehe



**14.442**

EINWOHNER



**41,46 KM<sup>2</sup>**

FLÄCHE



### REGIONALE BESONDERHEITEN

Die sehr gute Verkehrsanbindung der Töpferstadt Langerwehe via Straße und Schiene macht die Gemeinde als Wohn- und Gewerbestandort attraktiv. Bei der Erweiterung von Wohnraum setzt die Kommune auf die Verdichtung der Innen- und Siedlungsbereiche von Langerwehe, Schlich, D'Horn und Merode. Gewerbeflächen werden kommunal als auch interkommunal entwickelt, in Zusammenarbeit mit der Gemeinde Inden als ressourcenschonendes Leuchtturmprojekt. Der Tourismus, der mit den überregional bekannten Veranstaltungen auf Schloss Merode, dem Töpfereimuseum und den Naherholungsmöglichkeiten im Wald rund um die Laufenburg bereits eine Rolle spielt, wird mit der touristischen Entwicklung des Indesees weiter an Bedeutung gewinnen. Vom Bahnhof Langerwehe aus, in dem auch das InfoCenter mit einer E-Bike-Verleihstation angesiedelt ist, erfolgt die touristische Erschließung des indelands.

## Stadt Linnich



**13.100**

EINWOHNER



**65,43 KM<sup>2</sup>**

FLÄCHE



### REGIONALE BESONDERHEITEN

Als drittgrößte Stadt im Kreis Düren wirkt sich in Linnich die Nähe zu den Forschungseinrichtungen in Jülich und ihre Lage auf der Achse Aachen-Mönchengladbach aus. Dies bezieht sich sowohl auf die Wohnungsnachfrage als auch auf die Entwicklung von interkommunalen Gewerbegebieten. Die recht gute Verkehrsanbindung über die Bundesstraßen an die Autobahnen sowie der direkte Bahnanschluss durch die Rurtalbahn trägt ihrerseits zu einer positiven Standortbewertung bei. Der geplante Lückenschluss zwischen Linnich und Baal wird einen Anschluss an den Regionalexpress Aachen-Mönchengladbach-Düsseldorf gewährleisten und sich auf viele Bereiche positiv auswirken. Eingebettet in die Jülicher Börde verfügt Linnich über eine qualitativ hochwertige Kulturlandschaft, die sie als Modellregion für Projekte wie beispielsweise im Bereich der Bioökonomie prädestiniert. Hier besteht die Chance, eine zukunftsorientierte Landwirtschaft weiterzuentwickeln. Die Rur mit dem RurUfer-Radweg sowie das Deutsche Glasmalereimuseum sind die touristischen Ankerpunkte, die noch weiter ausgebaut werden können.

# Kurzsteckbriefe



## Gemeinde Merzenich



**10.072**

EINWOHNER



**37,92 KM<sup>2</sup>**

FLÄCHE



### REGIONALE BESONDERHEITEN

Die Gemeinde Merzenich liegt verkehrsgünstig auf der Achse Köln- Aachen an der A 4 mit eigener Anschlussstelle und verfügt über einen S-Bahnanschluss mit Mobilitätsstation. Der Tagebau Hambach hat die Entwicklung der Gemeinde geprägt und somit wirkt sich auch der Strukturwandel auf Merzenich aus. Durch den vorzeitigen Braunkohleausstieg sowie den Erhalt des Hambacher Forstes ergeben sich neue Potenziale als Wohnort und für den Tourismus. Merzenich wirkt aktiv an der Gestaltung des zukünftigen Tagebaufeldes mit und priorisiert städtebauliche Vorhaben in einem integrierten Handlungskonzept. Gewerbegebiete werden interkommunal mit Düren, Kreuzau und Niederzier entwickelt. Aufgrund günstiger Bedingungen spielt die Landwirtschaft in Merzenich eine große Rolle, daher ist die Gemeinde für die Ansiedlung von Projekten im Rahmen der Zukunftsregion „Agrar & Klima“ hervorragend geeignet.

## Stadt Nideggen



**10.522**

EINWOHNER



**65,04 KM<sup>2</sup>**

FLÄCHE



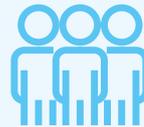
### REGIONALE BESONDERHEITEN

Die Stadt Nideggen ist durch ihre Lage und ihren historischen Ortskern ein touristisches Highlight im Kreis Düren. Topographisch erstrecken sich ihre Ortsteile vom Rurtal über die Höhen der Rureifel bis zum Rursee. Die abwechslungsreiche Landschaft und zahlreiche Freizeitmöglichkeiten wie beispielsweise Wandern, Klettern, Mountainbiken, Kanufahren und Segeln sowie Sehenswürdigkeiten wie beispielsweise die Burg Nideggen mit dem Burgenmuseum oder das Nationalpark-Tor locken zahlreiche Tages- und Übernachtungsgäste an. Naturverträglicher Tourismus spielt eine große Rolle, daher sollen auch Gewerbegebiete klimaneutral und unter ökologischen Gesichtspunkten entwickelt werden. Als Wohnstandort ist Nideggen aufgrund seiner Lage attraktiv sowohl für Familien mit Kindern, die ein Einfamilienhaus im Grünen als auch Senioren, die naturnahes Wohnen suchen. Während die Hauptorte Nideggen und Schmidt nur über Buslinien an das ÖPNV-Netz angeschlossen sind, werden die Ortsteile Abenden und Brück von der Rurtalbahn im Stundentakt bedient. Hier besteht Optimierungsbedarf, sowohl um mehr Einwohner und Berufspendler als auch mehr Touristen zum Umstieg auf den ÖPNV zu bewegen. Auch auf den Ausbau von Radwegen und Ladestationen sowie einer barrierefreien Infrastruktur ist künftig ein Augenmerk zu legen, um dem Ruf als Nationalpark-Stadt gerecht zu werden. In diesem Sinne sollen auch durch Stürme verlorene Waldflächen wiederaufgeforstet werden.

## Gemeinde Niederzier



**14.670**  
EINWOHNER



**63,46 KM<sup>2</sup>**  
FLÄCHE



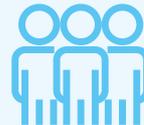
### REGIONALE BESONDERHEITEN

Die Gemeinde Niederzier ist durch ihre strategische Lage an der Rur und zwischen den beiden Tagebauen Hambach und Inden geprägt. Die Befüllung der Seen im Rahmen des Braunkohleausstiegs und ein verbindender Grünzug bringen langfristig neue Naherholungs- und Tourismuspotenziale sowie wirtschaftliche Perspektiven für Niederzier. Ein weiterer touristischer Baustein ist die Sophienhöhe, der mit ihrer derzeit geplanten Weiterentwicklung eine besondere Bedeutung im Rheinischen Revier zukommen könnte. Die unmittelbare Nähe von Niederzier bzw. dem Ortsteil Hambach zum Forschungs- und Entwicklungsstandort in Jülich ist bedeutsam für die Siedlungsentwicklung. Gleiches gilt für die Nähe von Huchem-Stammeln zur Kreisstadt Düren. Der Schwerpunkt liegt hier vor allem auf dem Mehrfamilienhaussegment und sozialen Wohnungsbau. Der Ausbau von Gewerbeflächen erfolgt bedarfsgerecht und interkommunal. Niederzier ist mit drei Bahnstationen an die Rurtalbahn angeschlossen und über die B 56 an die A 4. Die Landwirtschaft wird aufgrund ihrer künftigen Lage zwischen den beiden Seen eine bedeutende Rolle in der ökologischen Raumentwicklung spielen.

## Gemeinde Nörvenich



**10.974**  
EINWOHNER



**66,21 KM<sup>2</sup>**  
FLÄCHE



### REGIONALE BESONDERHEITEN

Die Gemeinde Nörvenich befindet sich in strategisch guter Lage zu den Ballungszentren Köln/Bonn und Aachen. Dementsprechend ist sie als Wohnstandort höchst attraktiv, was sich am Bevölkerungszuwachs zeigt. Um dieser Nachfrage auch weiterhin gerecht zu werden und auch der heranwachsenden Jugend später ein Wohnen in der Gemeinde zu ermöglichen, werden in allen Ortsteilen Wohnbauflächen entwickelt. Verkehrsanbindungen sind über Autobahn, Bundes- und Landstraßen gegeben. Der Schwerpunkt bei der Gewerbe- und Industrieansiedlung liegt auf der Schaffung örtlicher Beschäftigungsmöglichkeiten für Menschen unterschiedlicher Qualifikationen. Fokussiert wird dabei auf Unternehmen, die sich auf Zukunftstechnologien ausgerichtet haben. Die Gemeinde selbst ist offen für Innovationen und vorbildlich in Sachen Wasserstoffmobilität. Sie verfügt über zwei Wasserstofffahrzeuge und eine Wasserstofftankstelle ist in Planung. Innovationen wie beispielsweise vertikale Windräder werden hier getestet. Die Landwirtschaft spielt in Nörvenich eine große Rolle und die lokale Vermarktung eigener Erzeugnisse soll weiter ausgebaut werden, auch mithilfe von innovativen Lösungen. Auch der Tourismus soll mit dem naturnahen Ausbau des Neffelbachs und der Anlage von Wohnmobilstellplätzen weiter entwickelt werden.

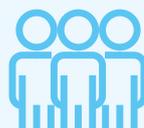
# Kurzsteckbriefe



## Landgemeinde Titz



**8.617**  
EINWOHNER



**68,51 KM<sup>2</sup>**  
FLÄCHE



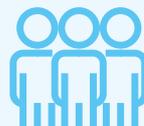
### REGIONALE BESONDERHEITEN

Die nördlichste Kommune im Kreis Düren liegt zwischen den Tagebauen Hambach und Garzweiler und bietet dem Motorisierten Individual Verkehr eine sehr gute Verkehrsanbindung nach Aachen, Köln und Düsseldorf. Dies macht sie für Pendler/innen attraktiv, was sich in einem kontinuierlichen Bevölkerungswachstum und der Nachfrage nach Bauland niederschlägt. Die Landgemeinde Titz möchte vor allem Familien mit Kindern ansprechen und investiert daher in die Bildungsinfrastruktur. Der ÖPNV wird weiter ausgebaut, ebenso wird ein Anschluss der Landgemeinde an die Revier-S-Bahn verfolgt. Verbesserungspotenzial gibt es beim ÖPNV, vor allem beim kreisübergreifenden Liniennetz. Außerdem gibt es keinen Schienenanschluss; lediglich die Schnellbuslinie nach Jülich bietet eine Umsteigemöglichkeit auf die Rurtalbahn. Titz beteiligt sich am interkommunalen Gewerbegebiet „Brainergy Park“, in dem sich Unternehmen auf die Forschung, Entwicklung und Produktion von regenerativen Energien fokussieren. Darüber hinaus engagiert sich die Landgemeinde im Zweckverband LandFolge Garzweiler und der Neuland Heimbach GmbH, die sich im Strukturwandelprozess um die Raumentwicklung rund um die gleichnamigen Tagebaue kümmern. In diesem Rahmen wird auch die touristische Entwicklung betrachtet, die künftig an Bedeutung gewinnen wird. Die Attraktivierung des Radwegenetzes ist dabei nur ein Aspekt. Titz verfügt über den höchsten Anteil an landwirtschaftlichen Flächen in NRW und wird daher auch als „Kornkammer“ der Region bezeichnet. Alternative und innovative Formen der landwirtschaftlichen Nutzung sollen hier erprobt werden.

## Gemeinde Vettweiß



**9.646**  
EINWOHNER



**83,15 KM<sup>2</sup>**  
FLÄCHE



### REGIONALE BESONDERHEITEN

Die gute Anbindung an Köln hat eine verstärkte Nachfrage nach Bauland zur Folge, die sich vor allem auf den Kernort Vettweiß und den Ortsteil Kelz fokussiert. Dementsprechend ist ein kontinuierliches Bevölkerungswachstum zu verzeichnen. Die Herausforderung liegt darin, den ländlichen Charakter des Ortes zu erhalten und die soziale Infrastruktur bedarfsgerecht zu entwickeln. Ein Gewerbeflächenkonzept sieht vor, mittelständische Handwerksbetriebe anzusiedeln, um entsprechende Bedarfe bedienen zu können. Seit der Reaktivierung der Bördebahn ist die Gemeinde mit zwei Haltepunkten wieder an das Schienennetz angebunden. In Kooperation mit dem Kreis Düren werden derzeit Mobilstationen eingerichtet. Die Landwirtschaft spielt in der Gemeinde Vettweiß eine prägende Rolle. Mit dem renaturierten Neffelbach und der begleitenden Neffelbach-Route, der Wasserburgen-Route und dem Naturschutzgebiet Drover Heide verfügt Vettweiß über attraktive Ziele für Radfahrer und Wanderer. Dieses touristische Potenzial soll weiter ausgebaut werden; vor allem bei der Gastronomie gibt es noch Entwicklungsbedarf, da Gäste derzeit kaum Möglichkeiten haben, zur Wertschöpfung beizutragen.

## Unser Steckbrief

### Energienachfrage, -wandlung und -potenziale

Unser Energieverbrauch geht historisch bedingt noch zu einem großen Teil auf die fossilen Energieträger Erdgas, Öl (inkl. Benzin und Diesel) und Braunkohle zurück. In Summe liegt der Energieverbrauch über alle Sektoren bei rund 10.000 GWh pro Jahr. Der im Rahmen der Energiewende oft diskutierte Stromverbrauch besitzt dabei einen Anteil von rund 25 % des gesamten Energieverbrauchs. Weitere Energieverbräuche gehen beispielsweise auf die Benzin- und Dieselnachfrage im Verkehrssektor oder die Gasnachfrage zur Wärmeversorgung in Haushalten zurück.

In Summe decken die erneuerbaren Energien rund 900 GWh, also 9 % des gesamten Energieverbrauchs bzw. rund 30 % des Stromverbrauchs im Kreis Düren. Der noch hohe Stromverbrauch zeigt zum einen, dass wir noch erhebliche Effizienzoptionen besitzen und der noch recht niedrige Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Energieverbrauch zum anderen, dass wir die Integration der erneuerbaren Energien nicht nur im Strombereich, sondern über alle Energieverbräuche hinweg denken müssen. Beim Ausbau der Windenergie haben wir diesbezüglich in unserem Kreis bereits viel erreicht. Mit einem Anteil von rund 75 % stellt sie den größten Beitrag aller erneuerbaren Energien dar. Die mit PV-Anlagen versehenen Dachflächen tragen mit einem Beitrag von rund 8 % zur Bereitstellung erneuerbarer Energien bei.

Insgesamt haben wir erst rund 20 % des zu erschließenden Windenergie Potentials und rund 5 % des PV Potentials erschlossen. Hervorzuheben sind hier unsere Gemeinden Kreuzau und Linnich, die bereits rund 70 % ihres zur Verfügung stehenden Windenergie Potentials nutzen. In der Nutzung des PV-Potentials hingegen sind unsere Kommunen Titz mit einer Ausbaurate von 15 %, sowie Inden und Nideggen mit jeweils 9 % Vorreiter in unserem Kreis. Aufgrund des niedrigen Stromverbrauchs und der hohen erzeugten Strommenge der Windenergieanlagen könnten sich bereits heute Aldenhoven, Linnich und Titz bilanziell selbst versorgen <sup>[6][7][8]</sup>. Welche Möglichkeiten diese Potenziale auch mit Blick auf eine Wasserstoffproduktion bieten, finden Sie in Kapitel 3.1.

### Wachstums offensive

Die Größe des Kreisgebietes beträgt rund 941 km<sup>2</sup>. Der Kreis Düren ist ländlich geprägt und beheimatet über 260.000 Einwohner. Unser erklärtes Ziel ist es, bis zum Jahr 2025 auf 300.000 Einwohner zu wachsen.

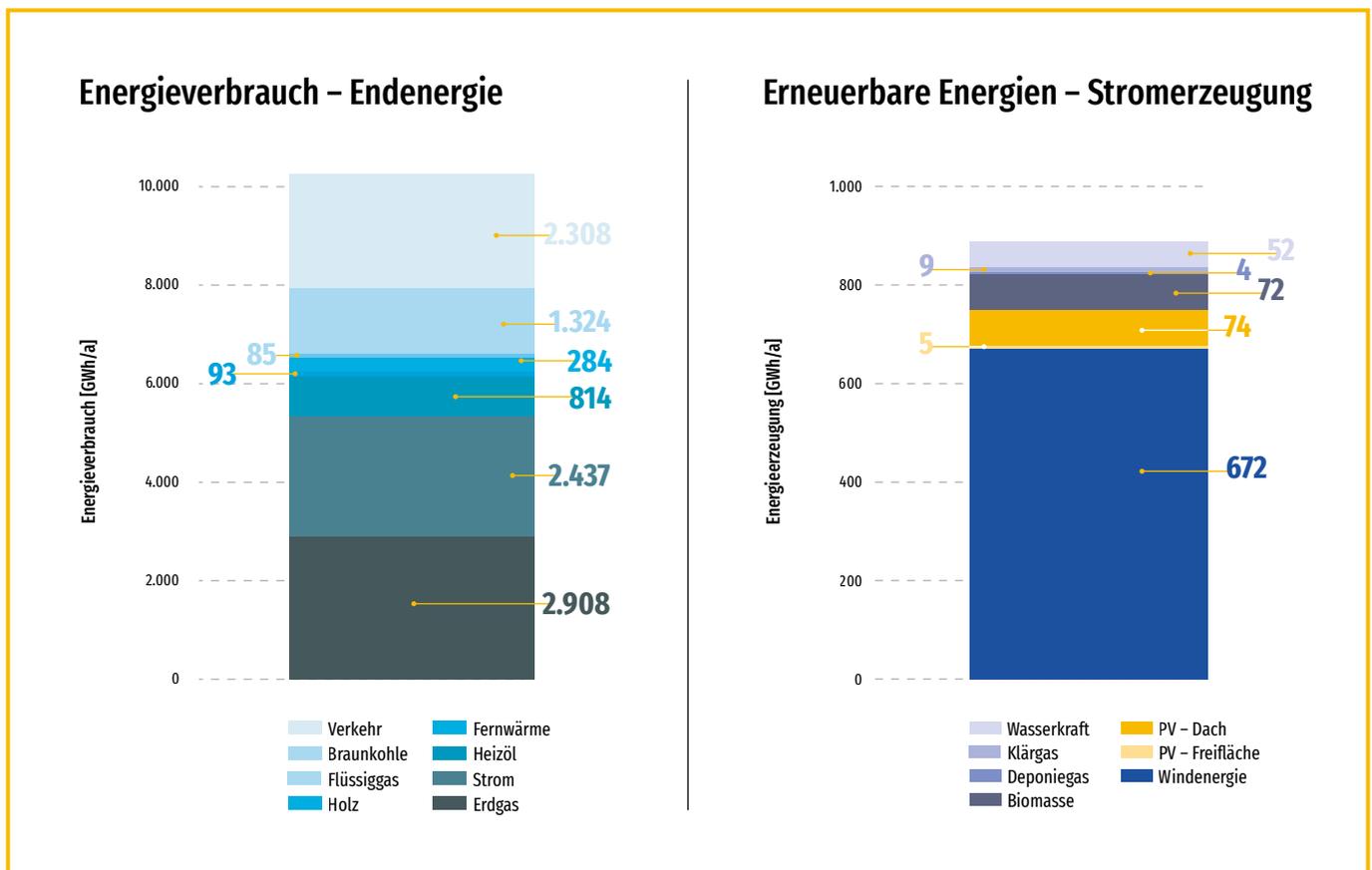


Abbildung 2: Energieverbrauch und erneuerbare Energien im Kreis Düren

## Wirtschaftsstandort des produzierenden Gewerbes

Wir sind gemeinsam mit unserer Kreisstadt Düren ein bedeutender Wirtschaftsstandort des produzierenden Gewerbes. Große internationale Betriebe der Papier- und Metallindustrie liegen an einem historisch gewachsenen Band entlang der Rur und den parallel verlaufenden Mühlenteichen. Unsere langjährige Geschichte mit der Papierindustrie, die bereits aus dem 16. Jahrhundert überliefert wird, verdeutlicht bereits unser Wappen. Die untere Hälfte ist blau, worauf ein weißes Blatt Papier zu sehen ist.

Um auch in der Zukunft in diesem Bereich führend zu sein, wird mit der „Modellfabrik Papier“ ein in Düren beheimatetes, regional vernetztes Reallabor für die Papierindustrie errichtet, das zur Entwicklung einer nachhaltigen Papierproduktion und damit verbundener industrieller Wertschöpfung beitragen soll. Unsere Ausgangslage hinsichtlich der Industrie zeigt beispielhaft, dass wir insbesondere auch im Bereich der Papierindustrie frühzeitige Anwendungsfelder für Wasserstoff finden und skizzieren können (vgl. Kapitel 3.2.3).

## Forschungsaffiner Raum

Neben unserem starken Wirtschaftsstandort besitzen wir auch einen international anerkannten forschungsaffinen Raum. Durch das in Jülich ansässige Forschungszentrum (FZJ), eine der größten Forschungseinrichtungen Europas, mit dem Institut für Solarforschung und dem Institut für Future Fuels des deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), der Abteilung Jülich der Fachhochschule Aachen mit ihren zahlreichen zukunftsorientierten Studien-Schwerpunkten und dem Technologiezentrum, das innovativen Unternehmen und Existenzgründern einen besonderen attraktiven Standort bietet, hat der Kreis großen Anteil am Forschungs- und Technologiepotential der Region.

Daneben soll in Jülich ein „Helmholtz-Cluster für nachhaltige und infrastrukturkompatible Wasserstoffwirtschaft“ errichtet werden. Dort soll dann eine Wasserstoffwirtschaft mit Hilfe von organischen Wasserstoffträgern, sogenannten Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC)-Systemen demonstriert und damit ein Ausgangspunkt für umfangreiche industrielle Aktivitäten im Bereich Wasserstoff und Energie aufgebaut werden (vgl. Kapitel 3.3.4). Diese ausgewählten Beispiele zeigen bereits unsere erheblichen Potenziale, die Wasserstoffoffensive bereits früh zum Erfolg zu führen.

## Strukturwandel in der Region

Die im Jahr 2018 von der Bundesregierung ins Leben gerufene Kommission für „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ (KWSB) hatte das Ziel, unterschiedliche Interessen auszugleichen und einen breiten gesellschaftlichen Konsens über die Gestaltung des energie- und klimapolitisch begründeten Kohleausstiegs und des damit verbundenen Strukturwandels in Deutschland herzustellen. Die angesprochenen und vertretenen Interessensgruppen bestanden aus Akteuren aus den Bereichen Politik, Wirtschaft, Umweltverbänden, Gewerkschaften sowie betroffenen Ländern und Regionen. Der hieraus entstandene Abschlussbericht empfahl daraufhin das Ende der Kohleverstromung bis spätestens zum Jahr 2038<sup>[9]</sup>.

Wir als Kreis Düren sind von diesen Planungen mit drei Tagebauen (Inden, Garzweiler und Hambach) in direkter Nähe erheblich betroffen. Hiermit verbindet sich ein bereits laufender Transformationsprozess, um nach Auslaufen des ersten Tagebaus in Inden spätestens im Jahre 2030 eine attraktive, effiziente und wirtschaftlich zumindest gleichwertige Nachfolgenutzung zu gewährleisten.

## Unsere Herausforderungen

Wir haben neben dem bereits in der Motivation erläuterten Klimawandel, der alle gleich betrifft, weitere Besonderheiten, die uns im Kreis Düren vor erhebliche Herausforderungen stellen.

## Lokale Emissionen

Neben den Treibhausgasemissionen, welche nachweislich den Klimawandel verursachen, sind lokale Emissionen eine weitere Herausforderung für den Kreis Düren. Unter lokale Emissionen fallen beispielsweise auch Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>). Diese entstehen als Produkte unerwünschter Nebenreaktionen bei Verbrennungsprozessen. Neben Verbrennungsmotoren und Feuerungsanlagen für Kohle, Öl, Gas, Holz und Abfälle ist insbesondere der Straßenverkehr einer der bedeutendsten NO<sub>x</sub>-Quellen.

Düren (Euskirchener Straße) gehört zu den Gemeinden die 2018 den Grenzwert für NO<sub>2</sub> von 40 Mikrogramm NO<sub>2</sub> pro Kubikmeter Luft mit 54 Mikrogramm NO<sub>2</sub> pro Kubikmeter Luft im Jahresmittel überschritten haben<sup>[10]</sup>. Da die Inhalation von NO<sub>2</sub> ein erhebliches Gesundheitsrisiko darstellt, müssen alle Mittel genutzt werden die lokalen Emissionen nachhaltig zu begrenzen<sup>[11]</sup>.

## Kohleausstieg

Wie bereits oben beschrieben haben wir mit den drei Tagebauen (Inden, Garzweiler und Hambach) zum einen eine noch offene Frage der Nachfolgenutzung, aber zum anderen auch erhebliche Herausforderungen der Anpassung insbesondere auch in unserer beheimateten Industrie. Der günstige Bezug der Kohle aufgrund der direkten Nähe zu den Tagebauen hat zu einer erheblichen Abhängigkeit in der Wärme- und Stromversorgung geführt. Folglich müssen im Rahmen des Kohleausstiegs neue Energieträger wie beispielsweise Erdgas als Brückenoption oder eben auch direkt Wasserstoff auf- bzw. ausgebaut werden.



## Unsere Alleinstellungsmerkmale

Wir haben zum einen sehr spezifische Herausforderungen, aber zum anderen auch Alleinstellungsmerkmale, welche es uns ermöglichen, diesen Herausforderungen optimistisch zu begegnen. Vielmehr können wir diese Herausforderungen nutzen, um bereits frühzeitig den benötigten Strukturwandel hin zu einer nachhaltigen Energieversorgung umzusetzen und dadurch ein leuchtendes Beispiel für andere Regionen mit den gleichen Herausforderungen sein. Die ausgewählten Alleinstellungsmerkmale von uns sind:

- » Hervorragende Straßen- und SPNV Infrastruktur zur Erschließung umliegender Ballungsräume und des inneren Kreisgebietes.
- » Wir – der Kreis Düren – sind mit unserer Beteiligungsgesellschaft BTG Gesellschafter der Dürener Rurtalbus GmbH (RTBu) und Rurtalbahn GmbH (RTBa) und somit zentraler Steuerer des öffentlichen Nahverkehrs für Bus und Bahn.
- » Grundsätzlicher Beschluss des Kreistages zum Austausch der Diesel Busflotte auf Fahrzeuge mit alternativem, vornehmlich Brennstoffzellen Antrieb
- » Klare Zielvorgabe für uns und den Nahverkehr Rheinland (NVR) ist es, ab Dezember 2025, nur Neufahrzeuge für die Linien der RB 21 Nord, der RB 21 Süd und der RB 28 zu nutzen, welche einen alternativen Antrieb besitzen.
- » Neuausrichtung des Nahverkehrsplans bereits seit dem 01.01.2020 mit einer klar definierten Vernetzung verschiedener Verkehrsträger. Hierfür wurden bspw. von verschiedenen Akteuren erstmalig 49 Mobilstationen, E Bike Verleihstationen und Car sharing etabliert.
- » Nicht elektrifiziertes SPNV Streckennetz der RTB mit 102 Streckenkilometern und 28 Bahnhöfen und Haltepunkten.
- » Weiteres Reaktivierungspotential stillgelegter SPNV Strecken rund um die Tagebaugebiete.
- » Forschungsaffiner Raum mit Fachhochschule Aachen (u.a. Abteilung Jülich), DLR – Institut für Solarforschung – Standort Jülich und Forschungszentrum Jülich (derzeit 6.446 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter) mit eigenen Interessen an innovativen Antriebstechnologien.
- » Konsequente Umsetzung der Mobilitätsstrategie des Kreises Düren (gemeinsam erarbeitet mit der FH Aachen in 2014).





Abbildung 3: Expertengespräch im Forschungszentrum Jülich

## 2.2 Was wir im Bereich Wasserstoff bereits gemeinsam erreicht haben

Bereits seit dem Jahr 2017 beschäftigt sich der Kreis Düren mit dem Thema Wasserstoff. Dieses wurde insbesondere im Bereich Mobilität aufgrund der oben beschriebenen Herausforderungen bzgl. der lokalen Emissionen gestartet. Im Mai 2018 wurde hierzu im Kreis Düren eine Arbeitsgruppe Wasserstoff initialisiert. Erste ausgewählte Akteure aus Wissenschaft und Industrie waren das Forschungszentrum Jülich, das DLR sowie die Westnetz GmbH. Diese Arbeitsgruppe hat sich dann bereits bei der zweiten Sitzung um die Rurtalbahn, die Rurtalbus, die RWE Power, die Zukunftsagentur Rheinisches Revier und die Beteiligungsgesellschaft Kreis Düren erweitert. Im November 2018 wurde dann eine von der Westnetz GmbH finanzierte Kurzstudie im Rahmen der Modellkommune/-region Wasserstoff erstellt. Diese zeigt bereits das Potenzial von Wasserstoff in der Mobilität insbesondere für H<sub>2</sub>-Busse und H<sub>2</sub>-Züge auf. Hierbei hat sich ein breites Bündnis der Wasserstoffaktivität angeschlossen.

Ferner wurden wir Mitglied bei der HyCologne – Wasserstoff Region Rheinland e. V. –. Dieser schafft ein Netzwerk für Wasserstoff, Brennstoffzellen und Elektromobilität. Hierdurch haben wir bereits frühzeitig die Weichen gestellt, um uns auch überregional im Themenfeld Wasserstoff gemeinsam mit umliegenden Kommunen und Gemeinden aufzustellen. Des Weiteren streben wir durch unsere Mitgliedschaft im Hydrogen Hub Aachen eine enge Zusammenarbeit mit den benachbarten Kreisen und den Unternehmen in der näheren Umgebung an. Durch das regelmäßig stattfindende Event „Hydrogen meet&connect“ bietet der Hydrogen Hub Aachen den Unternehmen aus der Region eine konkrete Plattform zum fachlichen Austausch und der Entwicklung neuer Projekte im Bereich Wasserstoff.

Weiterhin hatten wir auf Grundlage unseres bereits beschriebenen forschungsaffinen Raums ideale Voraussetzungen, um bereits frühzeitig die Möglichkeiten der Übertragung der Wasserstoff-Forschungsergebnisse in konkrete anwendungsspezifische Projekte zu besprechen. Beispielfhaft neben den weiteren zahlreichen Diskussionen ist hier das Expertengespräch im Forschungszentrum Jülich im Februar 2019 zwischen Landrat Wolfgang Spelthahn (4. v. r.), der CDU-Europaabgeordneten Sabine Verheyen (Mitte), Prof. Detlef Stolten (3. v. r.), Dr. Martin Robinius (2. v. l.), Herrn Stabenau (3. v. l.) sowie weiteren Experten der Westnetz GmbH (siehe Abbildung 3).<sup>[12]</sup>

Durch diese bereits sehr frühzeitig angestoßenen Arbeitsgruppen und Diskussionen sowie durch die tatkräftige Arbeit von Politik und Verwaltung konnten wir uns als ein maßgeblicher Anwender in Deutschland im Bereich Wasserstoff platzieren. Diese Aktivitäten wurden auch schnell durch konkrete Förderbescheide gewürdigt.

### Verkehr

Am 24.08.2020 hat der Kreis Düren den Förderbescheid für die ersten fünf Wasserstoffbusse erhalten (siehe Abbildung 4). Neben der Grundförderung durch den Aachener Verkehrs Verbund (AVV) von 50.000 bis 70.000 € pro Bus haben wir über den NVR einen Förderbescheid in der Höhe von 1,3 Millionen € durch das Land NRW erhalten. Der Start der Busflotte im regulären Betrieb ist für das Jahr 2021 bei der Rurtalbus GmbH geplant. Daneben werden jährlich mindestens fünf weitere Wasserstoffbusse europaweit ausgeschrieben, bis eine Flotte von ca. 180 bis 200 Bussen mit alternativen Antrieben aufgebaut ist.

Auch im Individualverkehr kommt dank unserer Gemeinden und Städte Wasserstoff zur Anwendung und wird dadurch für die Bevölkerung sichtbar. Die Gemeinde Nörvenich hat zwei Fahrzeuge vom Typ Hyundai Nexo Fuel Cell in den kommunalen Fuhrpark aufgenommen, die Stadt Jülich einen Toyota Mirai und der Landkreis Düren selbst einen Mercedes GLC F-Cell und einen Toyota Mirai (siehe Abbildung 5). Die Anschaffung eines weiteren Dienstfahrzeugs, einem Toyota Mirai der neuen Generation, steht unmittelbar bevor.

### Einsatz von Wasserstoffbussen

Bereits im Jahr 2021 werden die ersten Wasserstoffbusse auf den Straßen im Kreis Düren eingesetzt. Jährlich kommen dann weitere fünf hinzu, bis die gesamte Flotte umgestellt ist.

Abbildung 4: NRW-Verkehrsminister Hendrik Wüst (Mitte), Landrat Wolfgang Spelthahn (r.), und Heiko Sedlaczek, Geschäftsführer des Zweckverbandes NVR; Foto: Kreis Düren



2017

- ✓ Start Wasserstoffthemen aus den Herausforderungen der lokalen Emissionen in der Mobilität

Mai 2018

- ✓ Arbeitsgruppe Wasserstoff im Kreis Düren

November 2018

- ✓ Kurzstudie „Wasserstoffpotenzial im Kreis Düren“



Abbildung 5: Ausgewählte Brennstoffzellen-PKW in der Gemeinde Nörvenich<sup>[110]</sup> (oben), der Stadt Jülich (mitte)<sup>[111]</sup> und dem Kreis Düren (unten)<sup>[112]</sup>



Als großes Alleinstellungsmerkmal nicht nur in Deutschland, sondern weltweit ist die geplante Kombination aus Wasserstoffbussen, -PKW und -Zügen in einem einzigen Landkreis zu sehen. Hier sind wir mit einer Probefahrt eines Coradia iLint Wasserstoffzuges der Firma Alstom am 18.02.2020 auf der Strecke Düren, Jülich und Kreuzau-Obermaubach auf den Strecken der Rurtalbahn einen weiteren Schritt in Richtung Umsetzung gegangen (siehe Abbildung 6). Dabei wird die überregionale Bedeutung auch nochmals anhand der online Zuschauerzahlen von weit über 90.000 klar. Mit Unterstützung der Landesregierung, des NVR und der Rurtalbahn sollen die ersten vier Wasserstoffzüge bereits ab dem Jahr 2024 auf dem Schienennetz von uns verkehren, ehe mit der Ausschreibung des gesamten SPNV-Netzes Düren ab 2026 alle Teilstrecken mit Wasserstoffzügen befahren werden.

2019

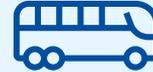
- ✓ Aufnahme H<sub>2</sub> PKW in den Fuhrpark

2020

- ✓ Kreis Düren wird Mitglied bei HyCologne – Wasserstoff Region Rheinland e. V. –
- ✓ Förderbescheid für die ersten fünf Wasserstoffbusse
- ✓ Probefahrt eines Coradia iLint Wasserstoffzuges

2021

- ✓ Gründung Hydrogen Hub Aachen
- ✓ Gründung Wasserstoff-Kompetenzteam



### Wasserstoffzüge

Nach einer ersten Testfahrt im Jahr 2020 sollen ab dem Jahr 2024 die ersten 4 Wasserstoffzüge im Dürener Netz eingesetzt werden. Die Umstellung der gesamten Flotte soll ab 2026 folgen.

Abbildung 6: Einfahrt des Alstom-Wasserstoffzuges im Dürener Bahnhof<sup>[113]</sup>

## H<sub>2</sub>-Erzeugung

Neben unserer Nähe zur chemischen Industrie, welche ein erhebliches Restwasserstoffpotenzial aufweist, ist insbesondere die Nutzung regenerativ erzeugten Wasserstoffs, dem sogenannten grünen Wasserstoff, in unserem Fokus. Wir werden als landesweit erster Kreis diesen grünen Wasserstoff im Brainergy Park herstellen. Hierzu wird im Brainergy Park, einem innovativen Gewerbegebiet auf Jülicher Stadtgebiet (beteiligt sind neben Jülich noch die Kommunen Niederzier und Titz), unter anderem einer der größten Solarparks in NRW entstehen. Die dort aus circa 18.000 Modulen mit einer Kapazität von 9 MW und einer jährlichen Stromproduktion von 9.000 MWh gewonnene Sonnenenergie wird verwendet, um über das sogenannte Elektrolyseverfahren Wasserstoff herzustellen (siehe auch Kapitel 3.1). Dies führt zu einer jährlichen Wasserstoffproduktion von rund 157 Tonnen. Den Solarpark wird das Euskirchener Unternehmen F&S Solar bauen, die für die Elektrolyse notwendige Anlage die Siemens AG. Gemeinsam mit weiteren Partnern ist die Gründung einer Betreibergesellschaft projektiert, um über die neue Produktionslinie auch eine Versorgung der Abnehmer, ob Busse und Züge oder PKW privater und betrieblicher Art gewährleisten zu können. Insgesamt werden an diesem Standort über 30 Millionen Euro investiert. Baubeginn für die Produktionsanlagen und Distributionsanlage ist nach Abschluss der Planungsphase noch im Jahr 2022 geplant, wobei wir von einer Fertigstellung im Jahr 2023 ausgehen.

Auch am Forschungszentrum Jülich entsteht mit dem Living Lab Energy Campus ein potenzieller Anknüpfungspunkt für den Kreis Düren. Hier ist sowohl ein 400 kWel Elektrolyseur als auch eine 100 kWel Brennstoffzelle mit einem LOHC Reaktor und Speicher geplant.

## H<sub>2</sub>-Infrastruktur

Damit insbesondere die Mobilität Wasserstoff nutzen kann braucht es eine Tankstelleninfrastruktur. Deutschlandweit sind aktuell über 100 Wasserstofftankstellen installiert. Dies bezieht alle öffentlichen und nicht-öffentlichen Tankstellen ein. Im Umkreis von Düren sind die Tankstellen in Aachen, Frechen, Düsseldorf oder Mönchengladbach zu nennen.

Die erste Wasserstofftankstelle im Kreis Düren wird von der H<sub>2</sub> MOBILITY GmbH in die Shell Tankstelle Im Großen Tal in Düren an der B56 integriert.

## Unsere Einordnung

Die hier vorgestellten Wasserstoff-Aktivitäten stellen den Ausgangspunkt unserer Wasserstoffoffensive dar. Diese gilt es nun im Folgenden in unsere Potenziale einzuordnen sowie in eine konkrete Strategie bzw. Roadmap einzubinden.



**WO  
WOLLEN  
WIR HIN**

## 3. Wo wollen wir hin – Grundlagen

Sie kennen uns, unsere Motivation und unsere bisherigen Errungenschaften im Bereich Wasserstoff (siehe Kapitel 2). Jetzt möchten wir Ihnen konkret erläutern, wo wir gemeinsam hinwollen. Dazu werden wir Ihnen in diesem Kapitel zuerst die Grundlagen, unsere Potenziale und unsere Projekte detailliert in den Bereichen Wasserstoffherzeugung (siehe Kapitel 3.1), -anwendungen (siehe Kapitel 3.2), -speicherung und -verteilung (siehe Kapitel 3.3) erläutern und vorstellen.

Mit diesen Grundlagen werden wir Ihnen anschließend in Kapitel 4 konkrete Beispiele zeigen, mit denen wir die Ziele unserer Strategie gemeinsam erreichen können. In Kapitel 5 werden wir all diese bis dahin erläuterten Grundlagen, Überlegungen und Beispiele in eine gemeinsame Wasserstoffstrategie münden lassen.

### 3.1 Im Bereich Wasserstoffherzeugung

In diesem Kapitel werden wir Ihnen zuerst die Grundlagen der Wasserstoffherzeugung vermitteln und Ihnen im Anschluss unser Wasserstoffherzeugungspotenzial aufzeigen. Neben diesen Potenzialen haben wir im Kreis Düren aber auch bereits konkrete Projekte, welche wir Ihnen im Anschluss vorstellen werden.

#### Grundlagen der Wasserstoffherzeugung

Weltweit werden bereits heute zwischen 45 und 65 Millionen Tonnen Wasserstoff pro Jahr erzeugt. Es gibt eine Reihe von Verfahren zur Wasserstoffherstellung. Diese lassen sich in konventionelle und CO<sub>2</sub>-freie Verfahren unterteilen. Konventionelle Verfahren sind beispielsweise die Dampfreformierung aus Erdgas und Wasserdampf, welches zurzeit das bedeutendste Verfahren zur industriellen Herstellung von Wasserstoff darstellt. Rund die Hälfte der oben beschriebenen Wasserstoffmenge wird über dieses Verfahren produziert. Hierbei entsteht bei der Wasserstoffproduktion CO<sub>2</sub>, welches in die Umgebung abgelassen wird. Dieser, mit CO<sub>2</sub> Emissionen behaftete Wasserstoff, wird „grauer Wasserstoff“ genannt. Würde das CO<sub>2</sub> jedoch beispielsweise untertage gespeichert werden, wäre dieser Wasserstoff bilanziell CO<sub>2</sub>-frei und er wird dann „blauer Wasserstoff“ genannt. <sup>[13] [14]</sup>

CO<sub>2</sub>-freie Verfahren sind beispielsweise die Wasserstoffproduktion mittels der sogenannten Wasserelektrolyse. Bei dieser wird Wasser mittels zweier Teilreaktionen gespalten, die durch einen ionenleitenden Elektrolyten getrennt sind. Aus Wasser und Strom entsteht somit Wasserstoff und Sauerstoff. Der in der Elektrolyse verwendete Elektrolyt beschreibt dabei die drei verwendeten Verfahren der Wasserelektrolyse: Die alkalische Elektrolyse mit einem flüssigen basischen Elektrolyten, die saure Elektrolyse mit

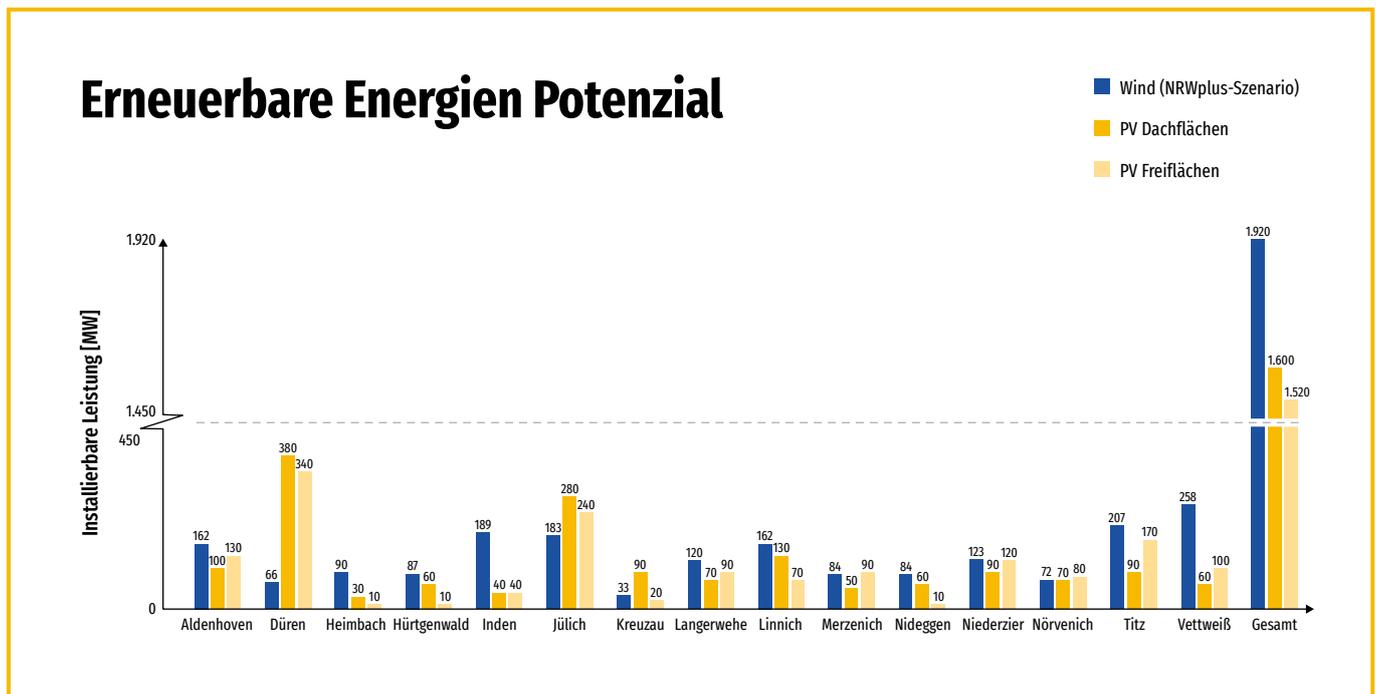
einem protonenleitenden polymeren Elektrolyten (PEM für Polymer-Elektrolyt-Membran) und die Hochtemperatur-Elektrolyse bei Anwendungstemperaturen von 700 bis 1.000 °C mit einem keramischen Elektrolyten. Die alkalische und PEM-Elektrolyse sind die beiden Varianten die aktuell größtenteils zum Einsatz kommen. <sup>[14]</sup>

Wird Strom aus erneuerbaren Energien wie Wind und PV genutzt, ist dieser Strom und der daraus entstehende Wasserstoff, entgegen des mit konventionellen Strom erzeugten Wasserstoffs, CO<sub>2</sub>-frei. Dieser CO<sub>2</sub>-freie Wasserstoff wird grüner Wasserstoff genannt. Dementsprechend ist das Potenzial der erneuerbaren Energien bei uns im Kreis ausschlaggebend für das Potenzial an grünem Wasserstoff und wird nachfolgend näher beleuchtet.

#### Unser Wasserstoffherzeugungspotenzial

Zur Bestimmung des Wasserstoffpotenzials, welches durch heimische erneuerbare Quellen bei uns im Kreis Düren erzeugt werden kann, müssen zuerst die für die Elektrolyse zur Verfügung stehenden Strommengen berechnet werden. Die hier zugrunde gelegten Annahmen (bilanzielle Hülle Kreis Düren, keine Wechselwirkungen von Produktion und Nachfrage usw.) verdeutlichen, dass die Ergebnisse nur zur Einordnung dienen. Insbesondere sind mögliche Eigentümerverhältnisse und die wirtschaftliche Konkurrenz mit möglichen Wasserstoffimporten unberücksichtigt (siehe auch Kapitel 4.1 oder 4.2.1).

Jedoch können durch die folgende Analyse mögliche Handlungsspielräume aufgezeigt werden, welche nutzbringend für uns – den gesamten Kreis Düren – gehoben werden können.

Abbildung 7: Erneuerbare Energien Potenzial<sup>[114]</sup>

Hierzu werden aus mehreren öffentlich zugänglichen Quellen<sup>[6][7][8]</sup> und eigenen Rechnungen drei mögliche Szenarien betrachtet:

1. Das theoretisch technische Potenzial: Komplette Umsetzung des theoretisch technischen Potenzials der Windenergie sowie Dach- und Freiflächen-PV zur Wasserstoffproduktion.
2. Realistisch mögliches Potenzial: Die Hälfte des zu Verfügung stehenden Potenzials aus (1) wird aufgebaut und der zur Verfügung stehende Strom wird zuerst zur Lastdeckung genutzt. Die verbleibende Menge wird zur Wasserstoffproduktion herangezogen.
3. Schnell zu erschließendes Potenzial: Die aus der EEG-Umlage fallenden Windenergieanlagen, mit einer Lebensdauer von über 20 Jahren, werden zur Wasserstoffproduktion herangezogen.

Zur Berechnung des möglichen Wasserstoffherzeugungspotenzials bei uns im Kreis Düren werden die Elektrolyseure so ausgelegt, dass diese im Minimum mit **4.000 Volllaststunden** betrieben werden können. Weitere berücksichtigte Randbedingungen sind ein **Elektrolysewirkungsgrad von 70 %** sowie eine Auslastung des Elektrolyseurs, bezogen auf die Volllaststunden, von 90 %.

Die drei analysierten Szenarien unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich des möglichen Wasserstoffpotenzials, sondern inhärent auch aufgrund des unterschiedlichen Szenariorahmens hinsichtlich der möglichen Umsetzungswahrscheinlichkeit bzw. derer wirtschaftlichen Integration.

### Szenario 1: Das technische Potenzial

Wir im Kreis Düren haben insgesamt ein technisches Potenzial von rund 2 GW Wind, 1,6 GW Dach- und 1,5 GW Freiflächen-PV<sup>[6][8]</sup>. Die Grundlage liefern die Potenzialanalysen des Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV)<sup>[6][8]</sup>. Die Potenziale können durch veränderte Rahmenbedingungen, wie Abstandsregeln abweichende Werte aufweisen. Die aktuellen deutlich erhöhten Abstandsregeln führen daher auch zu einem deutlich niedrigeren Potenzial. Das LANUV arbeitet gerade an einer Aktualisierung dieser Windpotenziale. Demnach stellen die hier genannten und analysierten Werte den aktuellen Stand dar.

Abbildung 7 zeigt für die jeweiligen Kommunen im Kreis Düren aufgeschlüsselt das entsprechende Potenzial an erneuerbaren Energien. Dabei haben die Städte Düren und Jülich das höchste Dach- und Freiflächenpotenzial. Die Gemeinden Vettweiß und Titz haben dem gegenüber das höchste (onshore) Wind-Potenzial.

Neben der installierten Leistung ist auch der mögliche Stromertrag zur Bestimmung des Wasserstoffpotenzials aus erneuerbaren Energien maßgeblich. Dieser variiert aufgrund unterschiedlicher Wetterbedingungen zeitlich und räumlich stark. Bei uns bedeutet dies konkret, dass die Einspeiseleistung einer Windenergieanlage mit einer Nabenhöhe von 135 m und einer Nennleistung von 3.050 kW sich vom Windjahr 2015 auf das Windjahr 2016 um rund 10 % verschlechtern kann. Dies stellt die größte Bandbreite zwischen den analysierten Jahren zwischen 2014 und 2019 dar.

Das technische Windenergie Potenzial bei uns beträgt in Summe jährlich rund 4,7 TWh, wobei das minimale technische Windenergie Potenzial in Kreuzau bei jährlich 0,84 TWh und das maximale in Vettweiß bei jährlich 0,63 TWh bzw. in Titz bei 0,53 TWh liegt.

Die hierzu berechneten Volllaststunden im Kreis Düren von im Mittel rund 2.500 unterstellen technische Weiterentwicklungen der Windenergieanlagen. Während aktuelle Windenergieanlagen bei uns im Kreis Düren mittlere Volllaststunden von rund 2.100 realisieren, können diese zukünftig je nach Anlagenkonfiguration aus aktuellen Analysen bis zu 2.600 in guten Windjahren erreichen [15]. Ferner sind die hier analysierten Potentiale auch aufgrund regionaler ausgeschriebener Windflächeneignungsgebiete als maximale Potentiale zu verstehen. Beispielsweise weist die LANUV Windpotenzialstudie für Niederrhein eine Potenzialfläche von knapp 400 ha aus, während die regionale Studie für Niederrhein eine Potenzialfläche von rund 150 ha ermittelt hat. Damit stellen, wie oben bereits erwähnt, die hier genannten Werte den aktuellen Stand der Literatur dar.

### Potenzieller PV-Stromertrag (Dach) GWh/a

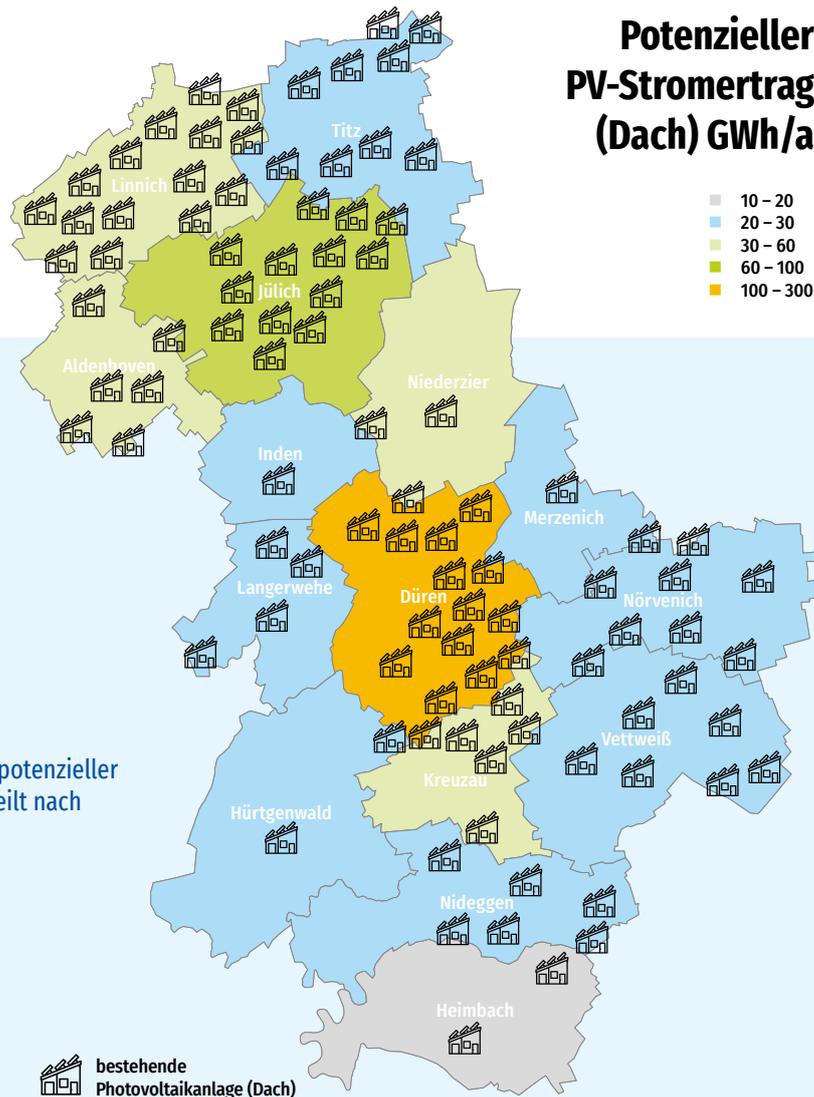
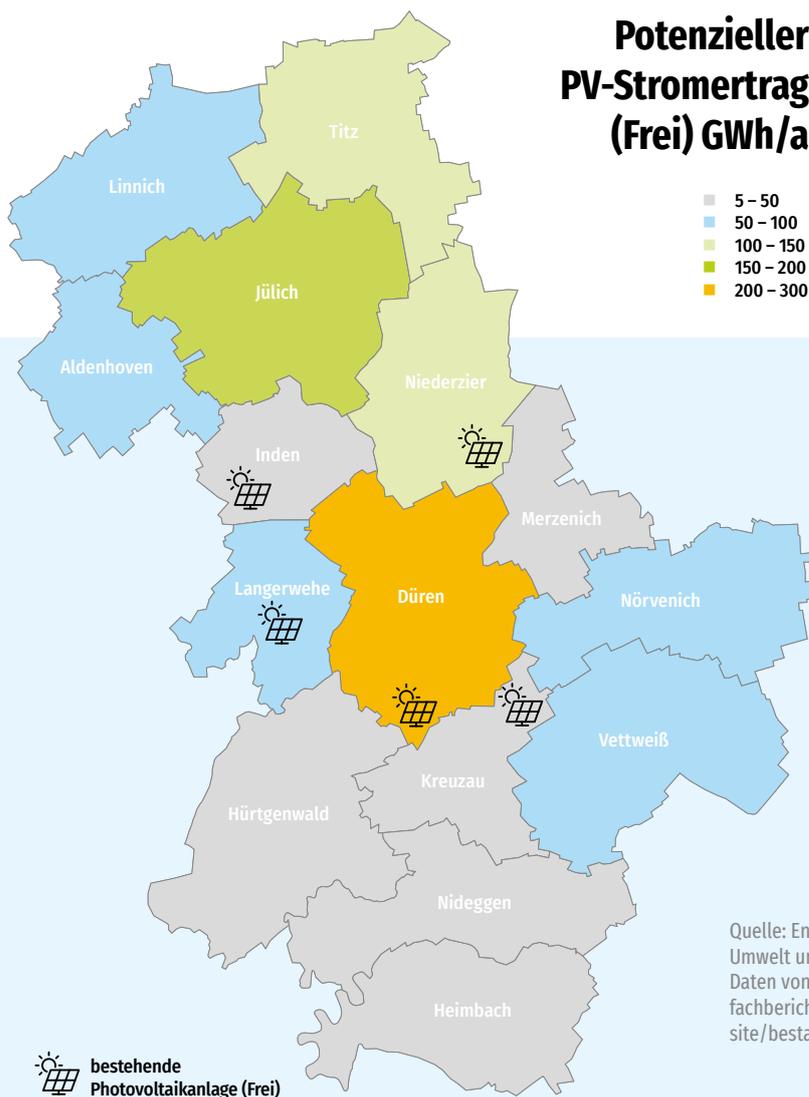


Abbildung 8: Aktuelle Photovoltaikanlagen und potenzieller Stromertrag im Kreis Düren aufgeteilt nach Dach- & Freiflächenanlagen

In Abbildung 8 sind die aktuell installierten Photovoltaik-Dachflächenanlagen (links) und die bestehenden Freiflächenanlagen (rechts) in unseren Gemeinden zu sehen. Zurzeit gibt es in fünf unserer Kommunen (Inden, Niederzier, Düren, Kreuzau und Langerwehe) PV-Freiflächenanlagen, während es in jeder Gemeinde Dachflächenanlagen gibt. Darüber hinaus testen in Jülich Solarforscher des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) neue Komponenten und Verfahren, um Solarturmkraftwerke weiterzuentwickeln. Zu diesem Zweck wurden in Jülich zwei Solartürme errichtet. Außerdem zeigt Abbildung 8 die potenziellen Stromerträge aus PV-Freiflächenanlagen (rechts) und Dachflächenanlagen (links), welche in Zukunft erreicht werden könnten. Auf Grund von Waldgebieten, gibt es in den südlichen Kommunen ein geringeres Freiflächenpotenzial als in den meisten anderen Kommunen. Außerdem ist das Freiflächenpotenzial in unseren Gemeinden Merzenich und Inden stark eingeschränkt, da die überwiegenden Teile des Gemeindegebiets zu den Tagebauen Hambach und Inden gehören. Das PV-Dachflächenpotenzial wiederum hängt stark von den zur Verfügung stehenden Dachflächen ab und zeigt eine Korrelation zu den Einwohnerzahlen der Kommunen. Daher hat die Stadt Düren nicht nur die meisten Einwohner, sondern auch das größte Dachflächenpotenzial und die Gemeinde Heimbach mit den wenigsten Einwohnern auch das geringste Potenzial.



Quelle: Energieatlas NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3\\_fachberichte/30040b.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30040b.pdf) & <https://www.energieatlas.nrw.de/site/bestandskarte>

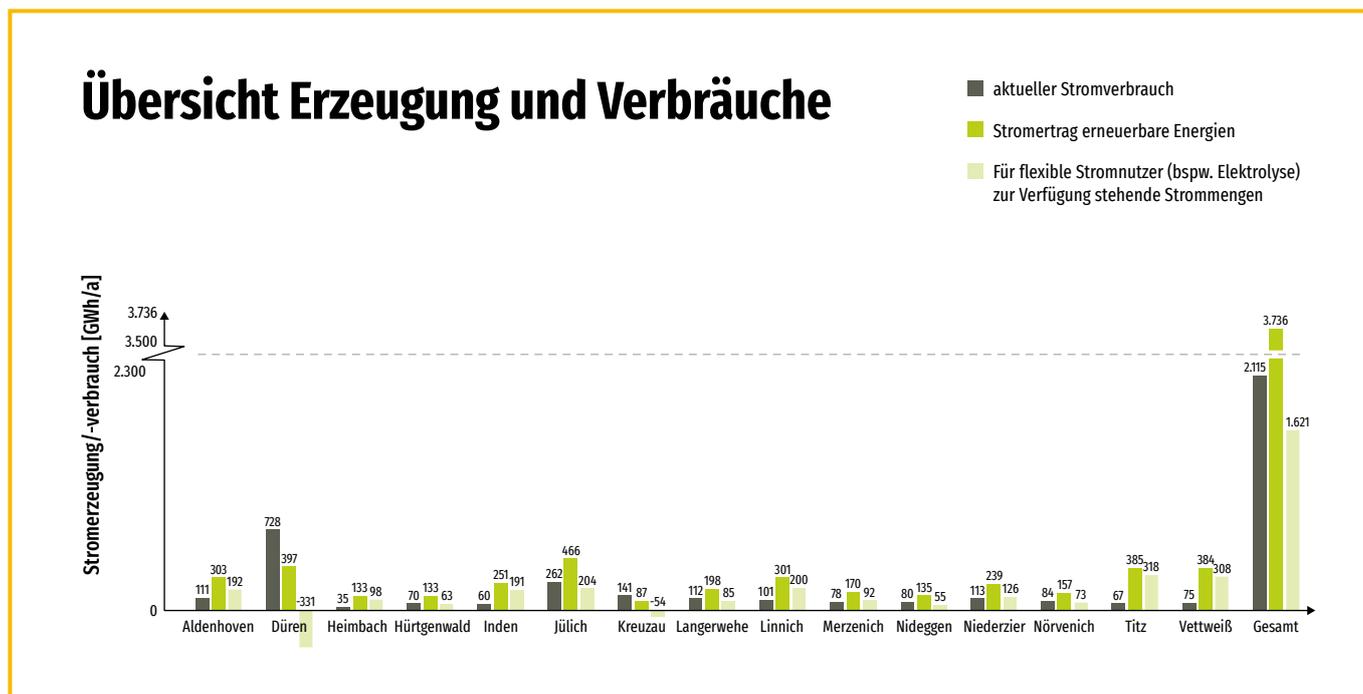


Abbildung 9: Mittlerer Stromverbrauch und -ertrag sowie bilanzielle Betrachtung

Quelle: Energieatlas NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von <https://www.energieatlas.nrw.de/site/bestandskarte> & Marktstammdatenregister: <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR>

Mit den berücksichtigten maximalen Potenzialen und angenommenen Rahmendaten könnten **maximal 80.000 Tonnen Wasserstoff pro Jahr erzeugt werden**. Hiervon fallen rund 60 % auf die Windenergieanlagen und 40 % auf Freiflächen-PV. Dachflächen-PV werden hierbei nicht berücksichtigt, da diese vornehmlich in den Gebäudebereich integriert werden sollten.

Dieses maximale Potenzial hat unter den drei zu analysierenden Szenarien die niedrigste Wahrscheinlichkeit der Umsetzung, da die Wasserstoffgestehungskosten höher liegen als mögliche Importoptionen. Ferner sollte nicht das gesamte Strompotenzial zur Wasserstoffproduktion genutzt werden, da aufgrund der Wirkungsgradverluste zuerst mögliche Stromnachfragen gedeckt werden sollten. Dennoch liefert das Ergebnis einen Einblick in die Möglichkeiten, welche wir im Kreis Düren haben.

### Szenario 2: Das gesellschaftlich umsetzbare Potenzial

Wie bereits oben erwähnt soll das Szenario 1 den maximal möglichen Spielraum der Wasserstoffproduktion in unserem Kreis aufzeigen. Demgegenüber nähert sich das Szenario 2 den realistischen Potenzialen an. Hierzu wird angenommen, dass es gesellschaftlich akzeptabel wäre, nur die Hälfte des im Kreis bestehenden Potenzials zu nutzen. Daneben werden die zur Verfügung stehenden Strommengen zuerst die bestehende Stromnachfrage decken. Anschließend wird der Strom zur Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse herangezogen. Es handelt sich hierbei um eine rein bilanzielle Betrachtung. Dies bedeutet, dass Wechselwirkungen mit unseren Nachbarkreisen vereinfacht nicht berücksichtigt werden. Abbildung 9 zeigt eine Übersicht des Stromverbrauchs in unseren Gemeinden und Städten sowie die möglichen Stromerträge aus Wind, Freiflächen- und Dachflächen PV. Dabei können sich viele Gemeinden und Städte über das eigene Potenzial bilanziell selbst versorgen. Andere besitzen jedoch nicht ausreichend Potenzial im Vergleich zu Stromnachfrage wie die Stadt Düren oder die Gemeinde Kreuzau, die noch eine verbleibende Stromnachfrage von 330 bzw. 50 GWh besitzen. In Summe stehen nach der Stromdeckung im gesamten Kreis noch rund 1.600 GWh pro Jahr zur Wasserstoffproduktion zur Verfügung.

Wird insbesondere nur das verbleibende Wind und Freiflächen PV Potenzial zur Wasserstoffproduktion genutzt, könnten wir im Kreis Düren realistisch möglich **maximal 23.000 Tonnen Wasserstoff pro Jahr erzeugen**. Dieses realistisch zu erschließende Potenzial steht dabei im Spannungsfeld mit möglichen Wasserstoffimporten und deren Wirtschaftlichkeit (siehe Kapitel 4.1 und Kapitel 4.2).

### Szenario 3: Das schnell zu erschließende Potenzial

Windenergieanlagen, die nach einer Laufzeit von 20 Jahren aus der EEG-Vergütung fallen, bieten ein schnell zu erschließendes Potenzial zur Wasserstoffherstellung und bieten den Anlagenbetreibern weiterhin eine Möglichkeit für den wirtschaftlichen Weiterbetrieb ihrer Anlagen. Die Dauer des möglichen Weiterbetriebs ist abhängig von Anlagentyp und Standort und variiert zwischen 4 bis maximal 22 Jahren. Weiterhin gilt es zu beachten, dass nach 20 Jahren gewisse Bedingungen für einen Weiterbetrieb erfüllt sein müssen [16]. Abbildung 10 (links) zeigt alle aktuellen Windenergieanlagen bei uns im Kreis Düren. Außerdem ist der potenzielle Stromertrag aus Windenergie in Abbildung 10 (rechts) dargestellt.

Für diese Potenzialbestimmung wurden alle bestehenden Windenergieanlagen bei uns – im Kreis Düren – hinsichtlich ihrer Lebensdauer analysiert.

Das aus dieser Berechnung heraus abgeleitete, bis zum Jahr 2024 **theoretisch schnell zu erschließende Wasserstoffpotenzial, beträgt 2.000 Tonnen.** Wichtig dabei zu beachten ist, dass die individuellen Eigentümerverhältnisse sowie die Alternativoption des Repowering der Windenergieanlagen berücksichtigt werden müssen.

### Fazit

Wir sehen für unseren Kreis die Möglichkeit, **zwischen 2.000 und 23.000 Tonnen Wasserstoff** zu erzeugen, wobei das maximal theoretische Potenzial bei 80.000 Tonnen liegt. Das bedeutet konkret, dass wir selbst im niedrigsten Fall genug Wasserstoff für 16.000 Brennstoffzellenfahrzeuge oder 370 Wasserstoffbusse erzeugen könnten. Diese Wasserstoffherzeugungspotenziale haben uns veranlasst, konkret bei uns nach einer Möglichkeit zu suchen, einen Anteil dieses Potenzials frühestmöglich zu nutzen. Hierzu haben wir bereits ab dem Jahr 2020 eine Elektrolyse bei uns im Kreis Düren diskutiert und erste Partner für dieses Projekt gewinnen können. Dieses konkrete Projekt stellen wir Ihnen nun vor.

## Potenzieller Windenergieertrag GWh/a

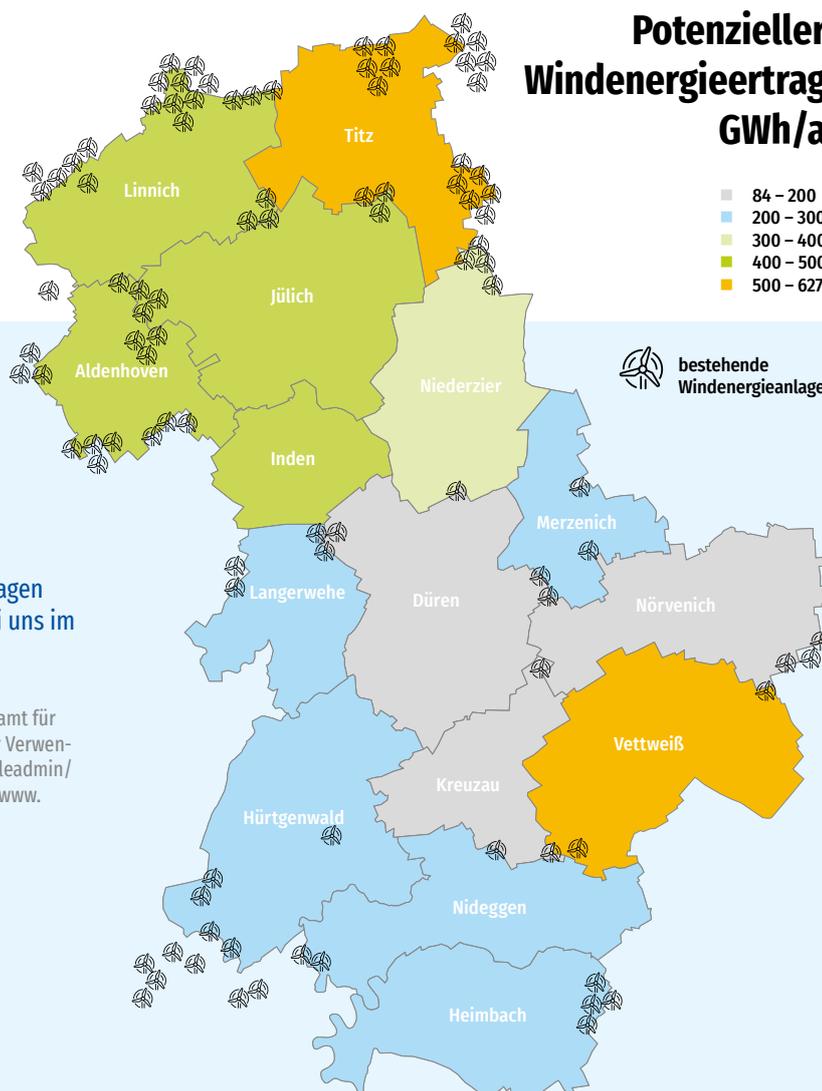


Abbildung 10: Aktuelle Windenergieanlagen und potenzieller Windenergieertrag bei uns im Kreis Düren

Quellen: Energieatlas NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3\\_fachberichte/30040a.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30040a.pdf) & <https://www.energieatlas.nrw.de/site/bestandskarte>

### Unsere konkreten Wasserstofferzeugungsprojekte

Wie bereits in [Kapitel 2.2](#) beschrieben, wird im Brainergy Park eine 8,5 MW Elektrolyseanlage gebaut werden. Baubeginn für die Produktionsanlagen ist nach Abschluss der Planungsphase noch im Jahr 2022, wobei wir von einer Fertigstellung im Jahr 2023 ausgehen. Die Elektrolyseanlage wird dabei so geplant, dass die Anschlussleistung und Verfahrenstechnik für eine 17 MW Elektrolyse ausreichend dimensioniert ist. Somit kann durch einen weiteren Elektrolyse-Zellstapel die Wasserstoffproduktion ausgeweitet werden, wobei die Investitionskosten erheblich skalieren. Daneben ist eine weitere Aufstockung auf rund 35 MW Elektrolyseleistung im Brainergy Park aufgrund der freien Flächenkapazitäten prinzipiell möglich.

Der Wasserstoff soll dabei komplett CO<sub>2</sub>-frei erzeugt werden (sogenannter „grüner Wasserstoff“). Hierzu planen die Betreiber zum einen den Strom aus der Freiflächen PV-Anlage zu nutzen und zum anderen weitere Bezugsoptionen über Windkraftpotentiale und komplementär über die Strombörse mit Zertifikaten für regenerativ erzeugten Strom zu realisieren. Die Darstellung und Einordnung der Wasserstofferzeugungskosten erfolgt in [Kapitel 4.2](#).

## 3.2 Im Bereich Wasserstoffanwendungen

Die Nutzung von Wasserstoff bei uns im Kreis Düren ist ein Stützpfeiler der zukünftigen wirtschaftlichen Entwicklung. In den nachfolgenden Abschnitten werden die einsetzbaren Wasserstofftechnologien nacheinander für den Verkehr, den Gebäudebereich, die Industrie und Wirtschaft sowie die Energiewirtschaft aufgezeigt. Aufbauend auf den benötigten technologischen Grundlagen wird der mögliche Wasserstoffbedarf der nutzbaren Technologien auf Basis mehrerer Bedarfsszenarien aus der Literatur auf unseren Kreis übertragen. Die bereits heute geplanten Maßnahmen bei uns werden dann mit diesen Szenarien im Rahmen eines Benchmarkings verglichen. Diese Maßnahmen sind der Ausgangspunkt für die eigentliche Wasserstoffstrategie in [Kapitel 4](#).

### 3.2.1 Verkehr

Eine breite Palette an wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen von Bussen über Züge und Nutzfahrzeuge bis hin zu PKW ist bei einer Vielzahl an Herstellern in der Entwicklung. Im Jahr 2021 sind erste Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) marktreif oder bald verfügbar <sup>[17]</sup>. Aufgrund von Effizienzvorteilen wird ein elektrifizierter Antriebsstrang eingesetzt, bei dem hochreiner Wasserstoff in einer Brennstoffzelle mit mehr als 60 % Wirkungsgrad in Strom umgewandelt werden kann. Dieser Strom treibt anschließend einen nachgeschalteten Elektromotor an. Durch eine zwischengeschaltete Batterie können erforderliche Leistungsspitzen effizient bereitgestellt und geglättet werden. Die Verbrennung des Wasserstoffs in einem klassischen Verbrennungsmotor würde sich in einer deutlich schlechteren Effizienz niederschlagen <sup>[13]</sup>. Dies gilt insbesondere im Teillastbetrieb, wie er für Fahrprofile von PKW typisch ist <sup>[18]</sup>. Die Brennstoffzelle wandelt unter kontinuierlicher Zufuhr von Wasserstoff und Luft die chemische Energie in elektrische Energie um. Für die Anforderungen von Fahrzeugen hat die PEM-Brennstoffzelle mit einer Polymer-Elektrolyt-Membran aufgrund ihrer hohen Leistungsdichte und des damit verbundenen geringen Gewichts, ihrer kompakten Bauweise, der gut beherrschbaren Betriebstemperaturen von ca. 80 °C und ihres dynamischen Lastverhaltens entscheidende Vorteile <sup>[19]</sup>. Der Wasserstoff wird gasförmig in Drucktanks mit 350 bar für LKW, Busse und Züge sowie mit 700 bar für PKW gespeichert. Der Speicherdruck unterscheidet sich je nach verfügbarem Platzbedarf im Fahrzeug. Ein 700 bar Speicher nimmt im Vergleich zu einem 350 bar Speicher weniger Platz ein, ist jedoch aufgrund der höheren Materialanforderungen teurer. Er wird daher bisher hauptsächlich in PKW und leichten Nutzfahrzeugen eingesetzt. Abbildung 12 grenzt leichte Nutzfahrzeuge von schweren Nutzfahrzeugen anhand des maximalen Gesamtgewichts voneinander ab. Zu leichten Nutzfahrzeugen zählen z. B. Transporter, die mit einem Führerschein der Klasse B gefahren werden dürfen.

Die Entscheidung, wasserstoffbetriebene Fahrzeuge zu nutzen, basiert nicht allein auf ideellen oder wirtschaftlichen Überlegungen. Die überarbeitete Renewable Energy Directive (RED II) der Europäischen Kommission <sup>[20]</sup> schreibt für den Verkehrssektor ein Ziel von mindestens 14 % erneuerbarer Energie im Jahr 2030 vor. Darüber hinaus gibt die Clean Vehicle Directive der Europäischen Union <sup>[21]</sup> Quoten für alternative Antriebe bei Neubeschaffungen von Bussen und schweren Nutzfahrzeugen vor. Die einzige echte emissionsfreie Alternative für den motorisierten Individualverkehr zu Brennstoffzellen-Elektrofahrzeugen sind heute batterieelektrische Fahrzeuge (BEV), die jedoch mehr Ergänzung als Konkurrenz darstellen. Es wird daher auch in der Wasserstoff Roadmap des Landes erwartet, dass der Markt für FCEV in den nächsten Jahren schnell wachsen wird <sup>[5]</sup>.

Im Vergleich zu BEV ermöglichen FCEV aufgrund ihres geringen Systemgewichts und der hohen Energiedichte von Wasserstoff hohe Reichweiten und hohe Nutzlasten. Die Betankung eines FCEV erfolgt ähnlich wie bei konventionellen PKWs und ist innerhalb von drei Minuten abgeschlossen <sup>[22]</sup>. Diese Eigenschaften gewährleisten ein hohes Maß an Flexibilität beim Einsatz eines FCEV.

In den folgenden Abschnitten soll die technologische Reife der verschiedenen Fahrzeugtypen eingeordnet werden. Dazu wird die von der EU genutzte Metrik des Technologiereifegrads (engl.: Technology Readiness Level) genutzt. Diese Metrik unterscheidet neun Stufen, wobei die erste Stufe die Beschreibung des Funktionsprinzips und die neunte Stufe den Systemeinsatz in der angedachten Umgebung umfasst <sup>[23]</sup>. Die genannte, potenzielle CO<sub>2</sub>-Einsparung durch den Einsatz von FCEV bezieht sich auf die Nutzung CO<sub>2</sub>-freien, grünen Wasserstoffs.

## Nutzfahrzeuge



Abbildung 11: Abgrenzung leichter und schwerer Nutzfahrzeuge.

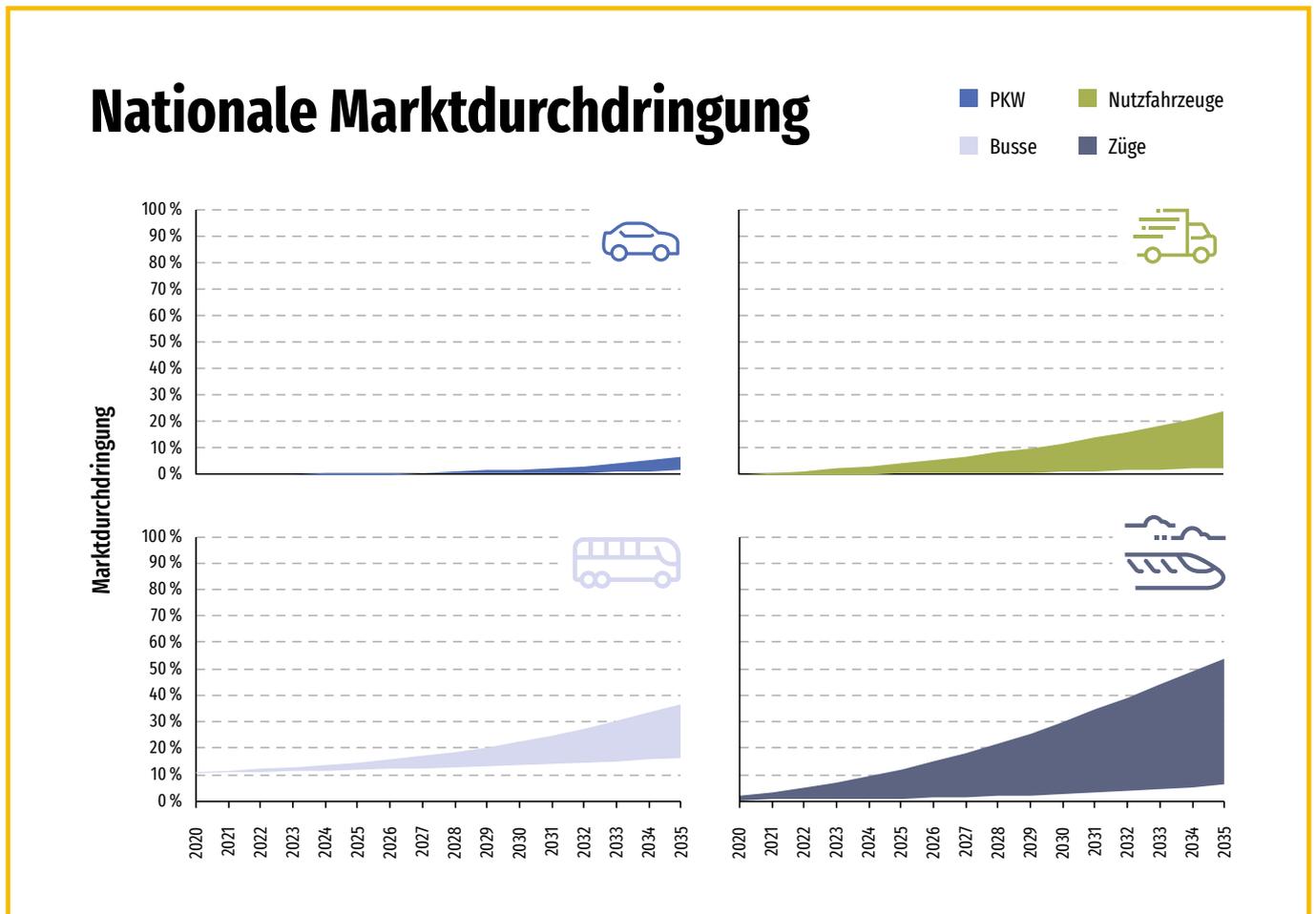


Abbildung 12: In der Literatur erwartete Spanne der deutschlandweiten Marktdurchdringung von Brennstoffzellenfahrzeugen bis zum Jahr 2035 <sup>[25]</sup>.

## Hintergrund Brennstoffzellenbusse

Die Entwicklung von Brennstoffzellenbussen für den ÖPNV ist weit fortgeschritten, bei ersten Herstellern abgeschlossen und in Produkte überführt. Der Technology Readiness Level (TRL) liegt daher bei 9 <sup>[17]</sup>, was dem erfolgreichen Einsatz in der Linie entspricht <sup>[23]</sup>. Obwohl Brennstoffzellenbusse von mehreren Herstellern angeboten werden, sind die Produktionsmengen zurzeit noch begrenzt und längere Lieferzeiten bestehen. Der Betrieb von Brennstoffzellenbussen sichert für den Busbetreiber eine hohe Flexibilität und übliche Abläufe, so dass eine FCEV-Flotte nicht mehr Fahrzeuge umfassen muss als eine übliche konventionelle Flotte <sup>[24]</sup>. Ein üblicher Brennstoffzellenbus mit einer Länge von 12 m besitzt eine Tankgröße von aktuell ca. 40 kg bei 350 bar Druck <sup>[25]</sup> und verbraucht ca. 9,6 kg Wasserstoff pro 100 km <sup>[19]</sup>. Daraus ergibt sich eine Reichweite von ca. 400 km, ausreichend für den Einsatz auch in ländlichen Gebieten, wie sie im Kreis Düren gegeben sind. Im Vergleich zu einem konventionellen Bus, der ca. 42 l Diesel pro 100 km verbraucht, spart der Brennstoffzellenbus bis zu 1.050 g CO<sub>2</sub> pro km <sup>[19]</sup>.

## Hintergrund Brennstoffzellen-Zug

Erste Hersteller liefern Brennstoffzellenzüge für den ÖPNV zum Einsatz auf nicht elektrifizierten Strecken als Alternative zu Diesellokomotiven. Der Technology Readiness Level liegt bei 9, auch hier werden erste Züge bereits im Linienbetrieb eingesetzt. Wie bei Bussen sind die Produktionsmengen noch begrenzt und es bestehen längere Lieferzeiten. Aktuelle Brennstoffzellenzüge speichern in ihren Tanks ca. 180 kg Wasserstoff bei 350 bar und verbrauchen ca. 28,5 kg Wasserstoff pro 100 km <sup>[25]</sup>. Derzeit beträgt die Reichweite je nach Streckenprofil mehr als 600 km. Im Vergleich zu einem konventionellen Zug mit ca. 129 l Dieselverbrauch pro 100 km können die Brennstoffzellenzüge bis zu 3.300 g CO<sub>2</sub>-Emissionen pro km einsparen <sup>[26]</sup>.

## Hintergrund Brennstoffzellen-Schwerlastfahrzeug

Brennstoffzellen-Schwerlastfahrzeuge mit einer Bruttolast von mehr als 3,5 t wird ein TRL von 8 zugeordnet. Das bedeutet die Fertigstellung und Qualifizierung des Systems <sup>[23]</sup>. Fahrzeuge in der 26 t-Klasse für den Verteilerverkehr sind ein besonderer Schwerpunkt der Entwicklung. Fahrzeuge höherer Gewichtsklassen für den Langstreckenverkehr sind bisher weniger weit entwickelt, aber auch hier werden Lösungen vorangetrieben <sup>[27]</sup>. Aktuell sind die Produktionsstückzahlen noch begrenzt und längere Lieferzeiten bestehen.

Typische Brennstoffzellen-Schwerlastfahrzeuge der 26 t-Klasse speichern mehr als 32 kg Wasserstoff bei einem Druck von 350 bar und verbrauchen ab 8 kg Wasserstoff pro 100 km, woraus sich je nach Streckenprofil eine Reichweite für Verteilerfahrten von bis zu 400 km ergibt [28]. Im Vergleich zu einem vergleichbaren konventionellen Fahrzeug mit ca. 27 l Dieselverbrauch pro 100 km [29] spart das Brennstoffzellenfahrzeug so bis zu 670 g CO<sub>2</sub> pro km ein.

### Hintergrund Brennstoffzellen-PKW

Brennstoffzellen-PKWs sind eine ausgereifte Technologie von Pionierherstellern und daher ebenfalls als TRL 9 [17] qualifiziert, erste Fahrzeuge werden seit einigen Jahren erfolgreich eingesetzt. Auch wenn die Technologie im Allgemeinen ausgereift ist, ist die Marktverfügbarkeit aufgrund vergleichsweise geringer Produktionsmengen begrenzt. Längere Wartezeiten für die Auslieferung sind einzukalkulieren. Die Wasserstofftanks in Brennstoffzellen-PKW speichern über 5 kg Wasserstoff bei typischerweise 700 bar Druck [30] und verbrauchen 0,9 kg Wasserstoff pro 100 km [25]. Die Reichweite liegt damit bei über 560 km pro Füllung. Gegenüber einem vergleichbaren Benzinfahrzeug mit 7,9 /100 km Benzinverbrauch [29] spart das Brennstoffzellenfahrzeug so bis zu 162 g CO<sub>2</sub> pro km ein.

### Potenzielle Verkehr

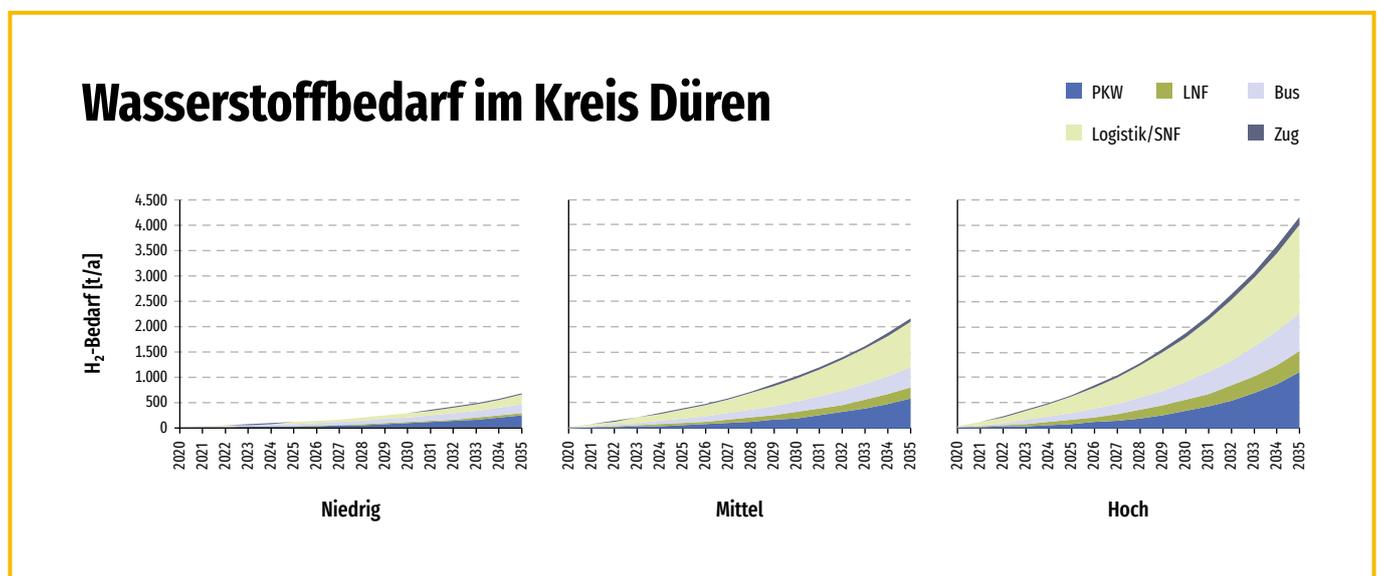
Das zukünftige Marktpotenzial für wasserstoffbetriebene Brennstoffzellenfahrzeuge wird in der Literatur je nach Zielrichtung der betrachteten Studie unterschiedlich eingeschätzt. In einer Arbeit des IEK-3 am Forschungszentrum Jülich [25] haben Wissenschaftler eine Vielzahl an Studien gesichtet und daraus drei Szenarien für die zukünftige Marktdurchdringung von Brennstoffzellenfahrzeugen abgeleitet: Ein hohes, ein mittleres und ein niedriges Szenario. Abbildung 13 stellt die erwartete Spanne der deutschlandweiten Marktdurchdringung von Brennstoffzellenfahrzeugen zwischen dem niedrigen und dem hohen Szenario für PKW, Nutzfahrzeuge, Busse und Züge dar.

Die erwartete Entwicklung unterscheidet sich in den Szenarien je nach betrachteter Fahrzeugklasse deutlich, sowohl in ihrem Anteil

als auch im Zeitpunkt, an dem eine erste relevante Marktdurchdringung erreicht wird. So wird für **Busse** aufgrund der bereits genannten Green Vehicle Directive der EU bis 2035 ein deutschlandweiter Marktanteil zwischen 8 und 37 % erwartet, wobei im mittleren Szenario bereits im Jahr 2026 ein Schwellwert von 5 % überschritten wird. Für wasserstoffbetriebene **Nutzfahrzeuge** wird bis 2035 ein Marktanteil zwischen 3 und 24 % erwartet. Im mittleren Fall wird ein Marktanteil von 5 % erstmals im Jahr 2029 überschritten. Für brennstoffzellenbetriebene **Personenkraftwagen** wird in der Literatur eine relevante Marktdurchdringung erst deutlich später gesehen. Der Marktanteil im Jahr 2035 liegt zwischen 2 und 7 %, wobei im mittleren Szenario erst im Jahr 2037 der Marktanteil rein brennstoffzellenbetriebener Fahrzeuge 5 % überschreitet. Der Marktanteil von **Brennstoffzellenzügen** steigt im mittleren Szenario bereits im Jahr 2026 über 5 % und wird in der Literatur bis 2035 deutschlandweit zwischen 6 und 54 % in Bezug auf heute dieselelektrisch betriebene Züge erwartet.

Wird der Fahrzeugmarkt im Kreis Düren modellhaft durch die im Kreis Düren gemeldeten Fahrzeuge in ein Flottenmodell integriert, so lassen sich aus den erwarteten Marktdurchdringungen und den erwarteten Wasserstoffverbräuchen Bedarfspotenziale des Verkehrs ermitteln. Ein solcher Ansatz ist im Unterschied zu einem Ansatz auf Basis einer Verkehrsflussmodellierung ausschließlich auf öffentlich vorliegende Daten angewiesen und ermöglicht somit eine transparente Abschätzung der Größenordnung eines verkehrsgetriebenen Wasserstoffbedarfs. Im Kreis Düren waren am 1. Januar 2020 insgesamt 162.299 PKW, 8.201 leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5 t (LNF), 2.347 schwere Nutzfahrzeuge über 3,5 t (SNF), 417 Busse und 12 Züge gemeldet [31]. Werden die genannten durchschnittlichen Wasserstoffverbräuche für PKW, leichte und schwere Nutzfahrzeuge, Busse und Züge angesetzt sowie die zukünftige Entwicklung gemäß einer aktuellen Studie der Initiative H2R Wasserstoff Rheinland [17] fortgeschrieben, so ergibt sich auf Basis der genannten Marktdurchdringungen für den Kreis Düren die in Abbildung 14 dargestellte verkehrsgebundene Nachfragebandbreite. Die gestapelten Flächen zeigen in dieser Art der Darstellung die verschiedenen Fahrzeugklassen für die drei Szenarien an.

Abbildung 13: Entwicklung des Wasserstoffbedarf nach Szenario und Fahrzeugkategorie.



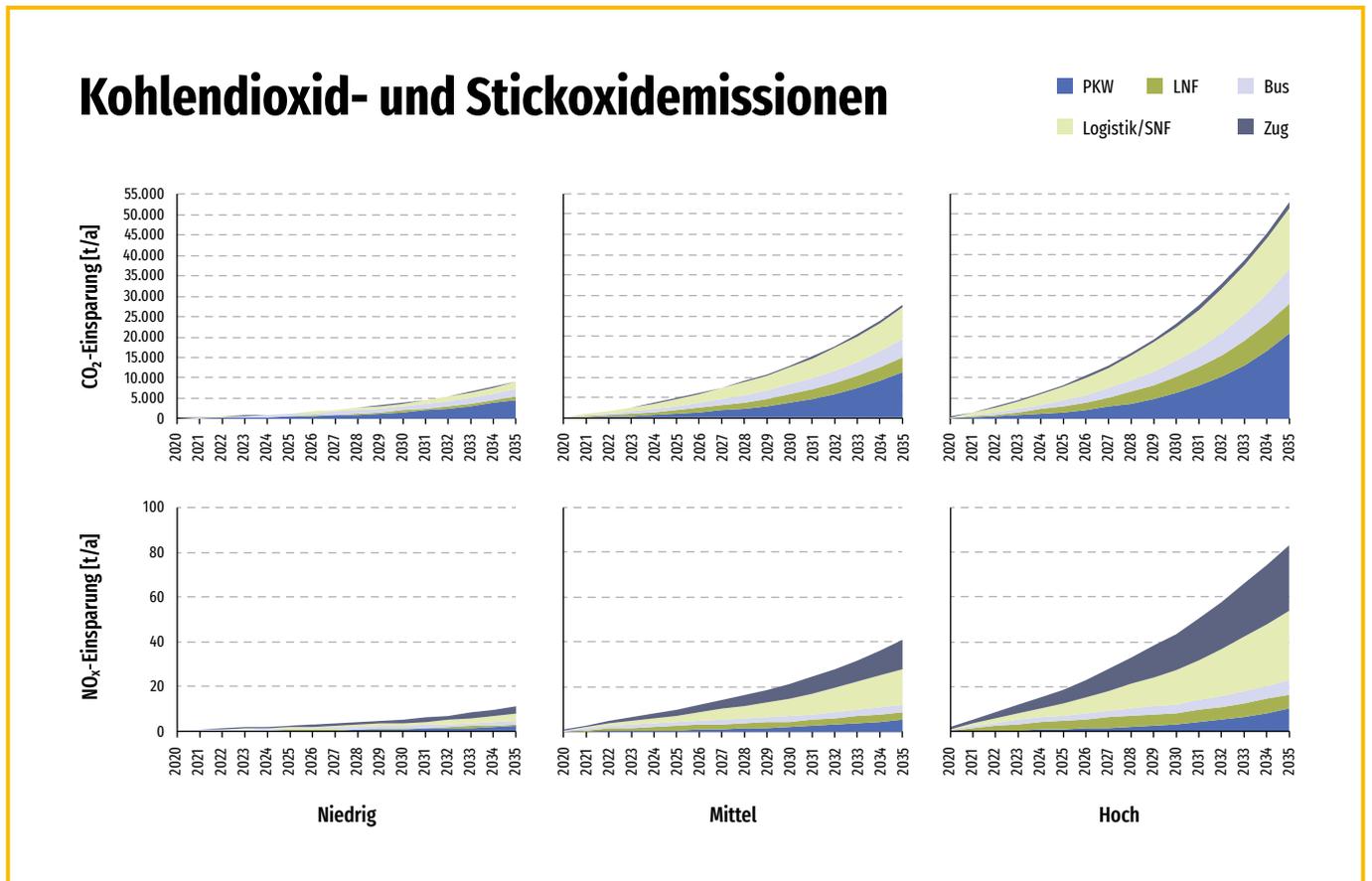
Bis 2035 ergibt sich je nach erwartetem Marktdurchdringungsszenario ein Wasserstoffbedarf zwischen insgesamt 669 und 4.165 t pro Jahr. Im mittleren Szenario ergibt sich ein Bedarf von 2.195 t Wasserstoff, wovon 901 t den schweren Nutzfahrzeugen, 585 t den PKW, 390 t den Bussen, 216 t den leichten Nutzfahrzeugen und 67 t den Zügen zugeordnet werden können. Die Ursache für den hohen Bedarf schwerer Nutzfahrzeuge liegt in der hohen Fahrleistung bei hohem Fahrzeuggewicht. Die Ursache des hohen Bedarfs an Wasserstoff für die Nutzung in PKW trotz nur einstelligen Marktanteils ist in der hohen absoluten Fahrzeugzahl zu sehen. Kurzfristig zeigte sich für das Jahr 2020 im Kreis Düren für das hohe Szenario ein Anteil der Busse am gesamten mobilitätsinduzierten Wasserstoffbedarf von 65 % und der Züge von 16 %. Sowohl Busse als auch Züge im Kreis Düren werden durch eng mit dem Kreis verbundene Unternehmen betrieben, weshalb diese Unternehmen als Pioniere hin zu einer Wasserstoffmobilität gesehen werden.

Lokal werden durch die Nutzung von Brennstoffzellenfahrzeugen keine klimaschädlichen Kohlendioxidemissionen (CO<sub>2</sub>) verursacht. Wird grüner Wasserstoff auf Basis von Wind- oder Solarstrom genutzt, dann gilt die Aussage für die gesamte Prozesskette. Zusätzlich werden durch die Nutzung einer Brennstoffzelle anstatt eines Verbrennungsmotors sowohl Lärm als auch gesundheitsschädliche Stickoxid- (NO<sub>x</sub>) und Feinstaubemissionen vermieden [17]. Abbildung 15 zeigt die im Kreis Düren einsparbaren CO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen für jedes der drei Szenarien.

Für die drei betrachteten Szenarien ergeben sich im Kreis Düren bis 2035 jährliche CO<sub>2</sub>-Einsparungen zwischen 9.100 und 53.000 t. Im Jahr 2035 lassen sich die im Mittel 27.600 t potenzieller Einsparung zu 39 % den PKW, zu 28 % den schweren Nutzfahrzeugen, zu 16 % den Bussen, zu 14 % den leichten Nutzfahrzeugen und zu 3 % den Zügen zuordnen. Kurzfristig tragen insbesondere Busse mit über 60 % zur CO<sub>2</sub>-Einsparung bei.

Die Ergebnisse der einsparbaren Stickoxidemissionen zeigen einen möglichen Rückgang von jährlich zwischen 11 und 83 t NO<sub>x</sub> bis 2035. Im mittleren Szenario teilt sich die erzielbare Reduktion von 41 t zu 38 % auf schwere Nutzfahrzeuge, zu 35 % auf Züge, zu 12 % auf PKW und jeweils 8 % auf leichte Nutzfahrzeuge und Busse auf. Auch wenn die in der Literatur im Mittel erwartete Marktdurchdringung von Brennstoffzellenzügen zwar nur in vergleichsweise geringem Umfang zur Einsparung von klimaschädlichen Kohlendioxidemissionen beiträgt, so tragen sie wesentlich zur Einsparung von gesundheitlichen Stickoxidemissionen bei. Für schwere Nutzfahrzeuge ist eine signifikante Reduktion sowohl mit Blick auf die CO<sub>2</sub> als auch NO<sub>x</sub>-Emissionen erreichbar.

Abbildung 14: Entwicklung der CO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Szenario und Fahrzeugkategorie.



### Benchmarking bereits beschlossener Maßnahmen

Im Folgenden sollen nun die bereits heute konkret im Kreis Düren beschlossenen Maßnahmen zur Nutzung von Brennstoffzellenfahrzeugen mit den vorgestellten Literaturangaben verglichen werden, um ein Benchmarking zu ermöglichen. Dafür werden nacheinander für jede Fahrzeugkategorie die einzelnen avisierten Projekte genannt und der zu erwartende Wasserstoffbedarf in den Korridor zwischen Szenario mit hoher und niedriger Marktdurchdringung eingeordnet.

Im Kreis Düren werden durch verschiedene Gemeinden Brennstoffzellen-**PKW** beschafft. So betreibt die Stadt Jülich in ihrem Fuhrpark einen per Brennstoffzelle betriebenen Toyota Mirai, der Kreis Düren je einen Toyota Mirai sowie Mercedes GLC F-CELL und die Gemeinde Nörvenich zwei Hyundai NEXO. Darüber hinaus betreibt das ansässige Taxiunternehmen Antons ebenfalls einen Mercedes GLC F-CELL. Um den Jahreswechsel 2021/22 planen auch sowohl der Kreis Düren als auch die Westnetz GmbH jeweils die Anschaffung eines Toyota Mirai. Abbildung 16 ordnet diese ersten PKW-Beschaffungen für den langfristigen Markthochlauf in die Spanne zwischen dem geringen und hohen Marktdurchdringungsszenario ein, die vorab vorgestellt worden sind. Bis 2035 wird je nach Szenario eine Fahrzeugflotte mit Brennstoffzellenantrieb zwischen 2.400 und 10.800 Fahrzeugen erwartet. Der zugehörige Wasserstoffbedarf ergibt sich zu 240 bis 1.100 t pro Jahr.

### Wasserstoff in der Mobilität

Der Bereich Mobilität bietet ein sehr hohes Potential, um die Kohlendioxid- und Stickoxidemissionen im Kreis Düren zu reduzieren. Der Einsatz von Wasserstoff wird sich hier vor allem in den innerstädtischen Bereichen bemerkbar machen. Zudem können die Geräuschemissionen der Fahrzeuge gesenkt werden, da diese durch einen leisen Elektromotor angetrieben werden.

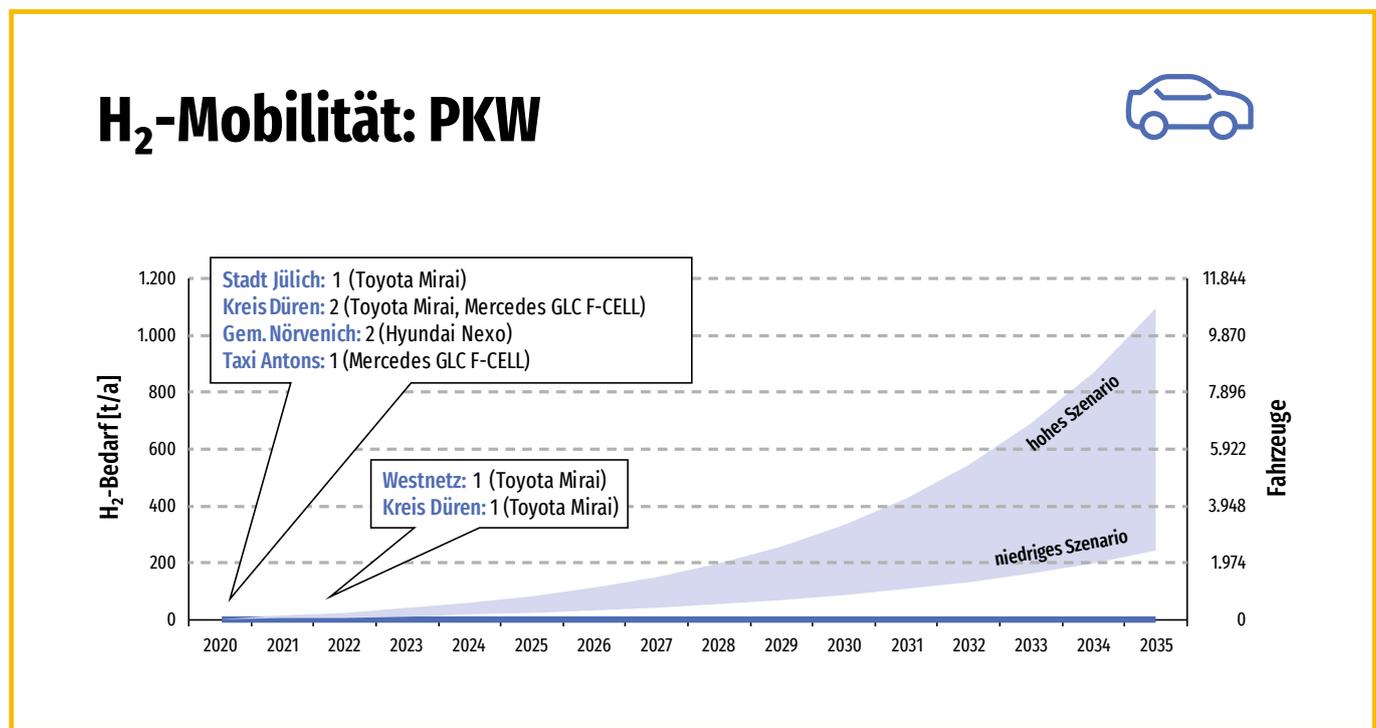


Abbildung 15: Spanne des zukünftigen Wasserstoffbedarfs und der Fahrzeugzahl für PKW anhand der betrachteten Szenarien mit Gegenüberstellung der bereits bekannten Maßnahmen.

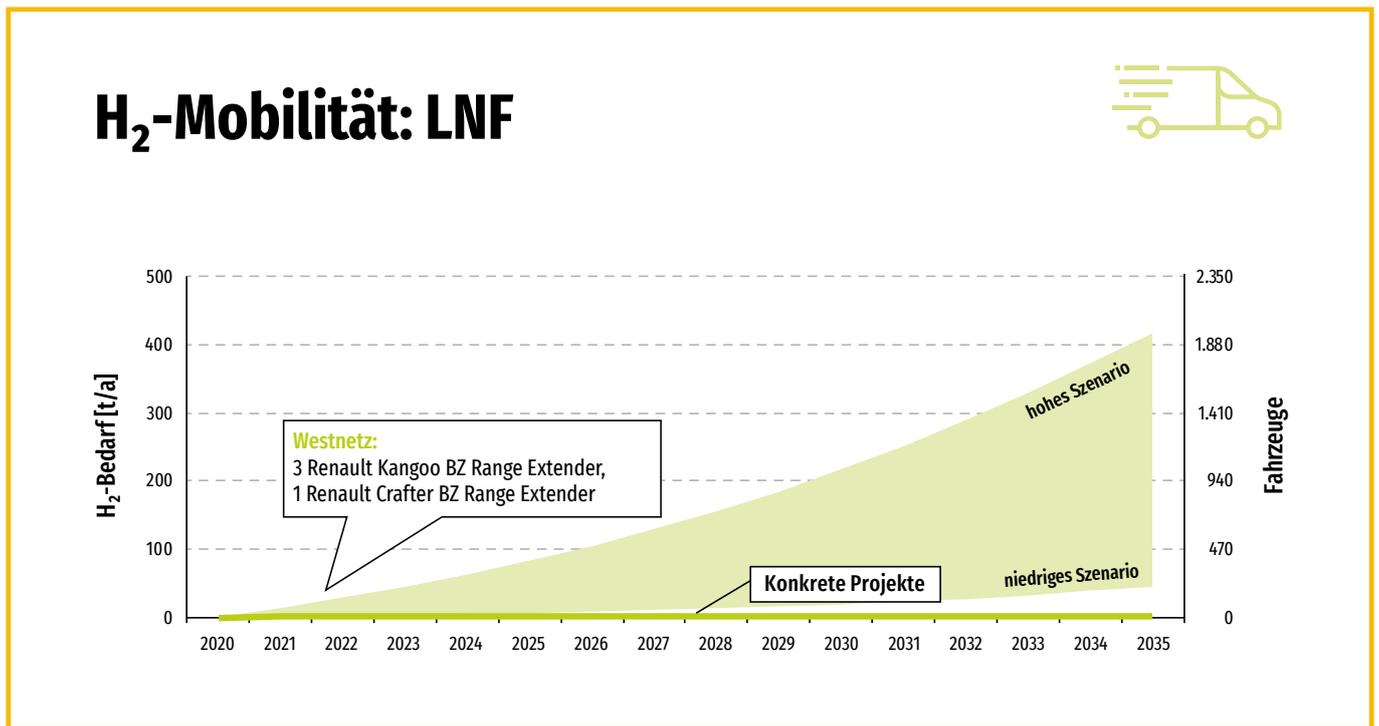


Abbildung 16: Spanne des zukünftigen Wasserstoffbedarfs und der Fahrzeugzahl für leichte Nutzfahrzeuge anhand der betrachteten Szenarien mit Gegenüberstellung der bereits bekannten Maßnahmen.

Im Kreis Düren plant die Westnetz GmbH um den Jahreswechsel 2021/22 neben einem Toyota Mirai auch die Beschaffung **leichter Nutzfahrzeuge** mit eingebauter Brennstoffzelle. Hierbei handelt es sich um vier Fahrzeuge mit Brennstoffzellen Range Extender: Drei Renault Kangoo und ein Renault Crafter. Im Vergleich zu den Marktdurchdringungsszenarien zeigt sich der in Abbildung 17 dargestellte im Vergleich zu PKW frühere Markthochlauf für leichte Nutzfahrzeuge. Die Fahrzeuge der Westnetz sind auch hier Pioniere und Wegweiser in Richtung Zukunft. Bis 2035 werden zwischen 220 und 1.900 leichte Nutzfahrzeuge mit einem jährlichen Wasserstoffbedarf von bis zu 420 Tonnen erwartet.

Die Rurtalbus GmbH plant bis 2032 die Beschaffung von 60 **Bussen** mit Brennstoffzellenantrieb. Abbildung 18 zeigt, dass sich die geplante Beschaffung des öffentlichen Unternehmens im Kreis Düren bis 2030 ambitioniert am hohen Szenario orientiert. Und auch über das Jahr 2030 hinaus, rechnen wir mit einer sukzessiven Umstellung der weiteren im Linienbetrieb eingesetzten Fahrzeuge auf Wasserstoff. Der Kreis Düren schreitet bei der Busbeschaffung also als Vorreiter voran. Insgesamt zeigt sich in den betrachteten Szenarien eine Spanne zwischen 34 und 152 Fahrzeugen bis 2035. Der Bedarf an Wasserstoff zum Betrieb der Busse liegt 2035 zwischen ca. 170 und 760 Tonnen Wasserstoff pro Jahr. Des Weiteren ist der Einsatz von brennstoffzellenbetriebenen Schnellbussen von Jülich nach Aachen angedacht. Der Einsatz weiterer Busse erhöht den Wasserstoffbedarf je nach Fahrleistung um etwa 5 t pro Bus und Jahr.

Eine Beschaffung von **schweren Nutzfahrzeugen**, die mit Wasserstoff angetrieben werden, ist von Logistikern im Kreis Düren bis heute nicht konkret verabschiedet, so dass sich hier Potenzial für die Zukunft zeigt. Da sich im Vorhaben H2SULI mehrere Unternehmen aus der Region zusammengeschlossen haben, um an einem Standort in der Gemeinde Merzenich Logistikfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb herzustellen, könnte hier zukünftig auf Fahrzeuge aus der Region zurückgegriffen und eine lokale Wertschöpfung unterstützt werden. Erstes Ziel des Vorhabens ist der Bau von 200 Fahrzeugen verschiedener Gewichtsklassen. Abbildung 19 zeigt die Bandbreite der möglichen Fahrzeugzahlen zwischen niedrigem und hohem Szenario. Die erwarteten 60 bis 560 schweren Nutzfahrzeuge im Jahr 2035 verursachen einen Wasserstoffbedarf zwischen 190 und 1.740 Tonnen Wasserstoff pro Jahr.

Der Kreis Düren plant gemeinsam mit dem hiesigen Verkehrsunternehmen bis 2026 die Umstellung der gesamten Zugflotte mit 12 Fahrzeugen auf Wasserstoff. Startschuss ist hier die Beschaffung der ersten vier Züge im Jahr 2023. Abbildung 20 zeigt, dass der Kreis Düren durch die Umstellung der gesamten Zugflotte auf Wasserstoff die im deutschen Durchschnitt erwartete Marktdurchdringung auch für das hohe Szenario deutlich übersteigt. Die Umstellung der Flotte der Rurtalbahn liefert langfristig einen Wasserstoffbedarf von jährlich über 300 Tonnen, was die erwarteten Werte aus der Szenarioanalyse zwischen 20 und 150 Tonnen deutlich überschreitet. Der Kreis Düren positioniert sich für die Energiewende im Verkehr.

## H<sub>2</sub>-Mobilität: Busse

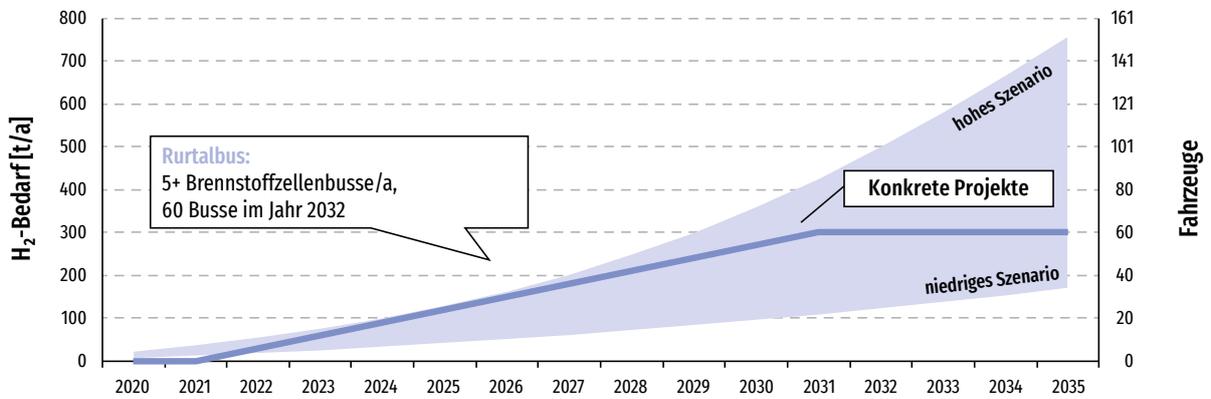
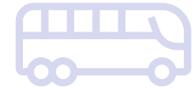


Abbildung 17: Spanne des zukünftigen Wasserstoffbedarfs und der Fahrzeugzahl für Busse anhand der betrachteten Szenarien mit Gegenüberstellung der bereits bekannten Maßnahmen.

## H<sub>2</sub>-Mobilität: Logistik/SNF

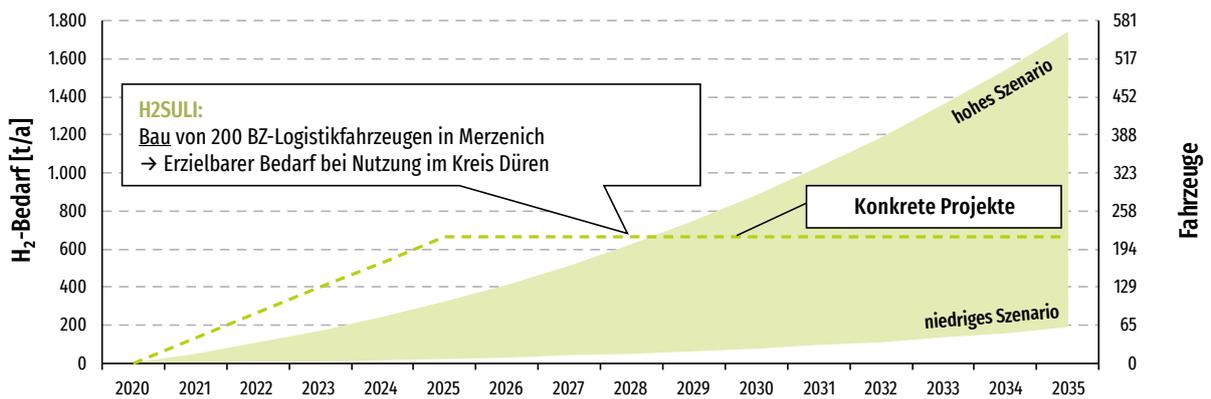


Abbildung 18: Spanne des zukünftigen Wasserstoffbedarfs und der Fahrzeugzahl für schwere Nutzfahrzeuge anhand der betrachteten Szenarien mit Gegenüberstellung der bereits bekannten Maßnahmen.

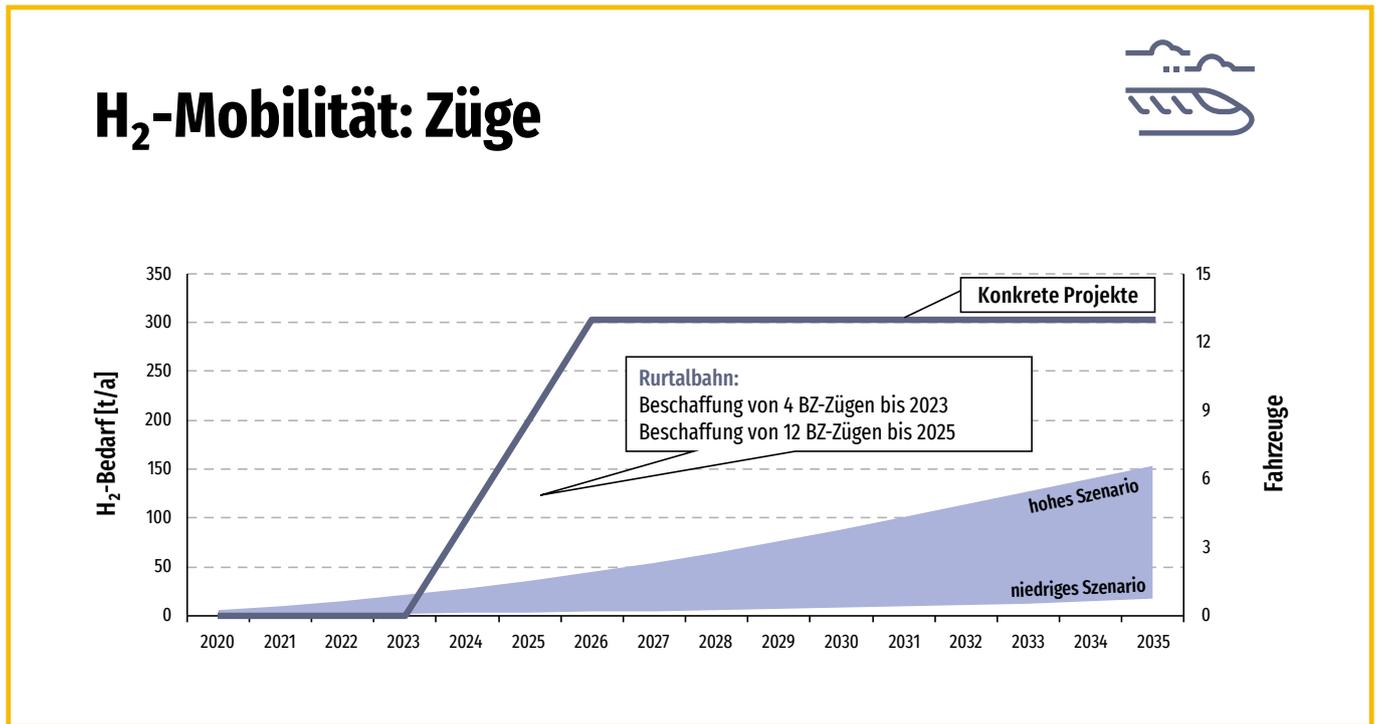


Abbildung 19: Spanne des zukünftigen Wasserstoffbedarfs und der Fahrzeugzahl für Züge anhand der betrachteten Szenarien mit Gegenüberstellung der bereits bekannten Maßnahmen.

## Fazit

Die Beschaffung von Fahrzeugen ist über nahezu alle Fahrzeugklassen hinweg möglich, auch wenn teilweise mit längeren Lieferzeiten aufgrund im Aufbau befindlicher Produktionskapazitäten zu rechnen ist. Eine Auswertung verschiedener Marktdurchdringungsszenarien von Brennstoffzellenfahrzeugen ergibt für den Kreis Düren einen Wasserstoffbedarf im Jahr 2035 zwischen 669 und 4.165 t.

## 3.2.2 Gebäudebereich

### Hintergrund

Vor dem Hintergrund der Energiewende weichen Heizungstechnologien auf Basis der fossilen Energieträger Gas und Heizöl zunehmend regenerativen Alternativen. Insbesondere Elektro-Wärmepumpen erleben mit über 35 % Anteil im Wohnungsneubau einen Boom und sind im Jahr 2020 die meistgewählte Heizungstechnologie vor Gas und Fernwärme [32]. In Gebäuden, für die eine Integration von Elektro-Wärmepumpen aufgrund des erforderlichen Energie- oder Platzbedarfs eine Herausforderung darstellt, können wasserstoffgestützte Heizungstechnologien eine klimafreundliche Alternative darstellen. Anlagenseitig stehen hierzu Brennstoffzellenheizgeräte, kombinierte Brennstoffzellen/Elektrolyse-Geräte („Energiezentralen“), Brennwertthermen und Blockheizkraftwerke (BHKW) für den Betrieb mit Wasserstoff zur Verfügung. Energiezentralen, die in Kombination mit einem Speicher Stromüberschüsse saisonal in Form von Wasserstoff speichern können, sowie BHKW auf Basis der Verbrennung von Wasserstoff sind heute bereits am Markt verfügbar und können daher mit TRL 9 beschrieben werden. Gleiches gilt für Brennstoffzellenheizgeräte, in denen Wasserstoff genutzt wird, der im Heizgerät aus Erdgas reformiert wird. Brennstoffzellenheizgeräte und Brennwertthermen auf der Basis von extern zugeführtem Wasserstoff zur Energieversorgung von Gebäuden befinden sich in der Entwicklung und werden ab 2023/24 am Markt erwartet [33][34], der TRL liegt bei 7-8.

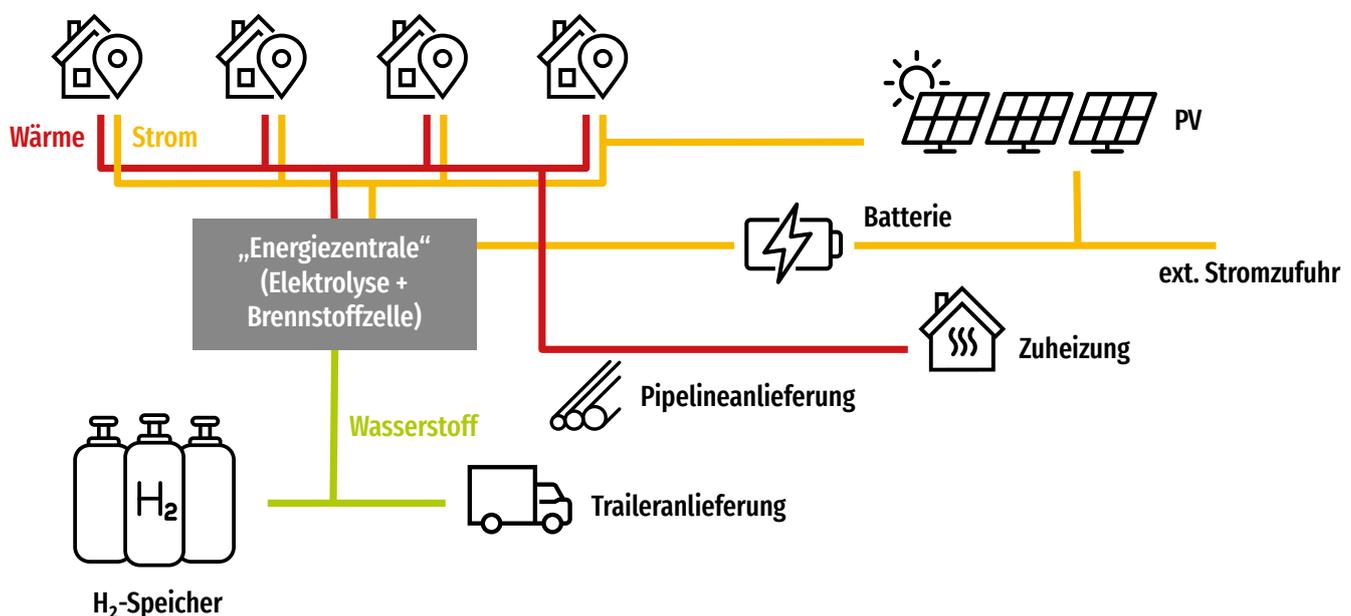
Konzeptionell lassen sich zentrale und dezentrale Versorgungskonzepte von Gebäuden unterscheiden.

Abbildung 21 zeigt ein Beispiel für ein **zentrales Energieversorgungskonzept**, das nicht nur ein einzelnes Gebäude, sondern ein Gebäudequartier versorgen kann. In diesem Konzept erzeugt eine Brennstoffzelle Strom und Wärme, wobei die Wärme zur Gebäudeheizung genutzt werden kann. Strom und Wärme lassen sich über lokale Energienetze in die Gebäude des Quartiers verteilen. Durch einen ausreichend dimensionierten Wasserstoffspeicher kann die zuverlässige Versorgung der Gebäude mit Energie ganzjährig gesichert werden. Der grüne Wasserstoff kann nun wahlweise extern per Pipeline oder Trailer angeliefert werden oder vor Ort durch eine Wasserelektrolyse erzeugt werden. Die Elektrolyse nutzt dazu lokalen Wind- oder PV-Strom, um den Wasserstoff direkt vor Ort zu erzeugen. Auch kombinierte Elektrolyse/Brennstoffzellengeräte, sogenannte Energiezentralen, sind möglich. Eine zugeschaltete Batterie ermöglicht in diesem System den untertägigen Lastausgleich. Je nach Auslegung des integrierten Wasserstoffspeichers kann im Sommer überschüssiger Strom in Wasserstoff umgewandelt und in einem Tank gespeichert werden. Dieser fungiert dann als saisonaler Speicher, so dass der Wasserstoff im Winter bei hoher Energienachfrage und zeitweise geringem erneuerbaren Energieangebot genutzt werden kann, um die zuverlässige Energieversorgung zu gewährleisten. Je nach gewählter Leistungsklasse der Brennstoffzelle kann ein zusätzlicher Stromnetzanschluss oder eine zusätzliche Wärmequelle zur Deckung von Spitzenlasten erforderlich sein.

Eine erste vergleichbare Wasserstoffsiedlung wird zurzeit im nordrhein-westfälischen Avenwedde bei Gütersloh geplant, wo eine Siedlung bestehend aus 120 Wohnungen, einer Kita und einem Büro bzw. Geschäftshaus ausschließlich mit grünem Wasserstoff energetisch versorgt werden soll. Der erforderliche Strom zur Erzeugung von Wasserstoff in einer zentralen Elektrolyse soll durch Biogas, Dach- und Freiflächen-PV-Anlagen sowie drei kleine Windräder bereitgestellt werden. Der Wasserstoff soll in einem ca. 360 kg Wasserstoff fassenden Tank untertägig gespeichert und anschließend an dezentrale Brennstoffzellenheizgeräte in den angebundenen Gebäuden weitergeleitet werden. Insgesamt wird bei diesem System eine Energieüberproduktion erwartet, so dass potenziell auch Wasserstoff für eine zusätzliche Tankstelle bereitgestellt werden könnte. Die Mehrkosten für die Wasserstoffversorgung des Vorhabens werden zu 12,3 Mio. € angesetzt, wobei der Bund eine Sonderförderung von bis zu 80 % in Aussicht gestellt hat. Für die Gesamtentwicklungsdauer des Projekts sind fünf bis sieben Jahre angesetzt. <sup>[35]</sup>

Abbildung 20: Beispiel eines zentralen Energieversorgungskonzepts für Gebäudequartiere.

## Gebäudebereich: Zentrales Versorgungskonzept



Neben einem solchen zentralen System besteht ebenfalls die Möglichkeit **dezentrale Versorgungskonzepte** zu realisieren. Abbildung 22 zeigt ein solches Konzept.

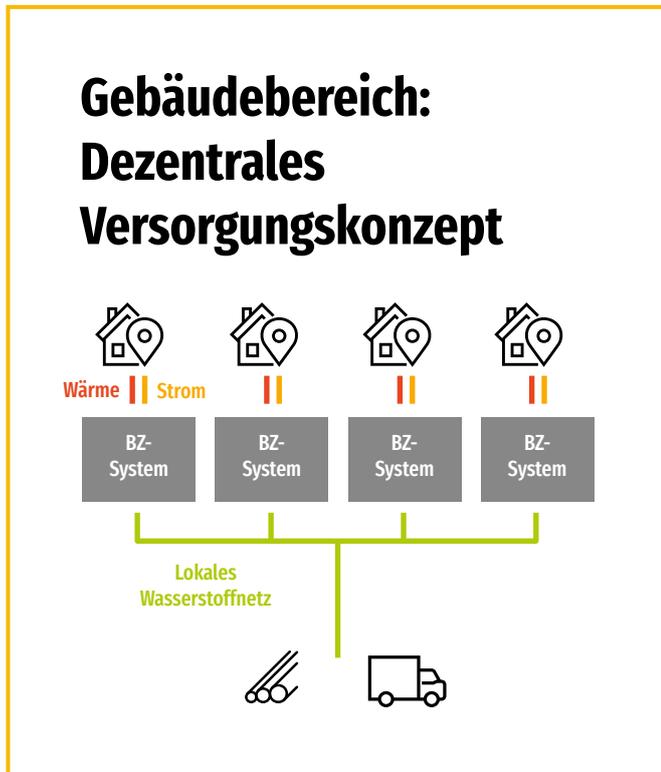


Abbildung 21: Beispiel eines dezentralen Energieversorgungskonzept für Gebäudequartiere.

In einem dezentralen Konzept verfügt jedes Gebäude über ein eigenes System, analog zu heute im Bestand üblichen Gas- oder Ölheizungen. Neben einer reinen Wasserstoffbrennwerttherme zur Deckung des Gebäudewärmebedarfs kann auch ein Brennstoffzellenheizgerät oder ein BHKW-System genutzt werden, das in einem Kraft-Wärme-Kopplungsbetrieb zur Deckung des Wärme- und Strombedarfs eingesetzt wird. Erste BHKWs für größere Gebäude stehen auf Basis einer konventionellen Verbrennung von Wasserstoff mit einem Gesamtwirkungsgrad von über 80 % und einer Leistung ab 115 kWel und 129 kWth<sup>[36]</sup> bereits heute am Markt zur Verfügung; Systeme auf Basis einer Brennstoffzelle mit einem weiter verbesserten Gesamtwirkungsgrad ähnlicher Leistungsklasse befinden sich in der Entwicklung<sup>[37]</sup>.

Zurzeit werden Brennwertthermen erprobt, die sowohl 100 % Erdgas als auch 100 % Wasserstoff nutzen können und somit „H<sub>2</sub>-ready“ sind. In Zukunft kann dann flexibel von Erdgas auf klimafreundlichen Wasserstoff umgestellt werden<sup>[33]</sup>. Bei Nutzung eines Brennstoffzellenheizgeräts oder eines BHKW ist je nach Auslegung ggf. ein externer Stromanschluss oder eine zusätzliche Spitzenlastwärmequelle erforderlich. Der Wasserstoff kann für alle Systeme über ein lokales Wasserstoffnetz oder per Trailer bzw. durch Anlieferung mobiler Wasserstofftanks bereitgestellt werden. Je nach verbautem Material können auch bestehende Erdgasleitungen für den Wasserstofftransport genutzt werden. Genauere Informationen hierzu finden sich in [Kapitel 3.3](#).

Weiterhin können auch kombinierte Elektrolyse/Brennstoffzellen-geräte, auch „Energiezentralen“ genannt, in Verbindung mit einem Wasserstoffspeicher als saisonale Stromspeicher genutzt werden. Im Sommer wird überschüssiger Strom aus einer PV-Anlage im Elektrolysebetrieb zu Wasserstoff umgewandelt und in einem Wasserstoffdrucktank gespeichert. Im Winter kann dieser Wasserstoff dann genutzt werden, um das Gebäude auch im Winter, wenn zum Beispiel die PV-Anlage mit Schnee bedeckt ist, mit Energie zu versorgen. Bei beiden Umwandschritten, der Wandlung von Strom in Wasserstoff als auch umgekehrt, wird Abwärme frei, die entweder zur Warm- oder Heizwasserbereitstellung genutzt werden kann.

### Potenzielle Gebäudebedarf

Der zukünftige Wasserstoffbedarf zur Bereitstellung von Wärme und ggf. Strom in Gebäuden ist mit einer weitreichenden Unsicherheit behaftet und entwickelt sich daher je nach betrachtetem Szenario sehr unterschiedlich. Wesentliche Einflussgrößen auf die Nutzung von Wasserstoff in Gebäuden sind die verfügbare Menge an grünem Wasserstoff sowie insbesondere der vom Letztverbraucher zu zahlende Wasserstoffpreis (vgl. [Kapitel 4.2](#)). Steht grüner Wasserstoff besonders günstig zur Verfügung, so kann dieser analog zu Erdgas in Brennwertthermen zur Wärmebereitstellung eingesetzt werden, um einen Beitrag zur Entkopplung von Gebäudesanierung und Dekarbonisierung zu leisten. Andernfalls ist eher die Nutzung des Wasserstoffs in besonders effizienten Brennstoffzellenheizgeräten und BHKWs zu erwarten, um neben Wärme auch Strom zu erzeugen.

Geeignete Anwendungsfälle für wasserstoffbasierte Lösungen bieten sich insbesondere im Gebäudebestand und in urbanen Gebieten, wo die Nutzung von Elektro-Wärmepumpen aufgrund des erforderlichen Platzbedarfs an technische Grenzen stoßen kann<sup>[38]</sup>.

Im Folgenden quantifizieren wir am Beispiel von Wohngebäuden das Potenzial zur Nutzung von Wasserstoff. Einführend ermitteln wir dazu das theoretische Potenzial, wenn Wasserstoff den Einsatz von Erdgas im Kreis Düren gänzlich ersetzen würde. Die Ableitung des Erdgasbedarfs in der Größenordnung erfolgt ausgehend vom gesamtdeutschen Gasbedarf gemäß der deutschen Energiebilanz<sup>[39]</sup> über ein in der Literatur gängiges räumliches Disaggregationsverfahren<sup>[40]</sup>. Die Aufteilung erfolgt im Wesentlichen über den Anteil der beheizten Wohnfläche im Kreis Düren an der beheizten Wohnfläche in Gesamtdeutschland. Der auf den Heizwert bezogene Gasbedarf im Kreis Düren ergibt sich so zu ca. 850 GWhth für das Jahr 2019. Soll diese Wärme über Wasserstoff bereitgestellt werden, entspricht dies einem jährlichen Bedarf in Höhe von ca. 26.000 Tonnen Wasserstoff. Aus heutiger Perspektive erscheint eine solch energieäquivalente Umstellung aller Gasheizungen im Kreis Düren auf Wasserstoff unter Einbezug technologischer Alternativen und Energieeffizienzpotenzialen jedoch nicht realistisch. Eine Analyse der Wasserstoffpotenziale in verschiedenen relevanten Studien zur Erreichung einer langfristigen Klimaneutralität ergibt für 2050 eine Spanne zwischen ca. 27 TWh in einer vielgenutzten Szenariostudie des Forschungszentrums Jülich<sup>[41]</sup> bis 169 TWh aus der Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen der Ludwig-Bölkow Systemtechnik GmbH (LBST)<sup>[42]</sup>.

Wesentlicher Unterschied ist die angenommene Elektrifizierung der Wärmebereitstellung in Gebäuden. Werden in der Studie des Forschungszentrums Jülich nahezu ausschließlich besonders effiziente Brennstoffzellen zur Energiebereitstellung in Gebäuden verwendet, werden im Wasserstoffscenario des LBST zu über 70 % Brennwärmen zur Wärmebereitstellung genutzt. Unter Nutzung der in den Studien genannten szenarioabhängigen Bedarfe im Jahr 2030 und 2050, lässt sich der Wasserstoffbedarf im Kreis Düren im Jahr 2035 zwischen 1.000 und 15.000 Tonnen abschätzen. Die große Bandbreite zeigt das Risiko, aber auch die Chancen in Bezug auf den Einsatz von Wasserstoff zur Wärmebereitstellung in Gebäuden.

### Fazit

Zur energetischen Versorgung von Gebäuden stehen perspektivisch Brennwärmen, Brennstoffzellenheizgeräte, BHKWs und Energiezentralen zur Verfügung. Bei den Energiezentralen handelt es sich um ein Gerät mit einer kombinierten Elektrolyse-/Brennstoffzelleneinheit zur saisonalen Stromspeicherung. Je nach betrachtetem Szenario ergibt sich für den Kreis Düren ein Wasserstoffbedarf zwischen 1.000 und 15.000 Tonnen. Würde der gesamte heutige Gasbedarf zur Beheizung von Wohngebäuden durch Wasserstoff ersetzt, so ergebe sich ein Bedarf von ca. 26.000 Tonnen.

## 3.2.3 Industrie und Wirtschaft

### Hintergrund

Wasserstoff wird bereits heute im großen Umfang in der Industrie als Grundstoff genutzt. Dabei wird heute rund die Hälfte der weltweiten Wasserstoffproduktion für die Ammoniakherstellung und damit größtenteils zur Düngemittelproduktion genutzt. Weitere große Anwendungen sind die Petrochemie und Methanolproduktion. <sup>[14]</sup>

Neben der stofflichen Nutzung in der Industrie ergeben sich weitere Anwendungsfelder, die sich insbesondere um die Wärme- und Stromdeckung der Industrie handeln.

### Potenzialabschätzungen

Wie die Wasserstoffnachfrage im Gebäudebereich (siehe Kapitel 3.2.2) ist auch der zukünftige Wasserstoffbedarf zur Bereitstellung von Wärme und ggf. Strom in der Industrie mit einer weitreichenden Unsicherheit behaftet und entwickelt sich auch hier je nach betrachtetem Szenario sehr unterschiedlich. Hierbei sind die anlegbaren Kosten im Vergleich zum Gebäudebereich nochmals niedriger (vgl. Kapitel 4.2). Dies bedeutet zum einen, dass die möglichen Wasserstoffanwendungen mit zurzeit noch günstigeren konventionellen Anwendungen konkurrieren und zum anderen, dass die Zahlungsbereitschaft für CO<sub>2</sub>-freie Energieträger aufgrund einer internationalen Wettbewerbssituation begrenzt ist. Im Folgenden quantifizieren wir analog zum Gebäudebereich das Potenzial zur Nutzung von Wasserstoff in der Industrie. Einleitend ermitteln wir erneut das Potenzial, wenn Wasserstoff Erdgas gänzlich ersetzen würde. Bestehende Elektrifizierungs- und Effi-

zienmöglichkeiten werden dieses Potenzial in der Praxis deutlich reduzieren. Der Erdgasbedarf des Kreises Düren lässt sich unter Nutzung des gesamtdeutschen Gasbedarfs gemäß der deutschen Energiebilanz <sup>[39]</sup> ableiten. Dafür wird ein in der Literatur gängiges Disaggregationsverfahren <sup>[40]</sup> unter wesentlichem Einfluss des Anteils der CO<sub>2</sub>-Emissionen emissionshandlungspflichtiger Industriestandorte im Kreis Düren verwendet. Disaggregationsverfahren ermöglichen die regionale Aufteilung des deutschen Wasserstoffbedarfes anhand von Kriterien, die regional verfügbar und repräsentativ für den Wasserstoffbedarf sind. Zu den emissionshandlungspflichtigen Branchen gehört im Kreis Düren im Besonderen die Papierindustrie. Der auf den Heizwert bezogene Gasbedarf im Kreis Düren ergibt sich so zu ca. 2,79 TWh für das Jahr 2019. Soll diese Wärme über Wasserstoff bereitgestellt werden, entspricht dies einem jährlichen Bedarf in Höhe von ca. 84.000 Tonnen Wasserstoff.

Eine Analyse des Wasserstoffpotenzials in verschiedenen relevanten Studien zur Erreichung einer langfristigen Klimaneutralität ergibt für 2050 eine Spanne zwischen ca. 133 TWh in der Szenariostudie des Forschungszentrums Jülich <sup>[41]</sup> bis 255 TWh in der Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen der Ludwig-Bölkow Systemtechnik (LBST) <sup>[42]</sup>. Davon weist das LBST einen Verbrauch des Wasserstoffs als chemischen Grundstoff in Höhe von 105 TWh aus. Wesentlicher Unterschied der beiden Studien bzw. Szenarien ist die angenommene Nutzung des Wasserstoffs zur Bereitstellung von Prozesswärme. Unter Nutzung der in den Studien genannten szenarioabhängigen Bedarfe im Jahr 2030 und 2050, lässt sich der jährliche Wasserstoffbedarf im Kreis Düren im Jahr 2035 zwischen 8.000 und 18.000 Tonnen abschätzen. Diese Spanne zeigt uns auch für die Industrie das Risiko wie auch die Chance in Bezug auf den Einsatz von Wasserstoff.

### Fokus Papierindustrie

Die Papierindustrie ist drittgrößter industrieller Energieverbraucher in Deutschland und hat einen erheblichen Anteil an den Treibhausgasemissionen. Demgegenüber hat die Papierindustrie bereits erhebliche Reduktionspotenziale gehoben. Beispielsweise konnte der mittlere spezifische Energieverbrauch von dem Jahr 1959 auf das Jahr 2020 um rund 70 % auf 2.650 kWh pro Tonne Papier reduziert werden. Aktuelle Zahlen zeigen sogar eine weitere Reduktion auf unter 2.000 kWh pro Tonne Papier auf. Dadurch haben sich auch die spezifischen CO<sub>2</sub> Emissionen im Mittel um rund 35 % von 955 auf 610 kg CO<sub>2</sub> pro Tonne Papier bis zum Jahr 2018 reduziert. <sup>[44] [47]</sup>

Wie bereits einleitend erwähnt (siehe Kapitel 2.1) ist die Papierindustrie neben weiteren Industrien einer unserer geschichtlich gewachsenen wichtigsten Industriezweige. Exemplarisch wäre hier das Unternehmen Metsä Tissue GmbH zu nennen, welches ein führender Hersteller von Seidenpapier, Pergamentpapier und Gesichtstüchern ist. Das Werk in Düren erwarb die Metsä Tissue GmbH im Jahr 2010 und seit 2011 findet dort die Produktion von fettdichten Papieren für die Anwendung in der Küche statt. Für die Produktion, Instandhaltung und Logistik sind dort circa 150 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beschäftigt. Auch die KANZAN Spezialpapiere GmbH verfügt über einen Maschinenpark in Düren in welchem Thermo- und Inkjet-Papiere mit Hilfe von Papier- und

# Ausgewählte Industriebranchen



- Papierproduktion
- Chemische Erzeugnisse
- Stahl- und Eisenverarbeitung
- Kunststoffherstellung
- Maschinenbau und Mechanik
- Sonstige

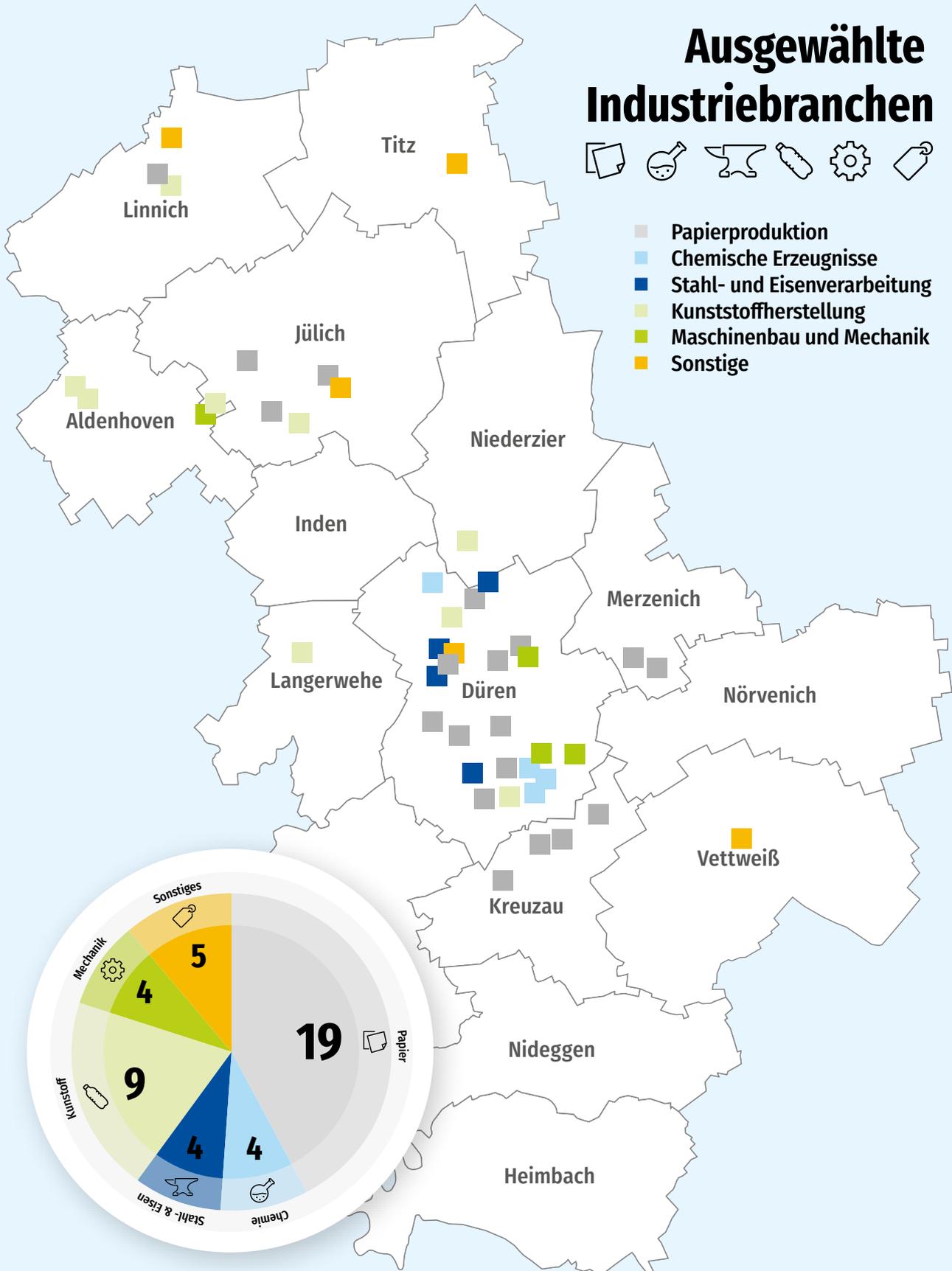


Abbildung 21: Referenzierung nach Standort und Industriebranche von energieintensiven Unternehmen im Kreis Düren

Streichmaschinen hergestellt werden. Der für die Papierproduktion benötigte Dampf und Strom wird hierbei im eigenen Kraftwerk mittels Kraft-Wärme-Kopplung hergestellt. Im Standort Düren beschäftigt die KANZAN Spezialpapiere GmbH so rund 300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Die Papierindustrie hat hierbei mehrere Optionen, die Treibhausgasemissionen insgesamt zu reduzieren. Diese liegen zum einen in neuen hoch-innovativen Press- und Trocknungsverfahren, welche den Strom- und Wärmebedarf insgesamt reduzieren können und zum anderen darin, die CO<sub>2</sub>-behafteten Energieträger wie Kohle und Erdgas durch CO<sub>2</sub>-freie Energieträger wie grünen Wasserstoff zu substituieren. Hierbei muss aber die wirtschaftliche Integration aufgrund der internationalen Wettbewerbssituation ein wichtiger Bestandteil der Transformationsstrategie darstellen. Neue hoch-innovative Press- und Trocknungsverfahren sind unter anderem Bestandteil der Fragestellungen, welche die „Modellfabrik Papier“ in Düren beantworten will (siehe Kapitel 2.1).

Die Papierindustrie im Kreis Düren nutzt aufgrund ihrer regionalen Nähe zu den Tagebauen größtenteils die heute noch günstige Braunkohle zur Strom- und Wärmeversorgung. Durch den Kohleausstieg ergeben sich hierdurch bereits frühzeitig erhebliche Herausforderungen im Sinne eines Energieträgerwechsels. Dabei liegt das Spannungsgebiet einerseits zwischen der schnellen Substitution von Kohle durch Erdgas und dem dementsprechend benötigten Ausbau der Erdgaspipelineinfrastruktur und der direkten Integration von Wasserstoff andererseits. Diese mögliche Wasserstoffnachfrage kann mittelfristig aufgrund ihrer hohen und gleichmäßigen Nachfrage ein wichtiger Hebel für die Wirtschaftlichkeit einer Wasserstoffinfrastruktur bei uns im Kreis werden. Einzelne Standorte haben dabei jährliche Stromverbräuche von 50 bis zu 200 GWh und Wärmeverbräuche von 100 bis zu 700 GWh. Dies könnte potenziell tägliche Wasserstoffnachfragen bis zu 11 Tonnen bedeuten. Da die Standorte bei uns regional stark verteilt sind bedeutet dies, dass mögliche Distributionsoptionen für Wasserstoff von zentraler Tragweite sein werden (siehe Kapitel 4.2.1).

### Einordnung im Kreis Düren

Neben dem Beispiel der Papierindustrie gibt es weitere bei uns ansässige Unternehmen mit einem hohen Energiebedarf. Insgesamt konnten bei uns 45 energieintensive Unternehmen identifiziert werden, wovon der größte Teil in der Stadt Düren zu verorten ist (siehe Abbildung 23). Neben der Papierindustrie hat insbesondere die Kunststoffbranche einen hohen Energiebedarf. Die epsotech Germany GmbH mit dem Hauptsitz in Jülich bietet maßgeschneiderte Kunststofflösungen nach den technischen Spezifikationen ihrer Kunden an. Die Produkte finden unter anderem in Kraftfahrzeugen, Bus und Bahn oder der Luftfahrt ihren Einsatz. In insgesamt 8 Fertigungsstätten in ganz Europa beschäftigen sie so circa 620 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Im Bereich Maschinenbau ist die Carl Krafft & Söhne GmbH & Co. KG aus Düren schon seit dem Jahr 1870 tätig. Mit rund 145 Beschäftigten betreiben sie die Planung, Konstruktion und die Fertigung von Walzen, Zylindern, Trommeln und Wellen. Für die Produktion von chemischen Erzeugnissen sind exemplarisch die Chemische Fabrik Brühl Mare GmbH und Grace Silica GmbH zu nennen, welche unter anderem Reinigungsmittel herstellen. Zum Bereich der sonsti-

gen Industriebranchen gehört unter anderem die WestPellets GmbH&Co.KG mit Sitz in Titz. Diese stellt Holzpellets aus Sägespännen her, welche als Nebenprodukt von mittelständischen Sägewerken aus der Region anfallen.

Diese Unternehmen gilt es im weiteren Verlauf unserer Wasserstoffoffensive zu integrieren und mögliche frühe Anwendungsfälle von Wasserstoff gemeinsam zu identifizieren.

### Neuansiedlungen bei uns im Kreis Düren

Mit dem preiswerten in hohen Mengen zur Verfügung stehenden grünen Wasserstoff aus unserem Kreis sowie unserer Vorreiterrolle im Bereich Wasserstoff bieten wir eine ideale Voraussetzung zur Ansiedlung von innovativen Unternehmen. Dabei können diese Unternehmen bereits frühzeitig ein Zeichen im Rahmen der Zielerreichung zur Treibhausgasneutralität setzen indem sie die herausragenden Randbedingungen auch im Bereich Wasserstoff nutzen.

Ein Beispiel hierfür ist das deutsche Kosmetikunternehmen Babor, das sich auf Luxuskosmetik spezialisiert hat. Das 1956 von dem Chemiker Michael Babor gegründete Unternehmen hat über 600 Mitarbeiter weltweit und seinen Hauptsitz in Aachen. Dabei plant das Unternehmen aufgrund der Kapazitätsbegrenzungen in Aachen aktuell eine Erweiterung in Inden/Eschweiler zu realisieren. Dieses Gebäude soll dabei final vollkommen CO<sub>2</sub> frei betrieben werden sowie nahezu vollständig autark operieren können.

Wir, der Kreis Düren, befinden uns bereits frühzeitig in einer gemeinsamen Diskussion inwieweit wir Babor hierbei mit unserer Wasserstoffstrategie unterstützen können. Dabei ergeben sich vielfältige Wasserstoffanwendungen, welche hierbei einen wesentlichen Beitrag leisten können. Beispielsweise kann Wasserstoff als Erdgas-Substitut in der Ampullenfertigung genutzt werden, die bisher konventionelle betriebliche Mobilität substituieren oder durch die ebenfalls gegebenen saisonalen Speicheroptionen den Autarkiegrad erhöhen.

### 3.2.4 Energiewirtschaft

Neben den bereits in Kapitel 3.2.2 oder Kapitel 3.2.3 skizzierten Optionen ergeben sich mittel- bis langfristig weitere Optionen in der Energiewirtschaft. Diese betreffen insbesondere die zentrale Rückverstromung von Wasserstoff zum Ausgleich der fluktuierenden erneuerbaren Energien wie Wind und PV. Wie bei erdgasbasierten Kraftwerken, ist auch bei Wasserstoff eine Verbrennung des Gases zum Antrieb einer Turbine möglich. Weiterhin kann Wasserstoff auch heute schon mithilfe von Wasserstoff-Gasmotoren/Block-Heizkraftwerken verstromt werden. <sup>[48] [49]</sup>

### Projekte

Das Unternehmen Engie Solutions verantwortet die Strom- und Wärmeerzeugung im Smurfit Kappa-Werk in Saillat-sur-Vienne (Frankreich) und betreibt dort eine KWK-Anlage mit 12 MWel. Diese KWK-Anlage liefert den Prozessdampf für die Fertigung. Im Projekt „HYFLEXPOWER“ wird eine Siemens SGT-400 Gasturbine so

umgerüstet, dass sie final Wasserstoff in Strom und Wärme umwandelt. Hierzu wird in den Demonstrationsphasen die Anlage mit einem Mix aus Erdgas und Wasserstoff betrieben, wobei im Endstadium ein Betrieb mit bis zu 100 % Wasserstoff geplant ist. <sup>[50]</sup>

### Einordnung im Kreis Düren

Bei uns im Kreis Düren sind insbesondere industrielle Kraftwerke im Einsatz, welche zur Deckung des Eigenbedarfs dienen. Dementsprechend sind die zu hebenden Potenziale hier zu verorten.

### 3.3 Im Bereich Wasserstoffspeicherung und -verteilung

Wir als Kreis Düren werden zukünftig eine Wasserstoffinfrastruktur benötigen, welche die Erzeugung und den Verbrauch über die Speicherung und Verteilung verknüpft. Hiermit legen wir bereits früh den Grundstein für eine Wertschöpfung bei uns. Zur Einordnung unserer Potenziale werden wir zuerst die Speicher insgesamt vorstellen um damit anschließend detaillierter auf die für uns spannenden Optionen Pipelines, Trailer und LOHC eingehen zu können. Da wir früh die Integration des Verkehrssektors planen ist eine Betrachtung der möglichen Standorte für Wasserstoff-tankstellen unumgänglich.

Abbildung 23: Optionen zur Speicherung von Wasserstoff <sup>[19]</sup>

## Wasserstoff-Speichertechnologien

	Gasdrucktank	Flüssiggastank	LOHC-Tank	Ammoniak	Metallhydridspeicher	Untertagespeicher
<b>Speicherdruck</b>	350 bar	1-10 bar	1 bar	20-120 bar	20-120 bar	58-200 bar
<b>Verluste</b>	12 % (Kompression)	Verflüssigung: 24-45 % Boil-Off: 0,06-3%/d	2 % (bei Wärmenutzung)  35-40% (ohne Wärmenutzung)	Erzeugung: 7-18 %  Rücklösung: 7-18 %	2-3 % (bei Wärmenutzung)	3-5 % (gut)
<b>gravimetrische Speicherdichte</b>	5-6 Massen% H <sub>2</sub>	7,2 Massen% H <sub>2</sub>	4-8,5 Massen% H <sub>2</sub>	17,6 Massen% H <sub>2</sub>	1-6 Massen% H <sub>2</sub>	/
<b>volumetrische Energiedichte</b>	800-1000 kWh/m <sup>3</sup>	1.700-1.800 kWh/m <sup>3</sup>	1.500-2.150 kWh/m <sup>3</sup>	2.900-3.100 kWh/m <sup>3</sup>	2.700-6.500 kWh/m <sup>3</sup>	300 kWh/m <sup>3</sup>
<b>Investitionskosten Tank</b>	250-330 €/kg H <sub>2</sub>	25 €/kg H <sub>2</sub>	50 €/kg H <sub>2</sub>	k. A.	20.000 €/kg H <sub>2</sub>	35-65 €/kg H <sub>2</sub>
<b>Investitionskosten Peripherie (bzgl. 50t/d)</b>	Kompressor: ~37 Mio. €	Verflüssiger: ~105 Mio. €	Hydrierung- & Dehydrierung: ~22 Mio. €  Träger: 350-750 €/t	k. A.	k. A.	Kompressor: ~37 Mio. €
<b>Einsatz</b>	Transport & Distribution, Zwischenspeicherung, mobile Anwendung	Transport & Distribution für lange Strecken, Zwischenspeicherung	Transport & Distribution für lange Strecken, Zwischenspeicherung	Transport & Distribution für lange Strecken, Speicherung, Zwischenprodukt chem. Industrie	Zwischenspeicherung, Langzeitspeicherung	Langzeitspeicherung großer Volumina

### 3.3.1 Speicher

Die Speicherung von Wasserstoff erfolgt entweder zum Transport von der Erzeugung zur Nachfrage oder zur zeitlichen Überbrückung zwischen Erzeugung und Verwendung. Dabei unterscheidet sich die Speicherform insbesondere über die benötigte Speicherdauer und -größe. Da Wasserstoff als Gas zwar eine hohe gewichts- jedoch eine geringe volumenspezifische Energiedichte aufweist, zielen die meisten Anwendungen darauf ab, das Volumen beispielsweise über einen hohen Druck deutlich zu reduzieren.

#### Anwendungen

Aktuell kommen hauptsächlich Gasdruck- und Flüssigtanks zur Anwendung (siehe auch Kapitel 3.3.3). In Nischenanwendungen, wie in U-Booten, haben sich auch Metallhydridspeicher etabliert. Neben den etablierten Verfahren werden auch Untertagespeicher wie Salzkavernen, Ammoniak und LOHC aktuell erprobt. Einen Überblick über die Speicherarten gibt Abbildung 24.

#### Einordnung im Kreis Düren

Für uns als Kreis Düren sind insbesondere Gas-, Flüssig- und LOHC-Tanks von Bedeutung. Die ersten beiden werden beispielsweise in den aktuell möglichen Anwendungen bei uns benötigt und die LOHC Technologie verspricht für uns unter dem besonderen vorhandenen Know-how in der Region einen Mehrwert. Da wir keine Untertagespeicher in Form von Salzkavernen besitzen, spielt diese Option für uns keine Rolle. Ammoniak kann mittelfristig eine weitere Option sein. Aus diesen genannten Gründen werden wir uns im Folgenden auf die drei genannten Optionen in der Beschreibung fokussieren. Für eine detaillierte Beschreibung der weiteren Speicheroptionen verweisen wir auf die Literatur. <sup>[19]</sup>

### 3.3.2 Pipelines

Bereits seit dem Jahr 1825 wurde in Deutschland Wasserstoff genutzt. Das sogenannte Stadtgas wurde für die Straßenbeleuchtung, zum Heizen und zum Kochen verwendet. Dieses Stadtgas bestand damals bereits ca. zur Hälfte aus Wasserstoff. Je nach Herstellungsverfahren des Stadtgases konnte dieser Anteil variieren. Weitere Bestandteile waren mit ca. 20 % Methan, mit ca. 15 % Stickstoff und die übrigen 10 % Kohlenstoffmonoxid, welches ein giftiges Gas ist. Später wurde der Gastransport von den Gasanbietern zu den Gasverbrauchern mittels lokaler Gasnetze, mit Drücken von ca. 8 bar, realisiert. Anfang der 90er Jahre wurde als letzte Stadt Saarbrücken von Stadtgas auf Erdgas umgestellt. Das Erdgaspipelinennetz wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts zusätzlich zu den bestehenden Verteilnetzen um die Ferngasversorgung erweitert. Das Pipelinennetz, welches von Verbesserungen im Rohrleitungsbau profitierte, begünstigte die Errichtung von zentralen und leistungsstarken Gaswerken. <sup>[14]</sup>

Auch Wasserstoff wird in seiner reinen Form in Deutschland bereits seit mehr als 80 Jahren per Pipeline transportiert. Air Liquide betreibt ein 240 km langes Netz im Ruhrgebiet, daneben

gibt es ein von Linde betriebenes 100 km langes Netz bei Leuna. Weltweit werden mehrere tausend Kilometer Wasserstoffpipelines betrieben. <sup>[14] [17]</sup>

#### Vorteile des Pipelinetransports

Vorteile einer Wasserstoffpipeline sind insbesondere die mögliche kontinuierliche Versorgung von Wasserstoffanwendungen, ohne gleichzeitig mit Wasserstofftrailern den Verkehr zu beeinträchtigen. Somit können sowohl lokale Emissionen als auch CO<sub>2</sub> eingespart werden. Umgekehrt bedeutet dies jedoch auch, dass erst ab einer gewissen Abnahmemenge der Betrieb wirtschaftlich darstellbar ist.

Neben der regionalen Versorgung ermöglicht eine Wasserstoffpipeline auch die Anbindung an ein überregionales Wasserstoffpipelinennetz.

#### Aufbau oder Umstellung von Wasserstoffpipelines

Generell ergeben sich zwei unterschiedliche Optionen zum Aufbau einer reinen Wasserstoffpipeline, der Neubau oder die Umstellung bestehender Erdgaspipelines auf Wasserstoff. Daneben kann auch dem aktuellen Erdgas Wasserstoff je nach Endanwendung bis maximal zu 10 vol-% zugemischt werden. Hierbei ergeben sich aber weitere Herausforderungen beispielsweise an die Dichtungen, die wasserstoffsensitiven Endanwendungen und die hohen Kosten- und Energieaufwände einer Wasserstoffabtrennung bei Nutzung von reinem Wasserstoff beim Endverbraucher. <sup>[51]</sup>

Bei der Umstellung bestehender Pipelines ist zwischen Transmissions- und Verteilnetz zu unterscheiden. Während im Verteilnetz größtenteils sogenannte HDPE (High Density Polyethylene) verlegt sind, ist im Transmissionsnetz größtenteils Stahl verlegt. HDPE ist bei einer Umstellung auf Wasserstoff, im Gegensatz zu einigen Stahlsorten, unproblematisch. Die gute Eignung des gängigen Pipelinestahls X70 für eine Wasserstoffumstellung zeigt sich jedoch bereits in den ersten Projekten und Untersuchungen. <sup>[52] [54]</sup>

#### Vorteile der Umstellung auf Wasserstoffpipelines

Insbesondere die erheblichen Kosteneinsparungen bei einer Umstellung von Erdgaspipelines gegenüber dem Neubau von Wasserstoffpipelines sprechen eindeutig dafür, bestehende Potenziale maximal zu heben. Eine deutschlandweite Untersuchung des Forschungszentrums Jülich <sup>[54]</sup> zeigt exemplarisch, dass bei Umstellung erwarteter freier Pipelinekapazitäten auf Wasserstoff im Jahr 2030 eine Gesamteinsparung von bis zu 30 % gegenüber einem Neubau von Wasserstoffpipelines erzielt werden kann. Die Umstellungskosten entfallen insbesondere auf die Umrüstung von Verdichterstationen und anderer technischer Einbauten, wodurch bei (Verteil-)Netzen ohne große Verdichterstationen, wie im Kreis Düren, auch deutlich höhere Einsparungen möglich sind. Neben diesen rein monetären Punkten ermöglicht eine Umstellung eine erheblich verkürzte Projektlaufzeit sowie einen möglichst geringen Einfluss auf mögliche Akzeptanzvorbehalte <sup>[52] [54]</sup>. Die E.ON SE stellt zusammen mit der Westnetz GmbH in dem Projekt „H2HoWi“ im nordrhein-westfälischen Holzwickede deutschlandweit zum

ersten Mal eine bestehende Erdgasleitung der öffentlichen Gasversorgung auf reinen Wasserstoff um. <sup>[55]</sup>

### Einordnung im Kreis Düren

In unserem Gebiet befindet sich ein weit verzweigtes Erdgasnetz bestehend aus Transport- und Versorgungsleitungen, welches beispielsweise durch die Leitungspartner GmbH betrieben wird. Diese verteilt das Erdgas in verschiedenen Druckstufen zwischen 22 mbar und 4 bar zu den Haushalten oder dezidiert zu Industriestandorten. Fernleitungsnetzgesellschaften transportieren ihr Erdgas in der Regel mit Betriebsdrücken zwischen 16 und 100 bar. Insgesamt wird aktuell davon ausgegangen, dass insbesondere Industriestandorte (siehe Kapitel 3.2.3) einen steigenden Erdgasverbrauch aufweisen werden.

Dennoch bleibt festzuhalten, dass aufgrund der oben genannten Vorteile kontinuierlich nach freiwerdenden Transportkapazitäten zur Umstellung auf Wasserstoff gesucht werden sollte. Zielführend wäre, die Verlegung neuer Leitungssysteme wasserstofftauglich (H<sub>2</sub>-ready) durchzuführen. Mittel- bis langfristig ist von einer Substitution des fossilen Brennstoffes Erdgas auszugehen. <sup>[4]</sup>

### 3.3.3 Trailer

Neben dem Wasserstofftransport per Pipeline ist der Transport per Trailer gängige Praxis. Der Transport kann dabei mit gasförmigem (GH<sub>2</sub>) oder flüssigem (LH<sub>2</sub>) Wasserstoff erfolgen. Grundsätzlich wird der Speicher auf einem Sattelaufleger (Trailer) geführt.

#### Gasförmiger Wasserstofftransport

Der Wasserstoff wird hierbei in mehreren einzelnen Druckbehältern auf einem meist 40-Fuß-Aufleger transportiert. Unterschieden wird im Allgemeinen zwischen Flaschen- und Röhrentrailer. Röhrentrailer mit Typ I-Flaschen verfügen über bis zu 9 Einzelbehälter, die ca. 500 kg Wasserstoff bei 200 bis 250 bar speichern. Durch Trailer mit Typ IV-Flaschen können Druckflaschen mit einer Gesamtkapazität von bis zu 1.100 kg Wasserstoff bei 500 bar Druck genutzt werden. <sup>[17][56]</sup>

#### Flüssiger Wasserstoff

Flüssiger Wasserstoff wird ebenfalls mittels LKW transportiert. Aufgrund der niedrigeren Temperatur im Vergleich zu gasförmigem Wasserstoff, können mit einem LH<sub>2</sub>-Trailer größere Mengen Wasserstoff transportiert werden. Bei 1-4 bar Speicherdruck können ca. 3.500 kg H<sub>2</sub> befördert werden. Nachteil dieser Transportvariante ist der erhöhte Energieaufwand, der zur Verflüssigung des Wasserstoffs nötig ist. Wasserstoff, der während des Transports aufgrund des Wärmeeintrags verdampft, entweicht bei der Entladung des Wasserstoffs an der Tankstelle. Dieser Verlust von 5-6 % beim Abladevorgang ist entsprechend zu berücksichtigen. Hier gibt es jedoch bereits technische Konzepte, diesen Verlust erheblich zu begrenzen. <sup>[17][56]</sup>

### Einordnung im Kreis Düren

Die Ausgestaltung, ob flüssiger oder gasförmiger Transport, ist immer auf den Einzelfall bezogen zu überprüfen. Insbesondere der Import aus sonnen- und windreichen Ländern nach Deutschland wird zu hohem Anteil flüssig per Schiff erfolgen. Folglich macht es dementsprechend Sinn, diesen flüssigen Zustand weitgehend aufrechtzuerhalten und dann auch flüssig bspw. nach Düren weiter zu transportieren.

Die Verflüssigung im Kreis Düren selbst lässt sich unter aktuellen Randbedingungen nicht wirtschaftlich darstellen. Somit empfiehlt sich hier der gasförmige Transport per Trailer bzw. mittel- bis langfristig die Nutzung von Pipelines.

### 3.3.4 LOHC

Sogenannte flüssige organische Trägerstoffe (LOHC, engl.: Liquid Organic Hydrogen Carriers) ermöglichen den Transport von Wasserstoff vergleichbar zu dem Transport von Diesel und Benzin heute. Hierzu wird der Wasserstoff an eine Trägerflüssigkeit wie beispielsweise Marlotherm oder Dibenzyltoluol gebunden. Dies geschieht bei Drücken von rund 30 bis 50 bar und Temperaturen von 150 bis 200 °C mit einem Katalysator. Der gebundene Wasserstoff kann jetzt wieder mithilfe einer Wärmezufuhr bei Temperaturen um 250 bis 320 °C und einem Katalysator freigesetzt werden. <sup>[57]</sup>

#### Leuchtturmprojekt LOHC

Im CHEMPARK Dormagen entsteht die weltweit größte Anlage für die Einspeicherung von grünem Wasserstoff in flüssige organische Träger im industriellen Maßstab. Die in Krefeld ansässige Tochter von Hydrogenious LOHC Technologies, die LOHC Industrial Solutions NRW GmbH, übernimmt die Projektleitung und den Anlagenbetrieb.

Wissenschaftlicher Partner ist das Forschungszentrum Jülich bei uns im Kreis Düren mit seinem Institut für Energie- und Klimaforschung. Dorthin fließen 2 Millionen Euro der Fördermittel für begleitende wissenschaftliche Untersuchungen. <sup>[58]</sup>

### Einordnung im Kreis Düren

Mit dem Forschungszentrum Jülich haben wir einen der weltweiten Key-Player im Bereich LOHC Forschung bei uns im Kreis Düren. Dementsprechend werden wir gemeinsam weiterhin die LOHC Technologie vorantreiben und mögliche Optionen der Nutzung aktiv mitgestalten.

### 3.3.5 Tankstellen

Aufgrund der kurzfristig umzusetzenden Tankstelleninfrastruktur im Kreis Düren wird in diesem Kapitel ein detaillierterer Überblick im Vergleich zu den vorigen Kapiteln gegeben. Dies berücksichtigt auch den benötigten erhöhten Informationsbedarf zur Akzeptanzsicherung (siehe Kapitel 4.4).

Ein solides Netz aus Wasserstofftankstellen ist für den Durchbruch der Wasserstoffmobilität von großer Bedeutung. Heute gibt es in Deutschland insgesamt über 100 Wasserstofftankstellen<sup>[59]</sup>, davon etwa 100 öffentliche Tankstellen. Bundesweit und bei uns im Kreis Düren wird der weitere Aufbau gezielt unterstützt.

Wasserstofftankstellen bieten den Nutzern grundsätzlich das gewohnte Betankungserlebnis: Die Zapfsäule (auch Dispenser genannt) ähnelt der einer Diesel- oder Benzintankstelle und die Betankungszeit liegt mit 3-5 Minuten pro PKW im Bereich von konventionellen Fahrzeugen. Je nach Einsatzgebiet sind Tankstellen für eine Betankung mit 700 bar oder 350 bar Nominaldruck ausgelegt. Mit 700 bar werden PKW, leichte Nutzfahrzeuge und teilweise auch schwere Nutzfahrzeug betankt. Die 350 bar-Betankung wird in der Regel für Züge, Busse und schwere Nutzfahrzeuge vorgesehen. Je nach Fahrzeuganzahl und Betankungsmenge muss auch die Kapazität der Tankstelle ausgelegt werden. Heutige PKW-Tankstellen haben Kapazitäten von etwa 50 bis 200 kg H<sub>2</sub> pro Tag (Bedarf von 10 bis 40 PKW). Nutzfahrzeugtankstellen bieten aufgrund der höheren Nachfrage Betankungskapazitäten von mindestens 200 kg H<sub>2</sub> pro Tag (Bedarf von ca. 10 Bussen).



#### Bei Tankstellen wird je nach Zugangsmöglichkeiten unterschieden in:

##### 1. Öffentliche Tankstellen

Private PKW, LKW oder leichte Nutzfahrzeuge tanken in der Regel an öffentlich zugängliche Tankstellen, bei denen keine Anmeldung erforderlich ist. Da die Abnahmemenge an öffentlichen Tankstellen zufällig und somit nie zu 100 % prognostizierbar ist, müssen zur Versorgungssicherheit Überkapazitäten eingeplant werden.

Der Ausbau der öffentlichen H<sub>2</sub> Tankstellen ist eminent wichtig für den Markthochlauf privater Fahrzeuge. Federführend wird dieser von der H<sub>2</sub> MOBILITY GmbH koordiniert, die bis heute knapp 100 öffentliche PKW Tankstellen in Deutschland errichtet hat<sup>[60]</sup>. Ab 2021 sollen Tankstellen vor allem dort errichtet werden, wo kurzfristig eine Nutzfahrzeugnachfrage zu erwarten ist und wo eine öffentliche Tankstelle für ein wachsendes Tankstellennetz auch für PKW sinnvoll erscheint. Das Standorttool der Nationalen Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie GmbH (NOW), welches das Ausbaupotenzial für öffentliche Tankstellen<sup>[61]</sup> analysiert, sieht im progressiven Szenario bis 2030 ein Ausbaupotenzial für die Standorte Düren, Langerwehe und Jülich.

##### 2. Halb öffentliche Tankstellen

Ist der Zugang zu Tankstellen beschränkt oder muss vor dem Tankvorgang eine Anmeldung vorgenommen werden, ist von halb öffentlichen Tankstelle die Rede. Diese stehen oft auf Geländen von Unternehmen (z.B. Betriebshöfen) und sind vorrangig für bestimmte Nutzergruppen vorgesehen. Grundsätzlich könnte z.B. eine Tankstelle für Bus- oder LKW Flotten so gestaltet werden, um Partnerunternehmen die Betankung zu ermöglichen und gleichzeitig den Betriebshofzugang sowie die Versorgungssicherheit der eigenen Flotte zu sichern.

##### 3. Nicht öffentliche Tankstellen

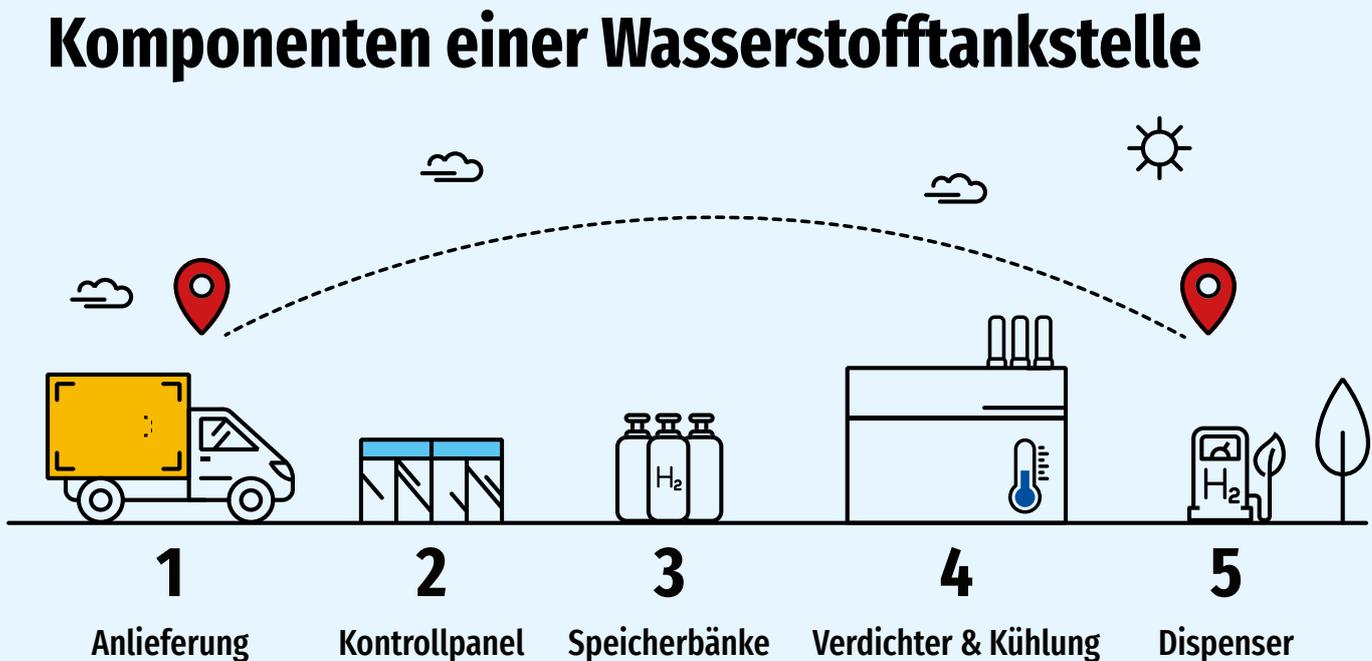
Tankstellen, die vorrangig einer Nutzergruppe vorbehalten sind, werden als nicht öffentlich bezeichnet. Diese Tankstellen haben oft eine Zweckbindung und sind optimal auf die Bedarfe der Nutzergruppe ausgelegt. Beispiele für nicht öffentliche Tankstellen sind Bus oder Zugtankstellen.

Eine Wasserstofftankstelle für Busse besteht in der Regel aus folgenden Komponenten:

1. Einem Anlieferplatz für Wasserstofftrailer. Wird die Tankstelle über eine Pipeline oder einen Elektrolyseur versorgt, entfällt dieser Teil.
2. Einem Kontrollpanel. Hier wird die Anlieferung gesteuert und die Wasserstoffmenge gemessen.
3. Einem oder mehreren Speichern. Dies können Hochtanks, Röhrenspeicher oder Container mit Druckbehältern sein. Oftmals gibt es einen Niederdruckspeicher (bis ca. 250 bar) und einen Hochdruckspeicher (ab ca. 250 bar). Die Trailer selbst können auch als Speicher dienen – dieses Konzept wird z.B. von der RVK in Meckenheim genutzt.
4. Einem Verdichter- und Kühlcontainer. Um den Wasserstoff auf Betankungsdruck (>350 bar) zu bringen, wird er im Verdichter komprimiert. Da Wasserstoff einen negativen Joule-Thomson-Koeffizienten aufweist, der bei der Expansion des Wasserstoffs im Tank zu einer Erwärmung führt, ist eine Kühlung vor der Betankung notwendig.
5. Der Wasserstoffzapfsäule (auch Dispenser genannt) zur Betankung der Fahrzeuge.

Wasserstofftankstellen haben einen höheren Flächenbedarf als heutige Dieseltankstellen – v.a., weil der Speicher in der Regel nicht unterirdisch verbaut wird. Abbildung 26 zeigt die typischen Flächenbedarfe für Bustankstellen in Abhängigkeit der Kapazität. Für eine Tankstelle für 60 BZ-Busse werden etwa 600 m<sup>2</sup> Fläche benötigt. Bei der Errichtung eines Elektrolyseurs an der Tankstelle erhöht sich der Flächenbedarf auf etwa 1.100 m<sup>2</sup>. Die Anordnung der einzelnen Container ist flexibel, so dass die maximale Breite und / oder Länge festgelegt werden kann. Zusätzlich zur Grundfläche sind weitere Schutzabstände <sup>[63]</sup> <sup>[64]</sup> zu berücksichtigen: Potenzielle Brandlasten erfordern 5 m Abstand zu Wasserstoffspeichern und Erzeugungsanlagen sowie 3 m zu wasserstoffführenden Komponenten. Die Abstände können durch Maßnahmen wie z.B. Brandschutzwände verringert werden. Diese können gleichzeitig als dekoratives Element genutzt werden – in Abbildung 27 am Beispiel der RVK-Tankstelle in Meckenheim zu sehen.

Abbildung 24: Beispielhafter Aufbau einer Bustankstelle <sup>[62]</sup>



# Flächenbedarf für Bus-Tankstellen

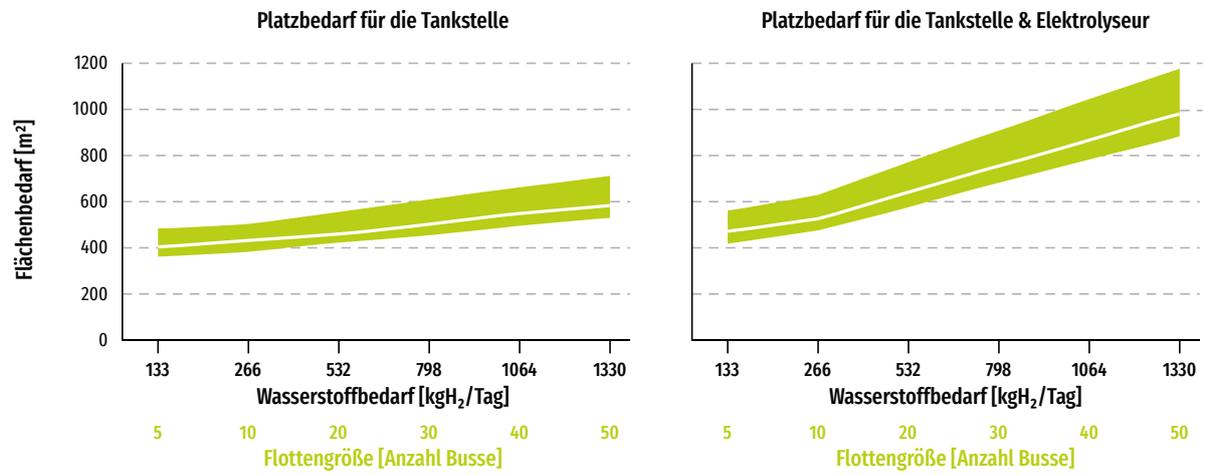


Abbildung 25: Flächenbedarf für Bus-Tankstellen <sup>[62]</sup>

Abbildung 26: Bustankstelle der RVK in Meckenheim, Foto: EMCEL GmbH



**Tankstellenprojekte**

Aktuell planen wir 5 Tankstellen im Kreisgebiet, die innerhalb der nächsten 1 bis 3 Jahre fertiggestellt werden sollen. In Düren-Birkesdorf (Im Großen Tal) errichtet die H<sub>2</sub> MOBILITY GmbH eine öffentliche Tankstelle. Sie wird neben einer 700 bar-Betankung für PKW auch eine 350 bar-Betankung für Busse bereitstellen und soll 2021 in Betrieb gehen. Neben dieser, vom Bund geförderten Tankstelle, plant ein privater Investor zwei weitere Tankstellen im Kreisgebiet <sup>[65]</sup>.

Zur Betankung der geplanten Brennstoffzellenbusflotte der Rurtalbus sowie der Brennstoffzellenzugflotte der Rurtalbahn planen wir mindestens zwei weitere Tankstellen.

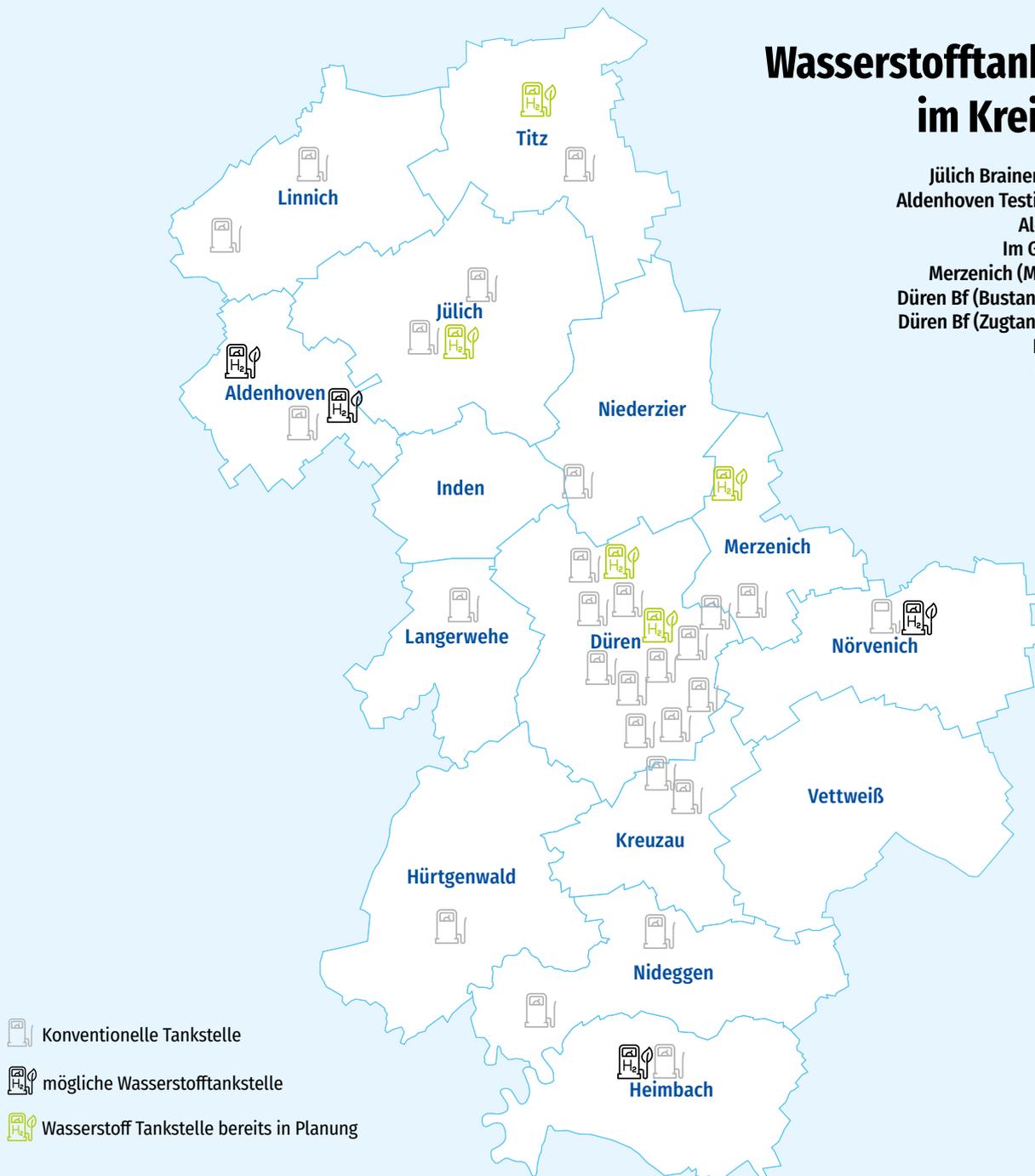
Eine kombinierte Zug- und Bustankstelle wird am Bahnhof in Düren errichtet. Für die Bustankstelle der Rurtalbus gibt es 3 Standort-Optionen, die wir im Laufe dieses Kapitels beschreiben.

Darüber hinaus haben wir weitere mögliche Standorte für Tankstellen im Fokus, welche in Abbildung 28 dargestellt sind. Durch Tankstellen in Jülich, Aldenhoven, Merzenich, Nörvenich und Heimbach möchten wir eine optimale Abdeckung für den regionalen und überregionalen Verkehr erreichen.

Abbildung 27: Geplante und mögliche Tankstellenstandorte im Kreis Düren. Die farblich hervorgehobenen Tankstellen befinden sich schon in Planung und Vorbereitung.

## Wasserstofftankstellen im Kreis Düren

- Jülich Brainery Park (ab 2023)
- Aldenhoven Testing Center (Idee)
- Aldenhoven (Idee)
- Im Großen Tal (2021)
- Merzenich (Multi Energy Hub)
- Düren Bf (Bustankstelle, ab 2023)
- Düren Bf (Zugtankstelle, ab 2023)
- Nörvenich (Idee)
- Heimbach (Idee)



# Modulare Auslegung einer Bustankstelle

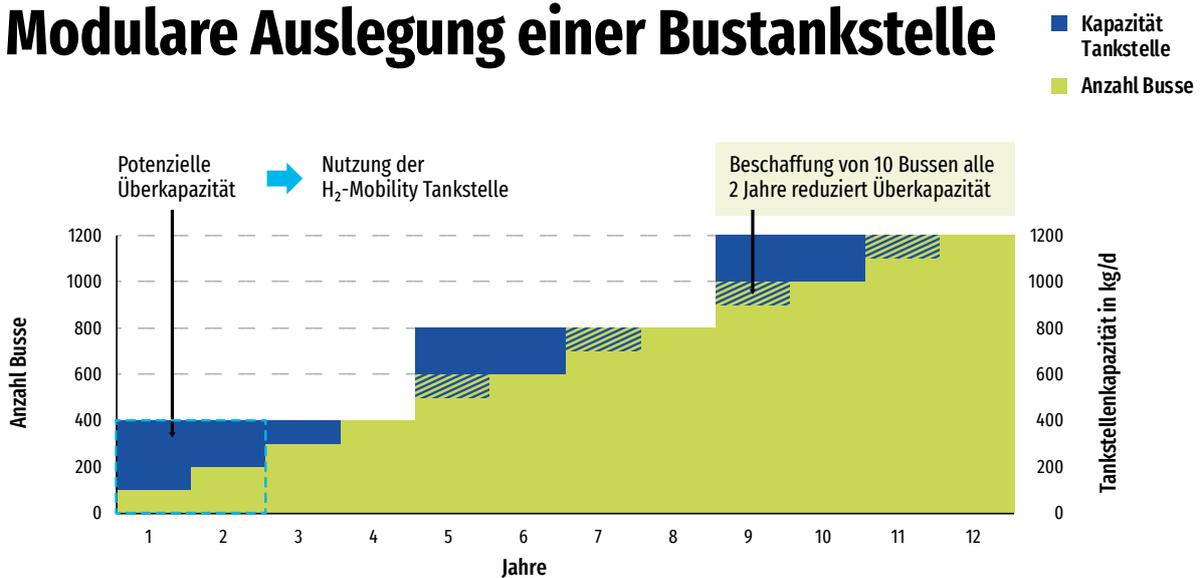


Abbildung 28: Modularer Ausbau der Tankstellenkapazität

## Auslegung der Bustankstelle

Wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, wird unser kommunales Unternehmen, die Rurtalbus GmbH, ab dem Jahr 2021 fünf Brennstoffzellenbusse pro Jahr beschaffen. Die ersten 5 bis 10 BZ-Busse werden an der H<sub>2</sub> MOBILITY-Tankstelle Im Großen Tal tanken. Ab 2023 soll dann eine eigene Tankstelle errichtet werden, um die wachsende Brennstoffzellen-Busflotte zu betanken. Vor diesem Hintergrund wurde in dieser Studie untersucht, welche Auslegung und welcher Standort sich für die Bustankstelle als vorteilhaft erweist.

Um den Aufbau der Tankstelle kosteneffizient zu gestalten, sollen ungenutzte Überkapazitäten, die nicht zur Betankung von Bussen genutzt werden, minimiert werden. Hierfür verfolgen wir drei Ansätze (vgl. Abbildung 29):

- » **Modularer Ausbau:** Da Wasserstofftankstellen meist in Containerbauweise geliefert werden, können sie optimal modular gebaut und erweitert werden. Daher sollte die Tankstelle nicht direkt für 60 Busse ausgelegt werden – dies entspräche bei einer Betankung von 5 Bussen im ersten Jahr einer effektiven Überkapazität von 1.200 %. Stattdessen bieten sich sinnvolle Module, die z.B. jeweils 20 Busse betanken können, an. Bei den Erweiterungen mit den Modulen 2 und 3 können so zudem positive Technologie- und Preisentwicklungen mitgenommen werden.

- » **Nutzung einer Partnertankstelle:** Die ersten 5 bis 10 Busse können an einer öffentlichen oder halb-öffentlichen Partnertankstelle betankt werden – so können potenzielle Überkapazitäten der ersten Ausbaustufe verringert werden. Dieses Konzept setzt die Rurtalbus mit der H<sub>2</sub> MOBILITY GmbH um: In den Jahren ab 2021 sollen die ersten 5-10 Busse an der öffentlichen Tankstelle Im Großen Tal betankt werden. Nach Fertigstellung der Bustankstelle werden die Busse dann nach und nach an der eigenen Tankstelle betankt.
- » **Anpassung der Beschaffungszyklen:** Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, die Überkapazitäten durch die Anpassung der Beschaffungszyklen von 5 Bussen jährlich auf 10 Busse alle zwei Jahre zu reduzieren. Die notwendige Flexibilität der Beschaffungszyklen ist durch Beschlussfassungen des Kreistages Düren sichergestellt.

## Standortanalyse für die Bustankstelle

Für den Aufbau der Bustankstelle kommen drei Standorte in Frage:

- » **Depot Distelrath:** Das aktuelle Depot der Rurtalbus beherbergt die Dieselbusflotte sowie die fünf im Jahr 2020 beschafften batteriebetriebenen Busse inklusive der entsprechenden Ladeinfrastruktur. Die dortigen Flächen sind im Besitz der Beteiligungsgesellschaft des Kreises Düren (BTG) und können weiter an die Rurtalbus verpachtet werden. Die Gebäude für die Instandhaltung und Reinigung der Busse und Bahnen sollen abgerissen oder umgewidmet werden. Diese Instandhaltungsarbeiten werden zukünftig an der Nordseite des Bahnhofs Düren durchgeführt.
- » **Bahnhof Düren:** Der neue Standort für die Instandhaltung und den Service der Busse und Züge bietet Abstellmöglichkeiten für einige wenige Fahrzeuge. Eine Abstellung der gesamten Busflotte der Rurtalbus ist nicht möglich. Ein Großteil der Umläufe der Busse beinhaltet allerdings einen Halt und/oder eine Pause am Bahnhof. Zudem ergibt sich die Möglichkeit der Nutzung der geplanten Zugtankstelle zur Betankung der Brennstoffzellenbusse.
- » **Brainergy Park:** Am Standort Jülich ist noch kein konkretes Gelände festgelegt. Im Zuge des Aufbaus einer Elektrolyse im Brainergy Park böte sich die Möglichkeit, den am Standort erzeugten Wasserstoff in direkter räumlicher Nähe in die Busse zu tanken. Zudem könnte der Standort für die Betankung der angedachten Schnellbusse dienen.

Für die Bewertung der Standorte wurden vier Kriterien festgelegt: Die Flächenverfügbarkeit, die Eigentumsverhältnisse, die Transportkosten für eine Wasserstoffbelieferung aus dem Brainergy Park sowie die Integration in Betriebsabläufe und den Linienbetrieb der Rurtalbus. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Der Flächenbedarf von etwa 600 m<sup>2</sup> stellt an keinem der drei potenziellen Standorte ein Problem dar. Im Brainergy Park wäre die entsprechende Fläche zu erwerben, die Standorte Depot Distelrath sowie Bahnhof Düren gehören bereits der BTG und/oder der RATH-Gruppe. Für die Standorte Depot Distelrath und Bahnhof Düren fallen bei Bezug des Wasserstoffs aus dem Brainergy Park Jülich Transportkosten von etwa 0,75 €/kg Wasserstoff an (vgl. Kapitel 4.2). Für den Tankstellenstandort Brainergy Park sind keine oder nur geringe Kosten für den Anschluss an den Elektrolyseur zu kalkulieren. Hinsichtlich der praktikablen und ökonomischen Integration in bestehende Betriebsabläufe und den Linienbetrieb der Rurtalbus bietet das Depot Distelrath die besten Voraussetzungen. Für die Betankung der Busse am Bahnhof Düren sind nur geringe Mehraufwände erforderlich, da viele Busse ihren Umlauf am Bahnhof starten bzw. beenden. Zudem ist die Entfernung zu den Abstellhallen im Depot in Distelrath mit ca. 3 km gering.

Insbesondere die Standorte Bahnhof Düren und Brainergy Park bieten Synergien mit weiteren geplanten Wasserstoffinfrastrukturen. Da am Bahnhof Düren eine Zugtankstelle errichtet werden soll, könnte man die Kapazitäten für eine Busbetankung mit einplanen. Dadurch ergeben sich grundlegende Vorteile: Zum einen erhöhen redundant ausgeführte Komponenten die Versorgungssicherheit bzw. Verfügbarkeit der Tankstelle. Zum anderen erhöht eine gemeinsame Nutzung die Wirtschaftlichkeit der Tankstelle. Neben geringeren spezifischen Investitionskosten kann die Auslastung der Tankstelle besser optimiert werden. Zudem ist bei der Wasserstoffbelieferung durch eine gemeinsame Beschaffung von geringeren Kosten auszugehen.

Die Errichtung einer Tankstelle in der Nähe des Standorts des Elektrolyseurs im Brainergy Park hat vor allem Vorteile bei den Wasserstofftransportkosten. Da die Speicher der Tankstelle direkt an die Elektrolyseanlage angeschlossen werden können, entfallen Transportkosten weitestgehend.

	Depot Distelrath	Bahnhof Düren	Brainergy Park
<b>Flächenverfügbarkeit</b>	● > 5.000 m <sup>2</sup> *	● > 2.500 m <sup>2</sup>	● tbd, ausreichend
<b>Eigentumsverhältnisse</b>	● BTG	● RATH-Gruppe / BTG	● tbd, zu erwerben
<b>Transportkosten</b>	● ca. 0,8 €/kg	● ca. 0,8 €/kg	● keine
<b>Betriebsfläche und Linienbetrieb</b>	● keine Mehraufwände	● geringe Mehraufwände	● betriebliche Mehraufwände
<b>Weitere Aspekte</b>	Bestehender Standort, Ladeort der Batteriebusse	Synergien mit geplanter Zugtankstelle	Zusätzlicher Standort für Nordgebiet
<b>Gesamtbewertung</b>	Option für „grünen Betriebshof“	Option für kosteneffiziente Betankung und Betrieb	Option für zweiten Betriebsstandort

\* Falls Werkstatt- und Waschhalle abgerissen werden

Tabelle 1: Bewertung der möglichen Tankstellenstandorte für die Bustankstelle der Rurtalbus

Für die abschließende Bewertung ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- » Depot Distelrath: Der Betriebshof eignet sich gut für den Standort der Wasserstofftankstelle, da die Busse dort wie heute ohne Mehraufwände getankt werden können. In Ergänzung zu den Ladepunkten der batterieelektrischen Busse könnte ein „grüner Betriebshof“ entstehen, an dem ggf. noch weitere Fahrzeuge geladen werden könnten. Maßgeblich für die Bewertung ist die Frage, ob der Betriebshof weiter zur Abstellung der Busse genutzt und hierfür umgebaut werden soll. Dies war zum Zeitpunkt der Analyse noch offen.
- » Bahnhof Düren: Aus wirtschaftlicher Sicht ist der Tankstellenstandort am Bahnhof Düren optimal. Mit der Errichtung der Zugtankstelle besteht eine Möglichkeit, die Betankungsmöglichkeit für Busse zu integrieren. So entstünde eine „multimodale“ Tankstelle. Da dort eine Abstellung der kompletten Busflotte nicht möglich ist, empfiehlt sich diese Option insbesondere in Kombination mit der Weiternutzung des Depots in Distelrath. Falls die Bustankstelle an die Zugtankstelle angedockt wird, ergeben sich Synergien, die sich auch auf die Auslastung und Überkapazitäten auswirken. Daher ist es ratsam, die Busbedarfe bei der Dimensionierung der Zugtankstelle mit einzubeziehen.
- » Brainergy Park: Weil ein zusätzlicher Tankstellenstandort für das Nordgebiet des Kreises errichtet werden soll, ist der Brainergy Park ein attraktiver Standort. Hier können die Busse erzeugungsnah betankt werden und somit Transportkosten gespart werden. Ein alleiniger Standort in Jülich ist aus betrieblicher Sicht nicht sinnvoll, da ein Großteil der Busse im Dürener Stadtgebiet eingesetzt wird. Die Kombination mit einem Betriebsstandort in Düren erfordert langfristig eine zweite Wasserstofftankstelle am Standort Düren, da Betankungsfahrten nach Jülich zu erheblichen Mehraufwänden führen würde.

## Ausblick

Wir – der Kreis Düren – als Aufgabenträger und die Rurtalbus sind mit der Planung von 60 BZ-Bussen Vorreiter beim Thema Wasserstoff. Langfristig werden weitere Busbetreiber im Kreis Düren BZ-Busse einsetzen und Wasserstofftankstellen benötigen. So werden spätestens ab 2030 weitere Standorte erforderlich werden. Hierfür werden wir rechtzeitig prüfen, inwiefern sinnvolle Synergien und Kooperationen geschaffen werden können und wie der Kreis die Unternehmen unterstützen kann. Wie dies konkret aussehen kann, legen wir Ihnen in [Kapitel 5.4](#) dar.

**WIE  
KÖNNEN  
WIR DAS  
GEMEINSAM  
SCHAFFEN**

# 4. Wie können wir das gemeinsam schaffen

Sie kennen nun unsere Motivation (Kapitel 1), was uns auszeichnet (Kapitel 2) und wohin wir gehen wollen (Kapitel 3). In diesem Kapitel zeigen wir Ihnen wie wir den Schritt in Richtung Wasserstoffzukunft gemeinsam gehen können. Dazu stellen wir Ihnen relevante Aktivitäten, die in Nordrhein-Westfalen, Deutschland und Europa stattfinden, dar. Zudem zeigen wir Wege auf, wie die Wirtschaftlichkeit des Energieträgers Wasserstoff einzuordnen ist und durch welche Parameter sie beeinflusst wird. Passend dazu beleuchten wir das Thema Wertschöpfungseffekte, die durch Wasserstoff entstehen können. Schließlich beschreiben wir in Kapitel 4.4, wie es um das Thema Akzeptanz von Wasserstoff und Wasserstoffanwendungen bestellt ist und wie wir diese steigern möchten.

## 4.1 Düren als Teil einer landes-, bundes- und europaweiten Entwicklung

Da der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft gesamtheitlich gedacht werden muss, ist eine Einbettung der Aktivitäten in europäische, nationale und föderale Strategien sinnvoll. Neben der Wasserstoffstrategie der europäischen Kommission<sup>[2][3]</sup> sowie der nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesrepublik<sup>[3]</sup> ist die Wasserstoff Roadmap des Landes Nordrhein-Westfalen<sup>[5]</sup> besonders relevant für die Strategie des Kreises Düren. In der Roadmap sind konkrete Ziele für die verschiedenen Sektoren verankert.

Tabelle 2: Ziele der Wasserstoff-Roadmap von Nordrhein-Westfalen<sup>[5]</sup>

Sektor	Bis 2025	Bis 2030
Industrie	Großanlage zur Erzeugung von Stahl auf Basis von H <sub>2</sub> (Duisburg) Demonstrationsanlage zur Herstellung synthetischer Kraft- und Rohstoffe (Köln/Wesseling)	Einführung von H <sub>2</sub> -basierten Anlagen in weiteren Branchen (Glas-, Fliesen- und Ziegelindustrie, Gießereien, Zementherstellung)
Mobilität	BZ-LKW: >400 BZ-Busse: 500 H <sub>2</sub> -Tankstellen: mind. 20 für LKW, 60 für PKW Erste H <sub>2</sub> -betriebene Binnenschiffe	BZ-LKW: 11.000 BZ-Busse: 3.800 H <sub>2</sub> -Tankstellen: 200 für LKW und PKW 1.000 BZ-Abfallsammler
Energie & Infrastruktur	Zusätzliche H <sub>2</sub> -Pipelines: 120 km, Anschluss an überregionale Leitungen Elektrolyseleistung: >100 MW Gasbasierte Strom-/Wärmeerzeuger: H <sub>2</sub> -Ready	Zusätzliche H <sub>2</sub> -Pipelines: 240 km in NRW (1.300 in ganz Deutschland) Elektrolyseleistung: 1 – 3 GW

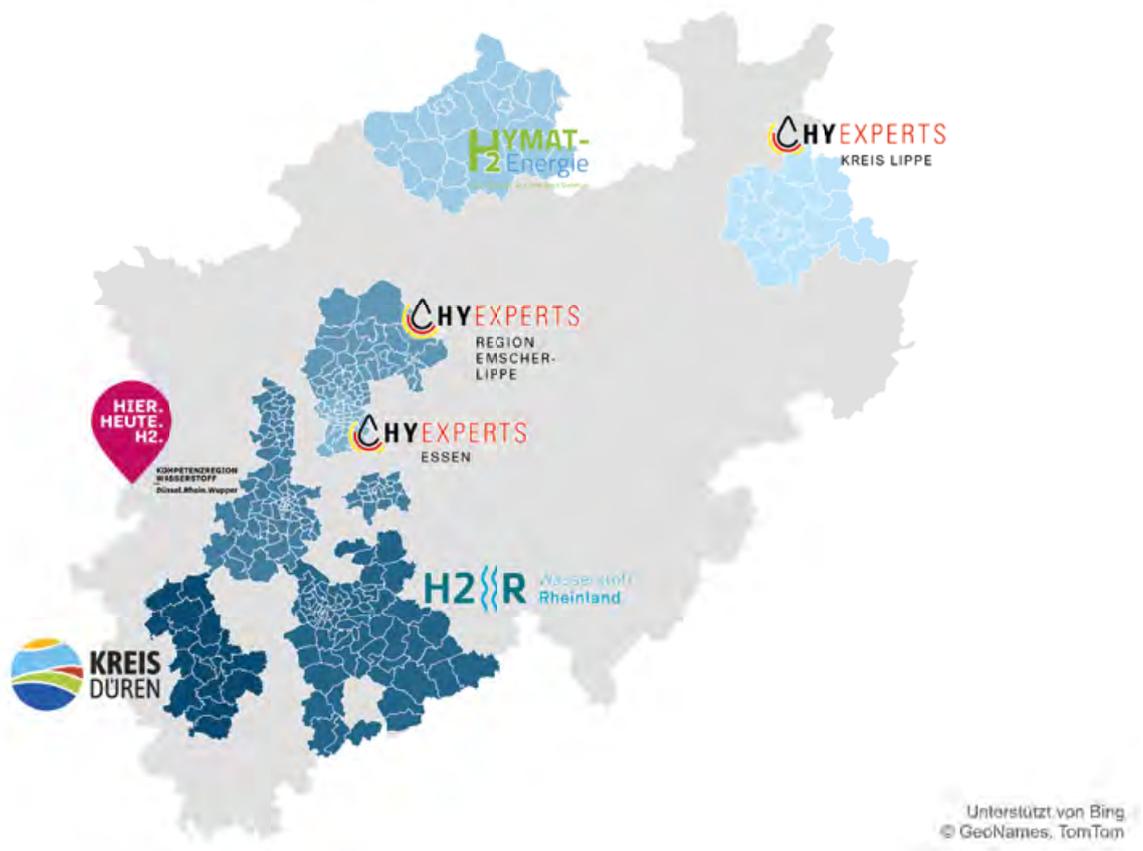
Neben dem Kreis Düren gibt es in Nordrhein-Westfalen weitere Kreise und Regionen, die das Thema Wasserstoff aktiv angehen und Umsetzungskonzepte entwickeln bzw. entwickelt haben. Diese sind:

- » Die Region Wasserstoff Rheinland,
- » Die Kompetenzregion Wasserstoff Düssel-Rhein-Wupper,
- » Der Kreis Steinfurt,
- » Die Stadt Essen,
- » Die Region Emscher-Lippe sowie
- » Der Kreis Lippe.

Die ersten drei wurden bei der Erstellung der Konzepte vom Land im Rahmen des Wettbewerbs „Modellkommune Wasserstoffmobilität Nordrhein-Westfalen“ unterstützt. Die drei Letztgenannten werden aktuell über das HyLand-Programm des BMVI bei der Ausarbeitung von Umsetzungskonzepten in der Kategorie HyExperts unterstützt.

Abbildung 29: Regionen in Nordrhein-Westfalen, die Wasserstoffkonzepte erarbeiten bzw. erarbeitet haben <sup>[66]</sup> <sup>[67]</sup> <sup>[68]</sup> <sup>[69]</sup>

- » Hervorzuheben sind insbesondere die Aktivitäten der benachbarten Region Wasserstoff Rheinland. Neben der Regionalverkehr Köln GmbH, die seit etwa 10 Jahren mit Brennstoffzellenbussen Erfahrung sammeln konnte, gibt es mit dem HyCologne e.V. ein aktives Netzwerk, das Akteure in der ganzen Region verbindet. Aus der Konzeptionierung in Wasserstoff Rheinland ging u.a. das Projekt „HyPipCo“ hervor, das HyCologne mit Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen vorantreibt. Das Ziel ist die Errichtung einer Wasserstoffpipeline um die Stadt Köln und eine Anbindung an die existierende Wasserstoffpipeline Rhein-Ruhr, die bis in den Kölner Norden reicht. Sie wird über das Projekt getH2 <sup>[70]</sup> Zugang an die deutsche Nordseeküste erhalten, um den dort produzierten grünen Wasserstoff ins Ruhrgebiet und ins Rheinland zu transportieren. Eine zusätzliche Leitungsverbindung in westlicher Richtung zum Rheinischen Revier und weiter zu den Pipelines in den Niederlanden wird als sinnvoll erachtet <sup>[71]</sup>.
- » Mittelfristig zielt das Projekt auf eine Integration in die nationalen Aktivitäten zur Ausgestaltung eines Wasserstoffnetzes ab. Erste mögliche Leitungsverläufe für ein nationales Wasserstoffnetz wurden bereits im Netzentwicklungsplan der Fernleitungsnetzbetreiber skizziert <sup>[72]</sup>. Das nationale Netz bettet sich wiederum in ein Projekt für ein europäisches Wasserstoffnetzwerk ein: Das „European Hydrogen Backbone“. Das geplante länderübergreifende Netz soll ab Mitte der 2020er-Jahre bis 2040 schrittweise bis auf 23.000 Kilometer Länge ausgebaut werden <sup>[73]</sup>.



## Nationales Wasserstoffnetz

- Mögliche Neubaubereiche für H<sub>2</sub>-Leitungen
- H<sub>2</sub>-Leitungen nach potenziell bestehender Erdgasleitung
- Planungen zu HyPipCo

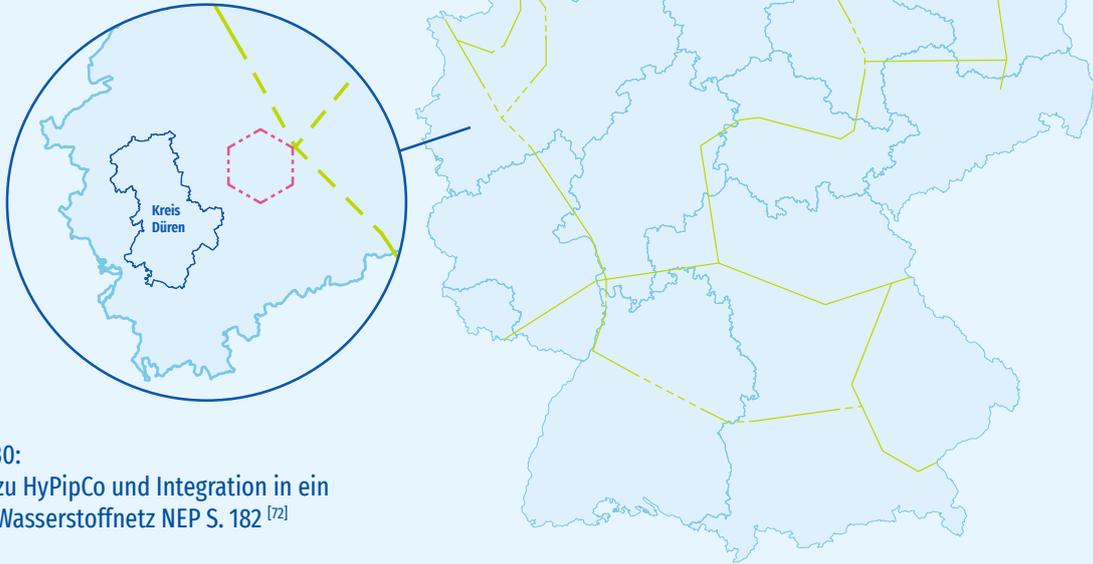


Abbildung 30: Planungen zu HyPipCo und Integration in ein nationales Wasserstoffnetz NEP S. 182 [72]

## Europäisches Wasserstoffnetz

- H<sub>2</sub>-Leitungen durch Umwidmung bestehender Erdgasleitungen
- Mögliche Neubaubereiche für H<sub>2</sub>-Leitungen
- Mögliche zusätzliche Leitungen

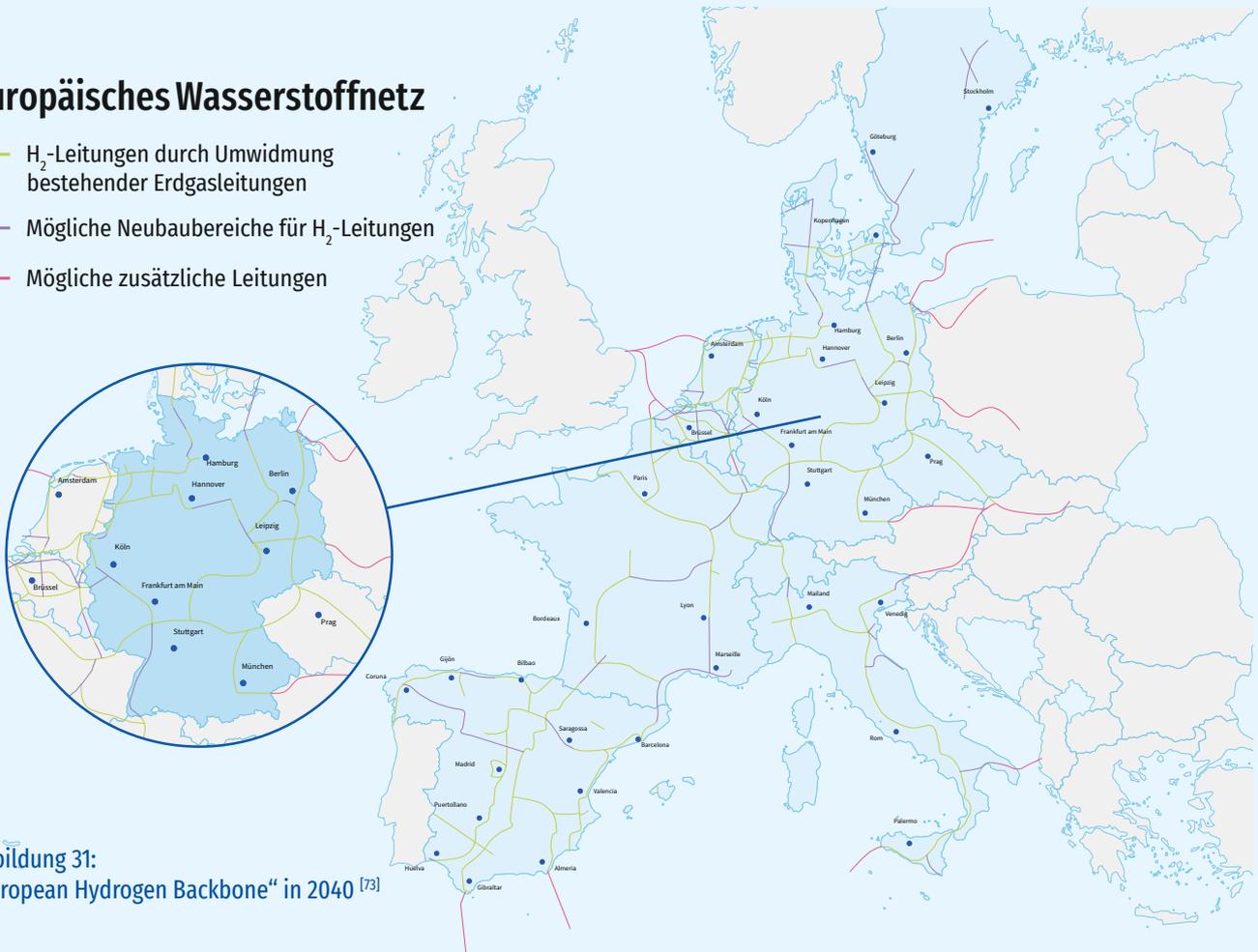


Abbildung 31: „European Hydrogen Backbone“ in 2040 [73]

Initialprojekte auf dem Weg zu einem European Hydrogen Backbone sind Green Octopus<sup>[74]</sup> in den Niederlanden und Belgien und GET H2 in Deutschland.

**Wie wir partizipieren wollen**

Die Aktivitäten auf EU-, Bundes-, Länder- und Regionalebene zeigen, dass wir mit dieser Studie am Puls der Zeit liegen und zahlreiche potenzielle Partnerregionen auf Landesebene haben. Seit 2020 sind wir Mitglied bei HyCologne e.V., um Geschäftsbeziehungen mit unseren Nachbarn auszubauen. Zudem haben wir in einem Letter-of-Intent die Unterstützung von Wasserstoff-Rheinland und HyPipCo bekundet.

Von den geplanten Projekten von Wasserstoffpipelines in den angrenzenden EU-Staaten und in Deutschland können langfristig auch wir im Kreis Düren profitieren. Eine physikalische Anbindung an die Niederlande oder die Metropolregion Rhein-Ruhr über eine Pipeline eröffnet neue Möglichkeiten für einen effizienten Import oder Export von Wasserstoff. Dies wiederum erhöht die Versorgungssicherheit für Nutzer im Kreis Düren und kann die langfristigen Bedarfe decken. Daher haben wir erste Untersuchungen für die Umsetzung einer Wasserstoffpipeline im Kreis Düren gestartet. Zudem haben sich unsere Unternehmen Westnetz GmbH und Leitungspartner GmbH bei der Marktfrage für Wasserstoff und grüne Gase von Thyssengas<sup>[75]</sup> beteiligt und unseren zukünftigen Transportbedarf für Wasserstoff angemeldet. Die Resultate werden von den Fernleitungsnetzbetreibern ausgewertet und bilden die Grundlage für den Netzentwicklungsplan Gas 2022 – 2032 und für ein zukünftiges Wasserstoffnetz in Deutschland.

Auch aus finanzieller Sicht ist eine Zusammenarbeit mit EU, Bund und Land förderlich. Insbesondere auf Bundesebene werden zahlreiche Förderprogramme aufgesetzt, über die Einzel- oder Verbundvorhaben im Kreis Düren finanzielle Unterstützung bekommen können. Wie der Zugriff auf Fördermöglichkeiten verbessert werden soll, legen wir in der Roadmap in Kapitel 5.4 dar.

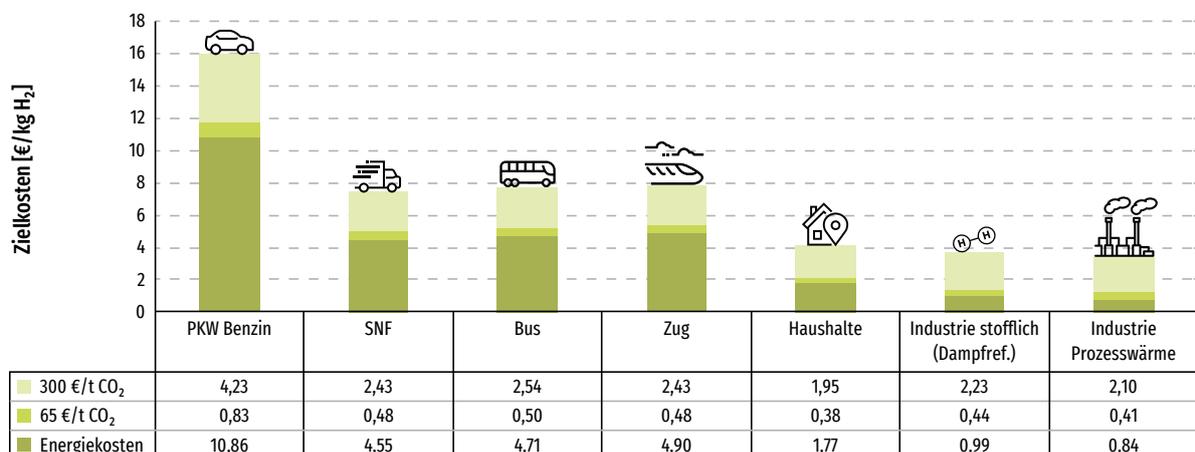
**4.2 Der Weg zur Wirtschaftlichkeit**

Damit sich Wasserstofftechnologien in der Breite durchsetzen, müssen die Lebenszykluskosten der Anwendungen – langfristig auch ohne Förderung – wettbewerbsfähig zu bisherigen Konkurrenztechnologien sein. Im Rahmen einer Zielkostenanalyse wird im Folgenden der Wasserstoffpreis ermittelt, der den heute üblichen Energiekosten entspricht. Die Energiekosten sind neben der erforderlichen Investition sowie der mit der Investition verbundenen Wartung und Instandhaltung der wesentliche Kostentreiber.

Abbildung 33 zeigt exemplarisch die, auf den Energiekostenanteil bezogenen Zielkosten für Wasserstoff. Sobald der Wasserstoff je Kilogramm für einen Preis unterhalb des angegebenen Wertes verfügbar wird, ist der Einsatz von Wasserstoff bei gleichen Investitions- und Wartungskosten gegenüber der konventionellen Konkurrenztechnologie ökonomisch vorteilhaft. Die zugrundeliegende Berechnung berücksichtigt dazu die Wirkungsgrade, spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen, Energieträger- und CO<sub>2</sub>-Preise. Eine Auflistung der eingehenden Parameterwerte ist im Anhang dargestellt. Die Kraftstoffpreise beinhalten die Mineralölsteuer und einen vom Mineralölwirtschaftsverband ausgewiesenen durchschnittlichen Deckungsbeitrag, die Gaspreise verstehen

Abbildung 32: Auf den Energiekostenanteil bezogene Wasserstoff-Zielkosten verschiedener Anwendungen inkl. Steuern und Umlagen (netto). Vergleichstechnologien sind Benzin PKW, Diesel SNF, Diesel Bus, Diesel Zug, Gasbrennwerttherme für Haushalte, Dampferformierung zur industriellen Wasserstofferzeugung, Gasheizwerk zur industriellen Prozesswärmeerzeugung.

# Zielkosten Wasserstoffanwendungen



# Zusammensetzung des Wasserstoffpreises

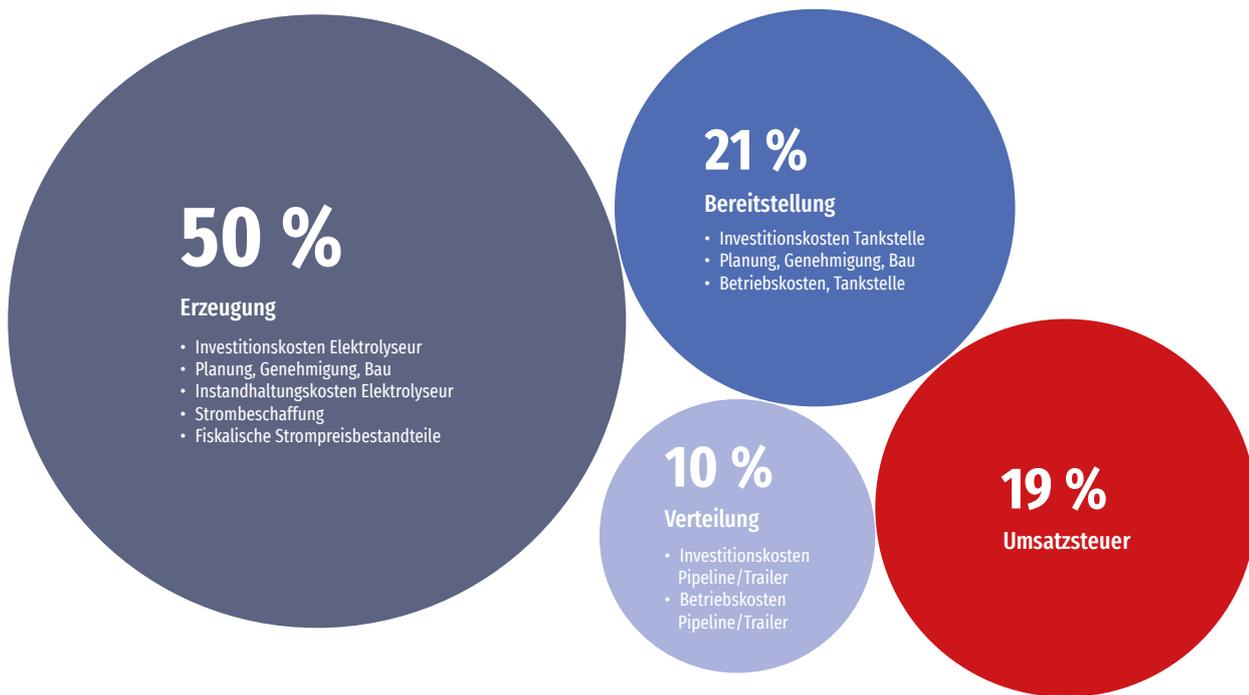


Abbildung 33: Typische Zusammensetzung des Wasserstoffpreises für den Verkehrssektor

sich ebenfalls inklusive aller Abgaben und Umlagen mit Ausnahme der Mehrwertsteuer. Der CO<sub>2</sub>-Preis liegt im Standardfall seit Jahresbeginn 2021 bei 25 €/t CO<sub>2</sub>. Die Darstellung zeigt ebenfalls die Wirkung einer Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Preises auf 65 €/t CO<sub>2</sub>, wie ab dem Jahr 2026 maximal vorgesehen, sowie auf perspektivisch mögliche 300 €/t CO<sub>2</sub> [76].

Wasserstoff kann heute (Stand Frühjahr 2021) für 7,98 €/kg netto bzw. 9,50 €/kg brutto an Tankstellen der H<sub>2</sub> Mobility GmbH bezogen werden. Da die Wasserstoff-Zielkosten gegenüber einem Benzin-PKW bei 10,86 €/kg H<sub>2</sub> liegen, sind die Kraftstoffkosten für Brennstoffzellen-PKW bereits heute günstiger und somit wirtschaftlich interessant. Für schwere Fahrzeuge wie Nutzfahrzeuge, Busse und Züge gilt dies erst bei deutlich höheren CO<sub>2</sub>-Preisen über 300 €/t CO<sub>2</sub>, weshalb hier Quotenregelungen zur Markteinführung relevant sind. Durch seine vergleichsweise hohen Zielkosten ist der Verkehrssektor als erster Markt für Wasserstoff besonders interessant. Die ökonomisch konkurrenzfähige Nutzung von Wasserstoff zur Wärmebereitstellung in Haushalten und industriellen Anlagen erlaubt Zielkosten von 1,77 €/kg bzw. 0,84 €/kg Wasserstoff. Eine signifikante Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Preises bietet in diesen Sektoren durch die geringen Wärmekosten einen überproportionalen Hebel. Bei einem CO<sub>2</sub>-Preis von 300 €/t CO<sub>2</sub> steigen die Zielkosten für Wasserstoff zur industriellen Wärmeherstellung von 0,84 €/kg H<sub>2</sub> auf 3,36 €/kg H<sub>2</sub> und damit um 400 %. Der Bezug von Erdgas (zur konventionellen Herstellung von Wasserstoff mittels Dampfreformierung = grauer Wasserstoff) zur stofflichen Nutzung in der Industrie entspricht einem Wasserstoffpreis von 0,99 €/kg H<sub>2</sub>.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Wirtschaftlichkeit im Verkehrssektor sich zuerst einstellen wird und die Sektoren Haushalte und Industrie folgen.

## 4.2.1 Wasserstoffpreis im Kreis Düren

Der Wasserstoffpreis für den Endnutzer wird durch die Kosten bestimmt, die entlang der Wertschöpfungskette bei der Erzeugung, Verteilung, Bereitstellung und Vermarktung des Wasserstoffs anfallen. Abbildung 34 zeigt beispielhaft die wichtigsten Einflussparameter. Die Anteile der diversen Preisbestandteile sind abhängig von den Rahmenbedingungen der Wertschöpfungskette des Wasserstoffs.

Im Folgenden erläutern wir jeweils die wichtigsten Einflussparameter auf die Preisbestandteile des Wasserstoffs und zeigen die im Zuge dieser Studie ermittelten Werte für den Kreis Düren. Da die energiefiskalischen Strompreisbestandteile für den Wasserstoffpreis eine wesentliche Rolle spielen, zeigen wir anschließend Stellschrauben auf, die einen günstigeren Strombezug – und somit eine günstigere Wasserstoffherzeugung per Elektrolyse – ermöglichen können.

### Gestehungskosten

Die Erzeugungs- bzw. Gestehungskosten tragen etwa 50-70 % zum Gesamtpreis des Wasserstoffs bei. Sie setzen sich aus spezifischen Fixkosten und variablen Kosten zusammen. Diese werden maßgeblich durch zwei Parameter beeinflusst:

# Wasserstoffgestehungskosten

		Strombezugskosten (Cent/kWh)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Volllaststunden (h)	500	9,75	10,26	10,78	11,29	11,80	12,31	12,83	13,34	13,85	14,36	14,88	15,39
	1.000	5,13	5,64	6,16	6,67	7,18	7,69	8,21	8,72	9,23	9,74	10,26	10,77
	1.500	3,59	4,10	4,62	5,13	5,64	6,15	6,67	7,18	7,69	8,20	8,72	9,23
	2.000	2,82	3,33	3,85	4,36	4,87	5,38	5,90	6,41	6,92	7,43	7,95	8,46
	2.500	2,36	2,87	3,38	3,90	4,41	4,92	5,43	5,95	6,46	6,97	7,48	8,00
	3.000	2,05	2,56	3,08	3,59	4,10	4,61	5,13	5,64	6,15	6,66	7,18	7,69
	3.500	1,83	2,34	2,86	3,37	3,88	4,39	4,91	5,42	5,93	6,44	6,96	7,47
	4.000	1,67	2,18	2,69	3,20	3,72	4,23	4,74	5,25	5,77	6,28	6,79	7,30
	4.500	1,54	2,05	2,56	3,08	3,59	4,10	4,61	5,13	5,64	6,15	6,66	7,17
	5.000	1,44	1,95	2,46	2,97	3,49	4,00	4,51	5,02	5,53	6,05	6,56	7,07
	5.500	1,35	1,86	2,38	2,89	3,40	3,91	4,43	4,94	5,45	5,96	6,48	6,99
	6.000	1,28	1,79	2,31	2,82	3,33	3,84	4,36	4,87	5,38	5,89	6,41	6,92
	6.500	1,22	1,74	2,25	2,76	3,27	3,78	4,30	4,81	5,32	5,83	6,35	6,86
	7.000	1,17	1,68	2,20	2,71	3,22	3,73	4,25	4,76	5,27	5,78	6,30	6,81
	7.500	1,13	1,64	2,15	2,67	3,18	3,69	4,20	4,71	5,23	5,74	6,25	6,76
	8.000	1,09	1,60	2,11	2,63	3,14	3,65	4,16	4,68	5,19	5,70	6,21	6,73

## Grundlagen der Berechnung



$$\text{LCOH} = \frac{((\text{spez. Investitionskosten} * (1 - \text{Förderquote}) + \text{spez. sonstige Kosten}) * \text{ANF}) + \text{spez. Betriebskosten} + (\text{Volllaststunden} * \text{spez. Strombezugskosten})}{\frac{\text{Volllaststunden} * \text{Wirkungsgrad}}{\text{Heizwert Wasserstoff}}}$$

Annahmen für die Berechnung:	Wert	Einheit
spez. Investitionskosten	1.500	€/kW
Förderung	50	%
sp. Investitionskosten mit Förderung	750	€
kalkulatorischer Zinssatz	0,05	
Abschreibungsdauer Elektrolyseur	20	Jahre
Annuitätenfaktor	0,08024	
Annuität der Investitionskosten	60,18	€/kW*a
zzgl. spezifische Betriebskosten	30	€/kW*a
Wirkungsgrad	0,65	-
Heizwert Wasserstoff	33,3	kWh/kg

Abbildung 34: Gestehungskosten für Wasserstoff aus Elektrolyse in €/kg H<sub>2</sub> in Abhängigkeit der Strombezugskosten und Volllaststunden des Elektrolyseurs

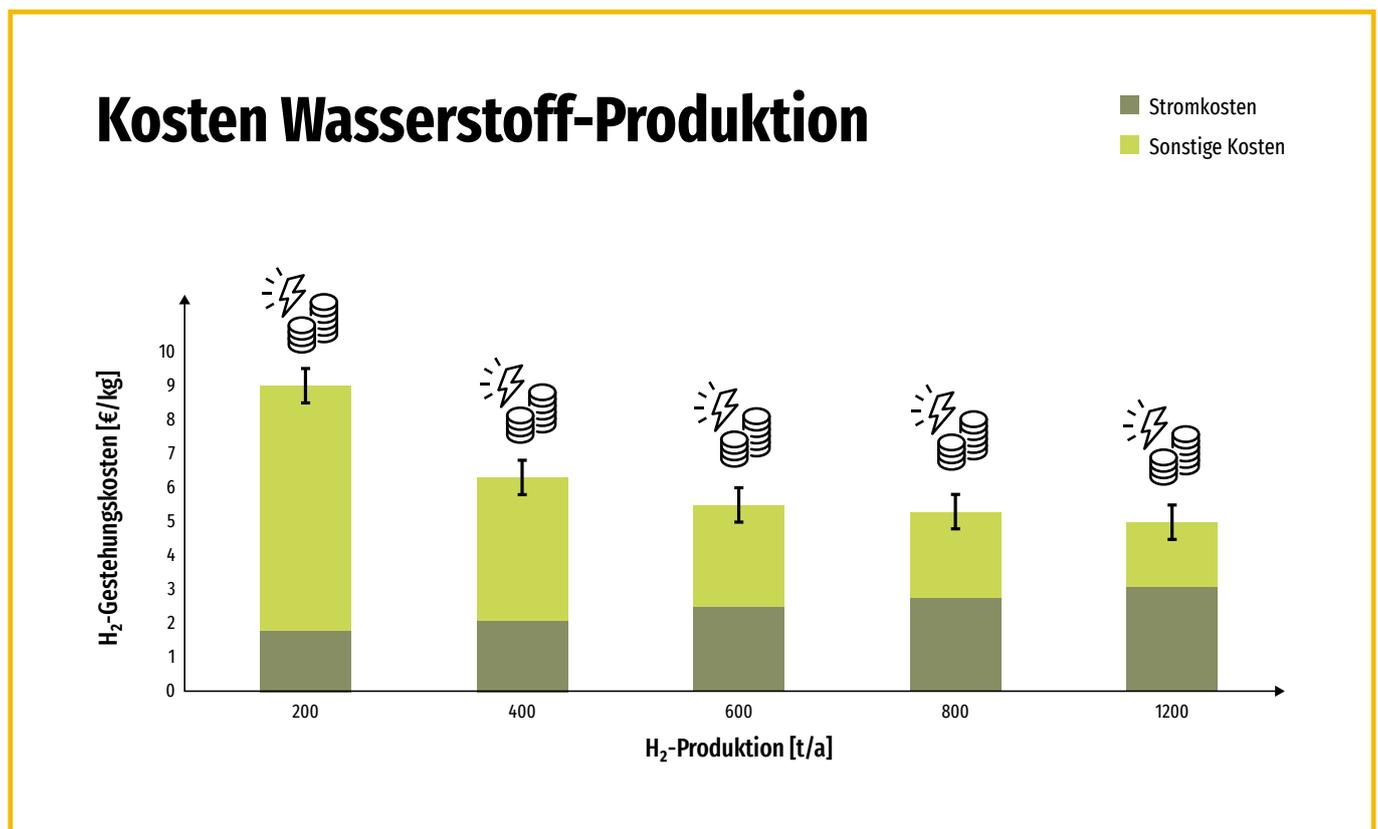
- › Die spezifischen Fixkosten hängen neben den Investitionsausgaben stark von den Volllaststunden des Elektrolyseurs ab. Die Volllaststunden geben den Nutzungsgrad der Anlage an und liegen bei maximal 8.760 Stunden pro Jahr. Eine Reduzierung des Fixkostenanteils des Wasserstoffpreises kann durch die Erhöhung der jährlichen Wasserstoffproduktion erreicht werden.
- › Die variablen Kosten werden hauptsächlich von den Strombezugskosten beeinflusst. Diese wiederum setzen sich aus Strombeschaffungskosten (z.B. Börsenpreis, Stromgestehungskosten) und den energiefiskalischen Preisbestandteilen zusammen. Der variable Kostenanteil steigt kontinuierlich mit der Wasserstoffproduktion an und kann daher nicht analog zu den Fixkosten über eine Erhöhung der Anlagenauslastung vermindert werden.

Abbildung 35 stellt die Wasserstoffgestehungskosten in Abhängigkeit dieser beiden Kenngrößen dar. Anhand der Matrix wird der Einfluss der Parameter auf die Gestehungskosten deutlich: Eine optimale Nutzung liegt demnach bei einer möglichst hohen Volllaststundenzahl bei möglichst geringen Strombezugskosten vor. Für die Berechnung der fixen Kosten wurden spezifische Investitionsausgaben von 1.500 €/kW mit einer Förderquote von 50 % sowie ein Anlagenwirkungsgrad von 65 % angenommen. Weitere Annahmen sind im Anhang aufgeführt.

Aus Abbildung 35 wird deutlich, dass die Volllaststunden ein wichtiger Einflussfaktor auf die Wirtschaftlichkeit des Elektrolyseurs sind. Dies gilt insbesondere bei einer Eigenversorgung mit PV- oder Windenergie, wo mit 1.000 bis 3.000 Volllaststunden der EE-Anlage zu rechnen ist. Um die Volllaststunden des Elektrolyseurs in Eigenversorgungskonzepten zu erhöhen, sollte dessen Anschlussleistung daher kleiner als die Nennleistung der Stromerzeugungsanlage gewählt werden. Die Stromgestehungskosten von PV- und Windenergieanlagen in Deutschland liegen für neue Anlagen im MW-Bereich zwischen 4 und 8 Cent/kWh<sup>[77]</sup>.

Erfolgt der Strombezug über das Netz, können Elektrolyseure deutlich höhere Volllaststunden bis ca. 8.000 Stunden erreichen. Für die Herstellung von „grünem Wasserstoff“ mit Strombezug über das öffentliche Stromnetz eignen sich z.B. Stromdirektlieferverträge mit den Betreibern von Windparks oder Solarparks (sog. Power Purchase Agreements<sup>[78]</sup>). Nach heutiger Regulierung werden Elektrolyseure grundsätzlich als Letztverbraucher eingestuft, daher fallen für den Strombezug zunächst alle Abgaben und Umlagen an. Besondere Ausnahmetatbestände zur Abgabentlastung können für das produzierende & stromintensive Gewerbe gelten. Durch die Neufassung des EEG 2021 können weitere Ausnahmetatbestände für die Herstellung von Wasserstoff geltend gemacht werden. Diese energiefiskalischen Stellschrauben werden in Kapitel 4.2.2 aufgeführt.

Abbildung 35: Mögliche Wasserstoffgestehungskosten der Elektrolyse im Brainergy Park. Je mehr Wasserstoff produziert wird, desto günstiger wird er. Durch die höheren Volllaststunden des Elektrolyseurs sinken die spezifischen Fixkosten. Zugleich steigt der variable Kostenanteil, da sich die Strombezugskosten durch den Zukauf von Netzstrom erhöhen.



Unsere geplante Elektrolyseanlage im Brainergy Park soll mit Strom aus einer Freiflächen-PV-Anlage versorgt und wenn möglich über grüne Windkraftanlagen ergänzt werden und komplementär Strom über das Netz beziehen. Durch die Optimierung hinsichtlich Strombezug und weiterer Erlösoptionen neben dem Wasserstoffverkauf (bspw. abschaltbare Lasten nach §§ 13 Abs. 1 Nr. 2, 4a, 4b EnWG) ergeben sich Wasserstoffgestehungskosten zwischen 4,5 und 5,5 €/kg bei einer Wasserstoffproduktion von 1.200 Tonnen pro Jahr. Demgegenüber liegen die Wasserstoffgestehungskosten bei einer Wasserstoffproduktion von 200 Tonnen pro Jahr zwischen 8,5 und 9,5 €/kg. Abbildung 36 zeigt, dass bei geringen Wasserstoffproduktionsmengen insbesondere Investitionskosten und Instandhaltungskosten und bei hohen Wasserstoffproduktionsmengen insbesondere die Stromkosten die wesentlichen Kostentreiber sind. Durch eine steigende Wasserstoffabnahmemenge wird der Elektrolyseur besser ausgelastet und niedrigere Gestehungskosten werden möglich. Folglich sollte in der Roadmap für unseren Kreis eine möglichst hohe Auslastung vor der Implementierung weiterer Elektrolyseanlagen im Vordergrund stehen (siehe Kapitel 5.4.3).

### Transportkosten

Die lokale Distribution trägt etwa 10-15 % zum Wasserstoffpreis bei. Hier sind die unterschiedlichen Charakteristika der Technologien (vgl. Kapitel 3.3) zu berücksichtigen. Die Wirtschaftlichkeit des Wasserstofftransports wird maßgeblich von der Transportdistanz und dem Wasserstoffdurchsatz bestimmt.

- » Bei geringer Transportdistanz und geringem Durchsatz ist der Wasserstofftransport per Trailer am kostengünstigsten. Die Verteilung per Trailer ist durch höhere variable Kosten (Treibstoff des LKW, Lohn des Fahrers) gekennzeichnet.
- » Der Einsatz einer Pipeline ist mit hohen Investitionskosten verbunden, garantiert aber eine lange Lebensdauer und vergleichbar geringe Betriebskosten. Bei einer geringen Transportdistanz und erhöhtem Durchsatz ab ca. 10 t/d wird die Pipeline am kostengünstigsten. Der Pipelinetransport weist bei sehr hohen Durchsatzmengen das größte Kostenminderungspotenzial auf.
- » Der Transport von flüssigem Wasserstoff ist bei hohen Distanzen von über ca. 200 km am kostengünstigsten. Die wirtschaftliche und technische Sinnhaftigkeit der verschiedenen Transportvarianten hängt immer von den Rahmenbedingungen ab und muss daher anwendungsspezifisch bewertet werden <sup>[52]</sup>.

Im Folgenden werden drei Fallbeispiele hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Verteiloptionen betrachtet und anhand einer **Break-even-Wirtschaftlichkeitsrechnung** verglichen. Berücksichtigt werden jeweils der Wasserstofftransport per Trailer gasförmig und per Trailer flüssig, sowie der Transport per Pipeline. Zur besseren Vergleichbarkeit der Anwendungsfälle werden grundlegende Variablen festgelegt. So wird für die Pipeline der Werkstoff

Stahl (X52NE) und ein Betriebsdruck von 30 bar angenommen. Im Falle der Trailer wird jeweils der für die Transportmenge günstigste Trailer zwischen 400 und 1.000 kg Transportkapazität ausgewählt. Die Kosten hierfür basieren auf aktuellen Angeboten.

Betrachtet werden folgende drei Transportdistanzen

- » 22,5 km: Brainergy Park nach Düren  
Verbindung der Erzeugung mit dem Sektor Verkehr
- » 28 km: Brainergy Park nach Nörvenich  
Verbindung der Erzeugung mit dem Sektor Wärme
- » 35 km: Brainergy Park nach Kreuzau  
Verbindung der Erzeugung mit dem Sektor Industrie

Die resultierenden Transportkosten der drei Fallbeispiele werden in Abbildung 37 in Abhängigkeit vom Durchsatz dargestellt. Zu erkennen ist jeweils der typische Verlauf der Pipeline-Transportkosten (blau): Diese sind bei geringem Durchsatz hoch, sinken rapide mit steigendem Durchsatz und flachen bei hohen Durchsätzen ab. Die Kosten des Trailertransports (gasförmig: grün, flüssig: orange) sind bei geringen Transportmengen ebenfalls leicht höher, stagnieren jedoch ab einem Durchsatz von über 5 t/a. Die Fallbeispiele sind von links nach rechts mit aufsteigender Transportdistanz dargestellt. Die gestrichelte Linie markiert den zu erwartenden Wasserstoffdurchsatz für den jeweiligen Anwendungsfall.

Die Betrachtung der Fallbeispiele mit den erwarteten Transportmengen nach Kapitel 3.2 ergibt folgende Ergebnisse:

- » Brainergy Park nach Düren (Verkehrssektor): Bei einer Transportdistanz von 22,5 km und einem zu erwartenden Durchsatz von ca. 2 t/d fallen für den Transport per Trailer gasförmig ca. 0,75 €/kg, für den Transport per Pipeline ca. 1,53 €/kg und für den Transport per Trailer flüssig ca. 1,75 €/kg an.
- » Brainergy Park nach Nörvenich (Wärmesektor): Bei einer Transportdistanz von 28 km und einem zu erwartenden Durchsatz von weniger als 1 t/d fallen für den Transport per Trailer gasförmig ca. 0,84 €/kg, für den Transport per Pipeline ca. 4,00 €/kg und für den Transport per Trailer flüssig ca. 2,00 €/kg an.
- » Brainergy Park nach Kreuzau (Industriesektor): Bei einer Transportdistanz von 35 km und einem zu erwartenden Durchsatz von ca. 11 t/d ist die Pipeline die günstigste Transportvariante mit ca. 0,55 €/kg. Der Transport von gasförmigem Wasserstoff per Trailer liegt bei ca. 0,74 €/kg und der Flüssigwasserstofftransport bei ca. 1,60 €/kg.

Die jeweiligen Break-even-Punkte der Kosten der Pipeline gegenüber dem gasförmigen Trailertransport liegen in den Fallbeispielen bei 5 t/d (Brainergy Park nach Düren), 7 t/d (Brainergy Park nach Nörvenich) und 8 t/d (Brainergy Park nach Kreuzau).

# Transportkosten je nach Distanz

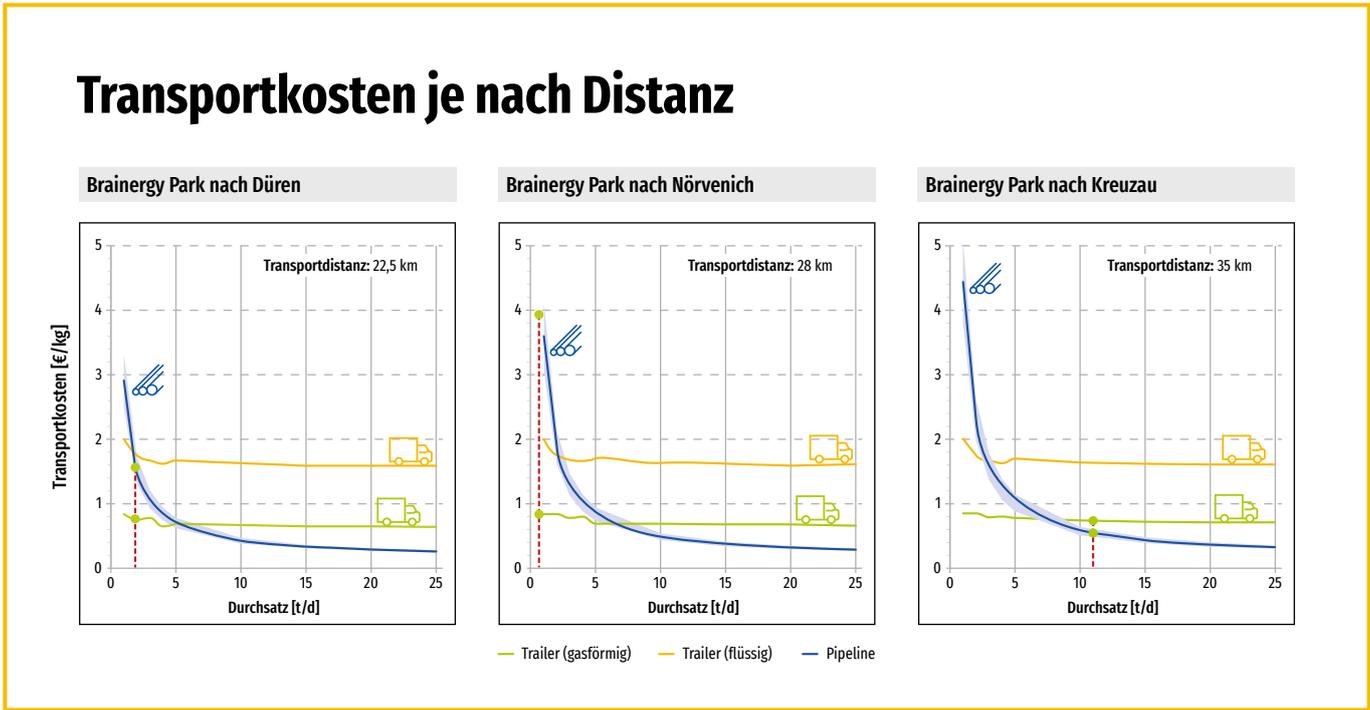


Abbildung 36: Transportkosten der Fallbeispiele in Abhängigkeit der Transportdistanz und des Wasserstoffdurchsatzes pro Tag

Transportweg	Transportdistanz	Break-even-Punkt	Break-even-Kosten
Brainergy Park nach Düren	22,5 km	5 t/d	0,69 €/kg
Brainergy Park nach Nörvenich	28 km	7 t/d	0,70 €/kg
Brainergy Park nach Kreuzau	35 km	8 t/d	0,75 €/kg

Tabelle 3: Break-even von Trailer- und Pipeline-Kosten für die drei Fallbeispiele

## Bereitstellung

Je nach Endanwender fallen verschiedene Kosten bei der Bereitstellung von Wasserstoff an. Die Bereitstellung für den Verkehr über Tankstellen hat einen Anteil von etwa 10-30 % am Wasserstoffpreis. Dieser Anteil hängt stark von der Dimensionierung und Auslastung der Tankstelle ab (vgl. Kapitel 3.3.5). Die Kostenbestandteile für Tankstellen setzen sich aus Investitionskosten für den Bau und die Komponenten (Kompressor, Speicher, Kühleinheit, Dispenser und Messgeräte) sowie Betriebskosten für den Strom der Kompressoren und der Kühlung zusammen. Optimalerweise wird eine Tankstelle so geplant, dass innerhalb weniger Jahre eine Auslastung von über 75 % erreicht wird. Dies lässt sich auch durch einen modularen Aufbau der Tankstelle erreichen.

## Vermarktung

Für die Vermarktung von Wasserstoff entstehen weitere Kosten. Neben den Positionen für Handel und Vertrieb kalkuliert ein Anbieter üblicherweise noch eine Handelsspanne bzw. Gewinnmarge ein, welche die Gewinnabsicht des Unternehmens abdeckt. Die Handels- und Vertriebskosten sowie eine Gewinnmarge haben wir in den jeweiligen Preisbestandteilen Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung bereits mit einkalkuliert.

## Abgaben und Steuern

Auf den Wasserstoff wird analog zu anderen Energieträgern die Umsatzsteuer in Höhe von derzeit 19 % fällig. Eine Energiebesteuerung wie bei Heizöl, Benzin, Diesel oder auch Strom wird bisher nicht erhoben. Kurzfristig ist anzunehmen, dass dies so bleibt, um Wasserstofftechnologien finanziell attraktiver zu gestalten und den Marktdurchbruch zu ermöglichen. Langfristig ist – nach weitestgehender Substitution der fossilen Energieträger – eine

Besteuerung absehbar, da die heutige Energiesteuer für jährliche Einnahmen im Bundeshaushalt in Höhe von ca. 40 Milliarden sorgt <sup>[79]</sup>. In dieser Studie gehen wir von einer Befreiung von Abgaben und Steuern aus.

### Globaler Markt

Neben regionalen Einflussgrößen auf den Wasserstoffpreis wird sich bei einem weltweit wachsenden Wasserstoffmarkt der globale Einfluss der Marktwirtschaft bemerkbar machen. Hier ergeben sich Chancen und Herausforderungen für den lokalen Wasserstoffmarkt, da der regional erzeugte Wasserstoff dann im Wettbewerb mit den Wasserstoffimporten steht. Langfristig sehen wir im Kreis Düren einen Mix aus lokal erzeugtem und importiertem Wasserstoff. In der Literatur werden die Importkosten von grünem Wasserstoff im Jahr 2030 mit etwa 3 €/kg beziffert <sup>[80]</sup>. Darunter wird allgemein der Preis „am Hafen“ verstanden, je nach Ort der Nutzung sind die zusätzlichen Distributionskosten zu berücksichtigen. Für einen Transport von der Küste in den Kreis Düren per Trailer sind etwa 2 bis 3 €/kg zu kalkulieren. Eine gut ausgelastete Pipeline könnte die Transportkosten auf etwa 1 bis 2 €/kg senken.

Welche Wasserstoffquelle für Nutzer im Kreis Düren letztendlich günstiger ist, hängt nicht zuletzt von den energiefiskalischen Rahmenbedingungen ab, zu denen Wasserstoff lokal erzeugt werden kann.

## 4.2.2 Eneriefiskalische Stellschrauben

### Hinweis

Der folgende Text stellt keine Rechtsberatung dar, sondern spiegelt unsere Interpretation der aktuellen Gesetzeslage wider. Es soll ein Überblick über die gegebenen gesetzlichen Rahmenbedingungen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung gegeben werden. Entlastungsansprüche sind in jedem Fall einer juristischen Einzelfallprüfung zu unterziehen.

Wie in Kapitel 4.2.1 beschrieben, hängen die Wasserstoffherstellungskosten maßgeblich von den Strombezugskosten und respektive von den energiefiskalischen Strompreisbestandteilen ab. Abbildung 38 zeigt, dass bei Elektrolyse mit Strombezug zum **Industriestrompreis** (2020: 16,54 ct/kWh <sup>[81]</sup>) die energiefiskalischen Strompreisbestandteile etwa 57 % der Wasserstoffgestehungskosten ausmachen. Hierbei wurden die Parameter aus dem Anhang angenommen, die unter anderem eine 50 %ige Förderung der Investitionsausgaben vorsieht.

Die energiefiskalischen Strompreisbestandteile unterliegen nicht der marktwirtschaftlichen Preisbildung, sondern werden durch den Gesetzgeber reguliert. Sie umfassen die EEG-Umlage, die Stromsteuer, die Netzentgelte und die netzentgeltgekoppelten Abgaben (Konzessionsabgabe, KWKG-Umlage, Umlage für abschaltbare Lasten, Offshore-Netzumlage und § 19 StromNEV-Umlage).

### Entlastungsmöglichkeiten

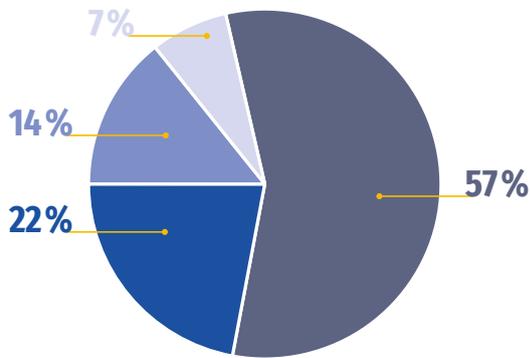
Für die Nutzung von Strom zur Wasserstoffherzeugung sind vom Gesetzgeber – insbesondere durch die Neuregelung im EEG 2021 – Entlastungsmöglichkeiten vorgesehen. Die Entlastungsmöglichkeiten (Stellschrauben) werden im Folgenden beschrieben. Abbildung 39 zeigt deren Einfluss auf den Wasserstoffpreis.

- » **Ohne Entlastung:** Ohne Entlastungen bei den fiskalischen Bestandteilen liegen die Wasserstoffgestehungskosten im Beispiel bei 10,78 €/kg.
- » **Entlastung 1:** Die **EEG-Umlage** ist der größte Kostentreiber der fiskalischen Bestandteile und erhöht die Gestehungskosten um mehr als 3 €/kg. Entlastungen waren in der Vergangenheit durch eine Befreiung bei der autarken Eigenversorgung (§ 61a Nr. 2 und Nr. 3 EEG <sup>[82]</sup>) und durch eine Reduzierung auf 40 % bei Eigenverbrauch aus erneuerbaren Energien (§ 61b Abs. 1 EEG) möglich. Mit der EEG-Novelle „EEG 2021“, die zu Beginn des Jahres in Kraft trat, wurden zwei neue Entlastungsmöglichkeiten geschaffen, die auch bei Netzbezug in Anspruch genommen werden können. Mit **§ 64a EEG** wurde die **Besondere Ausgleichsregelung für stromkostenintensive Unternehmen**<sup>1</sup> erweitert. Diese Regelung ist explizit auf Unternehmen anzuwenden, die Wasserstoff elektrochemisch herstellen und bei denen die Stromkosten für die Wasserstoffproduktion den größten Anteil an der Bruttowertschöpfung einnehmen. Die EEG-Umlage reduziert sich dabei für den gesamten Stromverbrauch der Abnahmestelle auf 15 %, ab einer Stromkostenintensität von 20 % ist darüber hinaus eine individuelle EEG-Umlage möglich. Für den Anspruch auf die Privilegierung im Rahmen dieses Paragraphen ist es nach aktueller Rechtslage unerheblich, ob der Wasserstoff mit Strom aus erneuerbaren (grüner Wasserstoff) oder aus fossilen Energieträgern (grauer Wasserstoff) hergestellt wird. Die zweite Entlastungsmöglichkeit schafft der **§ 69b EEG**, mit dem der Strom zur **Herstellung von grünem Wasserstoff** von der EEG-Umlage vollständig befreit wird. Der Anspruch soll sowohl bei Eigenversorgung als auch bei Netzbezug gelten. Derzeit ist der Umfang dieses Paragraphen noch ungewiss, da er offiziell erst mit Verabschiedung einer Verordnung nach § 93 EEG in Kraft tritt, in der die Anforderungen an grünen Wasserstoff definiert werden. Die Verordnung wird für Sommer 2021 erwartet.

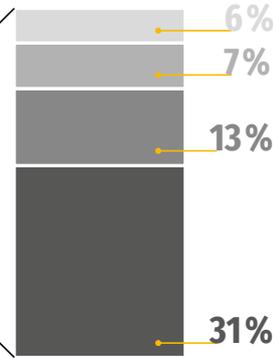
<sup>1</sup> Das Unternehmen muss der Branche „Herstellung von Industriegasen“ (Laufende Nummer 78 aus Anlage 4) zuzuordnen sein. Nach § 64a Abs. 5 und 6 kann die Regelung auch auf selbstständige und nichtselbstständige Unternehmensteile ausgeweitet werden, wobei keine Zuordnung einer Branche nach Anlage 4 notwendig ist. Der Anspruch ist juristisch zu prüfen.

# Wasserstofferzeugung und Strompreisbestandteile

Anteile an Wasserstoffgestehungskosten



Aufschlüsselung fiskalische Bestandteile



- Fiskalische Strompreisbestandteile
- Strombeschaffung & Vertrieb
- Investitionskosten Elektrolyseur\*
- Instandhaltungskosten Elektrolyseur
- Netzentgeltgekoppelte Abgaben
- Stromsteuer
- Netzentgelte
- EEG-Umlage

Abbildung 37: Aufschlüsselung der Kostenbestandteile bei der Wasserstofferzeugung am Beispiel von Industriestrompreisen ohne Entlastung. \*inklusive 50 % Investitionsförderung

# Entlastungsmöglichkeiten

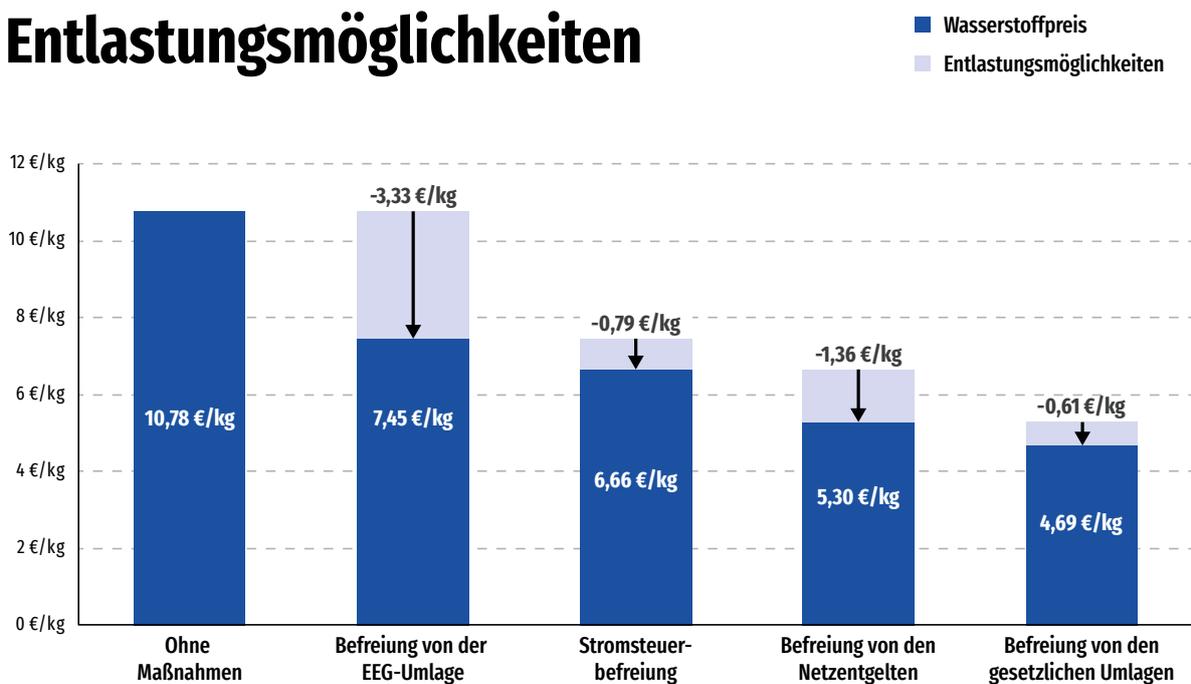


Abbildung 38: Auswirkungen von Entlastungen der energiefiskalischen Strompreisbestandteile auf die Wasserstofferzeugungskosten, ausgehend vom Industriestrompreis (2020: 16,54 ct/kWh <sup>[81]</sup>)

- » **Entlastung 2:** Eine Entlastung bei der **Stromsteuer** senkt die Wasserstoffgestehungskosten im Beispiel um 0,79 €/kg. Die Stromsteuer kann nach § 9a Abs. 1 Nr. 1 StromStG <sup>[83]</sup> erlassen, erstattet oder vergütet werden, wenn Strom zur Elektrolyse in einem Unternehmen des „Produzierenden Gewerbes“ verbraucht wird. Strom zur Eigenversorgung ist gemäß § 9 Absatz 1 Nr. 1 (Anlagen mit mehr als 2 MW) oder Nr. 3 (Anlagen bis 2 MW) StromStG von der Stromsteuer befreit.
- » **Entlastung 3:** Mit einer Befreiung von den **Netznutzungsentgelten** können die Wasserstoffgestehungskosten um weitere 1,36 €/kg gesenkt werden. Nach § 118 Abs. 6 EnWG <sup>[84]</sup> sind Anlagen, in denen Wasserstoff über die Wasserelektrolyse hergestellt wird, von den Netznutzungsentgelten befreit. Die Befreiung ist auf 20 Jahre ab Inbetriebnahme beschränkt und gilt für Anlagen, die nach dem 31.12.2008 errichtet und nach dem 04.08.2011 in Betrieb genommen wurden. Bei Eigenversorgung fallen keine Netznutzungsentgelte an, da der Strom nicht durch das Versorgungsnetz geleitet wird.
- » **Entlastung 4:** Die **netzentgeltgekoppelten Abgaben** tragen 0,61 €/kg zu den Erzeugungskosten bei. Sie werden zwar in der Regel als Aufschlag zu den Netzentgelten abgerechnet und entfallen ebenfalls bei Eigenversorgung, die Befreiung nach § 118 Abs. 6 ist allerdings nicht auf sie auszuweiten <sup>[85]</sup>. Bei Privilegierung des Stromverbrauchs nach § 64a oder § 69b EEG ist eine Reduzierung der bzw. Befreiung von der Offshore-Haftungsumlage und der KWKG-Umlage auf Grundlage des § 27 Abs. 1 Nr. 2 KWKG <sup>[86]</sup> und § 27d KWKG möglich. Bei § 27 Abs. 1 Nr. 2 gilt dies allerdings erst auf den Stromverbrauch über einer Gigawattstunde. Die § 19 StromNEV-Umlage wird auch auf den Stromverbrauch über einer Gigawattstunde auf 0,05 Cent/kWh (0,025 Cent/kWh in Unternehmen des produzierenden Gewerbes mit einer Stromkostenintensität von 4 %) nach § 19 Abs. 2 Satz 15 StromNEV <sup>[87]</sup> begrenzt.

### Anwendbarkeit der Entlastungen in Abhängigkeit von der Stromversorgung des Elektrolyseurs

Im Folgenden soll aufgezeigt werden, welche Entlastungen je nach Stromversorgungskonzept angewandt werden können. Dafür werden vier Konzepte betrachtet:

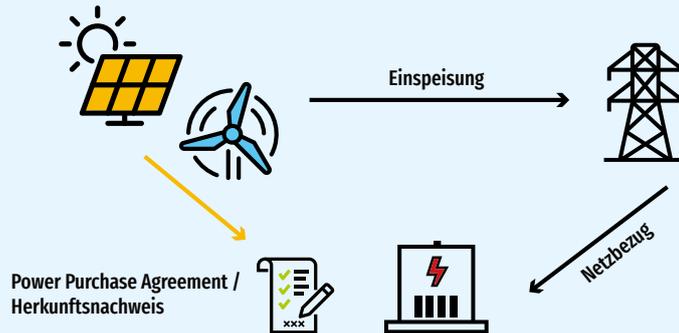
- » **Versorgungskonzept 1:**  
Strombezug aus dem Versorgungsnetz (Strommix)  
Der Strom zum Betrieb des Elektrolyseurs wird vollständig aus dem Versorgungsnetz bezogen. Die Stromlieferung wird z.B. an Strombörse gehandelt. Der erzeugte Wasserstoff ist durch den deutschen Strommix erst einmal nicht CO<sub>2</sub>-neutral, kann aber über Grünstromzertifikate bilanziell als CO<sub>2</sub>-neutral aufgewertet werden.
- » **Versorgungskonzept 2:**  
Strombezug aus dem Versorgungsnetz mit PPA / Herkunftsnachweis  
Der Strom zum Betrieb des Elektrolyseurs wird aus dem Netz bezogen. Die Stromlieferung wird über Stromdirektlieferverträge (PPAs) mit Betreibern von Wind- oder Solarparks gehandelt. Aufgrund der Herkunft aus erneuerbaren Erzeugern wird der Strom als Grünstrom bewertet.
- » **Versorgungskonzept 3:**  
Eigenversorgung mit EE-Anlagen mit optionalem Bezug aus dem Versorgungsnetz  
Der Elektrolyseur wird direkt mit Strom aus EE-Anlagen gespeist, der Überschussstrom kann entweder in anderen Anwendungen genutzt oder ins Netz eingespeist werden. Wie bei allen Eigenverbrauchskonzepten ist ein „unmittelbarer räumlicher Zusammenhang“ (§ 3 Nr. 19 EEG) der Anlagen notwendig (z.B. gleiches Betriebsgelände) und sie müssen von der gleichen Person betrieben werden. Zusätzlich zur Eigenerzeugung kann Strom aus dem Netz bezogen werden.
- » **Versorgungskonzept 4:**  
Autarke Eigenversorgung mit PV- oder Windenergieanlagen  
Die autarke Eigenversorgung ist eine Sonderform der Eigenversorgung, bei der der gesamte Bedarf durch eigene erneuerbare Erzeugungsanlagen gedeckt wird. Der Elektrolyseur darf über keinen Netzanschluss verfügen, damit ist ein Strombezug aus dem Versorgungsnetz ausgeschlossen. Die Stromerzeugungsanlage verfügt über einen Netzanschluss, über den allerdings ausschließlich Überschussstrom (= Strom, der nicht zeitgleich genutzt werden kann) eingespeist wird <sup>[88]</sup>.

Zur Beurteilung der Entlastungsmöglichkeiten der fiskalischen Strompreisbestandteile ist zwischen Eigenversorgung und Stromnetzbezug zu unterscheiden. Die Eigenversorgung ist grundsätzlich von den Netzentgelten und netzentgeltgekoppelten Abgaben befreit. Sowohl die Eigenversorgung als auch der Stromnetzbezug können je nach Unternehmen und Anwendungsfall von der Stromsteuer befreit werden. Tabelle 4 zeigt die möglichen Entlastungen für die verschiedenen Versorgungskonzepte. Bei den beschriebenen Entlastungsmodellen ist immer eine Einzelfallprüfung notwendig, um den Anspruch abzuklären und begründet geltend zu machen.

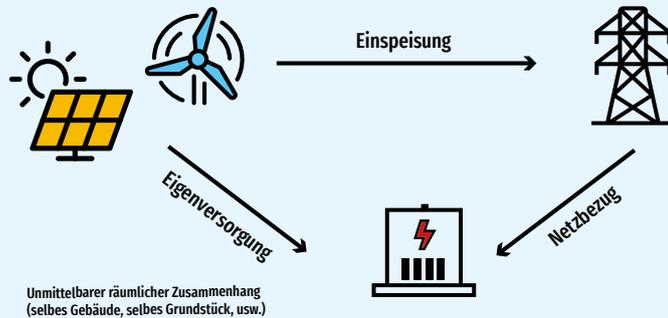
**1 Strombezug aus dem Versorgungsnetz**



**2 Strombezug aus dem Versorgungsnetz mit PPAs**



**3 Eigenversorgung aus PV- oder Windenergieanlagen mit zusätzlichem Bezug aus dem Versorgungsnetz**



**4 Eigenversorgung mit PV- oder Windenergieanlagen**

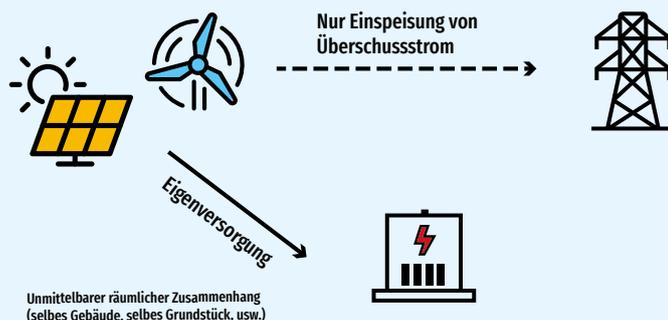


Abbildung 39: Stromversorgungskonzepte des Elektrolyseurs

Tabelle 4: Übersicht über Entlastungsmöglichkeiten anhand der verschiedenen Versorgungskonzepte

Versorgungskonzept	Mögliche Entlastungen ggü. Industriestrompreis	Entlastung
<b>Versorgungskonzept 1 –</b> Strombezug aus dem Versorgungsnetz (Strommix)	<p><b>Bisher:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stromsteuerrückerstattung nach § 9a Abs. 1 Nr. 1 StromStG</li> <li>• Befreiung von den Netzentgelten nach § 118 Absatz 6 EnWG</li> <li>• Reduzierung der § 19 StromNEV-Umlage nach § 9 Abs. 2 Satz 15 StromNEV</li> </ul> <p><b>+ Neu durch das EEG 2021:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzierung der EEG-Umlage auf 15 % nach § 64a EEG</li> <li>• Reduzierung der KWKG- und der Offshore-Netzumlage nach § 27 Abs. 1 Nr. 2 KWKG auf den Stromverbrauch über einer Gigawattstunde</li> </ul>	<p><b>Bisher:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• -0,79 €/kg durch § 9a StromStG</li> <li>• -1,36 €/kg durch § 118 EnWG</li> <li>• -0,19 €/kg durch § 19 StromNEV</li> </ul> <p><b>+ Neu durch das EEG 2021:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• -3,10 €/kg durch § 64a EEG und § 27 KWKG</li> </ul>
<b>Versorgungskonzept 2 –</b> Strombezug aus dem Versorgungsnetz (über PPAs oder Herkunftsnachweise)	<p><b>Bisher:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stromsteuerrückerstattung nach § 9a Abs. 1 Nr. 1 StromStG</li> <li>• Befreiung von den Netzentgelten nach § 118 Absatz 6 EnWG</li> <li>• Reduzierung der § 19 StromNEV-Umlage nach § 19 Abs. 2 Satz 15 StromNEV</li> </ul> <p><b>+ Neu durch das EEG 2021:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Befreiung von der EEG-Umlage nach § 69b</li> <li>• Befreiung von der KWKG- und der Offshore-Netzumlage nach § 27d KWKG</li> </ul>	<p><b>Bisher:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• -0,79 €/kg durch § 9a StromStG</li> <li>• -1,36 €/kg durch § 118 EnWG</li> <li>• -0,19 €/kg durch § 19 StromNEV</li> </ul> <p><b>+ Neu durch das EEG 2021:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• -3,33 €/kg durch § 69b</li> <li>• -0,33 €/kg durch § 27d</li> </ul>
<b>Versorgungskonzept 3 –</b> Eigenversorgung EE-Anlagen mit optionalem Bezug aus dem Versorgungsnetz Regelungen gelten für den Eigenverbrauch, für den zusätzlichen Bezug aus dem Netz sind die Entlastungen nach Versorgungskonzept 1 und 2 zu beachten!	<p><b>Bisher:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stromsteuerbefreiung nach § 9 Abs. 1 Nr. 1 oder Nr. 3 StromStG</li> <li>• Vermeiden der Netzentgelte und der netzentgeltgekoppelten Abgaben durch Eigenversorgung</li> <li>• Reduzierung der EEG-Umlage auf 40 % nach § 61b Abs. 1 EEG</li> </ul> <p><b>+ Neu durch das EEG 2021:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Befreiung von der EEG-Umlage nach § 69b</li> </ul>	<p><b>Bisher:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• -0,79 €/kg durch § 9a StromStG</li> <li>• -1,97 €/kg Vermeiden der Netzdurchleitung</li> <li>• -2,00 €/kg durch § 61b EEG</li> </ul> <p><b>+ Neu durch das EEG 2021:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• -3,33 €/kg durch § 69b EEG</li> </ul>
<b>Versorgungskonzept 4 –</b> autarke Eigenversorgung mit EE-Anlagen	<p><b>Bisher:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stromsteuerbefreiung nach § 9 Abs. 1 Nr. 1 oder Nr. 3 StromStG</li> <li>• Vermeiden der Netzentgelte und der netzentgeltgekoppelten Abgaben durch Eigenversorgung</li> <li>• Befreiung von der EEG-Umlage nach § 61a Nr. 2 und Nr. 3 EEG</li> </ul> <p><b>+ Neu durch das EEG 2021:</b></p> <p>Die Regelungen im EEG 2021 haben keinen Auswirkungen auf die autarke Eigenversorgung mit Strom, da sie bereits vorher von den fiskalischen Bestandteilen befreit war.</p>	<p><b>Bisher:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• -0,79 €/kg durch § 9a StromStG</li> <li>• -1,97 €/kg Vermeiden der Netzdurchleitung</li> <li>• -3,33 €/kg durch § 61a EEG</li> </ul> <p><b>+ Neu durch das EEG 2021:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• -</li> </ul>

**Einordnung**

Je nach Versorgungskonzept können die Wasserstoffgestehungskosten durch die Entlastungen um bis zu 6,09 €/kg gegenüber der Erzeugung zum Industriestrompreis reduziert werden. Insbesondere das neue EEG 2021 ermöglicht eine deutlich günstigere Wasserstoffproduktion per Elektrolyse. Die möglichen Entlastungen sind bei der Planung von Elektrolyseanlagen und deren Stromversorgungskonzepten zu berücksichtigen. Erst dadurch sind Zielkosten für die Wasserstoffherzeugung von 4,50 – 5,50 €/kg erreichbar.

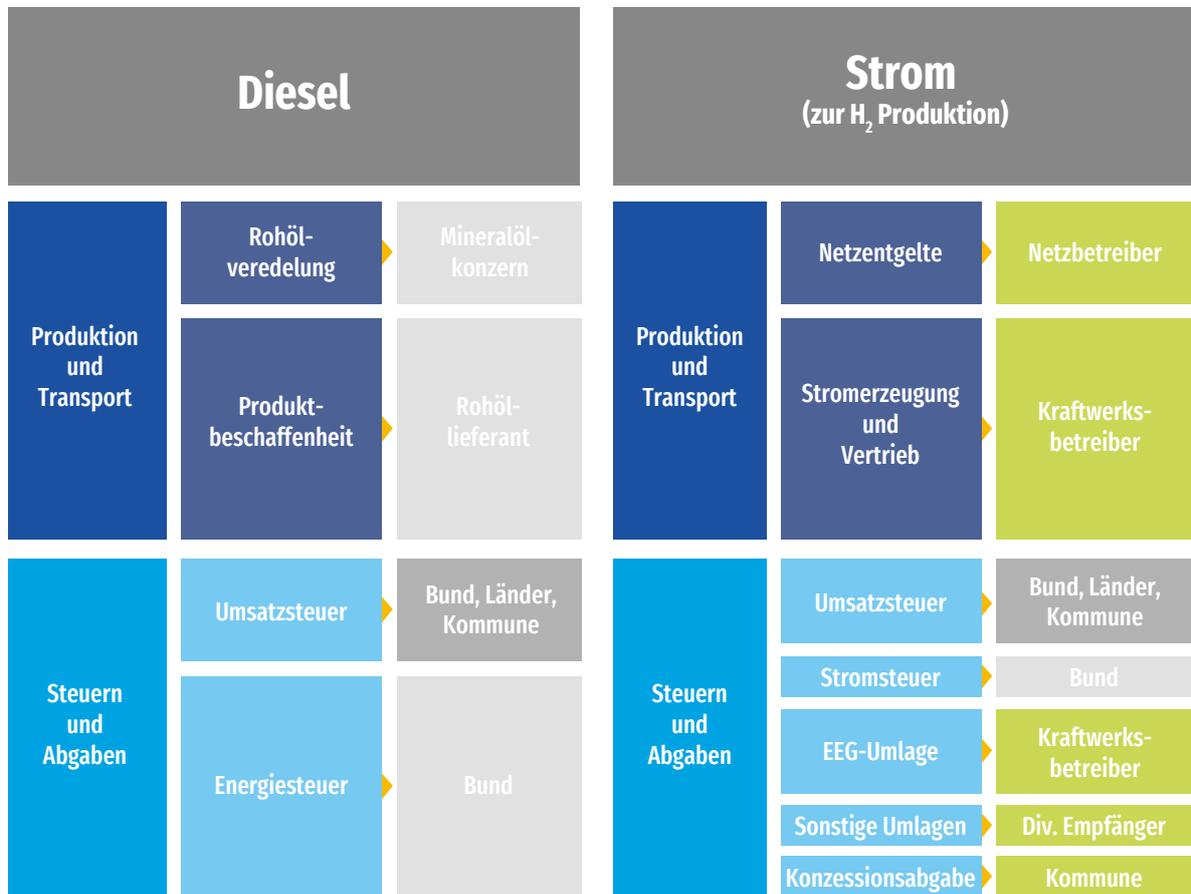
**4.3 Wertschöpfungseffekte**

Für Regionen lohnt sich bei der Bewertung des Aufbaus einer lokalen Wasserstoffinfrastruktur nicht nur ein Blick auf die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Anwendungen, sondern auch auf die Wertschöpfungseffekte in der Region. Wertschöpfung kann entlang der gesamten Kette aus Erzeugung, Verteilung und Nutzung entstehen. Zudem schaffen Komponentenhersteller, Systeminte-

gratoren oder Dienstleister, die Standorte in der Region haben, weitere Wertschöpfung und Arbeitsplätze. Das größte Wertschöpfungspotenzial in der Wasserstoffherstellung bietet die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. In Abbildung 41 wird die lokale Wertschöpfung am Beispiel Elektrolyse mit lokalem Netzstrom im Vergleich zum Import von Dieseldieselkraftstoff veranschaulicht. Bei der Nutzung von Diesel oder anderen fossilen Kraftstoffen fließt praktisch die gesamte Wertschöpfung aus der Region ab. Bei der Nutzung von Wasserstoff, der aus lokaler erneuerbarer Energie erzeugt wird, verbleibt ein großer Anteil der Wertschöpfung bei den Akteuren in der Region. Alle grün markierten Felder sind regionale Akteure, die direkt oder indirekt von der Wasserstoffherzeugung profitieren können. Im Best Case fließen über 50 % der Kraftstoffausgaben für Wasserstoff an regionale Akteure.

Abbildung 40: Lokale Wertschöpfung der Wasserstoffproduktion im Vergleich zum Diesel-Import.

# Lokale Wertschöpfung durch Wasserstoff



## Mögliche Arbeitsplatzeffekte im Kreis Düren

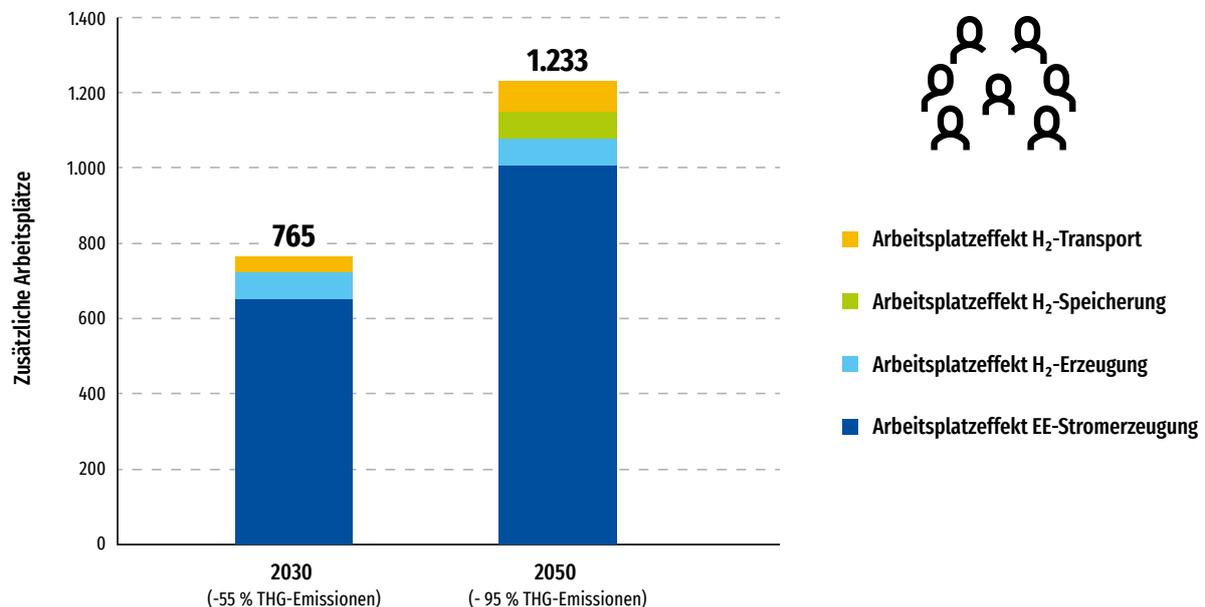


Abbildung 41: Mögliche Arbeitsplatzeffekte durch eine lokale Wasserstoffwirtschaft im Kreis Düren. Arbeitsplatzeffekte aus der Wasserstoffstudie NRW<sup>[42]</sup>, regionalisiert über die Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im produzierenden Gewerbe in NRW<sup>[89]</sup> und dem Kreis Düren<sup>[90]</sup>.

In der „Wasserstoffstudie NRW“<sup>[42]</sup> wurde für das Bundesland Nordrhein-Westfalen berechnet, wie viele Arbeitsplätze durch die lokale Wasserstoffherstellung und -verteilung entstehen können. Diese Werte wurden im Folgenden für die Region Düren umgerechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 42 dargestellt. Im Anhang sind die Annahmen aufgeführt, die zur Berechnung in der Studie getroffen wurden.

Entlang der gesamten Wertschöpfungskette können bis 2030 etwa 800 und bis 2050 über 1.200 neue Arbeitsplätze in der Region Düren entstehen. Die größten Arbeitsplatzeffekte nimmt die EE-Stromerzeugung ein, da in der Studie angenommen wurde, dass die Elektrolyseure ausschließlich mit erneuerbarem Strom aus regionalen PV- und Windkraftanlagen gespeist werden. Dabei wird sowohl bei der Anlagenplanung und -errichtung als auch für den Betrieb Personal benötigt.

Weitere Arbeitsplatzeffekte entstehen direkt durch die Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Wasserstoff. Hier ist ein Lerneffekt zu berücksichtigen – bis ins Jahr 2050 wird die Erfahrung im Umgang mit Wasserstoffanlagen wachsen, wodurch der Betrieb pro Anlage weniger Arbeitsplätze erforderlich macht. Die technologische Entwicklung der EE-Anlagen ist hingegen bereits so weit fortgeschritten, dass mit starken Lerneffekten nicht mehr zu rechnen ist.

### 4.4 Akzeptanz von Wasserstoff

Insgesamt hat Wasserstoff eine breite gesellschaftliche Akzeptanz, insbesondere wenn es sich um den sogenannten „grünen Wasserstoff“ handelt und damit direkte CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale vorhanden sind. Diese Akzeptanz beschränkt sich jedoch bisher hauptsächlich auf die Einstellungsakzeptanz. Diese beschreibt die Grundeinstellung. Erst durch die Handlungsakzeptanz wird eine handlungsleitende Haltung sichergestellt. Dies wird an folgendem Beispiel deutlich: während ein Brennstoffzellen PKW sehr positiv gesehen wird, werden aktuelle noch vorhandene Mehrkosten nicht getragen. Somit stehen der Handlungsakzeptanz insbesondere monetäre Gesichtspunkte aktuell entgegen.<sup>[17]</sup>

Eine breite Auswertung von 20 nationalen und internationalen Akzeptanzstudien unterstützt dieses Ergebnis. Wasserstoff wird dabei insbesondere bzgl. dreier Argumente positiv gesehen: der Umweltfreundlichkeit, der Speicherung von Überschussstrom und den vielfältigen Anwendungen. Da das häufigste Argument in den Studien die Umweltfreundlichkeit ist, sollte daher auch kurz- bis mittelfristig auf grünen Wasserstoff zurückgegriffen werden. Diesem Bedürfnis tragen wir im Kreis Düren bereits Rechnung, indem wir sicherstellen, dass die bisherige Wasserstoffproduktion nur grünen Wasserstoff erzeugt (siehe Kapitel 3.1). Neben den genannten positiven Argumenten werden die jeweiligen Wasserstofftechnologien insgesamt unkritisch gesehen. Dies liegt daran, dass Elektrolyseure und der Wasserstofftransport

über LKW entweder nicht sichtbar oder bereits im bisherigen Straßenbild bekannt sind. Auch wenn die bisherigen Ergebnisse keine Akzeptanzprobleme gefunden haben, sollte insbesondere der Wasserstofftransport über LKW nicht ausgereizt werden. Eine hohe Anzahl von LKWs für den Wasserstofftransport kann zum einen das Straßenbild und die individuelle Wahrnehmung vor Ort negativ beeinflussen und zum anderen die Problematik der lokalen Emissionen übergangsweise verschlechtern. Daher sollten bereits frühzeitig Pipelineoptionen für die Wasserstoffstrategie berücksichtigt werden. <sup>[17]</sup>

Auch bei den bisher genutzten 4.500 km Wasserstoffpipelines weltweit sind keine Akzeptanzprobleme bekannt. Neben dem Neubau von Wasserstoffpipelines kann hier aber insbesondere auch die Umstellung von Erdgas- in Wasserstoffpipelines zu einer Akzeptanzsteigerung führen. Bei Wasserstofftankstellen ergibt sich ein differenzierteres Bild. Einige Studien zeigen, dass die Akzeptanz geringer als die von Wasserstoff-PKW ist. Dabei ist uns von den bisher gebauten Wasserstofftankstellen in Deutschland nur ein leicht zu behandelndes Akzeptanzproblem bekannt. <sup>[17]</sup>

Generell gilt, dass wir bei allen Aktivitäten bei uns im Kreis Düren alle Akteure mitnehmen wollen. Daher ist der erste Schlüssel zur Akzeptanz auf Ihre Fragen einzugehen und zweitens Sie mit allen benötigten Informationen zu versorgen. Wir haben dazu neben den bereits bestehenden Kommunikationskanälen zwei weitere Anlaufstellen bei uns im Kreis Düren implementiert (siehe Kapitel 5.4.2).

## Wasserstoff als Job-Motor

Der Einsatz von Wasserstoff im Kreis Düren eröffnet in vielen Bereichen neue Perspektiven. Hier sind wir in einen europaweiten Prozess eingebunden, der es ermöglicht, durch gute Zusammenarbeit die Entwicklung dieser Technologie weiter voranzutreiben.

Wasserstoff bietet uns aber auch die Möglichkeit, neue Wertschöpfungsketten im Kreis zu etablieren. Damit können im Zuge des Strukturwandels neue Arbeitsplätze in diesem Zukunftsfeld entstehen.

Bereits jetzt zeigt sich eine breite Akzeptanz und Interesse in der Bevölkerung am Einsatz von Wasserstoff. Der Ausbau der Infrastruktur und die weitere Etablierung dieser Technologie werden dazu beitragen, dass sich die Akzeptanz hin zu einer aktiven Teilnahme entwickelt.

# **UNSERE WASSER- STOFF- STRATEGIE**

# 5. Unsere Wasserstoffstrategie

Ausgehend von unserer Motivation (siehe Kapitel 1) und unseren Alleinstellungsmerkmalen (siehe Kapitel 2) haben wir Ihnen in Kapitel 3 erläutert wo wir gemeinsam hin gehen wollen. Die diesbezüglichen Herausforderungen und konkrete Umsetzungsoptionen haben wir Ihnen in Kapitel 4 vorgestellt. In diesem Kapitel werden wir Ihnen nun detailliert unsere Wasserstoffstrategie vorstellen.

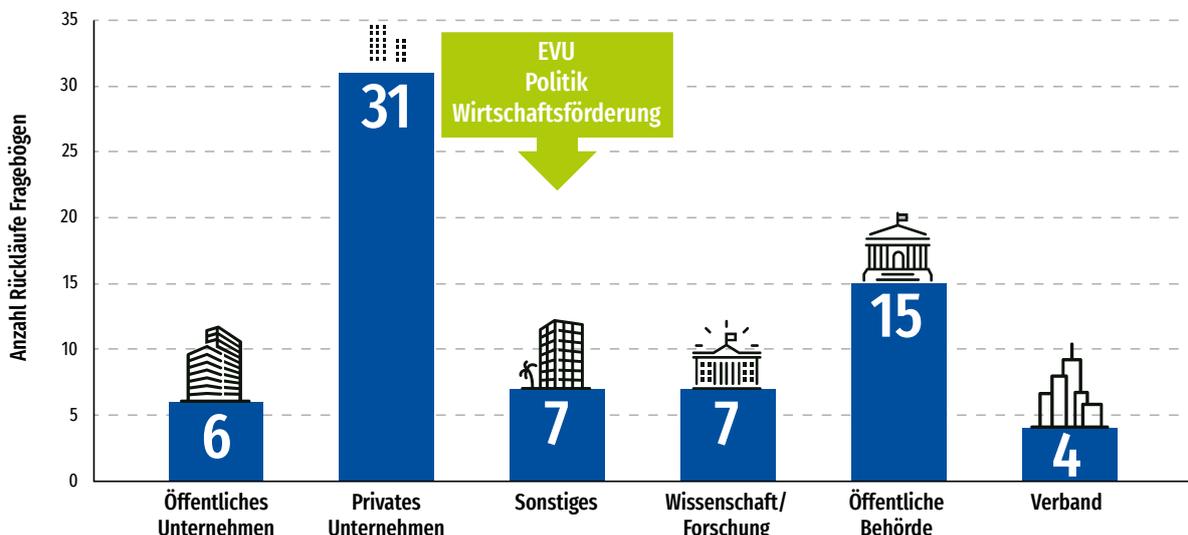
## 5.1 Wissensstand und Wünsche der Akteure

Wir im Kreis Düren haben eine Reihe von Akteuren, die sich aktiv in die Wasserstoffoffensive eingebracht haben oder weiterhin einbringen wollen. Zum Start des Roadmapping Prozesses haben wir dazu einen Fragebogen erstellt und diesen an ausgewählte Adressaten versendet. Dabei zeigte erstens die mit 70 beantworteten Fragebögen und zweitens die Vielzahl an Bereichen, aus denen uns Antworten (siehe Abbildung 43) erreichten, das breite Interesse an Wasserstoff bei uns im Kreis Düren.

In dieser Abfrage wurden über 40 konkrete Projekte genannt, welche entlang der gesamten Wasserstoffwertschöpfungskette einzuordnen sind. Dieses Startbild der Akteure und deren Projekte lieferte dabei auch die Grundlage zur Identifizierung ausgewählter Leuchtturmprojekte in Kapitel 5.5. Insgesamt benannten die Akteure eine hohe Dynamik im Bereich Wasserstoff. Rund 50 % der Befragten gaben auf die Frage: „Wie gut informiert sehen Sie sich rund um das Thema „Technik und Regelwerke“ von wasserstoffbezogenen Projekten?“ an, dass sie sich schlecht bzw. sehr schlecht informiert sehen. Weiterhin beantworteten 29 Akteure die Frage: „Würden Sie zum Erreichen Ihrer H<sub>2</sub>-Ziele bzw. zum Kennenlernen des Themas eine fachliche Unterstützung, Beratung oder Aufklärung wünschen?“ mit ja. Dies verdeutlicht nochmals die Notwendigkeit der bereits geplanten frühzeitigen Umsetzung der Roadmap im Bereich Mitnahme der Region (siehe Kapitel 5.4.2). Neben der individuellen Ausgangslage der befragten Akteure ist deren Erwartung an die Wasserstoffoffensive eines der zentralen Abfragekriterien in dem erstellten Fragebogen. Die individuellen Antworten wurden in drei Bereiche kategorisiert: „Wachstum & Wirtschaftlichkeit“, „Umwelt“ und „Unterstützung“. Die Kategorisierung verdeutlicht dabei den Fokus der Erwartungen der befragten Akteure. Beispielsweise wird die Erwartung

Abbildung 42: Rücklauf der Fragebögen nach Bereichen

## Beteiligung Fragebogen zur Wasserstoffoffensive Kreis Düren



„erfolgreiche Entwicklung des Nahverkehrs in der Region zu sichern, die Wirtschaftlichkeit des Nahverkehrs kontinuierlich zu verbessern“ in die Kategorie „Wachstum & Wirtschaftlichkeit“ eingeordnet. Mehrfachnennungen in mehreren Kategorisierungsdimensionen sind dabei möglich. In Summe wurde mit 40 Nennungen der Bedarf nach „Unterstützung“ am häufigsten genannt. Die Kategorisierung „Umwelt“ und „Wachstum & Wirtschaftlichkeit“ sind demgegenüber mit 11 und 12 Nennungen weniger oft gewählt worden. Neben diesen Anforderungen und Wünschen wurde die Wasserstoffoffensive in den individuellen Antworten neben der eigentlichen Kategorisierung häufig lobend erwähnt. Beispielsweise: „Begrüßung der Wasserstoffinitiative des Kreises Düren und die Erprobung von Wasserstofftechnologien im ÖSPV (Wasserstoff-Busse)“. Somit bleibt festzuhalten, dass sich die Akteure in einem Informationsdefizit befinden, aber die Treiber in Richtung einer Wasserstoffoffensive kennen und begrüßen. Wir hoffen mit dem hier erstellen Dokument der Wasserstoffoffensive das Informationsdefizit weiter reduziert zu haben.

## 5.2 Vorgehen unserer gemeinsamen Roadmap

Ein wesentliches Ziel unserer Wasserstoffoffensive ist es alle Akteure mitzunehmen. Daher haben wir bereits frühzeitig auf eine breite Kommunikation in Radio, Fernsehen und Zeitungsartikeln gesetzt sowie alle wichtigen Stationen im Bereich Wasserstoff (siehe Kapitel 2.2) auf der Homepage des Kreis Düren veröffentlicht. Daneben haben wir eine Reihe von Veranstaltungen organisiert und abgehalten, welche eine hohe Sichtbarkeit hatten. Aufgrund der Corona-Pandemie haben wir diese auch online zur Verfügung gestellt. Unsere Veranstaltung „Wir im Kreis Düren – mit Wasserstoff Richtung Zukunft“ die online komplett abrufbar ist, hat dabei alle wichtigen Akteure versammelt und bietet für die Bürgerinnen und Bürger einen guten Start um sich über Wasserstoff bei uns zu informieren <sup>[91]</sup>.

Daneben bietet die hier vorgestellte Wasserstoffoffensive einen detaillierten Überblick über unsere weiteren Pläne und unsere gemeinsame Roadmap. Eine Roadmap (auf Deutsch: Straßenkarte) ist ein seit Anfang der 2000er in Deutschland weit verbreiteter Anglizismus und meint eine Strategie und einen Projektplan. Die Roadmap stellt dabei ein Kommunikationsmedium dar. Das hier vorgestellte Roadmapping umfasst dabei alle Aktivitäten von der Erstellung bis hin zur Pflege der Roadmap. Die Roadmap ist somit kein abgeschlossener Prozess, sondern vielmehr ein sich laufend weiter entwickelnder Plan.

### Ausgangspunkt der Roadmap

Neben den Analysen aus den Kapiteln 2, 3 und 4 haben wir hierzu einen Fragebogen entwickelt und einer Vielzahl an Akteuren geschickt. Wie bereits in Kapitel 5.1 erwähnt, hat die hohe Anzahl von 70 Antworten uns weiter ermutigt den eingeschlagenen Weg voranzugehen. Ferner konnten wir hierdurch ein breites Interesse aus allen Bereichen ausmachen.

Neben diesen Aktivitäten, welche den Ausgangspunkt unserer Überlegungen darstellten, haben wir zwei Experten-Workshops zum Thema Wasserstoffnachfrage im Gebäude und Industrie-

bereich am 16. und 17.02 abgehalten sowie die Ergebnisse der Ausgangslage in einer fünfstündigen Zwischenpräsentation am 15.01.2021 vorgestellt. Hierdurch konnten wir bereits frühestmöglich Feedback einholen.

### Roadmapping

Die einzelnen Schritte des Roadmapping erfolgen in enger Anlehnung an Künzli (2015) <sup>[92]</sup>. Hier wird der gesamte Prozess in sieben Schritten untergliedert:

1. Grundlagen vereinbaren
2. Gerüst der Roadmap festlegen
3. Interne und externe Entwicklungen vorhersagen und aufeinander beziehen
4. Ergebnisse visualisieren
5. Entwurf überprüfen und ggf. anpassen
6. Konkretisieren und umsetzen
7. Zielerreichung prüfen und sicherstellen

Schritte eins bis fünf lassen sich dabei in das hier vorgestellte Roadmapping einordnen und Schritte sechs und sieben in den Bereich „Umsetzung sicherstellen“. Einer der wichtigsten Schritte im Roadmapping Prozess ist der sogenannte „Visioning“ Workshop. Hier wird gemeinsam mit den beteiligten Akteuren eine Roadmap erstellt. Hierzu wurde am 03.03.2021 ein sechsstündiger Online-Termin abgehalten. Hier wurde zuerst allen Teilnehmern nochmals die Ausgangslage und die bisherigen Ergebnisse vorgestellt. Anschließend wurde diese Gruppe in vier parallele Arbeitsworkshops aufgeteilt. Diese waren Wasserstoffherzeugung, Wasserstoffanwendungen (Industrie sowie Gebäudebereich) und Wasserstoffverteilung. In diesen parallelen Workshops haben die Teilnehmer mit der Onlinesoftware MURAL eine gemeinsame Roadmap erstellt. Diese Roadmaps wurden dann anschließend im gemeinsamen Auditorium vorgestellt und kommentiert. Im Nachgang wurden diese einzelnen Roadmaps dann zu einer holistischen Roadmap zusammengefasst. Im umgesetzten fünften Schritt wurde entsprechend der Prozessvorstellung ein sogenannter „Sounding Board“ Termin am 31.03.2021 realisiert. Hier konnte ein erweiterter Personenkreis der gegenüber der Gruppe, die die Roadmap erarbeitet hatte, Feedback geben.

## 5.3 Vision

Damit eine Roadmap Sinn ergibt benötigt diese zuerst eine Vision bzw. ein Zielbild, welches erreicht werden soll. Wie bereits einleitend in unserer Motivation beschrieben (siehe Kapitel 1.1) haben wir zum Ziel:

*„Wasserstoff frühestmöglich überall dort einsetzen, wo er einen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann. Weiterhin soll die lokale Wertschöpfung gestärkt, die Akzeptanz und Versorgungssicherheit gewährleistet werden und die Wirtschaftlichkeit auch unter den sich verändernden Rahmenbedingungen gegeben sein.“*

Dahingehend lautet unsere gemeinsame Vision den Kreis Düren als einen Kreis zu positionieren, welcher frühzeitig grünen Wasserstoff breit in die Anwendung bringt.

### 5.4 Roadmap

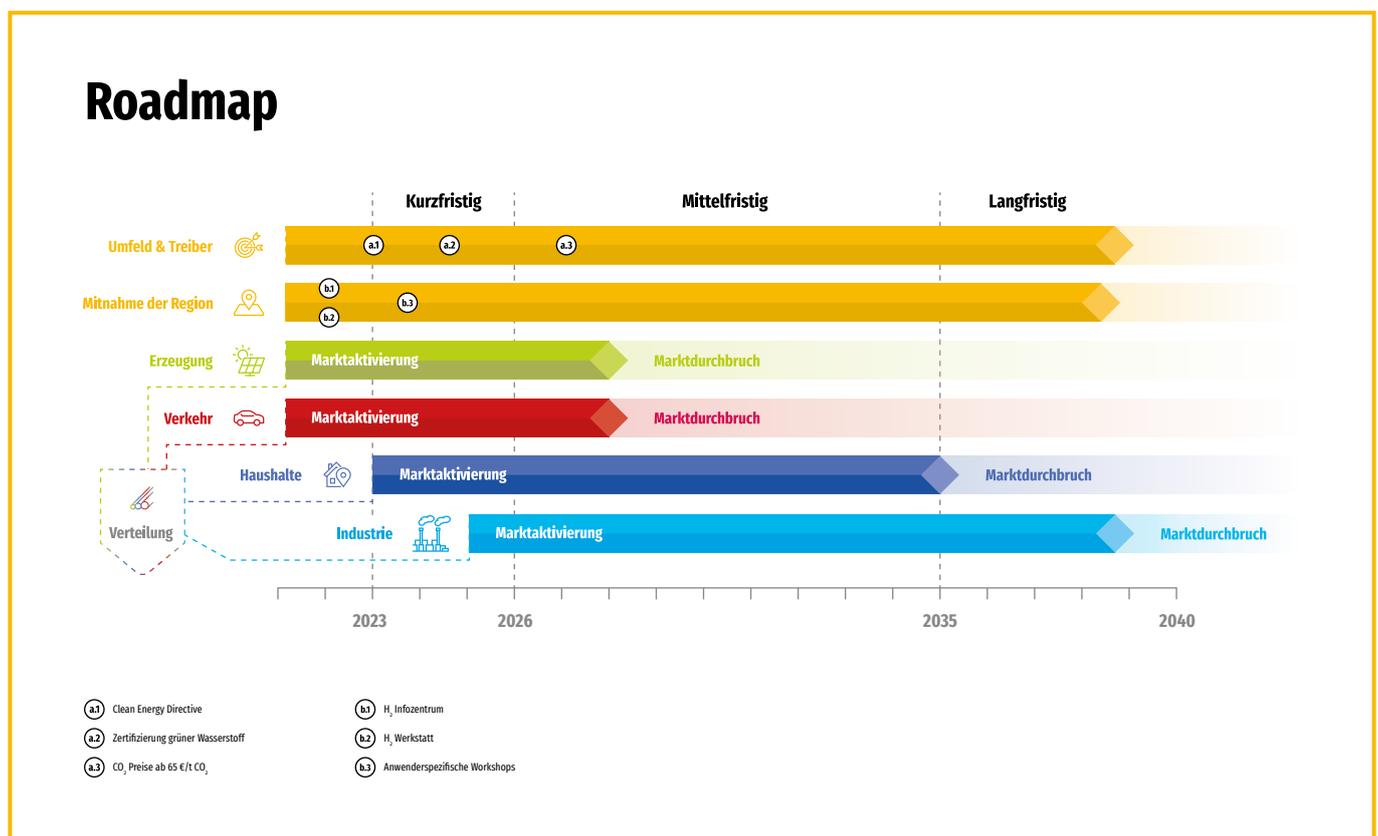
Die erarbeitete Roadmap lässt sich in mehrere Bereiche zur Visualisierung einordnen (siehe Abbildung 44). Diese sind Umfeld & Treiber, Mitnahme der Region, Erzeugung, Verteilung, Verkehr, Haushalte und Industrie. Wie bereits in Kapitel 5.2 erwähnt, versteht sich die hier vorgestellte Roadmap nicht als abgeschlossener Prozess oder vollumfängliche Visualisierung aller möglichen Pfade. Vielmehr handelt es sich bei der Roadmap um eine Momentaufnahme und als Ausgangspunkt für die weitere Wasserstoff-Reise in unserem Kreis. Dahingehend sind auch eine Vielzahl an weiteren Optionen (bspw. Wasserstoffherzeugung aus Müll) nicht detailliert in der Roadmap beschrieben, da diese die einzelnen Bereiche zwar unterstützen können, aber Stand jetzt keinen maßgeblichen Einfluss auf die Roadmap ausüben. Die zeitliche Einordnung in die Jahre bis 2023 (kurzfristig), bis 2026 (mittelfristig) und bis 2035 (langfristig) der Roadmap verdeutlicht ferner unsere Ambitionen, bereits frühzeitig in die Umsetzung zu gehen. Während die meisten energiewirtschaftlichen Roadmaps den Weg bis zum Jahr 2050 und die Anfangsjahre zumeist unspezifisch beschreiben, wollen wir den umgekehrten Weg gehen. Daher sind die ersten konkreten Schritte bereits heute hinterlegt und eine Vielzahl von Maßnahmen bis zum Jahr 2026 spezifiziert. Diese ermöglichen uns ein kontinuierliches Monitoring bereits frühzeitig zu realisieren.

Auch wenn die Zukunft unsicher ist, lassen sich aus den aktuellen Rahmenbedingungen Zeiträume definieren, in denen sowohl die Marktaktivierung als auch die Marktdurchdringung der untersuchten Wasserstofftechnologien realistisch sind.

Die Marktaktivierung versteht sich dabei als Vorstufe des Markthochlaufs für Produkte, die zwar technische Marktreife erzielt haben, im Markt aber aufgrund unterschiedlichster Gründe wie beispielsweise dem niedrigen CO<sub>2</sub>-Preis bisher nicht wettbewerbsfähig sind und eine Förderung benötigten. Die Marktaktivierung unterscheidet sich dabei zeitlich je nach individuellen Gegebenheiten und dient hier zur Einordnung<sup>[93]</sup>.

Der Marktdurchbruch geht im zweiten Schritt davon aus, dass selbsttragende „Business-Modelle“ zur Anwendung kommen. Es wird somit keine Förderung mehr benötigt. Der Marktdurchbruch sagt umgekehrt nichts über den finalen Marktanteil aus.

Abbildung 43: Überblick Roadmap zur Visualisierung der einzelnen Bereiche



### 5.4.1 Umfeld und Treiber

Der Markthochlauf bzw. der Marktdurchbruch der Wasserstofftechnologie hängt – neben Technologie- und Kostenentwicklungen – von externen Rahmenbedingungen ab. Durch Klimaschutzvorgaben und -maßnahmen werden alternative Technologien gefordert und gefördert. Zentrale Treiber hierfür sind die aktuellen EU-Vorgaben zur Emissionsreduktion:

- » Die **Renewable Energies Directive II (RED II)** sieht vor, dass die EU bis 2030 ein verbindliches Mindestziel von 32 % erneuerbaren Energien erreicht. Dadurch sollen die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 um mindestens 40 % gesenkt, die Wirtschaft der EU modernisiert und Arbeitsplätze sowie Wachstum für alle europäischen Bürgerinnen und Bürger geschaffen werden <sup>[94]</sup>. Im Verkehr müssen die Mitgliedsstaaten bis 2030 einen Anteil von mindestens 14 % erneuerbaren Energien sicherstellen. Zur Erreichung werden ausdrücklich „E-Fuels“ wie Wasserstoff genannt und in der Anrechnung begünstigt. Ein Beschluss des Bundestags sieht vor, diese Quote deutlich zu übertreffen und den Anteil auch im Verkehr auf 32 % zu erhöhen.
- » Parallel dazu gibt die **Clean Vehicle Directive (CVD)** für die öffentlichen Auftragsvergabe ab dem 02. August 2021 Mindestquoten für saubere und emissionsfreie Fahrzeuge bei Neubeschaffungen vor. Dies gilt für PKW sowie leichte und schwere Nutzfahrzeuge und insbesondere für Busse im ÖPNV. Die für Deutschland festgelegten Quoten sind in Tabelle 5 aufgeführt. Ein „sauberes Fahrzeug“ muss alternative Kraftstoffe nutzen, die weniger Emissionen als konventionelle Kraftstoffe ausstoßen. Ein „emissionsfreies Fahrzeug“ darf faktisch keine CO<sub>2</sub>-Emissionen im Fahrbetrieb ausstoßen – hierfür kommen also nur Batterie- oder Wasserstofffahrzeuge in Betracht. Am Beispiel der Busse heißt das: Zwischen 2021 und 2025 müssen

mindestens 45 % der neu ausgeschrieben Fahrzeuge sauber und mindestens 22,5 % emissionsfrei sein. Zwischen 2026 und 2030 müssen folglich 65 % der neu ausgeschrieben Fahrzeuge sauber und mindestens 32,5 % emissionsfrei sein <sup>[95]</sup>.

- » Weiterhin werden die **Flottengrenzwerte** für Fahrzeughersteller weiter verschärft. Für PKW und leichte Nutzfahrzeuge müssen bis zum Jahr 2030 die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Neuwagenflotte um 30 % gegenüber 2020 reduziert werden <sup>[96]</sup>. Zudem werden seit 2019 auch Grenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge gefordert <sup>[97]</sup>.
- » Mit der Umsetzung der **Alternative Fuel and Infrastructure Directive (AFID)** <sup>[98]</sup> bekennt sich die Bundesregierung zur Vorbereitung und Umsetzung des Ausbaus eines kommerziellen Tankstellennetzwerkes. Ziele sind – unter der Annahme eines entsprechenden Fahrzeughochlaufs – der Aufbau von bundesweit 400 Wasserstofftankstellen bis 2025 und 1.000 Wasserstofftankstellen bis 2030.

Wir setzen uns aktiv für eine ambitionierte Umsetzung der rechtlichen Vorgaben bei den Unternehmen im Kreis ein. Insbesondere die kommunalen Unternehmen werden angehalten, die Quoten der CVD zu übertreffen und – wo sinnvoll – Wasserstoff einzusetzen. Neben der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen wollen wir so schnell wie möglich eine Reduktion der lokalen Schadstoffemissionen wie Feinstaub und Stickoxide erreichen. In besonders betroffenen Städten wie Düren werden wir daher – neben den schon im Linienbetrieb integrierten Batteriebusen – Wasserstoffbusse einsetzen.

Tabelle 5: Mindestquoten der CVD für saubere und emissionsfreie Fahrzeugen

Fahrzeugklasse	Definition „Sauberes Fahrzeug“	Beschaffungsquoten 1. Referenzzeitraum, 2.8.21 – 31.12.25	Beschaffungsquoten 2. Referenzzeitraum, 1.1.26 – 31.12.30
PKW	50g CO <sub>2</sub> /km	Ab 2026: 0g CO <sub>2</sub> /km	38,5 %
	80% Luftschadstoffe (RDE als Prozentsatz der Emissionsgrenzwerte)	kA. zu Luftschadstoffemissionen	
Leichte Nfz (< 3,5t)	50g CO <sub>2</sub> /km	Ab 2026: 0g CO <sub>2</sub> /km	38,5 %
	80% Luftschadstoffe (RDE als Prozentsatz der Emissionsgrenzwerte)	kA. zu Luftschadstoffemissionen	
LKW (> 3,5t)	Nutzung alternativer Kraftstoffe (lt. Art. 2 AFID bspw. Strom, Wasserstoff, Erdgas, synthetische Keaftstoffe**, Biokraftstoffe**)	10 %	15 %
Busse (> 5t)		45 %*	65 %*

\* Die Hälfte der beschafften Busse muss emissionsfrei sein, d. h. weniger als 1 g CO<sub>2</sub> /km ausstoßen, z. B. Elektro- oder Brennstoffzellenfahrzeuge.

\*\* Alternative Kraftstoffe dürfen nicht mit konventionellen, fossilen Kraftstoffen gemischt werden.

Neben den Vorgaben gibt es auf EU- und Bundesebene zahlreiche Anreizprogramme sowie Pönalen für konventionelle Kraftstoffe, die als weiterer Treiber für Wasserstofftechnologien wirken können:

- » Seit diesem Jahr wird eine **CO<sub>2</sub>-Abgabe** auf konventionelle Kraftstoffe wie Diesel und Erdgas erhoben. Für jede ausgestoßene Tonne CO<sub>2</sub> werden im Jahr 2021 pauschal 25 Euro fällig. Bis 2025 soll diese Abgabe auf 55 Euro pro Tonne steigen. Ab 2026 werden die Emissionszertifikate mit einem Preiskorridor von 55-65 Euro versteigert <sup>[99]</sup>.
- » Als ein Instrument zur CO<sub>2</sub>-Reduktion werden immer öfter sogenannte „**Carbon Contract for Difference**“ (CCfDs) vorgeschlagen. Hierbei erhalten Branchen und Unternehmen Betriebs- und Investitionskostenzuschüsse für den Einsatz CO<sub>2</sub>-armer Technologien. Diese richten sich nach den spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Vergleich zum CO<sub>2</sub>-Zertifikate-Preis. Insbesondere für die energieintensive Industrie können CCfDs Investitionssicherheit und Anreize für CO<sub>2</sub>-Minderung bieten. Die nationale Wasserstoffstrategie sieht vor, dass CCfDs im Rahmen eines Pilotprogramms mit Unternehmen der energieintensiven Industrie genutzt werden <sup>[100]</sup>.
- » Im Zuge des 2019 beschlossenen „**European Green Deal**“ plant die EU die Finanzmärkte stärker auf nachhaltige Investitionen auszurichten. Im Regulierungsvorhaben zu „Green Finance“ sollen Standards harmonisiert werden, um die Nachhaltigkeit von Technologien vergleichen zu können. Dadurch wird der Rahmen definiert, welche Investments als „nachhaltig“ vermarktet werden dürfen – abhängig davon, wie groß ihr Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Einsparung ist. Die Regelung soll Ende 2021 in Kraft treten <sup>[101]</sup>.
- » Für die wirtschaftliche Erzeugung von Wasserstoff hat die Bundesregierung mit dem **EEG 2021** wichtige Weichen gestellt. Die Neuregelung bietet verschiedene Möglichkeiten, Wasserstoff per Elektrolyse günstiger zu erzeugen. Details hierzu sind in [Kapitel 4.2](#) aufgeführt.
- » Um Wasserstofftechnologien in allen Sektoren finanziell zu unterstützen, existieren auf EU-, Bundes- und Länderebene zudem zahlreiche **Förderprogramme**. Auf nationaler Ebene werden diese in der Regel von der NOW GmbH koordiniert.

Die vorhandenen Anreize und Informationen möchten wir nutzen und für unsere Unternehmen zugänglich machen. Dazu werden wir in Düren eine Anlaufstelle für Information und Beratung etablieren. Diese wird im nächsten Kapitel beschrieben.

## 5.4.2 Mitnahme der Region

Die Mitnahme der Region steht von Anfang an im Mittelpunkt unserer Überlegungen. Hierzu haben wir bereits frühzeitig seit Frühjahr 2019 mehrere Förderprojekte beantragt, welche sich in der finalen Umsetzung befinden. Daneben wurden im „Visioning“ Workshop konkrete Wünsche geäußert, welche wir in die Roadmap integriert haben.

Eines der konkreten bereits in Umsetzung befindliche Mitnahmeprojekte ist die sogenannte „H<sub>2</sub>-Werkstatt“. Aufgabe der „H<sub>2</sub>-Werkstatt“ ist es eine Themen- und Wissensvermittlung im Bereich Wasserstoff, im Rahmen verschiedenster Veranstaltungsformate für definierte Zielgruppen, zu realisieren. Unternehmen und Schulen stehen hierbei genauso im Fokus wie interessierte Bürgerinnen und Bürger. Neben dem möglichen Abbau von Hemmnissen durch Aufklärungsarbeit sollen die Menschen für Wasserstoff begeistert werden und Anwendungsbeispiele vermittelt bekommen. Daher bedarf es konkreter, zielgruppenspezifischer und **anwendungsbezogener Veranstaltungsformate**, in denen die Vorzüge der neuen, emissionsfreien Technologie vermittelt werden können. Diese sollen gemeinsam mit den Kooperationspartnern **als eine erste Maßnahme** entwickelt werden. Neben Fachvorträgen und Workshops sollen beispielsweise Unternehmensbesuche und Schülerlabore gemeinsam mit dem Forschungszentrum Jülich angeboten werden. Die weitere **Ausgestaltung und Integration der „H<sub>2</sub>-Werkstatt“** in das regionale Netzwerk ist unsere **konkrete zweite Maßnahme**. Hierzu wurden zwei Vollzeitstellen eingerichtet, die durch die beiden Mitarbeiter Frank Burkard und Marius Richter besetzt werden. Frank Burkard hat Wirtschaftsingenieurwesen in Nordhausen, sowie nachhaltige Energietechnik an der TU Braunschweig studiert. Im Rahmen seiner Abschlussarbeit hat er bereits am, im Kreis Düren liegenden, Forschungszentrum Jülich an wasserstoffbezogenen Forschungsthemen gearbeitet. Marius Richter hat Wirtschaftsingenieurwesen an der TU Dortmund studiert und studienbegleitend im Rohrleitungs- und Anlagenbau eines Gasindustriunternehmens gearbeitet. In seiner Abschlussarbeit hat er zudem an den technischen Möglichkeiten der Wasserelektrolyse und der Umsetzung eines Zertifizierungssystems für Wasserstoff geforscht. Der Kreis Düren konnte also zwei Mitarbeiter gewinnen, die fachliche Expertise in die geplanten Projekte einbringen.

Gemeinsam mit dem Wasserstoffkompetenzteam sollen diese das bestehende Know-how im Kreis Düren noch besser vernetzen bzw. auf bestehende Netzwerke aufbauen und gemeinsam mit den Partnern Veranstaltungsformate gestalten, diese kommunizieren und koordinieren.

Diese beiden durch den Bund geförderten **Personalstellen** sollen das bestehende Know-how im Kreis Düren noch besser vernetzen bzw. auf bestehende Netzwerke aufbauen, gemeinsam mit den Partnern Veranstaltungsformate gestalten, diese kommunizieren und koordinieren.

Die „H<sub>2</sub>-Werkstatt“ sieht sich als Inkubator und Multiplikator, um anderen Regionen den Schritt Richtung Klimaneutralität näher zu bringen. Wir setzen uns eindringlich dafür ein, dass derartige Vernetzungs- und Beratungsangebote auch in weiteren Kreisen und Kommunen angeboten werden.

Wir erhoffen uns zukünftig gegenseitige Lerneffekte durch einen engen Austausch zwischen den Regionen. Durch die zukünftige Mitarbeit des Kreises Düren im Rahmen der Wasserstoff-Region Rheinland (HyCologne) und dem Hydrogen Hub Aachen ist ein starker überregionaler Austausch gewährleistet.

Während die „H<sub>2</sub>-Werkstatt“ mit den zwei geschaffenen Vollzeitstellen den Wissenstransfer und die Projekt- und Netzwerkarbeit voranbringt wollen wir mit dem „Wasserstoff-Infozentrum“ einen Ort der Begegnung schaffen. Das „Wasserstoff-Infozentrum“ möchte alle Informationen über unsere Wasserstoffaktivitäten an einem Ort konzentrieren. Im „Wasserstoff-Infozentrum“ sollen verschiedene Aspekte rund um das Thema Wasserstoff behandelt werden, wie zum Beispiel die Geschichte der Brennstoffzellenfahrzeuge, Funktionsweise einer Brennstoffzelle, Sicherheitsaspekte von Wasserstoff sowie die Erzeugung von „grünem“ Wasserstoff. Mit der Aufklärung und dem Abbau von Hemmnissen sollen kurz-/mittelfristig durch Bürger und Bürgerinnen induzierte Investitionsentscheidungen untermauert werden. Gleichzeitig wird auf mögliche Förderprogramme des Bundes und des Landes NRW hingewiesen. Der Beginn der Umbaumaßnahmen erfolgt mit Bewilligung des Haushaltes durch die Bezirksregierung Köln. Dies wird voraussichtlich im Q3-2021 erfolgen. Daher haben wir als **konkrete dritte Maßnahme**, nach erfolgter Förderung, die **Umsetzung des „Wasserstoff-Infozentrums“ am Standort Bismarck-Quartier** vor. Unser „Wasserstoff-Infozentrum“ soll insbesondere auch auswärtigen **Besuchern benachbarter Regionen** zugänglich sein sowie als Modell zur Adaption in anderen Gebietskulissen dienen. Hierzu bedarf **es geeigneter Formate und einer Informationspolitik**, welche wir als **vierte Maßnahme umsetzen werden**.

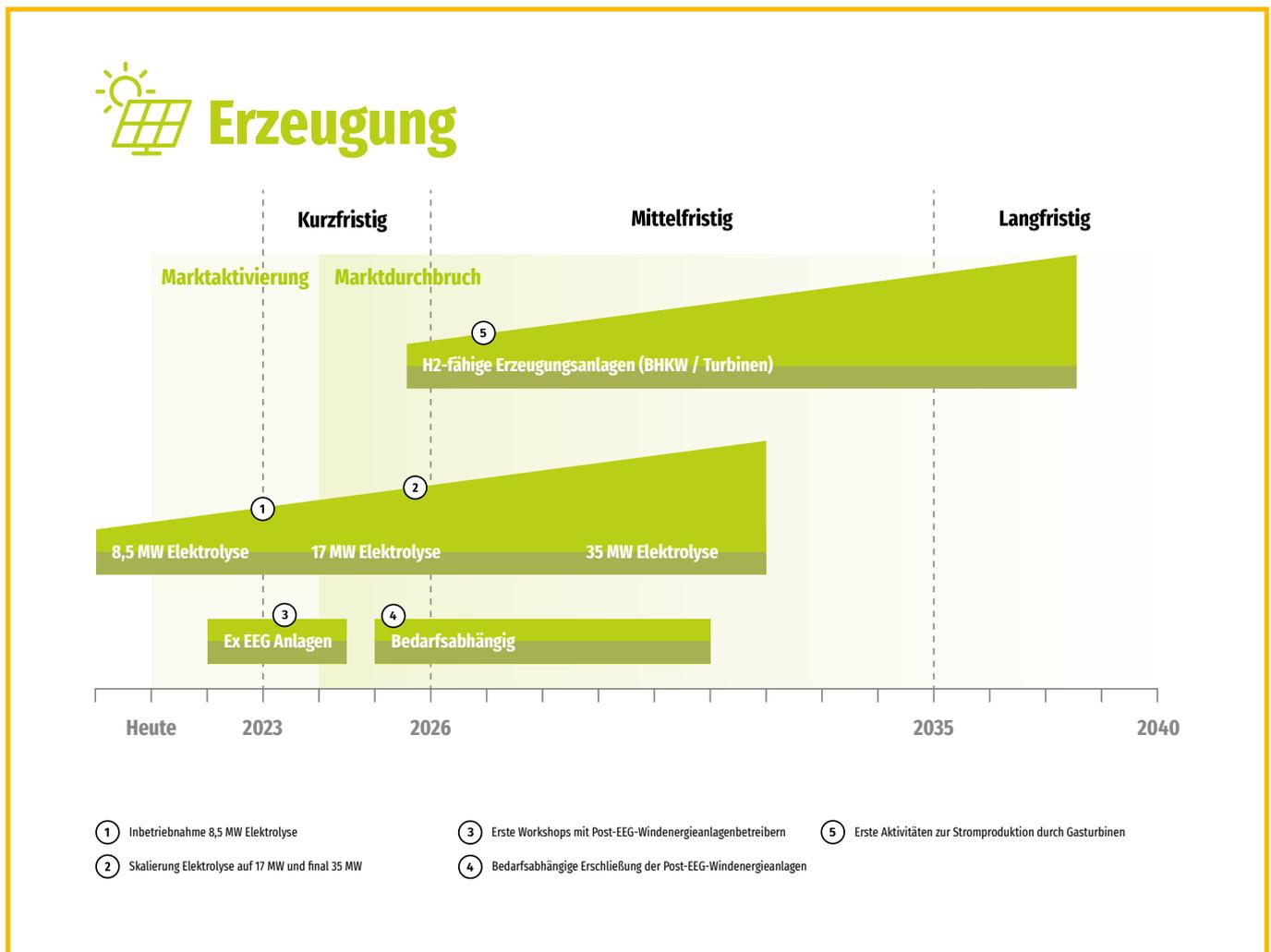
Unsere konkreten Meilensteine sind:

- › MS1.1: Bis Ende 2021: Konzept für anwendungsbezogene Workshops im Bereich Wasserstoff und Umsetzung von mindestens einem Workshop
- › MS1.2: Bis Mitte 2021: Etablierung und Einbindung der H<sub>2</sub>-Werkstatt
- › MS1.3: Bis Ende 2021: Umsetzung des Wasserstoff-Infozentrums
- › MS1.4: Bis Ende 2022: Integration des Wasserstoff-Infozentrums in überregionale Aktivitäten

### 5.4.3 Wasserstofferzeugung und Energiewirtschaft

Die Marktaktivierung der Wasserstofferzeugung über Elektrolyse hat bereits seit einigen Jahren begonnen. Während bisher die alkalische Elektrolyse insbesondere in der chemischen Industrie oft Anwendung fand, hat die Wasserstofferzeugung über die PEM-Elektrolyse die letzten Jahre stetig aufgeholt (siehe Kapitel 3.1).

Abbildung 44: Roadmap Wasserstofferzeugung und Energiewirtschaft



Die spezifischen Investitionen für die Elektrolyseanlagen sind durch die Lernkurven der Serienproduktion stark gesunken und werden weiterhin stark sinken. Umgekehrt ermöglicht bisher zu großen Teilen nur eine Förderung auf die Investitionssumme einen wirtschaftlichen Betrieb. Insbesondere die Stromkosten als Hauptbestandteil der Wasserstoffgestehungskosten müssen sich für den Marktdurchbruch erheblich reduzieren. Erste Schritte in diese Richtung wurden mit der **EEG-Novellierung 2021** gesetzt. Die Anpassung der Wasserstoffgestehungskosten auf der Ausgabe- oder die Erhöhung der **CO<sub>2</sub>-Zertifikate** bzw. der Etablierung von „**Carbon Contract for Difference**“ zur Verbesserung der Einnahmenseite sind erheblich von externen Entscheidungen insbesondere auf EU- und Bundesebene betroffen (siehe Kapitel 4.2.2). Wir können hier nur indirekt und begrenzten Einfluss nehmen. Dennoch sehen wir einen Marktdurchbruch ab dem Jahr 2024 voraus. Zu diesem Zeitpunkt haben die Wasserstoffherstellungskapazitäten in der EU und Deutschland eine installierte Leistung erreicht, in der nur ein wirtschaftlicher Betrieb nachhaltig die Transformation des Energiesystems unterstützen kann.

Unsere Roadmap sieht die Implementierung einer ersten Elektrolyseanlage bereits heute vor. Hierzu haben wir ein Leuchtturmprojekt am Brainergy Park in Jülich mitinitialisiert (siehe Kapitel 5.5.1). Unsere Roadmap sieht die baldige **Inbetriebnahme des 8,5 MW Elektrolyseurs als eine erste Maßnahme vor**. Die **zweite Maßnahme** besteht darin anschließend die **Skalierung der Anlage von 8,5 auf 17 und final 35 MW umzusetzen**. Der anvisierte Auf- und Ausbau geht allerdings nur mit einer holistischen Gesamtstrategie, welche Angebot und Nachfrage berücksichtigt. Nur durch eine hohe Wasserstoffnachfrage und die damit einhergehende Auslastung des Elektrolyseurs können auch konkurrenzfähige Wasserstoffgestehungskosten erreicht werden (siehe Kapitel 3.1). Die erste Ausbaustufe mit 8,5 MW wird dabei insbesondere unsere Pläne hinsichtlich Wasserstoffbussen und -zügen unterstützen. Hierdurch stellen wir sicher, dass der Elektrolyseur ausgelastet und die Nachfragen versorgt sind.

Die Skalierung der Elektrolyse nach den 8,5 MW wird daher insbesondere durch die weitere Nachfragesituation bei uns, aber auch in angrenzenden Gebietskörperschaften bestimmt.

Neben der sich entwickelnden Wasserstoffnachfrage werden auch weitere Erzeugungsanlagen je nach Angebots- und Nachfragesituation eine potenzielle Konkurrenz für uns. Insbesondere nach dem Marktdurchbruch und der Etablierung eines deutschlandweiten Wasserstoffmarktes ist der Wettbewerb eine nötige Voraussetzung für nachhaltig günstige Wasserstoffpreise. Bis zu einem nachhaltigen Wasserstoffmarkt ist es unser Bestreben mögliche Investitionsruinen, also den Aufbau von Elektrolysekapazitäten ohne Auslastung und Nachfrage, zu vermeiden. Hierzu planen wir als **dritte Maßnahme** in **gemeinsamen Workshops** holistische Konzepte für **weitere Gebietskörperschaften** zu entwickeln, welche sich auf den Weg machen, den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft durch unsere bereits gewonnenen Erfahrungen zu unterstützen. Diese Workshops (siehe auch vierte Maßnahme der Roadmap) können dabei die Maßnahmen der „H<sub>2</sub>-Werkstatt“ unterstützen (siehe Kapitel 5.4.2).

Neben der Skalierung des Leuchtturmprojektes am Brainergy Park ergeben sich bei uns im Kreis weitere Optionen zur Wasserstoffproduktion. Insbesondere die Post-EEG-Windenergieanlagen eignen sich hier aufgrund der niedrigen Stromgestehungskosten für die Wasserstoffproduktion. Mit einem maximal zu erschließenden Wasserstoffpotenzial von 2.000 Tonnen können wir einen erheblichen Beitrag zu der frühzeitigen Wasserstoffproduktion setzen. Dieses Potenzial könnte dabei bedarfsabhängig gehoben werden. Diesbezügliche Voraussetzungen sind die frühzeitige Kommunikation mit den Anlagenbetreibern und mögliche Wasserstofftransportoptionen auch zu benachbarten Gebietskörperschaften. Hierzu gilt es als **vierte Maßnahme die Anlagenbetreiber zu identifizieren und in einem Workshop über deren Optionsspielraum zu informieren**.

Neben der Wasserstoffproduktion ist die Stromproduktion über Wasserstoff eine weitere Option, welche wir weiter betrachten wollen. Während die bestehenden Brennstoffzellenkonzepte größtenteils eine Anwendung im Gebäudebereich voraussehen (siehe Kapitel 3.2.2), ist die Nutzung von Wasserstoff in H<sub>2</sub>-ready Gasturbinen im größeren Maßstab möglich. Der wesentliche Vorteil der Brennstoffzelle, sowohl zur Stromproduktion in der Energiewirtschaft als auch in Brennstoffzellenfahrzeugen im Verkehr, ist der nahezu doppelt so hohe Wirkungsgrad. Dieser Vorteil als auch der Vorteil der hohen Zielkosten im Verkehr (siehe Kapitel 4.2) gehen bei der Stromproduktion durch Gasturbinen leider verloren. Folglich gehen wir in unserer bisherigen Roadmap von einem, im Vergleich zur Wasserstoffproduktion durch Elektrolyse, späteren Marktdurchbruch aus. Unsere **fünfte Maßnahme** ist es dabei möglichst **frühzeitig erste Aktivitäten zur Stromproduktion auch mit Gasturbinen zu starten** und unsere lokalen Akteure zu unterstützen.

Unsere konkreten Meilensteine sind:

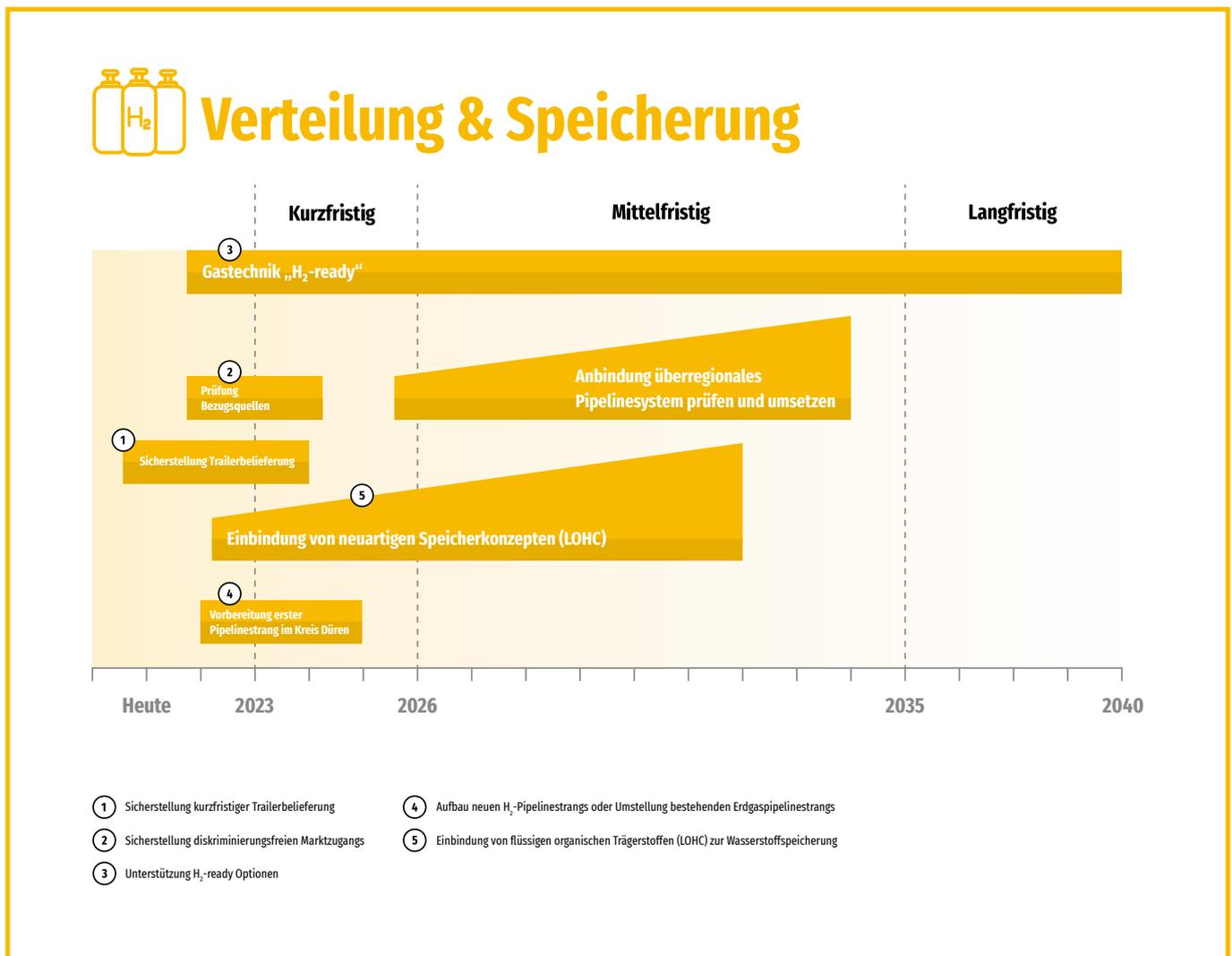
- » MS2.1: Bis Ende 2023  
Inbetriebnahme 8,5 MW Elektrolyse
- » MS2.2: Bis 2025  
Skalierung und Auslastung der Elektrolyseanlage im Brainergy Park
- » MS2.3: Bis 2023:  
Erste Workshops mit Betreibern der Post-EEG Windenergieanlagen
- » MS2.4: Ab 2023:  
Bedarfsabhängige Erschließung der Post-EEG Windenergieanlagen zur Wasserstoffherzeugung
- » MS2.5: Bis 2026  
Erste Anlagen im Bereich Stromerzeugung mittels Gasturbinen mit Wasserstoff

### 5.4.4 Verteilung

Die Wasserstoffverteilung und -speicherung ist die Grundlage für einen Marktdurchbruch. Dabei ergeben sich die ersten konkreten Herausforderungen über die Wasserstoffbereitstellung an den Zug-, Bus- und Wasserstofftankstellen mit der Wasserstoff-erzeugung aus dem Brainergy Park in Jülich. Die diesbezüglichen mittleren Entfernungen und Nachfragemengen zeigen, dass die gasförmige Trailer Belieferung die wirtschaftlichste Option darstellt. Dementsprechend gilt es sicherzustellen, dass die benötigten Transportoptionen zur Verfügung stehen. Die Nutzung von flüssigem Wasserstoff spielt in der Anfangszeit bei uns zuerst keine Rolle. Zum einen haben wir aktuell keine Anwendungen geplant, welche Flüssigwasserstoff direkt nutzen könnten wie es beispielsweise mittelfristig von Daimler und Volvo geplant ist und zum anderen ist zu Anfang der Wasserstoffimport aus anderen Ländern zu uns nicht notwendig. Als **erste Maßnahme** gilt es daher sicherzustellen, dass die **gasförmige Trailer Belieferung als eine Verteilungsoption kurzfristig vorhanden** ist. Als **zweite Maßnahme** soll mittelfristig sichergestellt werden, dass die Wasserstoffinfrastruktur so ausgebaut ist, dass ein **diskriminierungsfreier Marktzugang aller Akteure möglich ist**, wofür sich insbesondere eine Wasserstoffpipeline eignet (siehe Kapitel 3.2).

Hierzu planen wir einen iterativen Ansatz zu unterstützen. Als **dritte Maßnahme** unterstützen wir Initiativen, **welche neue Erdgaspipelines bzw. auch allgemeine Erdgasanwendungen** wie beispielsweise Brennkessel im Haushaltsbereich **nur noch über „H<sub>2</sub>-ready“ Optionen austauschen bzw. aufbauen**. Dies bedeutet konkret, dass die neuen Infrastrukturen ohne Zusatzkosten auf den neuen Energieträger Wasserstoff umgestellt werden können. Neben der Nutzung von „H<sub>2</sub>-ready“ Infrastrukturen unterstützen wir **als vierte Maßnahme den Aufbau eines neuen Wasserstoffpipelinestranges oder die Umstellung eines bestehenden Erdgaspipelinestranges**. Die Umwidmung hat dabei neben den niedrigeren Kosten auch einen Vorteil hinsichtlich der Akzeptanz gegenüber dem Neubau einer Wasserstoffpipeline. Unsere Rechnungen haben gezeigt, dass für eine wirtschaftliche hinreichende Auslastung insbesondere Großverbraucher aus der Industrie etabliert werden müssen (siehe Kapitel 4.2). Umgekehrt sind diese Großverbraucher in unserer Roadmap zeitlich später angesiedelt. Folglich müssen Wege gefunden werden die Anfangsinvestition einer Pipeline möglichst optimal nicht nur auf einen Verbraucher umzulegen. Der Aufbau eines ersten Pipelinestranges hat dabei mehrere wichtige strategische Implikationen auf die Umsetzung der weiteren Roadmap bei uns im Kreis Düren. Erstens erlaubt die Wasserstoffpipeline aufgrund niedriger Transportkosten die

Abbildung 45: Roadmap Verteilung



Aktivierung neuer Wasserstoffverbraucher und zweitens die Anbindung an ein überregionales Pipelinenetz. Durch die Anbindung ist ein Marktzugang zu weiteren Wasserstoffverbrauchern und -erzeugern sichergestellt. Diese Abstimmungen führen wir bereits heute beispielsweise gemeinsam mit Thyssengas.

Eine weitere hochinnovative Transportoption ist die mögliche Nutzung von flüssigen organischen Trägerstoffen (LOHC). Aufgrund unseres Alleinstellungsmerkmals mit dem Forschungszentrum Jülich und der dort entstehenden Planungen hinsichtlich dieser **LOHCs unterstützen wir als fünfte Maßnahme die frühzeitige geeignete Einbindung und deren Hochlauf (siehe Kapitel 3.3.4).**

Unsere konkreten Meilensteine hierzu sind:

- » MS3.1: Bis Anfang 2022:  
Gasförmige Trailer Belieferung als Verteilungsoption sicherstellen
- » MS3.2: Bis 2024:  
Sicherstellung eines diskriminierungsfreien Marktzugangs
- » MS3.3: Ab 2022:  
Austausch und Neubau nur noch durch H<sub>2</sub>-ready fähige Gastechnik
- » MS 3.4: Bis 2022:  
Vorbereitung erste Wasserstoffpipeline (Umstellung oder Neubau)
- » MS 3.5: Bis 2025:  
Geeignete Einbindung flüssiger organischer Trägerstoffe (LOHC)

### 5.4.5 Verkehr

Im Verkehrssektor ersetzt Wasserstoff in einzelnen Anwendungen schon heute fossile Kraftstoffe. Er kommt vorrangig dort zum Einsatz, wo hohe Anforderungen an Nutzlast- und Reichweiten gestellt werden oder eine nahezu gleichbleibende Flexibilität und Betankungszeit im Vergleich zu konventionellen Antrieben gefordert wird. Im Straßen- und Schienenverkehr befinden wir uns aktuell mitten in der Marktaktivierung. Der Marktdurchbruch wird für die zweite Hälfte des Jahrzehnts erwartet. Vor diesem Hintergrund stellen wir Ihnen unsere Aktivitäten in der Roadmap Verkehr in Abbildung 47 vor.

Wir werden Wasserstofffahrzeuge möglichst bald dort einsetzen, wo sie schon heute verfügbar und sinnvoll sind: Im busbetriebenen ÖPNV und im SPNV. Mit unseren kommunalen Betrieben Rurtalbus GmbH und Rurtalbahn GmbH zeigen wir, wie die Umstellung auf eine emissionsfreie Wasserstoffmobilität gelingen kann.

Als **erste Maßnahme** haben wir **die Umstellung der Busflotte der Rurtalbus auf Brennstoffzellenbusse** beschlossen. Ab sofort werden die Dieselbusse im Rahmen der turnusmäßigen Neubeschaffung sukzessive durch Brennstoffzellenbusse ersetzt.

Die ersten Busse sollen noch in diesem Jahr in Betrieb gehen. Die Betankung wird zunächst über die H<sub>2</sub> MOBILITY-Tankstelle Im Großen Tal erfolgen. Bis 2024 soll dann eine eigene Betriebs-tankstelle errichtet und genutzt werden. Bei fortschreitendem Ausbau der Flotte sowie bei Brennstoffzellenbus-Beschaffungen weiterer Verkehrsbetriebe wird bei Bedarf eine zweite Tankstelle errichtet. Die Errichtung der Tankstellen und der Aufbau einer wasserstoff-spezifischen Wartung und Instandhaltung erleichtert weiteren Verkehrsbetrieben den Einstieg in die Wasserstoffmobilität. Hierbei sind der Wissenstransfer und Erfahrungsaustausch von zentraler Bedeutung. Die Einrichtung eines Runden Tisches sowie die Bereitstellung von Informationen (z.B. Lastenhefte, Leitfäden) an alle im Kreis tätigen Verkehrsunternehmen wird angestrebt. Dies wird direkt über die „H<sub>2</sub>-Werkstatt“ sichergestellt.

Um den öffentlichen Verkehr vollständig auf emissionsfreien Wasserstoffantrieb umzustellen, haben wir als **zweite Maßnahme** gemeinsam mit dem NVR die **Beschaffung von mindestens 12 Brennstoffzellenzügen für die Rurtalbahn** in Aussicht. Die ersten vier Züge sollen im Jahr 2024 in Betrieb gehen. Bis zum Jahr 2026 soll dann die gesamte Flotte der Rurtalbahn mit Wasserstoff betrieben werden. Die hierfür notwendige Tankstelle bauen wir bis zum Betriebsstart der ersten Züge am Bahnhof Düren auf. Für die Finanzierung streben wir eine Förderung im Rahmen des SofortprogrammPLUS des Strukturwandelprogramms im Rheinischen Revier an.

Im Bereich der kommunalen Abfallwirtschaft möchten wir in einer **dritten Maßnahme** darauf hinwirken, dass der **Einsatz von BZ-Abfallsammelfahrzeugen** vorangetrieben wird. Hierfür möchten wir die relevanten Stakeholder im Kreis Düren, der StädteRegion Aachen und der Stadt Aachen zusammenbringen, um erste Pilotprojekte zu initiieren. Vorbild hierfür sind z.B. die Wirtschaftsbetriebe Duisburg, die seit 2020 ein wasserstoffbetriebenes Entsorgungsfahrzeug einsetzen [102]. Über die Förderprogramme des BMVIs sind aktuelle Zuschüsse von bis zu 80 % der Investitionsmehrkosten möglich. Ein weiterer Förderauftrag wird Mitte des Jahres erwartet <sup>[103][104]</sup>.

Im privaten Verkehr wollen wir im Rahmen einer **vierten Maßnahme** weitere Projekte zur Umstellung von Nutzfahrzeugen auf Wasserstoffantrieb anstoßen. Dies betrifft insbesondere LKW im Schwerlastverkehr – hier besteht bis 2030 ein besonders hohes Potenzial zur Emissionseinsparung. Im Fokus stehen hier zunächst regionale Verteilerverkehre wie z.B. Lebensmittel- oder Industriegüterlogistik, da diese in der Regel gut planbare Routen und zentrale Depots bieten. Für die Beschaffung der Fahrzeuge wird die Bildung einer Käufergemeinschaft angestrebt. Hierzu werden aktuell relevante Stakeholder identifiziert und vernetzt. In mehreren Workshops sollen Anforderungen der Nutzer und mögliche Modelle für die Beschaffung und den Einsatz der Fahrzeuge erörtert werden. Eine kooperative Beschaffung der Fahrzeuge soll zum einen die Hersteller dazu bewegen, entsprechende Fahrzeuge in entsprechender Zahl anzubieten. Zum anderen wird durch große Beschaffungsmengen die Planung und wirtschaftliche Auslastung von Wasserstofftankstellen erleichtert. Nach dem Marktdurchbruch erhöht sich die Auslastung der Tankstellen durch überregional und international agierende Fahrzeuge.

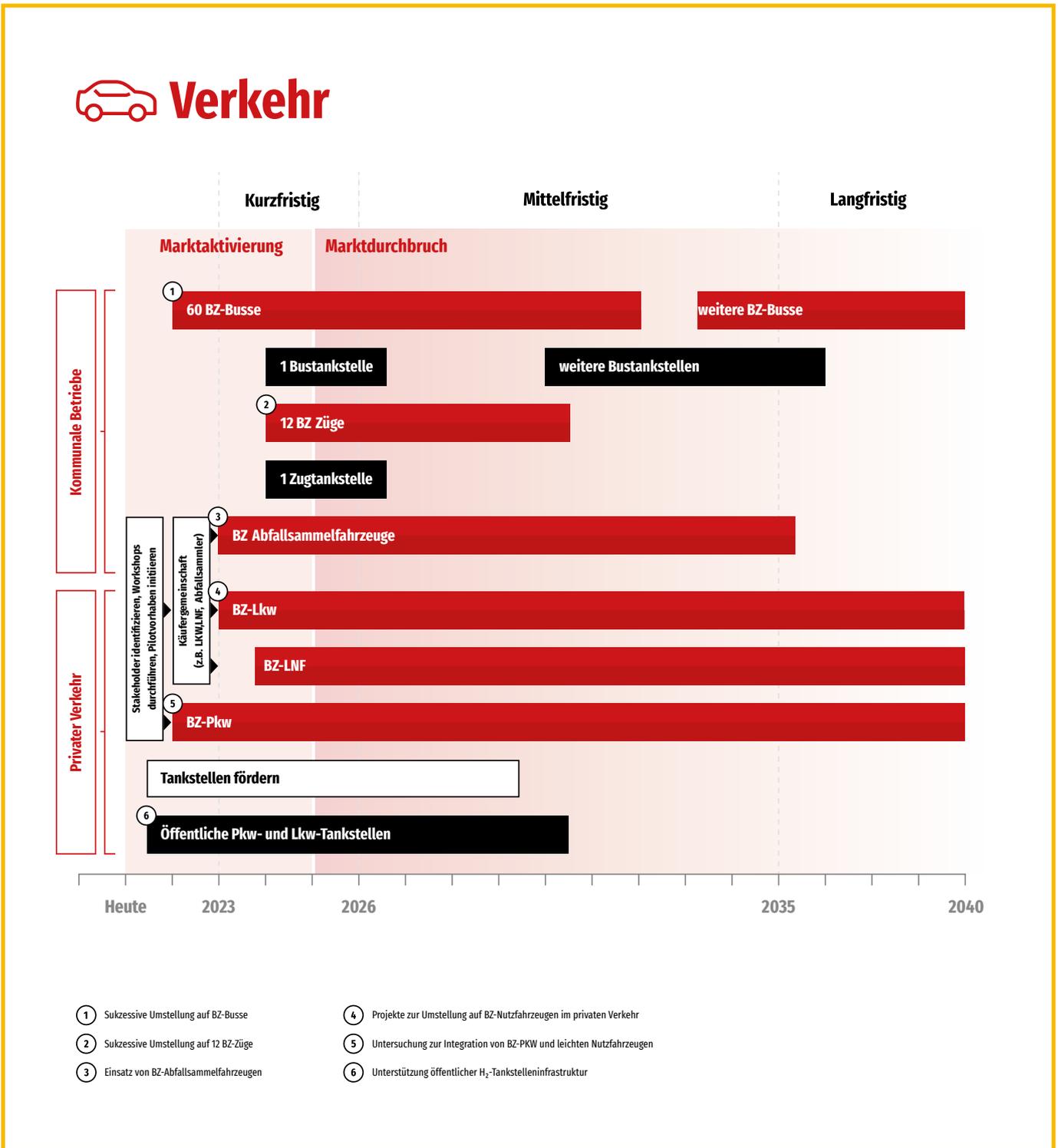


Abbildung 46: Roadmap Verkehr

Von verschiedenen Kommunen und Unternehmen werden schon heute einzelne Brennstoffzellen-PKW eingesetzt (vgl. Kapitel 3.2.1). Zur verbreiterten Anwendung wollen wir in einer **fünften Maßnahme die Integration von Brennstoffzellen-PKW und leichten Nutzfahrzeugen in Flotten untersuchen**. Neben Warenverteilern und -zustellern bieten sich beispielsweise auch Taxi oder Car-Sharing-Flotten für den Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen an. Hier wollen wir regionale Unternehmen als Kooperationspartner gewinnen.

Darüber hinaus wird in einer **sechsten Maßnahme eine flächendeckende öffentliche Tankstelleninfrastruktur** unterstützt. Konkret wirken wir mit verschiedenen Partnern auf die Errichtung von Wasserstofftankstellen hin. Die H<sub>2</sub> MOBILITY GmbH wird 2021 die erste öffentliche Tankstelle Im Großen Tal eröffnen. Zudem plant die Firma Fred Pfenning GmbH & Co. KG öffentliche Tankstellen an der A4 / A44 [65]. Durch eine gut zugängliche, öffentliche Tankstelleninfrastruktur werden indirekt Anreize für die Beschaffung von Brennstoffzellen-PKW und -NFZ gesetzt, da die Hürde der Kraftstoff-

versorgung gesenkt wird. Für eine flächendeckende Versorgung werden mindestens fünf Wasserstofftankstellen im Kreisgebiet angestrebt. Um die Errichtung und den Betrieb von Wasserstoff-tankstellen in den ersten Jahren wirtschaftlich zu unterstützen stehen Förderprogramme des BMVIs zur Verfügung <sup>[105]</sup>.

Unsere wichtigsten Meilensteine für den Verkehrssektor sind:

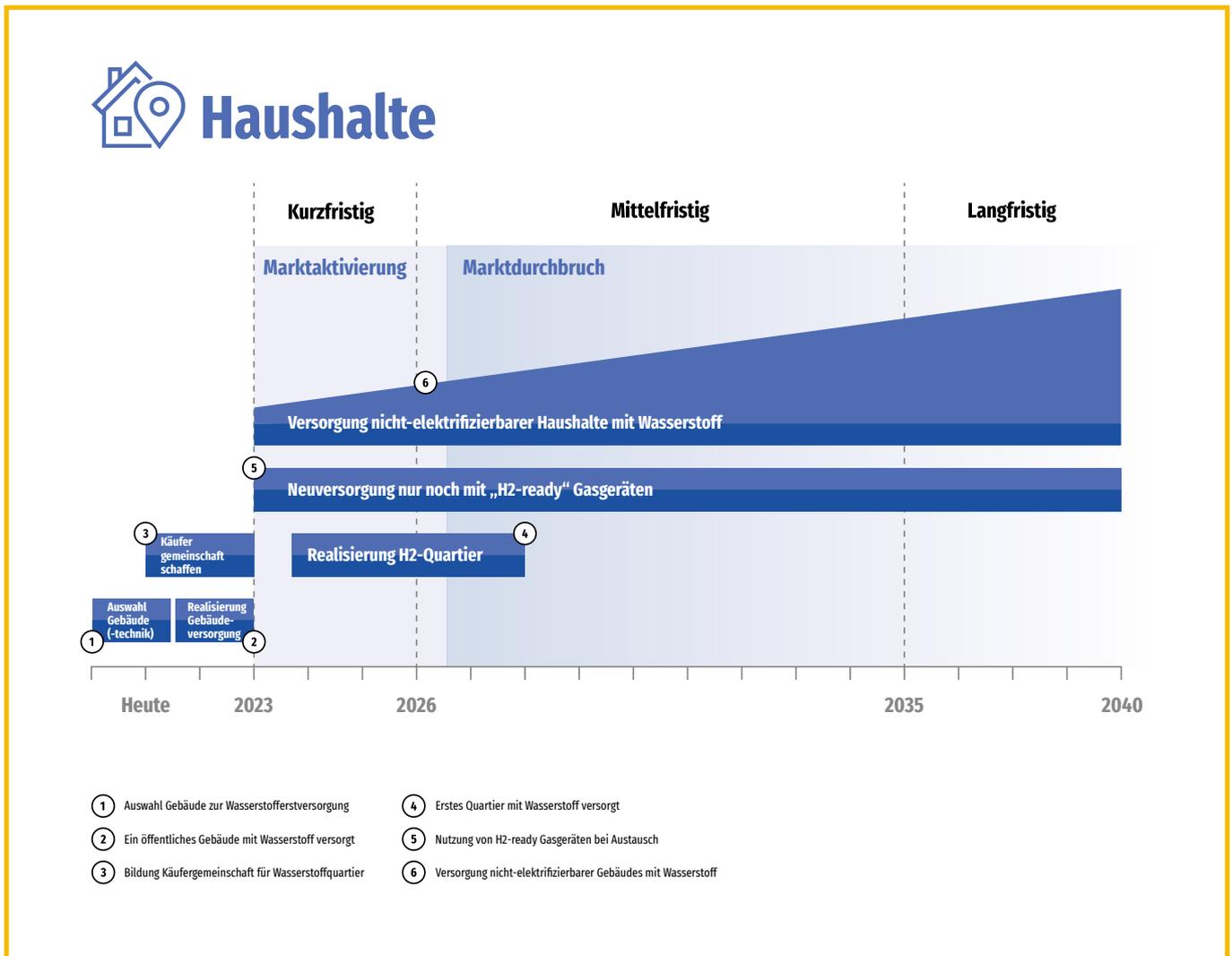
- » MS4.1: Bis Ende 2021:  
Einsatz der ersten Brennstoffzellenbusse im Linienbetrieb der Rurtalbus
- » MS4.2: Ab 2024:  
Einsatz der ersten Brennstoffzellenzüge im Netz der Rurtal-bahn
- » MS4.3: Ab 2023:  
Einsatz von Brennstoffzellen-Abfallsammelfahrzeugen
- » MS 4.4: Ab 2023:  
Umstellung erster Nutzfahrzeuge auf Wasserstoffantrieb

- » MS 4.5: Ab 2022:  
Untersuchung von Integrationsmöglichkeiten für PKW und leichte Nutzfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb
- » MS4.6: Ab 2021:  
Unterstützung flächendeckender Wasserstoff-Tankstellenin-frastruktur

### 5.4.6 Gebäudebereich

Wie in Abschnitt 3.2.2 gezeigt wurde, stehen uns kurzfristig drei Optionen zur Versorgung von Gebäuden auf Basis von Wasserstoff zur Verfügung: Energiezentralen mit der Möglichkeit Wasserstoff als saisonalen Stromspeicher zu nutzen, Brennstoffzellenheiz-geräte auf Erdgasbasis, und Blockheizkraftwerke, die auch mit Wasserstoff betrieben werden können. Alle drei Technologien sind ausgereift und als Produkte am Markt verfügbar. Ab 2023 werden die technologische Reife und Marktverfügbarkeit auch für Brennstoffzellenheizgeräte auf direkter Wasserstoffbasis ohne Erdgas und für wasserstoffbasierte Brennwertthermen erwartet. Eine Marktaktivierung ist somit ab 2023 und in den Folgejahren möglich, wobei ein erster Marktdurchbruch ab 2026 erwartet

Abbildung 47: Roadmap Gebäudebereich



wird. Der erfolgreiche Durchbruch steht in direktem Zusammenhang mit den am Markt bestehenden Preisen für Wasserstoff und (konventionelle) Konkurrenzenergeträger. Gemäß Kapitel 4.2 ist für den wirtschaftlich effizienten Wasserstoffeinsatz in Gebäuden eine deutliche Absenkung des Wasserstoffpreises erforderlich. Aus diesen Randbedingungen haben wir die in Abbildung 48 dargestellte Roadmap für Gebäude entwickelt.

Wir, der Kreis Düren, können als Träger durch die Ausrüstung eines ersten öffentlichen Gebäudes mit Wasserstoff unsere ambitionierten Klimaziele unterstützen und der Öffentlichkeit die Machbarkeit und auch die Vorzüge der Nutzung von Wasserstoff demonstrieren. Dazu planen wir **im Rahmen einer ersten Maßnahme die Auswahl eines Gebäudes mitsamt einer geeigneten Wasserstofftechnologie**. Als Gebäude kann sich z. B. der Neubau unserer Nelly-Pütz-Schule eignen, deren hoher Energiebedarf die Nutzung eines Wasserstoff-BHKWs zur Strom- und Wärmeerzeugung erfordern kann. Je nach Auslegung des Systems können erzielbare Strom- und Wärmeüberschüsse zusätzlich vermarktet werden und somit die Betriebskosten der Anlage senken.

Die **Realisierung der Gebäudeenergieversorgung unter Nutzung von Wasserstoff** im ausgewählten öffentlichen Gebäude mit der passenden Anlagentechnik stellt die **zweite geplante Maßnahme** dar.

Aufbauend auf den Erfahrungen bei der Planung und Realisierung einer ersten Gebäudeversorgung mit Wasserstoff unterstützen wir mittelfristig die Versorgung eines Quartiers mit 100 % Wasserstoff im Rahmen einer dritten und vierten Maßnahme.

Für ein dezentrales Energieversorgungskonzept mit Geräten in jedem Gebäude sind die Gebäudeeigentümer einzubeziehen und im Rahmen einer **dritten Maßnahme eine Käufergemeinschaft für das Wasserstoffquartier** zu bilden. Die gemeinsame Beschaffung einer größeren Gerätezahl ermöglicht eine zügige Lieferung der erforderlichen Wasserstoffgeräte und einen niedrigen Preis. Wird das Quartier von einem Bauträger neu gebaut, so kann dieser die Geräte gebündelt beschaffen. Für die Versorgung der Gebäude eignen sich aus heutiger Sicht Energiezentralen, Brennstoffzellenheizgeräte und auch Brennwärmer, die ab 2023/24 zur Versorgung von Wohngebäuden am Markt erwartet werden. **Eine vierte Maßnahme umfasst die Realisierung des ersten 100 % H<sub>2</sub>-Quartiers im Kreis Düren.**

Neben diesen ersten Pilotmaßnahmen wirken wir mit der **fünften Maßnahme** darauf, dass beim Austausch von bestehenden und neubeschafften Gasheizungen bzw. Brennwärmer auf die Nutzung von wasserstofffähigen Geräten geachtet wird, sogenannte „**H<sub>2</sub>-ready**“-Geräte. Auf diese Weise stellen wir sicher, dass eine zukünftige Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff nur einen geringen Anpassungsbedarf bei den Bürgerinnen und Bürgern auslöst. Die entsprechenden Geräte werden als wasserstoffgeeignete Brennwärmer zur ausschließlichen Wärme- bzw. Brennstoffzellen zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung ab 2023/24 erwartet (vgl. Abschnitt 3.2.2).

Als **sechste Maßnahme** unterstützen wir die energetische Umrüstung **aller Gebäude** auf Wasserstoff, die nicht über Wärmepumpen oder andere energieeffiziente, erneuerbare Heizungssysteme energetisch versorgt werden können. Dies gilt insbesondere für Gebäude mit einer bestehenden Energieversorgung auf Basis von Heizöl und anderen fossilen Energieträgern.

Unsere konkreten Meilensteine sind:

- › MS5.1: Bis Ende 2021:  
Auswahl eines ersten öffentlichen Gebäudes zur Wasserstoffversorgung
- › MS5.2: Bis Ende 2023:  
Erstes öffentliches Gebäude mit Wasserstoff versorgt
- › MS5.3: Ab 2022:  
Bildung einer Käufergemeinschaft für ein Wasserstoffquartier
- › MS 5.4: Bis 2027:  
Versorgung eines ersten Quartiers mit Wasserstoff
- › MS 5.5: Ab 2023:  
Neuversorgung nur noch durch H<sub>2</sub>-ready fähige Gasgeräte
- › MS5.6: Ab 2026:  
Versorgung nicht-elektrifizierbarer Haushalte mit Wasserstoff

### 5.4.7 Industrie

Wir, der Kreis Düren, sind ein herausragender Standort der deutschen Papierindustrie. Aufgrund der geringen Zielkosten für die Wärmebereitstellung mit Wasserstoff in der Industrie erwarten wir eine Marktaktivierung erst ab Mitte der 2020er und einen Marktdurchbruch erst in den 2030er Jahren.

In der in Abschnitt 3.2.3 vorgestellten „Modellfabrik Papier“ wird zukünftig an Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz durch hochinnovative Press- und Trocknungsverfahren geforscht. Im Dialog mit unseren industriellen Partnern prüfen wir im Rahmen einer **ersten Maßnahme** inwieweit wasserstoffspezifische Fragestellungen geeignet in die Forschungs- und Entwicklungspalette der „**Modellfabrik Papier**“ integriert werden können.

In Ergänzung zu den Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten der Modellfabrik Papier möchten wir im Rahmen einer **zweiten Maßnahme ein Industrieübergreifendes Innovationsforum** im Kreis Düren unterstützen. Diese Unterstützung erfolgt durch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der „H<sub>2</sub>-Werkstatt“. Ein solches Forum ermöglicht, neben der Möglichkeit zum Austausch, auch einen gemeinschaftlichen Kompetenzaufbau und wirkt integrierend auf weitere Industriezweige. Insbesondere Fragen rund um einen gesicherten und wirtschaftlich attraktiven Wasserstoffbezug und die Bildung von Käufergemeinschaften sind von unternehmensübergreifendem Interesse.

Durch Auslaufen der Braunkohlebereitstellung zur Strom- und Wärmeerzeugung industrieller Betriebe im Kreis Düren ein kurzfristiger Energieträgerwechsel erforderlich. Die kurzfristige Umstellung von Braunkohle auf die Verfeuerung von Erdgas ist eine alternative Möglichkeit eine sichere und wirtschaftlich Energieversorgung zu gewährleisten und zeitgleich Treibhausgasemissionen zu senken. Im Rahmen einer **dritten Maßnahme** wirken wir bei der Umrüstung der industriellen Energieversorgung von Braunkohle auf Erdgas sowie auch bei eventuellen Neubauten auf den Einbau von Anlagen, die „H<sub>2</sub>-ready“ sind. Da fossiles Erdgas bei gleicher bereitgestellter Energiemenge weniger CO<sub>2</sub> emittiert als Braunkohle, ist dieses zwar relativ klimafreundlicher, jedoch nicht absolut klimaneutral. Eine langfristige Zukunftsfähigkeit der Energieversorgung auf Basis von fossilem Erdgas ist somit nicht gegeben. Der Einbau wasserstofffähiger Anlagen ermöglicht langfristig eine kostengünstige Umstellung auf Wasserstoff, sobald dies erforderlich wird und die marktseitigen Rahmenbedingungen geschaffen sind. Damit streben wir an, dass eine Verfeuerung von Erdgas nur eine Brückentechnologie zur Umstellung auf Wasserstoff darstellen wird.

Im Rahmen einer **vierten Maßnahme** sollen **Pilotvorhaben** zur Entwicklung geeigneter Prozesstechnik unter Nutzung von Was-

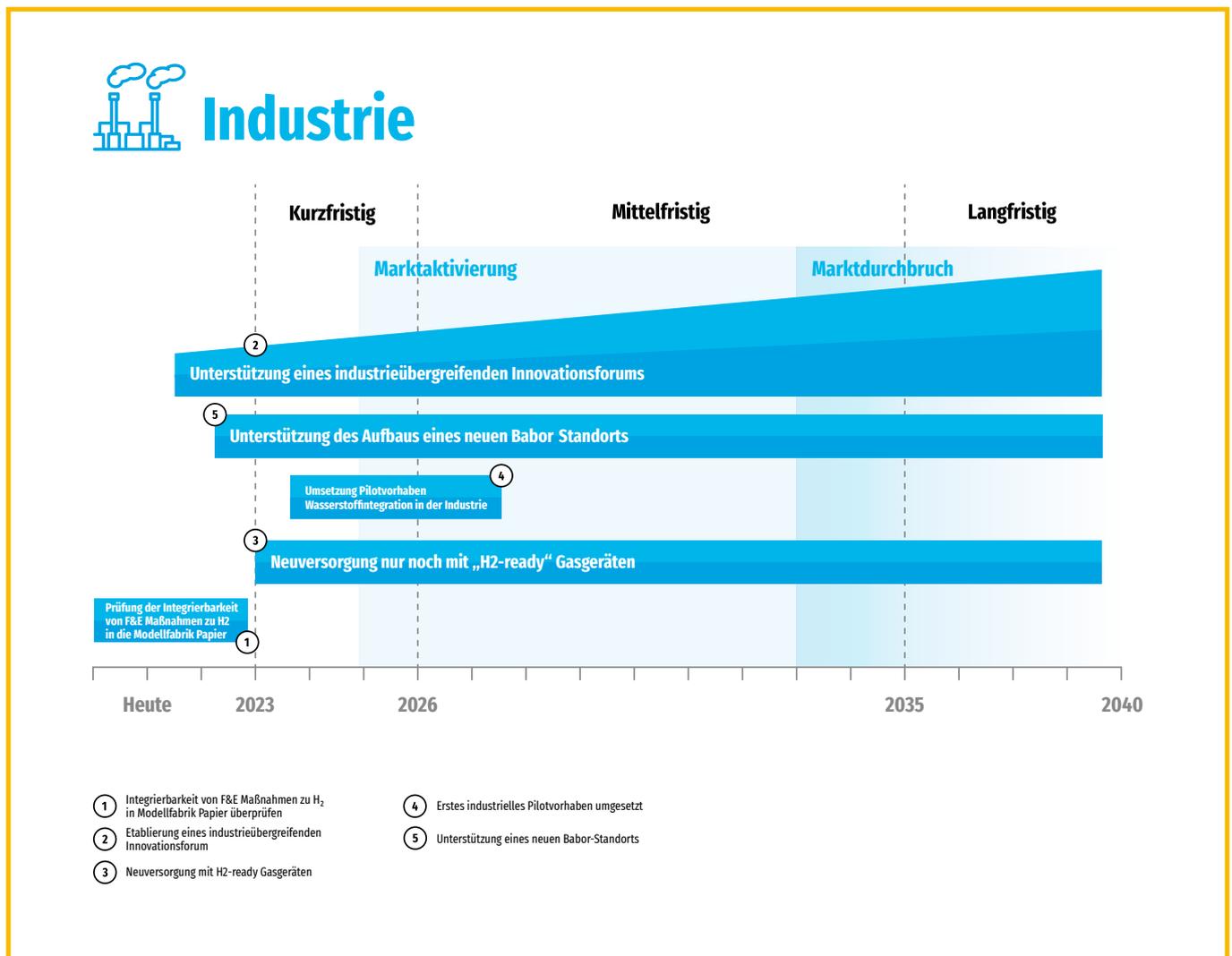
serstoff in industriellen Anwendungen identifiziert und umgesetzt werden.

Neben der Integration von Wasserstoff in bestehende Industriestandorte ermöglichen insbesondere Neuansiedlungen im Aufbau bereits frühzeitige neue Wasserstoffanwendungen. Einer dieser neuen Standorte ist das Leuchtturmprojekt von Babor (siehe Kapitel 3.2.3). Dieses Leuchtturmprojekt gilt es optimal zu unterstützen. Hierzu wird als **konkrete fünfte Maßnahme der Aufbau des Standortes von uns aktiv begleitet werden**.

Babor möchte am neuen Standort die nachhaltigste Kosmetikfabrik der Welt errichten. Die technische Gebäudeausstattung soll komplett frei von CO<sub>2</sub> und fossilen Brennstoffen betrieben werden. Die PV-Anlage wird in einem ersten Ausbauschnitt bereits zu einem Autakiegrad von schätzungsweise 50-60% führen. Der überschüssige Strom wird zur Produktion von grünem Wasserstoff genutzt, welcher, wie oben bereits erwähnt, zur Ampullenfertigung benötigt wird.

Die Beheizung sowie die Kühlung des Gebäudes erfolgen über Wärmepumpen. Diese Abwärme, u.a. der Gleichrichter der PV-Anlage soll wiederum für weitere Prozesse genutzt werden.

Abbildung 48: Roadmap Industrie



Vor dem Hintergrund des Mobilitätswandels werden ausreichend Ladesäulen zum Betanken des stetig wachsenden Elektrofuhrparks installiert.

Unsere konkreten Meilensteine sind:

- » MS6.1: Bis Ende 2022:  
Integrierbarkeit von F&E Maßnahmen zu H2 in Modellfabrik Papier geprüft
- » MS6.2: Ab 2022:  
Industrieübergreifendes H2-Innovationsforum etabliert
- » MS6.3: Ab 2023:  
Erste Neuversorgung mit „H2-ready“ Gasgeräten
- » MS6.4: Bis Anfang 2030:  
Unterstützung eines ersten Pilotvorhabens zur Einbringung von Wasserstoff
- » MS6.5: Bis 2022  
Wasserstoffoptionen für Babor für den neuen Standort beleuchtet

## 5.5 Leuchtturmprojekte

### 5.5.1 Brainergy Park

Unsere Stadt Jülich sowie die Nachbargemeinden Niederzier und Titz haben den Brainergy Park Jülich als ein interkommunales Gewerbegebiet in Trägerschaft der Brainergy Park Jülich GmbH gegründet. Das Areal befindet sich größtenteils auf dem Gebiet, auf dem ursprünglich die Sendeanlagen der „Deutschen Welle“ Platz gefunden hatten.

Ziel der drei beteiligten Kommunen ist es, für dieses Gewerbegebiet ein Konzept zu entwickeln, welches einen signifikanten Beitrag zur Bewältigung des anstehenden Strukturwandels im Rheinischen Revier leistet. Hierzu wurde ein detaillierter Masterplan erstellt. [106]

Es entsteht unter anderem eine Simulationsfläche und Demonstrationsplattform für das Energiemanagement der Zukunft dessen Herzstück ein rund 7.500 m<sup>2</sup> großer Zentralbau – der Brainergy Hub – bildet. Dieser wird nach dem neuesten Stand der Wissenschaft mit Wärme, Energie, Kälte und Internet versorgt und offeriert darüber hinaus Gründern und Unternehmen aus der Energiebranche attraktive Unternehmensflächen. [107]

Ein zentrales Element wird hierbei die PV-Strom- sowie Wasserstoffproduktion spielen. Hierzu wird einer der größten Solarparks in NRW, aus rund 18.000 Solar-Modulen, entstehen. Die installierte Leistung entspricht dabei 9 MW, mit der rund 9.000.000 kWh pro Jahr produziert werden können.

An diesen Solarpark wird eine 8,5 MW Elektrolyseanlage gekoppelt werden. Hiermit können jährlich rund 157 Tonnen Wasserstoff produziert werden, was grob einer CO<sub>2</sub>-Ersparnis von 17.000 Tonnen pro Jahr entspricht.

Baubeginn für die Produktionsanlagen ist nach Abschluss der Planungsphase noch im Jahr 2022, wobei wir von einer Fertigstellung im Jahr 2023 ausgehen.

Zur Umsetzung des Projektes wird eine Betreibergesellschaft gegründet werden, der neben uns – dem Kreis Düren –, die Siemens AG, die RWE AG und der Industriegasespezialist Messer Group angehören. Diese Gesellschaft ist für das gesamte Projekt verantwortlich und tritt als Bauherrin auf.

### 5.5.2 Busse und Züge mit Brennstoffzellen

Mit zwei Leuchtturmprojekten wollen wir gemeinsam mit dem NVR den Einsatz von Wasserstoff im Verkehrssektor vorantreiben: Brennstoffzellenzüge im SPNV und Brennstoffzellenbusse im ÖPNV.

Die Rurtalbahn wird als eine der ersten Eisenbahngesellschaften in Nordrhein-Westfalen Brennstoffzellenzüge im Linienbetrieb einsetzen. Im Jahr 2023 werden vier Brennstoffzellenzüge beschafft und auf der Strecke von Düren nach Heimbach eingesetzt. Bis zum Jahr 2026 soll dann die gesamte Flotte der Rurtalbahn von insgesamt 12 Zügen auf Wasserstoffantrieb umgerüstet werden. Zur Betankung der Züge wird an der Nordseite des Bahnhofs Düren eine Wasserstofftankstelle errichtet. Am selben Standort entsteht eine neue Werkstatt zur Wartung und Instandhaltung der Züge.

Auch die Schwestergesellschaft Rurtalbus setzt voll auf Wasserstoff: Noch in diesem Jahr werden die ersten Brennstoffzellenbusse im Linienbetrieb eingesetzt werden. Mit einer Neubeschaffung von fünf Brennstoffzellenbussen pro Jahr soll bis ca. 2032 die gesamte Flotte von 60 Bussen umgestellt sein. Zur Betankung der Busse soll ab 2023 eine Wasserstofftankstelle errichtet werden. Weitere Details sind in [Kapitel 3.2.1](#) beschrieben. Die Wartung der BZ-Busse wird ebenfalls an der Nordseite des Bahnhofs Düren in neuen Werkstätten erfolgen.

Nach Umstellung aller Fahrzeuge sparen wir jährlich etwa 13.000 t CO<sub>2</sub> ein<sup>2</sup> und tragen damit direkt zur Verbesserung unserer Klimabilanz bei. Durch die Nutzung von lokal erzeugtem Wasserstoff steigern wir zudem die lokale Wertschöpfung ([vgl. Kapitel 4.3](#)): Der Kraftstoff für die Fahrzeuge wird per Elektrolyse im Brainergy Park erzeugt.

<sup>2</sup> Berechnung Emissionseinsparung: Busse: 8 Mio. km pro Jahr<sup>[108]</sup>, 1.050 g CO<sub>2</sub> pro km<sup>[10]</sup>, Züge: 1,4 Mio. km pro Jahr<sup>[109]</sup>, 3.300 g CO<sub>2</sub> pro km<sup>[26]</sup>



Abbildung 49: Testfahrt des Brennstoffzellenzuges Coradia iLint in Düren,  
Foto: EMCEL GmbH

### 5.5.3 Gebäude

Wasserstoff leistet durch die Bereitstellung von Wärme und Strom in der Gebäudeversorgung einen langfristigen Beitrag zur Bekämpfung des Klimawandels. Der Kreis Düren hat sich daher zum Ziel gesetzt bis **2024** ein erstes öffentliches Gebäude und bis **2027** ein erstes Quartier auf Wasserstoffversorgung umzustellen.

Solch ein erstes Gebäude kann z. B. eine öffentliche Schule sein, deren im Vergleich zu Wohngebäuden hoher Wärme- und auch Strombedarf den Einsatz eines BHKW im Kraft-Wärme-Kopplungsbetrieb attraktiv machen. Ein BHKW kann den Wasserstoff entweder in einer Brennkammer mit einem Gesamtwirkungsgrad von ca. 80 % verfeuern oder in einer Brennstoffzelle hocheffizient mit einem auf den unteren Heizwert bezogenen Gesamtwirkungsgrad von über 100 % in Strom und Wärme umwandeln. Da bei modernen Anlagen auch die latente Wärme aus der Kondensation des Dampfes thermisch genutzt werden kann, sind rechnerisch – bezogen auf die historische Heizwertdefinition – Gesamtwirkungsgrade von über 100 % möglich. Nach finaler Auswahl des Gebäudes strebt der Kreis Düren die schnellstmögliche Realisierung der Maßnahme an.

Aufbauend auf den Erfahrungen der Gebäudeversorgung auf Basis von Wasserstoff wird der Kreis Düren die Auswahl eines Quartiers zur Versorgung mit 100 % Wasserstoff vorantreiben. Hierzu werden die rechtlichen Möglichkeiten zur Schaffung von Anreizen geprüft. Die Gerätebeschaffung soll nach Möglichkeit anschließend entweder gemeinsam über eine Käufergemeinschaft oder in Kooperation mit einem Bauträger erfolgen. Nach Auswahl des Standorts erfolgt die Realisierung der Maßnahme sofort ab Vorlage der rechtlichen, technischen und ökonomischen Rahmenbedingungen.



# **UNSERE NÄCHSTEN SCHRITTE**

## 6. Ausblick

Wir danken Ihnen für Ihr Interesse an der Wasserstoffoffensive im Kreis Düren. Nachdem wir nun in diesem Dokument detailliert unsere Ausgangslage beleuchtet und gemeinsam mit Ihnen eine Wasserstoffstrategie und -roadmap entwickelt haben, gilt es diese nun konkret ins Leben zu rufen.

Auch wenn unsere Roadmap detailliert in die Zukunft geplant ist, stellen die ersten Schritte stets die größte Herausforderung dar. Hier gilt es die Wasserstofftechnologien sinnvoll und wirtschaftlich in bestehende Systeme zu integrieren, denn wengleich die Wasserstoffoffensive sich stark auf die hießige Gebietskulisse des Kreises Düren fokussiert, wollen wir dabei insbesondere unsere regionalen aber auch über unsere Kreisgrenzen hinaus interessierten Akteure und Stakeholder mit auf diese Transformation nehmen. Dabei kommt unserer „H2-Werkstatt“ mit dem H2-Kompetenzteam und unseren dort beheimateten Ansprechpartnern in der Koordinierung und Konzeptentwicklung der weiteren konkreten Schritte eine besondere Rolle zu.

Um für Sie konkret ansprechbar zu sein und zu bleiben haben wir Ihre Kontaktpersonen nachfolgend aufgeführt.

Wir wollen die in dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse in einem konkreten ersten Schritt vorstellen und bei einem offiziellen Termin der Öffentlichkeit ausführlich präsentieren. Anschließend wollen wir über regelmäßige Workshops in einen Bürgerdialog mit Ihnen treten.

Die hier vorgestellten Erkenntnisse liefern nur den Start für einen wichtigen Transformationsprozess hin zu nachhaltigen Energieträgern, wie dem grünen Wasserstoff.



**Anne Schüssler**  
 ☎ 02421/221061113  
 ✉ a.schuessler@kreis-dueren.de



**Frank Burkard**  
 ☎ 02421/221061121  
 ✉ f.burkard@kreis-dueren.de



**Marius Richter**  
 ☎ 02421/221061122  
 ✉ m.richter@kreis-dueren.de



# ANHANG

# Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Erläuterung</b>
BEV	Batterieelektrisches Fahrzeug (engl.: Battery Electric Vehicle)
BHKW	Blockheizkraftwerk
BZ	Brennstoffzelle
CCFD	Kohlenstoff-Differenzverträge (engl.: Carbon Contracts for Difference)
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
FCEV	Brennstoffzellenfahrzeug (engl.: Fuel Cell Electric Vehicle)
FZJ	Forschungszentrum Jülich GmbH
H <sub>2</sub>	Wasserstoff
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LBST	Lüdwig-Bölkow Systemtechnik GmbH
LCOH	Wasserstoffgestehungskosten (engl.: Levelized Cost of Hydrogen)
LNF	Leichtes Nutzfahrzeug (< 3,5 t Gesamtgewicht)
LOHC	Flüssige organische Wasserstoffträger (engl.: Liquid Organic Hydrogen Carriers)
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
PEM	Polymerelektrolytbrennstoffzelle (engl.: Proton Exchange Membrane)
PKW	Personenkraftwagen
RED	Renewable Energy Directive
SNF	Schweres Nutzfahrzeug (> 3,5 t Gesamtgewicht)
TRL	Technologiereifegrad (engl.: Technology Readiness Level)

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Der Kreis Düren.....	11
Abbildung 2:	Energieverbrauch und erneuerbare Energien im Kreis Düren .....	13
Abbildung 3:	Expertengespräch im Forschungszentrum Jülich .....	17
Abbildung 4:	NRW-Verkehrsminister Hendrik Wüst (Mitte), Landrat Wolfgang Spelthahn (r.), und Heiko Sedlacek, Geschäftsführer des Zweckverbandes NVR; Foto: Kreis Düren.....	17
Abbildung 5:	Ausgewählte Brennstoffzellen-PKW in der Gemeinde Nörvenich (oben), der Stadt Jülich (mitte) und dem Kreis Düren (unten).....	19
Abbildung 6:	Einfahrt des Alstom-Wasserstoffzuges im Dürener Bahnhof.....	20
Abbildung 7:	Erneuerbare Energien Potenzial   Quelle: Energieatlas NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von <a href="https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30040b.pdf">https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30040b.pdf</a> & <a href="https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30040a.pdf">https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30040a.pdf</a> .....	23
Abbildung 8:	Aktuelle Photovoltaikanlagen und potenzieller Stromertrag im Kreis Düren aufgeteilt nach Dach- & Freiflächenanlagen   Quelle: Energieatlas NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von <a href="https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30040b.pdf">https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30040b.pdf</a> & <a href="https://www.energieatlas.nrw.de/site/bestandskarte">https://www.energieatlas.nrw.de/site/bestandskarte</a> .....	26
Abbildung 9:	Mittlerer Stromverbrauch und -ertrag sowie bilanzielle Betrachtung Quelle: Energieatlas NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von <a href="https://www.energieatlas.nrw.de/site/bestandskarte">https://www.energieatlas.nrw.de/site/bestandskarte</a> & Marktstammdatenregister: <a href="https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR">https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR</a> .....	27
Abbildung 10:	Aktuelle Windenergieanlagen und potenzieller Windenergieertrag bei uns im Kreis Düren Quellen: Energieatlas NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von <a href="https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30040a.pdf">https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30040a.pdf</a> & <a href="https://www.energieatlas.nrw.de/site/bestandskarte">https://www.energieatlas.nrw.de/site/bestandskarte</a> .....	28
Abbildung 11:	Abgrenzung leichter und schwerer Nutzfahrzeuge .....	30
Abbildung 12:	In der Literatur erwartete Spanne der deutschlandweiten Marktdurchdringung von Brennstoffzellenfahrzeugen bis zum Jahr 2035 <sup>[25]</sup> .....	32
Abbildung 13:	Entwicklung des Wasserstoffbedarf nach Szenario und Fahrzeugkategorie. ....	33
Abbildung 14:	Entwicklung der CO <sub>2</sub> - und NO <sub>x</sub> -Emissionen nach Szenario und Fahrzeugkategorie. ....	34
Abbildung 15:	Spanne des zukünftigen Wasserstoffbedarfs und der Fahrzeugzahl für PKW anhand der betrachteten Szenarien mit Gegenüberstellung der bereits bekannten Maßnahmen. ....	35
Abbildung 16:	Spanne des zukünftigen Wasserstoffbedarfs und der Fahrzeugzahl für leichte Nutzfahrzeuge anhand der betrachteten Szenarien mit Gegenüberstellung der bereits bekannten Maßnahmen. ....	36
Abbildung 17:	Spanne des zukünftigen Wasserstoffbedarfs und der Fahrzeugzahl für Busse anhand der betrachteten Szenarien mit Gegenüberstellung der bereits bekannten Maßnahmen. ....	36
Abbildung 18:	Spanne des zukünftigen Wasserstoffbedarfs und der Fahrzeugzahl für schwere Nutzfahrzeuge anhand der betrachteten Szenarien mit Gegenüberstellung der bereits bekannten Maßnahmen. ....	37
Abbildung 19:	Spanne des zukünftigen Wasserstoffbedarfs und der Fahrzeugzahl für Züge anhand der betrachteten Szenarien mit Gegenüberstellung der bereits bekannten Maßnahmen. ....	37
Abbildung 20:	Beispiel eines zentralen Energieversorgungskonzepts für Gebäudequartiere.....	38

Abbildung 21:	Beispiel eines dezentralen Energieversorgungskonzept für Gebäudequartiere.....	39
Abbildung 22:	Referenzierung nach Standort und Industriebranche von energieintensiven Unternehmen im Kreis Düren.....	44
Abbildung 23:	Optionen zur Speicherung von Wasserstoff <sup>[19]</sup> .....	46
Abbildung 24:	Beispielhafter Aufbau einer Bustankstelle <sup>[62]</sup> .....	51
Abbildung 25:	Flächenbedarf für Bus-Tankstellen <sup>[62]</sup> .....	52
Abbildung 26:	Bustankstelle der RVK in Meckenheim, Bild: EMCEL GmbH.....	52
Abbildung 27:	Geplante und mögliche Tankstellenstandorte im Kreis Düren. Die fett markierten Tankstellen befinden sich schon in Planung und Vorbereitung. ....	53
Abbildung 28:	Modularer Ausbau der Tankstellenkapazität.....	54
Abbildung 29:	Regionen in Nordrhein-Westfalen, die Wasserstoffkonzepte erarbeiten bzw. erarbeitet haben <sup>[66] [67] [68] [69]</sup> .....	58
Abbildung 30:	Planungen zu HyPipCo und Integration in ein nationales Wasserstoffnetz NEP S. 182 <sup>[72]</sup> .....	59
Abbildung 31:	European Hydrogen Backbone“ in 2040 <sup>[73]</sup> .....	59
Abbildung 32:	Zielkosten inkl. Steuern und Umlagen (netto) verschiedener Wasserstoffanwendungen.....	61
Abbildung 33:	Typische Zusammensetzung des Wasserstoffpreises für den Verkehrssektor.....	62
Abbildung 34:	Gestehungskosten für Wasserstoff aus Elektrolyse in €/kgH <sub>2</sub> in Abhängigkeit der Strombezugskosten und Volllaststunden des Elektrolyseurs.....	63
Abbildung 35:	Wasserstoffgestehungskosten der Elektrolyse im Brainergy Park.....	64
Abbildung 36:	Transportkosten der Fallbeispiele in Abhängigkeit der Transportdistanz und des Wasserstoffdurchsatzes pro Tag.....	66
Abbildung 37:	Aufschlüsselung der Kostenbestandteile bei der Wasserstofferzeugung am Beispiel von Industriestrompreisen ohne Entlastung.....	69
Abbildung 38:	Auswirkungen von Entlastungen der energiefiskalischen Strompreisbestandteile auf die Wasserstofferzeugungskosten, ausgehend vom Industriestrompreis (2020: 16,54 ct/kWh <sup>[81]</sup> ).....	71
Abbildung 39:	Stromversorgungskonzepte des Elektrolyseurs.....	72
Abbildung 40:	Lokale Wertschöpfung der Wasserstoffproduktion im Vergleich zum Diesel-Import.....	75
Abbildung 41:	Mögliche Arbeitsplatzeffekte durch eine lokale Wasserstoffwirtschaft im Kreis Düren. Arbeitsplatzeffekte aus der Wasserstoffstudie NRW <sup>[42]</sup> , regionalisiert über die Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im produzierenden Gewerbe in NRW <sup>[89]</sup> und dem Kreis Düren <sup>[90]</sup> .....	76
Abbildung 42:	Rücklauf der Fragebögen nach Bereichen.....	78
Abbildung 43:	Überblick Roadmap zur Visualisierung der einzelnen Bereiche.....	81
Abbildung 44:	Roadmap Wasserstofferzeugung und Energiewirtschaft.....	87
Abbildung 45:	Roadmap Verteilung.....	88
Abbildung 46:	Roadmap Verkehr.....	89
Abbildung 47:	Roadmap Gebäudebereich.....	91
Abbildung 48:	Roadmap Industrie.....	93
Abbildung 49:	Testfahrt des Brennstoffzellenzuges Coradia iLint in Düren, Bild: EMCEL GmbH.....	95

# Literaturverzeichnis

- [1] UNITED NATIONS, „PARIS AGREEMENT“, 2015. [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf).
- [2] Europäische Kommission, „Green Deal: Kommission legt Strategien für das Energiesystem der Zukunft und sauberen Wasserstoff vor“, 2020. [https://ec.europa.eu/germany/news/20200708-wasserstoffstrategie\\_de](https://ec.europa.eu/germany/news/20200708-wasserstoffstrategie_de).
- [3] Europäische Kommission, „Klima- und energiepolitischer Rahmen bis 2030“. [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_de](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_de).
- [4] Bundesregierung, „Die nationale Wasserstoffstrategie“, 2020. Zugegriffen: Dez. 10, 2020. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=18](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=18).
- [5] MWIDE NRW, „Wasserstoff Roadmap Nordrhein-Westfalen“, 2020. Zugegriffen: Jan. 25, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://bro-schuerenservice.land.nrw/files/5/d/5d2748f42f6b926ea2f21b529b968a47.pdf>.
- [6] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, „Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Teil 2 – Solarenergie LANUV-Fachbericht 40“. Zugegriffen: Dez. 28, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.energieatlas.nrw.de/site/potenzialstudien>.
- [7] Bundesnetzagentur, Hrsg., „Marktstammdatenregister“, 2021.
- [8] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, „Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Teil 1 – Windenergie – LANUV-Fachbericht 40“. 2012, Zugegriffen: Dez. 28, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.energieatlas.nrw.de/site/potenzialstudien>.
- [9] Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“, „Abschlussbericht“, 2019. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/A/abschlussbericht-kommission-wachstum-strukturwandel-und-beschaeftigung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/A/abschlussbericht-kommission-wachstum-strukturwandel-und-beschaeftigung.pdf?__blob=publicationFile&v=4).
- [10] Umwelt Bundesamt, „NO<sub>2</sub>-Grenzwertüberschreitungen 2018/2019“, 2020. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/no2-ueberschreitungen\\_staedte\\_2019\\_stand\\_28.05.2020.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/no2-ueberschreitungen_staedte_2019_stand_28.05.2020.pdf).
- [11] World Health Organization, „Ambient (outdoor) air pollution“, 2018. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- [12] Aachener Zeitung, „Wasserstoff-Strategie – Mitstreiter in Politik und Wissenschaft gefunden“, 2019. [https://www.aachener-zeitung.de/lokales/juelich/experten-gespraech-zur-wasserstoff-strategie-des-kreises-dueren\\_aid-36719867](https://www.aachener-zeitung.de/lokales/juelich/experten-gespraech-zur-wasserstoff-strategie-des-kreises-dueren_aid-36719867).
- [13] M. Klell, H. Eichseder, und A. Trattner, Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik: Erzeugung, Speicherung, Anwendung, 4., Aktualisierte und Erweiterte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2018.
- [14] Martin Robinius, Strom- und Gasmärktedesign zur Versorgung des deutschen Straßenverkehrs mit Wasserstoff, Bd. Energie&Umwelt / Energy&Environment, Band / Volume 300. Schriften des Forschungszentrums Jülich Reihe, 2015.
- [15] Deutsche WINDGUARD, „Volllaststunden von Windenergieanlagen an Land“. 2020, Zugegriffen: Feb. 09, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.lee-nrw.de/data/documents/2020/11/23/532-5fbb61e5e6bb2.pdf>.
- [16] Deutsche WINDGUARD, „Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz Teilvorhaben II e): Wind an Land“, 2018.
- [17] EMCEL u. a., „H<sub>2</sub>R – Wasserstoff Rheinland: Feinkonzept im Zuge des Wettbewerbsaufrufs der ‚Modellkommune/-region Wasserstoff-Mobilität NRW‘“, 2020. Zugegriffen: Jan. 25, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.wasserstoff-rheinland.de/wp-content/uploads/2020/11/H2R\\_feinkonzept\\_2020\\_08\\_20.pdf](https://www.wasserstoff-rheinland.de/wp-content/uploads/2020/11/H2R_feinkonzept_2020_08_20.pdf).
- [18] „Pkw-Antriebe im Überblick – Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft“, springerprofessional.de, Dez. 06, 2012. <https://www.springer-professional.de/motorentchnik/pkw-antriebe-im-ueberblick-vergangenheit-gegenwart-und-zukunft/6561052> (zugegriffen Feb. 23, 2021).
- [19] umlaut Energy, EMCEL, Becker Büttner Held Rechtsanwälte Wirtschaftsprüfer, Becker Büttner Held Consulting, und Forschungszentrum Jülich, „Gutachten H<sub>2</sub>-Erzeugung und Märkte Schleswig-Holstein“, 2020. Zugegriffen: Jan. 25, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/E/energiewende/Downloads/Wasserstoff-Gutachten.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/E/energiewende/Downloads/Wasserstoff-Gutachten.pdf?__blob=publicationFile&v=1).
- [20] European Parliament and Council of the European Union, „Directive (EU) 2018/2001 of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources“, Off. J. Eur. Union, Dez. 2018.

- [21] European Parliament and Council of the European Union, „Directive (EU) 2019/1161 of 20 June 2019 amending Directive 2009/33/EC on the promotion of clean and energy-efficient road transport vehicles“, Off. J. Eur. Union, Juli 2019.
- [22] H<sub>2</sub>LIVE, „Filling up with H<sub>2</sub>“, 2021. <https://h2.live/en/> (zugegriffen Jan. 25, 2021).
- [23] European Commission, „Technology Readiness Levels“. [Online]. Verfügbar unter: [https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014\\_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf).
- [24] umlaut Energy, EMCEL, Becker Büttner Held Rechtsanwälte Wirtschaftsprüfer, und ETC Energy Transition Consulting, „Gutachten H<sub>2</sub>-Mobilität und Förderrichtlinien Schleswig-Holstein“, 2020.
- [25] S. Cerniauskas, T. Grube, A. Praktiknjo, D. Stolten, und M. Robinius, „Future Hydrogen Markets for Transportation and Industry: The Impact of CO<sub>2</sub> Taxes“, *Energies*, Bd. 12, Nr. 24, S. 4707, Dez. 2019, doi: 10.3390/en12244707.
- [26] J. L. Breuer, R. C. Samsun, R. Peters, und D. Stolten, „Emissionsreduktionspotential alternativer Energieträger im Verkehrssektor: Eine Fallstudie für Nordrhein-Westfalen“, Unpublished, 2021.
- [27] R. Wurster, „Schnell umgesetzte klimaneutrale Schwerlast-Lkw-Logistik nur durch Brennstoffzellen-Lkw erfolgversprechend“, gehalten auf der BWL-Symposium „Grüne Logistik, das Ende des Diesels“, Ottobrunn/München, Dez. 02, 2020.
- [28] Hyundai, „Die ersten schweren Brennstoffzellen-Nutzfahrzeuge Hyundai XCIENT Fuel Cell sind unterwegs nach Europa“, aktuell, Juli 08, 2020. <https://aktuell.hyundai.ch/die-ersten-schweren-brennstoffzellen-nutzfahrzeuge-hyundai-xcient-fuel-cell-sind-unterwegs-nach-europa/> (zugegriffen Jan. 25, 2021).
- [29] D. Schmidt, „Vorstellung des Konzepts für die Errichtung und Betreibung einer öffentlich zugänglichen Wasserstoff-Tankstelle für Lastkraftwagen im Güterverkehrszentrum Erfurt“, Dez. 11, 2020, Zugegriffen: Jan. 25, 2020. [Online]. Verfügbar unter: [https://umwelt.thueringen.de/fileadmin/001\\_TMUEN/Aktuelles/Topthemen/Online-Konferenz\\_Nachhaltige\\_Mobilitaet/006\\_TMUEN\\_11.12.2020\\_Schmidt.pdf](https://umwelt.thueringen.de/fileadmin/001_TMUEN/Aktuelles/Topthemen/Online-Konferenz_Nachhaltige_Mobilitaet/006_TMUEN_11.12.2020_Schmidt.pdf).
- [30] H<sub>2</sub>LIVE, „Hydrogen cars“, H<sub>2</sub>LIVE, 2021. <https://h2.live/en/wasserstoffautos> (zugegriffen Jan. 25, 2021).
- [31] Kraftfahrt-Bundesamt, „Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbeziren, 1. Januar 2020 (FZ 1)“, 2020. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/ZulassungsbezirkeGemeinden/b\\_zulassungsbezirke\\_inhalt.html;jsessionid=FCF35D118380AF5E8A070F15283D60AD.live21304?nn=2598042](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/ZulassungsbezirkeGemeinden/b_zulassungsbezirke_inhalt.html;jsessionid=FCF35D118380AF5E8A070F15283D60AD.live21304?nn=2598042).
- [32] BDEW, „Entwicklung der Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau: 10-Jahre-Rückblick bis heute“. <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/entwicklung-beheizungsstruktur-wohnungsneubau/> (zugegriffen Feb. 18, 2021).
- [33] Bosch, „Der Energiewende einen Schritt näher (Pressemitteilung)“, Bosch Media Service, Nov. 05, 2020. <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/der-energiewende-einen-schritt-naeher-220800.html> (zugegriffen Feb. 18, 2021).
- [34] Bosch, „Stationäre Brennstoffzelle: Bosch will 2024 mit Serienfertigung starten“, Bosch Media Service. <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/stationaere-brennstoffzelle-bosch-will-2024-mit-serienfertigung-starten-221952.html> (zugegriffen März 11, 2021).
- [35] L. Osterkamp, „Deutschlands erste Wasserstoff-Siedlung soll in Gütersloh entstehen“, *Region*. [https://www.haller-kreisblatt.de/region/22826642\\_Deutschlands-erste-Wasserstoff-Siedlung-soll-in-Guetersloh-entstehen.html](https://www.haller-kreisblatt.de/region/22826642_Deutschlands-erste-Wasserstoff-Siedlung-soll-in-Guetersloh-entstehen.html) (zugegriffen Feb. 18, 2021).
- [36] 2G, „Wasserstoff-BHKW – 2G“, 2G Wasserstoff BHKW, 2021. <https://www.2-g.com/de/wasserstoff-bhkw/> (zugegriffen Apr. 07, 2021).
- [37] HEE Technologies GmbH, „100 kWel CHP FC System“, newhee.com, 2021. <https://www.newhee.com/100kwel-chp-fuel-cell-system> (zugegriffen Apr. 08, 2021).
- [38] DVGW, „H<sub>2</sub> vor Ort“, 2020.
- [39] AGEB, „Auswertungstabellen zur Energiebilanz 2019“, 2020.
- [40] B. Gillessen, „Auswirkungen der Energiewende auf das deutsche Gastransportsystem“, RWTH Aachen University, Aachen, 2020.
- [41] M. Robinius u. a., Wege für die Energiewende kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050. 2020.
- [42] J. Michalski, M. Altmann, U. Bünger, und W. Weindorf, „Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen“, 2019.
- [43] LBST, „Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen“, 2019. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.wirtschaft.nrw/sites/default/files/asset/document/bericht\\_wasserstoffstudie\\_nrw-2019-04-09\\_komp.pdf](https://www.wirtschaft.nrw/sites/default/files/asset/document/bericht_wasserstoffstudie_nrw-2019-04-09_komp.pdf).
- [44] J. Blechschmidt, Taschenbuch der Papiertechnik. Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG, 2013.
- [45] Lopion, P., Klüh, K., Markewitz, P., Robinius, M., Stolten, D., „MODELLGESTÜTZTE ANALYSE DES TREIBHAUSGASREDUKTIONSPOTENZIALS DER DEUTSCHENPAPIERINDUSTRIE“, 2018. [https://www.tugraz.at/fileadmin/user\\_upload/Events/Eninnov2018/files/lf/Session\\_A3/233\\_LF\\_Lopion.pdf](https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2018/files/lf/Session_A3/233_LF_Lopion.pdf).

- [46] Papier und Technik, „Papierindustrie senkt Energieverbrauch und Emissionen“, 2020. <https://www.papierundtechnik.de/im-blickpunkt/papierindustrie-senkt-energieverbrauch-und-emissionen/>.
- [47] Verband Deutscher Papierfabriken e.V., „Papier und Wasser“. [https://www.vdp-online.de/fileadmin/0002-VDP/07\\_Dateien/7\\_Publikationen/Papier\\_kompakt\\_DE.pdf](https://www.vdp-online.de/fileadmin/0002-VDP/07_Dateien/7_Publikationen/Papier_kompakt_DE.pdf).
- [48] L. Welder u. a., „Design and evaluation of hydrogen electricity reconversion pathways in national energy systems using spatially and temporally resolved energy system optimization“, Spec. Issue Power Gas Hydrog. Appl. Energy Syst. Differ. Scales – Build. Dist. Natl. Level, Bd. 44, Nr. 19, S. 9594–9607, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.ijhydene.2018.11.194.
- [49] L. Welder u. a., „AUSLEGUNG UND BEWERTUNG VON WASSERSTOFFRÜCKVERSTROMUNGSPFADEN IN NATIONALEN ENERGIESYSTEMEN MITTELS RÄUMLICH-ZEITLICH AUFGELÖSTER ENERGIESYSTEMOPTIMIERUNG“, Graz/Austria, 2018.
- [50] Hagen Lang, „Erste Power2X2Power-Anlage mit Wasserstoff-Gasturbine“, 2020. <https://www.smarterworld.de/smart-power/sonstige/erste-power2x2power-anlage-mit-wasserstoff-gasturbine.177017.html>.
- [51] J. Ogden, A. M. Jaffe, D. Scheitrum, Z. McDonald, und M. Miller, „Natural gas as a bridge to hydrogen transportation fuel: Insights from the literature“, Energy Policy, Bd. 115, S. 317–329, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.049>.
- [52] Dennis Krieg, Konzept und Kosten eines Pipelinesystems zur Versorgung des deutschen Straßenverkehrs mit Wasserstoff. 2012.
- [53] Gillessen, Simonas Cerniauskas, Jochen Linßen, Thomas Grube, Martin Robinus, Detlef Stolten, Umstellung von Erdgaspipelines auf Wasserstoff – Eine wirtschaftliche Alternative für Deutschland? .
- [54] S. Cerniauskas, A. J. C. Junco, T. Grube, M. Robinus, und D. Stolten, „Options of natural gas pipeline reassignment for hydrogen: Cost assessment for a Germany case study“, Int. J. Hydrog. Energy, Bd. 45, Nr. 21, S. 12095–12107, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.02.121>.
- [55] 3R, „Erdgasleitung wird zu 100 % auf Wasserstoff umgestellt“, März 09, 2021. <https://3r-rohre.de/industrie-wirtschaft/17-11-2020-erdgasleitung-wird-zu-100-auf-wasserstoff-umgestellt/>.
- [56] M. Reuß, Techno-ökonomische Analyse alternativer Wasserstoffinfrastruktur. Jülich: Forschungszentrum Jülich, 2019.
- [57] D. Teichmann, K. Stark, K. Müller, G. Zöttl, P. Wasserscheid, und W. Arlt, „Energy storage in residential and commercial buildings via Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC)“, Energy Env. Sci, Bd. 5, Nr. 10, S. 9044–9054, 2012, doi: 10.1039/C2EE22070A.
- [58] Hydrogenious LOHC Technologies, „Kick-off für Bau und Betrieb der weltweit größten Anlage zur Einspeicherung von grünem Wasserstoff in Liquid Organic Hydrogen Carrier in Dormagen“, 2021. <https://www.hydrogenious.net/index.php/de/2021/03/03/kick-off-fuer-bau-und-betrieb-der-weltweit-groessten-anlage-zur-einspeicherung-von-gruenem-wasserstoff-in-liquid-organic-hydrogen-carrier-in-dormagen/>.
- [59] Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, „H<sub>2</sub> Stations Map“. <https://www.h2stations.org/stations-map/?lat=49.763948&lng=12.582221&zoom=4> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [60] H<sub>2</sub> Mobility Deutschland GmbH & Co. KG, „Wasserstofftankstellen in Deutschland & Europa“. <https://h2.live/> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [61] NOW GmbH, „Standort-Tool – Ausbaupotenzial“. <https://www.standorttool.de/wasserstoff/ausbaupotenzial/> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [62] NOW GmbH, „Einführung von Wasserstoffbussen im ÖPNV – Fahrzeuge, Infrastruktur und betriebliche Aspekte“, 2018. Zugegriffen: Apr. 16, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2018/12/NOW-Broschuere\\_Wasserstoffbusse-im-OePNV.pdf](https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2018/12/NOW-Broschuere_Wasserstoffbusse-im-OePNV.pdf).
- [63] VBG, „Technische Regeln für Betriebssicherheit . Vermeidung von Brand-, Explosions- und Druckgefährdungen an Tankstellen und Gasfüllanlagen zur Befüllung von Landfahrzeugen“, Sep. 07, 2020. [http://regelwerke.vbg.de/vbg\\_trbs/trbs3151/trbs3151\\_0\\_.html](http://regelwerke.vbg.de/vbg_trbs/trbs3151/trbs3151_0_.html) (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [64] VdTÜV, „Anforderungen an Wasserstofftankstellen“ .
- [65] Interne Kommunikation mit Stakeholder im Kreis Düren.
- [66] Wasserstoff Rheinland, „Wasserstoff Rheinland“. <https://www.wasserstoff-rheinland.de/> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [67] Kompetenzregion Wasserstoff, „Die Kompetenzregion Wasserstoff“, Kompetenzregion Wasserstoff – Düssel. Rhein. Wupper. <https://www.kompetenzregion-wasserstoff-drw.de/> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [68] NOW GmbH, „Sektorenkopplung mit Wasserstoff“. <https://www.now-gmbh.de/sectoren-themen/sectorenkopplung/> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [69] Kreis Steinfurt, „HYMAT-Energie“. <https://hymat-energie.de/> (zugegriffen Apr. 16, 2021).

- [70] GET H<sub>2</sub>, „Die Initiative – GET H<sub>2</sub>“. <https://www.get-h2.de/>.
- [71] Wasserstoff Region Rheinland e.V., „HyPipCo“, Apr. 16, 2021. <https://www.hycologne.de/projekt-hypipco/>.
- [72] Fernleitungsnetzbetreiber, Netzentwicklungsplan Gas 2020–2030. 2020.
- [73] Guidehouse, „Developing Europe’s Hydrogen Infrastructure Plan“. <https://guidehouse.com/insights/energy/2020/developing-europes-hydrogen-infrastructure-plan> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [74] Hydrogen Valley, „Green Octopus“. <https://www.h2v.eu/about-us> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [75] Thyssengas GmbH, „Marktabfrage für Wasserstoff und grüne Gase“. <https://thyssengas.com/de/aktuell/unternehmens-nachrichten/aktuell-reader/marktabfrage-fuer-wasserstoff-und-gruene-gase.html> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [76] A. Kemmler u. a., „Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzung 2030/2050“, Prognos AG, Fraunhofer ISI, GWS, iinas, Dokumentation, März 2020. Zugegriffen: Apr. 16, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/klimagutachten.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/klimagutachten.pdf?__blob=publicationFile&v=6).
- [77] C. Kost, S. Shammugam, V. Jülch, H.-T. Nguyen, und T. Schlegl, „Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien“, Freiburg, März 2018. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018\\_ISE\\_Studie\\_Stromgestehungskosten\\_Erneuerbare\\_Energien.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf).
- [78] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., „PPAs“. <https://www.bdew.de/energie/ppas/> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [79] Bundesfinanzministerium, „Energiesteuer“, Glossar Bundesfinanzministerium, Apr. 16, 2021. [https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Glossareintraege/E/012\\_Energiesteuer.html?view=renderHelp](https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Glossareintraege/E/012_Energiesteuer.html?view=renderHelp).
- [80] G. Brändle, M. Schönfisch, und S. Schulte, „Estimating Long-Term Global Supply Costs for Low-Carbon Hydrogen“, EWI Working Paper, No 20/04, Nov. 2020. Zugegriffen: Apr. 14, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2020/11/EWI\\_WP\\_20-04\\_Estimating\\_long-term\\_global\\_supply\\_costs\\_for\\_low-carbon\\_Schoenfisch\\_Braendle\\_Schulte-1.pdf](https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2020/11/EWI_WP_20-04_Estimating_long-term_global_supply_costs_for_low-carbon_Schoenfisch_Braendle_Schulte-1.pdf).
- [81] Bundesnetzagentur, „Monitoringbericht 2020“, März 2021.
- [82] Erneuerbare-Energien-Gesetz 2021. .
- [83] Stromsteuergesetz. .
- [84] Energiewirtschaftsgesetz. .
- [85] „Beschluss des Bundesgerichtshofs in der energiewirtschaftlichen Verwaltungssache zu § 118 Abs. 6 EnWG“. Juni 20, 2017, Zugegriffen: Apr. 06, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <http://juris.bundesgerichtshof.de/cgi-bin/rechtsprechung/document.py?Gericht=bgh&rt=en&nr=79065&pos=0&anz=1>.
- [86] Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz. .
- [87] Stromnetzentgeltverordnung. .
- [88] Bundesnetzagentur, Hrsg., „Leitfaden zur Eigenversorgung“. 2016, Zugegriffen: Apr. 06, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Eigenversorgung/Finaler\\_Leitfaden.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Eigenversorgung/Finaler_Leitfaden.pdf?__blob=publicationFile&v=2).
- [89] Informationen und Technik NRW (Statistisches Landesamt), „Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte NRW“. Jan. 13, 2021, Zugegriffen: Apr. 06, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.it.nrw/node/1580/pdf>.
- [90] Informationen und Technik NRW (Statistisches Landesamt), Hrsg., „Kommunalprofil Düren“. Zugegriffen: Apr. 06, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.it.nrw/sites/default/files/kommunalprofil/l05358.pdf>.
- [91] Kreis Düren, „Wir im Kreis Düren – mit Wasserstoff Richtung Zukunft“, 2020. <https://de-de.facebook.com/kreisdueren/videos/wir-im-kreis-d%C3%BCren-mit-wasserstoff-richtung-zukunft-jetzt-live-aus-dem-brainergy/1231992270479674/>.
- [92] Z. F. Organisation, Toolkit – Managementinstrumente für die Praxis: Strategie und Leadership, Organisation und Change Management, Projekt- und Prozessmanagement. Schäffer-Poeschel, 2015.
- [93] BMWi, „Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie Phase II (NIP) – Maßnahmen der Marktaktivierung – Schwerpunkt Nachhaltige Mobilität“, 2021. <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/Ptj/nip-ii-nachhaltige-mobilitaet.html#:~:text=Ziel%20der%20F%C3%B6rderung%20ist%20die,Markt%20noch%20nicht%20wettbewerbsf%C3%A4hig%20sind>.
- [94] Europäisches Parlament und Europäischer Rat, „Richtlinie (EU) 2018/2001 des europäischen Parlamentes und der Rates zu Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen“. Dez. 11, 2018 n. Chr., Zugegriffen: Apr. 16, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001>.

- [95] Europäisches Parlament und Europäischer Rat, „RICHTLINIE (EU) 2019/1161 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 20. Juni 2019 zur Änderung der Richtlinie 2009/33/EG über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge“. Juni 20, 2019, Zugriffen: Apr. 16, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L1161&from=DE>.
- [96] Europäisches Parlament und Europäischer Rat, „VERORDNUNG (EU) 2019/631 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 17. April 2019 zur Festsetzung von CO<sub>2</sub>-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 443/2009 und (EU) Nr. 510/2011“. Apr. 17, 2019, Zugriffen: Apr. 16, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0631&from=DE>.
- [97] Europäisches Parlament und Europäischer Rat, „Verordnung (EU) 2019/1242 des Europäischen Parmanets und des Rates zur Festlegung von CO<sub>2</sub>-Emissionsnormen für neue schwere Nutzfahrzeuge und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 595/2009 und (EU) 2018/956 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Richtlinie 96/53/EG des Rates“. Juni 20, 2019, Zugriffen: Apr. 16, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1242>.
- [98] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Nationaler Strategierahmen über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe als Teil der Umsetzung der Richtlinie 2014/94/EU“, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Aug. 2016. Zugriffen: Apr. 16, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/MKS/mks-nationaler-strategierahmen-afid.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/MKS/mks-nationaler-strategierahmen-afid.pdf?__blob=publicationFile).
- [99] F. Schulz, „Kabinettsbeschluss: Ab Januar gilt ein CO<sub>2</sub>-Preis von 25 Euro“, Mai 20, 2020. <https://www.euractiv.de/section/energie-und-umwelt/news/kabinettsbeschluss-ab-januar-gilt-ein-co2-preis-von-25-euro/> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [100] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Was sind eigentlich Carbon Contracts for Difference?“ <https://www.bmwi-energie-wende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2020/12/Meldung/direkt-erklart.html> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [101] Europäische Kommission, „EU Green Bond Standard“. [https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-green-bond-standard\\_de](https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-green-bond-standard_de) (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [102] Wirtschaftsbetriebe Duisburg, „Wasserstoff-Entsorgungsfahrzeuge – Wirtschaftsbetriebe Duisburg beteiligen sich am Projekt HECTOR“. <https://www.duisburg.de/microsites/wbd/unternehmen/Nachhaltigkeit/wasserstoff-entsorgungsfahrzeuge.php> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [103] Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, „Förderrichtlinie für Maßnahmen der Marktaktivierung im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“. Sep. 2020, Zugriffen: Apr. 16, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/10/bmvi\\_nip\\_aufruf\\_abfallsammelfahrzeuge\\_09-2020.pdf](https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/10/bmvi_nip_aufruf_abfallsammelfahrzeuge_09-2020.pdf).
- [104] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Bekanntmachung der Neufassung der Förderrichtlinie für Maßnahmen der Marktaktivierung im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie Phase 2 (Schwerpunkt Nachhaltige Mobilität) als Teil des Regierungsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2016 bis 2026 – von der Marktvorbereitung zu wettbewerbsfähigen Produkten“. Okt. 18, 2017, Zugriffen: Apr. 16, 2021. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/marktaktivierung-nip-2.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/marktaktivierung-nip-2.pdf?__blob=publicationFile).
- [105] NOW GmbH, „Wasserstofftankstellen – Förderung im NIP geht weiter“. <https://www.now-gmbh.de/aktuelles/pressemitteilungen/wasserstoff-tankstellen-foerderung-im-nip-geht-weiter/> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [106] Brainergy Park Jülich GmbH, „Masterplan Dokumentation“, 2019. [https://www.brainergy-park.de/wp-content/uploads/2019/09/BPJ\\_Masterplan.pdf](https://www.brainergy-park.de/wp-content/uploads/2019/09/BPJ_Masterplan.pdf).
- [107] Brainergy Park Jülich GmbH, „VORBILDICHE SYNERGIEN FÜR DIE ENERGIEWENDE.“ <https://www.brainergy-park.de/#masterplan>.
- [108] Rurtalbahn, „Über uns“. <https://www.rurtalbus.de/rurtalbus/> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [109] Rurtalbahn, „Infrastruktur“. <https://www.rurtalbahn.de/infrastruktur/> (zugegriffen Apr. 16, 2021).
- [110] <https://www.noervenich.de/aktuelles/aktuelle-meldungen/wasserstofffahrzeuge.php#MTA2NzI3NzQz>
- [111] <https://www.herzog-magazin.de/magazin/zukunft-wirtschaft/stadt-faehrt-jetzt-mit-wasserstoff/>
- [112] [https://www.kreis-dueren.de/aktuelles/presse/presse\\_dat.php?mode=advise&pm=/aktuelles/presse/2020/Wasserstoff-Autos.php](https://www.kreis-dueren.de/aktuelles/presse/presse_dat.php?mode=advise&pm=/aktuelles/presse/2020/Wasserstoff-Autos.php)
- [113] [https://www.kreis-dueren.de/aktuelles/presse/presse\\_dat.php?pm=/aktuelles/presse/verkehr/2020\\_02\\_18\\_Zug\\_um\\_Zug\\_\\_Kreis\\_Dueren\\_setzt\\_Wasserstoff-Initiative\\_fort\\_\\_.php](https://www.kreis-dueren.de/aktuelles/presse/presse_dat.php?pm=/aktuelles/presse/verkehr/2020_02_18_Zug_um_Zug__Kreis_Dueren_setzt_Wasserstoff-Initiative_fort__.php)
- [114] Quelle: Energieatlas NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3\\_fachberichte/30040b.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30040b.pdf) & [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3\\_fachberichte/30040a.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30040a.pdf)





**umlaut energy GmbH**  
 (Teil der umlaut SE)  
 Am Kraftversorgungsturm 3  
 D-52070 Aachen

**Kontakt**  
 Dr. Martin Robinius  
 Head of Energy Policy and Energy Systems  
 TEL: +49 160 930 638 13  
 E-MAIL: martin.robinius@umlaut.com

**Kompetenzschwerpunkte**  
 Beratung, Projektmanagement, Energie-wirtschaft und -technologie, Wasserstoff-technologie- und märkte, Ingenieur- und IT-dienstleistungen

Die umlaut AG bildet die Holding einer Unternehmensegruppe mit einem Umsatz von mehr als 400 Mio. € (2019) und mit insgesamt über 4300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an mehr als 30 Standorten weltweit. Die einzelnen Unternehmen wurden zur branchenspezifischen Fokussierung geschaffen oder zur Schaffung der Möglichkeit der Differenzierung spezialisierter Dienstleistungen. In Summe sind wir alle umlaut und bieten spezialisierte Beratungs-, Management- (z.B. Projektmanagement), Ingenieur- und IT-Dienstleistungen sowie Test- und Entwicklungsdienstleistungen an.

Für Kunden in der Telekommunikations-, Automobil-, Energie- und der Luftfahrtindustrie sowie der öffentlichen Hand werden seit mehr als 20 Jahren branchenübergreifende Lösungen geschaffen. Hierbei bildet eine intensive Vernetzung innerhalb des Unternehmens die Grundlage für unseren Erfolg. Unsere Mission ist es hierbei, mit unseren Kunden eine langfristige Partnerschaft aufzubauen, um einen nachhaltigen und kontinuierlichen Mehrwert in Dienstleistungen und Produkten zu generieren

Die umlaut energy GmbH hat sich hierbei der Aufgabe angenommen, den Umbau der Energieversorgung und -wirtschaft als kompetenter Partner zu begleiten und nachhaltig mitzugestalten. Den politischen und gesellschaftlichen Herausforderungen des Energiemarktes wie dem Ausbau der Erneuerbaren Energie, der Digitalisierung und Dekarbonisierung begegnet umlaut mit technischem Fachwissen und langjähriger Industrieerfahrung.

Im Bereich der Nutzung von Wasserstoff und dem Aufbau der Technologien zur Umwandlung und Speicherung sind wir entlang der gesamten Wertschöpfungskette in branchenübergreifenden Projekten involviert. Diese reichen von Potentialstudien für Verbände bzw. Regionen über konkrete Planungen für Stromnetzbetreiber bis hin zur Entwicklung neuer Brennstoffzellenfahrzeuge oder dem Einsatz von neuen Kraftstoffen in der Luftfahrt.



**EMCEL GmbH**  
 Am Wassermann 28a  
 50829 Köln

**Kontakt**  
 Johannes Kuhn  
 Teamleiter Sektorkopplung  
 TEL: +49 221 26 29 95 14  
 E-MAIL: jk@emcel.com

**Kompetenzschwerpunkte**  
 Beratungen zu Wasserstofftechnologie, Aufbau von regionalen Wasserstoffinfrastrukturen, Umsetzung und Finanzierung von Wasserstofftankstellen

Die EMCEL GmbH ist ein Ingenieurbüro für Brennstoffzellen, Wasserstofftechnologie und Elektromobilität mit Sitz in Köln. Gegründet 2009 von dem geschäftsführenden Gesellschafter Marcel Corneille, umfasst es heute ein Team von ca. 20 Personen.

EMCEL verfügt über langjährige Erfahrung aus der Beratungs- und Entwicklungspraxis sowie aus dem Servicealltag in großen, mittelständischen und kleinen Unternehmen. Das Team besteht aus erfahrenen Ingenieur\*innen aus den Fachbereichen Maschinenbau, Elektrotechnik, Betriebswirtschaft und Fahrzeugtechnik und verfügt über ein umfassendes technisches und betriebliches Know-how zu Themen Elektromobilität, Sektorkopplung und Wasserstoffqualitätsmessung.



**Energy Transition Consulting GmbH**  
 Unterauftragnehmer bei Umlaut  
 Sperberweg 2  
 D-52076 Aachen

**Kontakt**  
 Prof. Dr.-Ing. Detlef Stolten  
 Geschäftsführer  
 TEL: +49 170 456 9203  
 E-MAIL: stolten@energy-transition-consulting.de

**Kompetenzschwerpunkte**  
 Beratung zu Elektrochemischer Energietechnik, Wasserstoff von der Erzeugung bis zum Verbrauch, Energietransport und Verteilung, Analyse von Energiesystemen, Energiesystemtechnik mit Schwerpunkt Sektorkopplung

Die im September 2019 gegründete Energy Transition Consulting GmbH ist ein Start-up aus dem Forschungszentrum Jülich. Sie setzt langjährige Erfahrungen aus energietechnischer Forschung in konkrete anwendbare Beratung um. Schwerpunkt sind dabei die Transformation des Energiesystems, Erneuerbare Energiequellen, vernetzte Energieinfrastruktur, Sektorkopplung, Pfadanalysen insbesondere Wasserstoff von der Erzeugung bis zur Verwendung; Brennstoffzellen und Elektrolyse sowie Simulation und Analyse komplexer Systeme der Energietechnik.

**Impressum**

**Herausgeber** Kreis Düren  
**Autoren** Martin Robinius (Projektleitung, umlaut)  
 Bastian Gillessen (ETC)  
 Johannes Kuhn (EMCEL)  
 Tobias Pöll (umlaut)  
 Detlef Stolten (ETC)  
**Gestaltung** geno kom Werbeagentur GmbH  
**Stand** 01.09.2021

**Mit freundlicher Unterstützung durch** Aachener Verkehrsverbund GmbH  
 Dürener Servicebetrieb  
 Industrie- und Handelskammer Aachen  
 NPROXX Jülich GmbH  
 Rurtalbahn GmbH  
 Rurtalbus GmbH  
 Stadtwerke Düren GmbH  
 Stadtwerke Jülich GmbH  
 Westnetz GmbH