

H₂ HAGEN

INTEGRIERTES WASSERSTOFFGESAMTKONZEPT FÜR HAGEN



Eine Studie im Auftrag des
Stadt Hagen | Umweltamt
Rathausstraße 11
58095 Hagen

Dezember 2023



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

Koordiniert durch:



Projektträger:



Management Summary

Die Stadt Hagen hat sich zum Ziel gesetzt, ihre Energieversorgung und Industrie nachhaltig zu gestalten. Mit dem zunehmenden Fokus auf erneuerbare Energien und die Reduzierung von CO₂-Emissionen rückt Wasserstoff als vielseitiger Energieträger in den Vordergrund. Die Stadt verfügt über eine gute industrielle Basis und eine starke Verkehrs- bzw. Infrastrukturanbindung, die für die Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft förderlich sind.

Die vorliegende Machbarkeitsstudie befasst sich mit der Evaluierung von Wasserstofferzeugung und -anwendungen in der Stadt Hagen. Ziel ist es, die Potenziale von Wasserstofftechnologien für die städtische Infrastruktur, Wirtschaft und Umwelt zu identifizieren und einen umsetzbaren Plan zur Integration dieser Technologien zu entwickeln.

Studienziele und Methodik

Die Machbarkeitsstudie zielt darauf ab, ein detailliertes Konzept für die Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft in Hagen zu entwickeln. Durch eine Kombination aus Marktforschung, technischer Analyse und Stakeholder-Befragungen wurden die aktuellen Bedingungen, Potenziale und Herausforderungen identifiziert. Dies umfasst die Analyse der technischen, wirtschaftlichen und infrastrukturellen Potenziale sowie der strategischen Bedeutung von Wasserstoff für die regionale und überregionale Energieinfrastruktur. Im Fokus stehen vier Sektoren: (Güter-)Logistik und kommunale Unternehmen in der Mobilität, Industrie, der Wärmemarkt und Wasserstoffbeschaffung.

Wasserstoff-Potenziale und -Aktivitäten

In der Region existieren bereits viele innovative Konzepte und Projekte, die sich über die gesamte Wasserstoff-Wertschöpfungskette erstrecken. Eine Umfrage unter regionalen Unternehmen und Akteuren ergab, dass von 27 Unternehmen bereits 81 % konkrete Wasserstoffaktivitäten planen oder bereits umsetzen. Diese Unternehmen stammen hauptsächlich aus den Bereichen ‚Verkehr‘, ‚Logistik‘, ‚Energieversorgung‘ und ‚Verarbeitendes Gewerbe‘.

Die Umfrageergebnisse, Potenzialanalysen und konkreten Projektansätze werden sektorenspezifisch aufgliedert. Dabei werden zuerst die Sektoren für die Wasserstoffnutzung – Verkehr, Industrie und Wärmemarkt – betrachtet, gefolgt von den regionalen Potenzialen und Ansätzen für die Wasserstoffbeschaffung, die die regionale Erzeugung und den Import umfasst.

(Güter-)Logistik und kommunale Unternehmen in der Mobilität

Die theoretische Potenzialanalyse ergibt, dass der Wasserstoffbedarf im Verkehrssektor bis 2030 ca. 260 Tonnen beträgt und bis 2050 auf etwa 2.500 Tonnen wächst. Zudem sind in Hagen bereits diverse Wasserstoffprojekte im Verkehrssektor geplant oder schon in der Umsetzungsphase. Dazu gehören die Anschaffung von Brennstoffzellen-Lkw durch Logistikunternehmen und der Aufbau von H₂-Tankstellen. Beispielsweise plant die Fritz Neuhaus Spedition GmbH die Integration von Brennstoffzellen-Lkw in ihre Flotte und die Errichtung einer H₂-Tankstelle. Ähnliche Pläne verfolgt die Cosi Stahllogistik GmbH & Co. KG.

Kommunale Akteure, wie die Hagener Entsorgungsbetriebe und der ÖPNV-Betrieb, setzen ebenfalls auf die Dekarbonisierung ihrer Fahrzeugflotten. Während die Hagener Versorgungs- und Verkehrs-GmbH auf batterieelektrische Busse umstellt, wird im Schienenpersonennahverkehr eine Machbarkeitsstudie für die Dekarbonisierung mit Batterie- oder Wasserstoffzügen durchgeführt.

Der Gesamtwasserstoffbedarf im Verkehrssektor Hagens wird zwischen den bestätigten und den theoretischen Bedarfen liegen. Bis 2030 wird in Hagen ein deutlicher Anstieg des Wasserstoffbedarfs im Verkehrssektor erwartet, beginnend mit einem konkreten Bedarf von etwa 30 Tonnen pro Jahr ab 2024 durch die Teilumstellung der Flotte der Spedition Fritz Neuhaus auf Brennstoffzellen-Lkw. Die vollständige

Flottenumstellung der Logistikunternehmen bis 2030 könnte die Emissionseinsparungen aus dem Klimaschutzszenario übertreffen.

Industrie

Die Metallverarbeitungsindustrie in Hagen steht vor einer Transformation durch die Integration von Wasserstofftechnologien. Im Rahmen des H2 Hagen-Projekts werden die Möglichkeiten des Wasserstoffeinsatzes in der Industrie untersucht. Hierzu zählen stoffliche und energetische Anwendungsmöglichkeiten, aktuelle und zukünftige Bedarfe, Projektsynergien und besondere Anforderungen an Wasserstoff.

Die Hagener Industrie, die eine Vielzahl von Metallprodukten herstellt, hat ein großes Potenzial für den Einsatz von Wasserstoff in ihren Produktionsverfahren. Beim Warmwalzen kann Wasserstoff als Brennstoff in den Wärmeöfen verwendet werden, um die Emissionen zu reduzieren. Im Kaltwalzprozess kann Wasserstoff beim Glühen des Materials und als Schutzgas zur Aufrechterhaltung der Oberflächenqualität eingesetzt werden.

Die Industrie in Hagen weist einen erheblichen Energiebedarf auf, insbesondere für Prozesswärme. Der Erdgasverbrauch war im Jahr 2021 mit rund 1.750 GWh beträchtlich. Wasserstoff könnte in der Zukunft eine Schlüsselrolle bei der Deckung dieses Bedarfs spielen, da er eine umweltfreundlichere Alternative zu Erdgas darstellt. Der Übergang von Erdgas zu Wasserstoff wird allerdings Herausforderungen mit sich bringen, vor allem aufgrund der geringeren Energiedichte von Wasserstoff.

Ab 2025 könnten einige Industrieakteure in Hagen in der Lage sein, Wasserstoff für ihre Produktion zu nutzen. Es wird erwartet, dass sich der Wasserstoffbedarf der Hagener Industrie im Jahr 2025 auf etwa 15.000 Tonnen belaufen könnte, wobei eine vollständige Umstellung auf Wasserstoff bis 2045 geplant ist. Die Versorgung mit Wasserstoff über Leitungen wird ab Ende der 2020er Jahre erwartet. Diese Entwicklung würde den vollständigen Umstieg auf Wasserstoff ermöglichen, wodurch die regionale Industrie einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten könnte.

Wärmemarkt

Die Dekarbonisierung des Wärmemarktes in Hagen betrifft im Wesentlichen Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme unter 500 °C. Der größte Teil der Wärmebereitstellung erfolgt durch Erdgas, gefolgt von Ölheizungen, Stromheizungen und Fernwärme. Zur Erfüllung politischer Vorgaben besteht das Ziel, den Wärmebedarf bis 2045 deutlich zu reduzieren. Dies erfordert Maßnahmen zur Gebäudesanierung, den Einsatz effizienter Heizsysteme und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen.

Der Einsatz von Wasserstoff im Gebäudesektor hängt stark von der Verfügbarkeit und der Priorisierung des Wasserstoffs ab, wobei grüner Wasserstoff auf absehbare Zeit ein knappes Gut bleiben wird. Technische Optionen für die Wärmebereitstellung mit Wasserstoff umfassen H2-Heizkessel, Mikro-KWK-Anlagen, Brennstoffzellen sowie die Einspeisung in Wärmenetze.

Bis 2045 wird eine deutliche Verschiebung der Heiztechnologien in Hagen erwartet. Erdgas wird zunehmend von Wärmepumpen und H2-ready-Boilern abgelöst. Ab 2035 könnten wasserstoffbasierte Heiztechnologien einen signifikanten Anteil erreichen, vorausgesetzt, es besteht eine flächendeckende Wasserstoffversorgung. Langfristig werden elektrische Heiztechnologien wie Wärmepumpen, aufgrund günstigerer Strompreise und des Ausbaus erneuerbarer Energien, dominieren.

Wasserstoffbeschaffung

Das Potenzial zur Wasserstofferzeugung in der Region Hagen stützt sich auf erneuerbare Energiequellen und bestehende Kraftwerke. Im Jahr 2023 sind etwa 15 Megawatt (MW) an Wind- und Photovoltaikanlagen installiert, zusätzlich existiert ein Biomassekraftwerk mit knapp 20 MW. Die theoretische Potenzialanalyse

zeigt, dass bis 2040 das Wasserstofferzeugungspotenzial auf etwa 500 Tonnen jährlich ansteigt. Dies wäre ausreichend, um eine mittelgroße Flotte von schweren Fahrzeugen zu betreiben.

Für die regionale Wasserstofferzeugung wurden vier Standorte in Hagen näher betrachtet:

1. **Biomasseverstromungsanlage (BVA) Hagen-Kabel:** Diese Anlage könnte jährlich bis zu 2.196 Tonnen Wasserstoff produzieren. Nach Ende der EEG-Vergütung 2024 könnte die Anlage zur Wasserstofferzeugung umgerüstet werden, wobei regulatorische Unsicherheiten zu beachten sind.
2. **Müllverbrennungsanlage (MVA) Hagen:** Hier könnte die Stromproduktion für die Wasserstofferzeugung genutzt werden, mit einem Potenzial von maximal 23 Tonnen Wasserstoff jährlich. Insbesondere der organische Anteil des in der MVA verwerteten Abfalls ist für die Wasserstofferzeugung relevant. Dahingehende regulatorische Unsicherheiten bestehen auch hier noch.
3. **Hobräck:** In diesem Gebiet ist die Errichtung einer Windkraftanlage geplant, die in Kombination mit einem Elektrolyseur Wasserstoff produzieren könnte. Die Kosten für den produzierten Wasserstoff liegen zwischen 9 und 10 € pro Kilogramm.
4. **Rafflenbeul:** Hier sind zwei Windkraftanlagen geplant, die in Kombination mit einem Elektrolyseur bis zu 460 Tonnen Wasserstoff jährlich produzieren könnten. Die Wasserstoffkosten würden je nach Konfiguration zwischen 7 und 11 € pro Kilogramm liegen.

Die akkumulierte Erzeugungsmenge aus diesen Potenzialen und Projekten könnte bis 2030 fast 4.000 Tonnen Wasserstoff pro Jahr erreichen, wobei der größte Anteil aus der BVA Hagen-Kabel stammt. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass es sich hierbei um theoretische Potenziale handelt und die tatsächlich realisierten Mengen abweichen können. Weiterhin hängen diese Mengenangaben maßgeblich von zukünftigen regulatorischen Entwicklungen ab, die sich auf die Erzeugung von Wasserstoff aus biologischen Quellen beziehen.

Neben der potenziellen Erzeugung gibt es in der Region Hagen auch konkrete Pläne für den Transport und Import von Wasserstoff mittels Pipeline, vor allem um den hohen Bedarf der dort ansässigen Industrieunternehmen zu decken. Es wird zwischen zwei Arten von Pipelines unterschieden: bestehende Erdgasleitungen, die für den Wasserstofftransport umgerüstet werden können, und neu zu errichtende Wasserstoff-Pipelines. Drei wesentliche Pipeline-Projekte sind in Planung:

1. **Leitung 1:** Ein bedeutendes Projekt ist die Umstellung einer bestehenden Erdgas-Pipeline, die Teil des geplanten Wasserstoff-Kernnetzes in Deutschland ist. Dieses Netz soll eine umfassende Wasserstoffverteilung ermöglichen und die Region Hagen könnte ihren erzeugten Wasserstoff deutschlandweit verteilen. Die Umstellung in Hagen ist für Ende 2031 vorgesehen, wobei der Realisierungszeitraum noch unsicher ist.
2. **Leitung 2:** Eine aktuell ungenutzte Erdgas-Pipeline soll voraussichtlich um 2032 auf Wasserstoff umgerüstet werden, um regionale Abnehmer zu versorgen.
3. **Leitung 3:** Um Industrieunternehmen entlang der Lenne mit Wasserstoff zu versorgen, wird die Errichtung einer neuen Wasserstoff-Pipeline erwogen. Dieses Projekt befindet sich noch in einer frühen Planungsphase ohne festgelegtes Realisierungsziel.

Hagen profitiert von seiner Lage im Einzugsgebiet des geplanten Wasserstoff-Kernnetzes, da der Umstand einen Standortvorteil gegenüber später angeschlossenen Regionen schafft. Neben der Pipeline-Infrastrukturplanung ist jedoch auch die Sicherstellung der Wasserstoffquellen essenziell. In der Anfangsphase ist mit begrenzten Wasserstoffmengen in Deutschland zu rechnen, die auf große Industrieabnehmer verteilt werden. Daher wird die Beschaffung von Wasserstoff für die regionalen Akteure in Hagen ein wichtiger Faktor

sein. Der Austausch mit umliegenden Regionen könnte dazu beitragen, eventuelle Wasserstoffüberschüsse nach Hagen zu transportieren.

Akzeptanz & Bildung

Die Akzeptanz und Bildung bezüglich Wasserstoffs sind entscheidende Faktoren für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende in der Region Hagen. Um die Akzeptanz von Wasserstoff als Energieträger zu fördern, ist eine umfassende Aufklärung und Sensibilisierung der Öffentlichkeit erforderlich. Zielgruppenspezifische Vermittlungsformate und Bildungsmaßnahmen müssen entwickelt werden, um Fachkräfte für die Wasserstoffindustrie auszubilden. Im Bereich der Verwaltungsmitarbeitenden und Planer*innen sind insbesondere Kompetenzen in Bezug auf Genehmigungsverfahren und den Umgang mit Wasserstoff erforderlich.

Für die Akzeptanz der Energiewende und des Ausbaus erneuerbarer Energien ist es wichtig, die Bürger*innen frühzeitig einzubeziehen und für eine faire Verteilung von Lasten zu sorgen. In Hagen wird die Energiewende grundsätzlich befürwortet, allerdings besteht ein hoher Bedarf an transparenter Information und Planungsverfahren. Die Vernetzung mit lokalen Initiativen und Vereinen sollte verstärkt werden, um gemeinsam die Energiewende vor Ort zu gestalten.

Im Bereich der Wasserstofftechnologie müssen bestehende Ausbildungsberufe um zusätzliche Qualifikationen erweitert werden. Insbesondere sind Weiterbildungen im Bereich der Wasserstofferzeugung, -speicherung und -nutzung sowie in der Planung und Genehmigung von Wasserstoffprojekten erforderlich.

Für die Sensibilisierung der Bevölkerung und Fachkräfte sind zielgruppengerechte Vermittlungsformate wichtig. Diese könnten in Form eines mobilen Klimamobils oder eines stationären H₂-Infohauses realisiert werden, wobei beide Varianten Vor- und Nachteile haben. Ein Klimamobil wäre flexibel einsetzbar, während ein H₂-Infohaus als zentraler Anlaufpunkt dienen könnte.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass für die erfolgreiche Umsetzung der Wasserstoffstrategie in Hagen sowohl eine umfangreiche Sensibilisierung und Bildung der Bevölkerung als auch der Aufbau von Fachkompetenzen entscheidend sind. Dabei sollte auch auf die Vernetzung mit lokalen Akteuren und eine transparente Kommunikation Wert gelegt werden.

Zukunftskonzept

Das Zukunftskonzept für die Stadt Hagen setzt auf Wasserstoff als zentralen Baustein einer nachhaltigen Energie- und Mobilitätswende. Ziel ist es, die Dekarbonisierung in verschiedenen Sektoren voranzutreiben und effektiv miteinander zu koppeln. Dazu werden deduktive Schlussfolgerungen aus bisherigen Analysen gezogen, um klare Perspektiven für die Integration von Wasserstofftechnologien in die städtischen Strukturen zu bieten. Ein Verbundprojekt soll hierbei Einzelinitiativen zu einem synergetischen Gesamtkonzept verbinden.

Für den Güterverkehr werden Vernetzungsangebote und gemeinsame Beschaffungen als fundamentale Schritte betrachtet. Im industriellen Sektor liegt der Fokus auf der Sicherstellung einer zuverlässigen Wasserstoffversorgung. Für den Wärmesektor wird die Notwendigkeit einer detaillierten Machbarkeitsstudie und die Untersuchung des bestehenden Erdgasnetzes hervorgehoben.

Das Verbundprojekt als Kernstück der strategischen Entwicklung soll zur Realisierung einer integrierten Wasserstoffwirtschaft in der Region beitragen. Dabei werden Ressourcen effizient gebündelt, um individuelle sowie gemeinsame Ziele der verschiedenen Akteure zu erreichen. Das Projekt bietet ökonomische Vorteile durch die Nähe zu existierenden Infrastrukturen und Märkten und erleichtert die Bewältigung regulatorischer Vorgaben und Vorschriften.

Die Optimierung des Verbundprojektes wird in drei Bereichen analysiert:

1. **Optimierung des Stromtransports:** Hier wird die Kombination von Stromquelle und Elektrolyseur in Betracht gezogen, um die Nutzung des Stromnetzes zu vermeiden und Kosten für Wasserstofftransport einzusparen.
2. **Optimierung des H₂-Transports:** Diese Strategie fokussiert auf die räumliche Nähe von Elektrolyseur und H₂-Verbrauchern, um Kosten für den Stromtransport zu sparen und eine effiziente lokale Produktion und Nutzung zu ermöglichen.
3. **Optimierung von Strom- und H₂-Transport:** In diesem Szenario werden alle Komponenten an einem Standort zusammengeführt, um sowohl Strom- als auch Transportkosten zu vermeiden.

Im Sonderfall Mobilität wird die Bedeutung von Wasserstofftankstellen hervorgehoben. Die Größe und Auslastung dieser Tankstellen sind entscheidend für die Wirtschaftlichkeit und Effizienz der Wasserstoffinfrastruktur. Hohe Auslastungsraten und Skaleneffekte können zu deutlichen Kostensenkungen führen.

Das Verbundprojekt zielt darauf ab, durch strategische Planung und Kooperationen eine optimale Auslastung zu erreichen und somit die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der regionalen Wasserstoffwirtschaft zu maximieren. Es soll als Katalysator für weitere Projekte dienen und den Grundstein für eine nachhaltige und wirtschaftlich erfolgreiche Zukunft der Region legen.

Die übergeordneten Handlungsempfehlungen für die Region Hagen zielen darauf ab, die Entwicklung einer nachhaltigen und effizienten Wasserstoffwirtschaft in Hagen zu beschleunigen und die Region als wichtigen Akteur in diesem zukunftsträchtigen Sektor zu positionieren.

1. **Einrichtung einer zentralen Koordinierungsstelle für Wasserstoff:** Die Wasserstoffkoordination soll die vielfältigen Wasserstoffprojekte in Hagen koordinieren, für die Umsetzung befähigen und sicherstellen, dass sie im Einklang mit lokalen politischen und wirtschaftlichen Zielen stehen. Zu ihren Aufgaben gehören die Bedarfsermittlung und Beratung, Netzwerkbildung und Stakeholder-Management, Fördermittelberatung, Projektunterstützung sowie Wissens- und Informationsvermittlung. Die Koordinierungsstelle dient als zentrale Schnittstelle, um die Wasserstoffaktivitäten in Hagen effizient und synergetisch zu gestalten.
2. **Gründung eines regionalen Netzwerks:** Das Netzwerk soll als Plattform für die konkreten Akteure zur Umsetzung der Projektansätze, Wissensaustausch/Kooperation dienen und die interne Kapazität stärken. Anfangs fokussiert es sich auf den Verkehrssektor, wobei die Abstimmung von Betankungsinfrastruktur, Wartungskonzepten und Fahrzeugbeschaffung im Vordergrund steht. Mittel- bis langfristig soll das Netzwerk auch weitere Sektoren wie Industrie, Wärme und Stromerzeugung einbeziehen.
3. **Aktive Beteiligung am Bund der Wasserstoffregionen (BdWR):** Der Beitritt zum BdWR ermöglicht Hagen, seine Interessen und Anliegen effektiv auf Bundesebene zu vertreten und in die nationale Wasserstoffstrategie zu integrieren. Als Mitglied kann Hagen von Erfahrungen und Expertise anderer Regionen profitieren, eigene Herausforderungen einbringen und an der Entwicklung gemeinsamer Lösungsansätze arbeiten. Die Mitgliedschaft im BdWR stärkt Hagens Position in der Wasserstoffwirtschaft und ermöglicht eine wirksame Vertretung der städtischen Interessen auf nationaler Ebene.

Inhaltsverzeichnis

Management Summary.....	2
1 Unsere Region	9
2 Unsere Ziele	10
3 Unsere Wasserstoff-Potenziale und -Aktivitäten.....	11
3.1 (Güter-)Logistik und kommunale Unternehmen in der Mobilität	12
3.1.1 Wasserstoff als Treibstoff im Güterverkehr	13
3.1.2 Wasserstoff als Treibstoff für kommunale Unternehmen	15
3.1.3 Wasserstofftankstellen.....	17
3.1.4 Infrastruktur für Service und Wartung	25
3.1.5 Theoretische H ₂ -Potenzialanalyse im Verkehrssektor in Hagen.....	27
3.1.6 Wasserstoff-Projekte im Verkehrssektor in Hagen	28
3.1.7 Handlungsempfehlungen	31
3.2 Industrie- und Zukunftsfähigkeit	33
3.2.1 Einordnung der Hagerer Industrie im Kontext der Dekarbonisierung & Nutzung von H ₂	33
3.2.2 Produktionsverfahren.....	33
3.2.3 Wasserstoff als Energieträger für die lokale Industrie	34
3.2.4 Aktuelle Herausforderungen	35
3.2.5 Leitungsgebundene H ₂ -Versorgung für Hagen	38
3.2.6 Entwicklung der relativen Zahl der Erwerbstätigen durch die Wasserstoffwirtschaft	39
3.2.7 Zusätzliche Geschäftsmodelle in einer Wasserstoffregion.....	40
3.2.8 Handlungsempfehlungen	41
3.3 Dekarbonisierung des Wärmemarktes	43
3.3.1 Status quo Wärmemarkt Hagen	43
3.3.2 Wasserstoff im Gebäudesektor.....	46
3.3.3 Nachhaltige Wärmeerzeugungstechnologien in Hagen.....	50
3.3.4 Nutzung von industrieller Abwärme	54
3.3.5 Sanierungs- und Gebäudebestand.....	55
3.3.6 Handlungsempfehlungen	59
3.4 Wasserstoffbeschaffung	61
3.4.1 Wasserstofferzeugung.....	61
3.4.2 Wasserstoffimport.....	76
3.4.3 Handlungsempfehlungen	78
3.5 Rechtliche Bewertung	79
3.5.1 Prüfungsauftrag	79
3.5.2 Prüfungsmaßstab.....	79
3.5.3 Sektorspezifische Betrachtung	80
4 Ökologische Analyse.....	88
4.1 CO ₂ -Einsparpotenziale in verschiedenen Sektoren	88
4.2 Hagens Potenzial	88
5 Akzeptanz und Bildung	90

5.1	Akzeptanz	90
5.2	Kompetenzbedarfe H ₂ am Beispiel von Verwaltungsmitarbeitenden und Planer*innen .	92
5.3	Zielgruppenspezifische Vermittlungsformate & Skizzierung H ₂ -Infohaus	94
6	Unser Zukunftskonzept	97
6.1	Ableitungen aus den Analysen	97
6.2	Das Verbundprojekt	98
6.2.1	Fokus des Verbundprojektes und Auswahl der Akteure	99
6.2.2	Analyse der möglichen Synergien.....	100
6.2.3	Handlungsempfehlungen	105
7	Unsere Handlungsempfehlungen.....	107
7.1	Zusammenfassung der Marktbedingungen und der Vorteile der Stadt Hagen	107
7.2	Übergeordnete Handlungsempfehlungen	110
Anhang	113
Impressum	123

1 Unsere Region



Abbildung 1-1: Lage der Stadt Hagen in Deutschland

Unsere Region Hagen bildet das Scharnier zwischen dem dicht besiedelten Ruhrgebiet und dem eher ländlich geprägten Sauerland. Diese Lage bietet hervorragende Voraussetzungen für die Entwicklung und Realisierung eines umfassenden Wasserstoffgesamtkonzeptes.

Die hohe Dichte an klein- und mittelständischen Logistikunternehmen und energieintensiven stahlverarbeitenden Betrieben schafft eine gute Ausgangslage für die Schaffung einer regionalen Wasserstoffabnahmestruktur. Für die entsprechende Wasserstoffherzeugung bietet unsere Region durch bestehende Biomassekraftwerke sowie Wind- und PV-Anlagen ebenfalls vielversprechende Voraussetzungen. Hervorzuheben ist zudem die infrastrukturell sehr günstige Lage der Region, da der Wasserstoff bereits in der Hochlaufphase via Straßen- und Pipeline-Transport über die Regionsgrenze hinaus in größeren Kapazitäten gehandelt werden kann.

Angesichts des Profils von Hagen mit einer großen Waldfläche im Süden zum einen und einer hohen Bevölkerungsdichte im Norden zum anderen sind auch die Herausforderungen vielschichtig. Im städtischen Gebiet beispielsweise sind energetische Sanierungsmaßnahmen der Wohngebäude notwendig, um die Vorgaben zur Dekarbonisierung des Wärmemarktes zu erfüllen. Die Integration von Wasserstoff in die bestehende Versorgungsstruktur bildet hierbei einen veritablen Ansatzpunkt, der verschiedene Umstellungsvarianten wie die Anbindung an Fern- und Nahwärmenetze oder die Elektrifizierung und Dekarbonisierung des Erdgasnetzes mittels Wasserstoffs und grüner Gase einschließt.

Die strategische Ausrichtung der kommunalen Unternehmen und die zukünftige Mobilitätsplanung sind weitere Faktoren, die im Gesamtkonzept berücksichtigt werden. Die Stadt Hagen hat zusammen mit der ENERVIE und der HAGEN.WIRTSCHAFTSENTWICKLUNG sowie weiteren 29 lokalen Unternehmen und Einrichtungen aus Industrie, Logistik und Wissenschaft ihre Ambitionen bekräftigt, indem sie erfolgreich eine Projektskizze beim Bundeswettbewerb „HyLand – Wasserstoffregionen in Deutschland“ eingereicht hat. Dies unterstreicht das breite Interesse und die Bereitschaft zur Kooperation innerhalb der Region.

Die Genehmigung des Förderantrags und die Bereitstellung von Mitteln für die Ausarbeitung eines umsetzungsfähigen Wasserstoffkonzeptes bestätigen das Potenzial der Region Hagen als einen zukunftsfähigen Standort für die Wasserstoffwirtschaft. Die Unterstützung durch das Bundesverkehrsministerium ermöglicht eine umfassende Beratung, Planung und Öffentlichkeitsarbeit, um die Grundlage für eine erfolgreiche Implementierung von Wasserstofftechnologien zu schaffen und die Dekarbonisierung voranzutreiben.

2 Unsere Ziele

Im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie ist es unser primäres Ziel, ein umfassendes Konzept zu erstellen, das die technischen, örtlichen und infrastrukturellen Potenziale für die Implementierung einer Wasserstoffwirtschaft im Stadtgebiet von Hagen eingehend analysiert und darlegt. Es wird eine objektive und grundlegende Bewertung der Rolle des Energieträgers Wasserstoff in einer kurz- und langfristigen Perspektive angestrebt, wobei sowohl die direkten Anwendungsmöglichkeiten als auch die strategische Bedeutung für die regionale und überregionale Energieinfrastruktur Berücksichtigung finden.

Entwicklung von Projektideen

Die Untersuchungen im Rahmen des Hagener HyExperts-Projektes dienen dem Ziel, umsetzungsreife und für Investoren attraktive Projektideen zu identifizieren und zu entwickeln. Diese sollen zentrale Bausteine einer zukünftigen regionalen Wasserstoffwirtschaft sein und damit einer branchenübergreifenden, wirtschaftlich tragfähigen Dekarbonisierung in Hagen und der umliegenden Region dienen.

Sektorenspezifische Leitfragen

Die Studie wird sich an diversen Leitfragen orientieren, die für verschiedene Sektoren von besonderer Relevanz sind. Fokussiert werden die Bereiche Logistik, Industrie und Zukunftsfähigkeit, die Erzeugung, Speicherung und der Transport von Wasserstoff, kommunale Unternehmen und Mobilität sowie die Dekarbonisierung des Wärmemarktes. Die Leitfragen sollen in der Studie sowohl einzeln als auch in ihren Wechselwirkungen betrachtet werden, um ein ganzheitliches Bild der Möglichkeiten und Herausforderungen einer Wasserstoffwirtschaft in Hagen zu zeichnen. Die Beantwortung der Fragen dient dem Ziel, einen entscheidenden Beitrag zur Transformation Hagens in eine modellhafte Wasserstoffregion zu leisten, wobei die Sicherung der Wirtschaftlichkeit und der Arbeitsplätze im Vordergrund steht. Es gilt, innovative Lösungsansätze und Strategien zu entwickeln, die sowohl auf die spezifischen lokalen Gegebenheiten als auch auf übergeordnete klima- und energiepolitische Zielsetzungen abgestimmt sind.

Konkrete strategische Ergebnisse und Aufklärung

Des Weiteren ist es Ziel, sowohl konkrete strategische Ergebnisse und Maßnahmenvorschläge zu erarbeiten als auch ein breites Verständnis für die realistischen Handlungsperspektiven und -optionen zu schaffen. Dies soll es der Stadt Hagen ermöglichen, passende Netzstrukturen und Technologien für eine effiziente und nachhaltige Wasserstoffverteilung zu entwickeln und damit auch die Dekarbonisierung lokaler Industriebetriebe voranzutreiben.

Verknüpfung mit regionalen Initiativen

Eine besondere Herausforderung stellt die Verbindung des lokalen Konzeptes mit bestehenden Initiativen und Projekten in Südwestfalen und dem Ruhrgebiet dar. Die Studie soll bereits vorhandene Arbeiten integrieren und darauf aufbauen. Zudem sollen erste Anknüpfungspunkte zu den Wasserstoffaktivitäten der umliegenden Regionen identifiziert werden, um frühzeitig über die künstlichen Grenzzüge von HyExperts hinauszublicken.

3 Unsere Wasserstoff-Potenziale und -Aktivitäten

Unsere Region verfügt schon heute über zahlreiche Ideen, Ansätze und Vorhaben entlang der gesamten Wasserstoff-Wertschöpfungskette (siehe Abbildung 3-1). Die Wasserstoff-Wertschöpfungskette beinhaltet alle Bausteine für eine funktionierende Wasserstoffwirtschaft. Im Zentrum steht dabei die Nutzung von klimaneutralem Wasserstoff mit dem Ziel, Emissionen einzusparen und Versorgungssicherheiten zu gewährleisten.

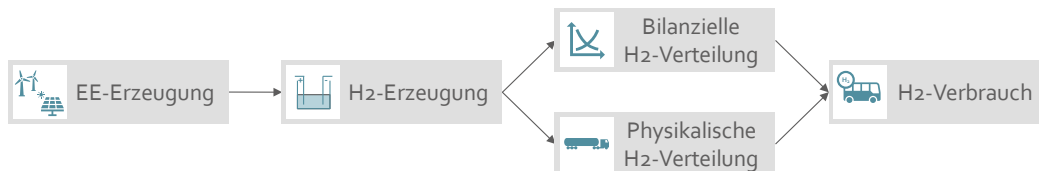


Abbildung 3-1: Schematische Darstellung der Wasserstoff-Wertschöpfungskette

Um die Bedarfe von klimaneutralem Wasserstoff zu decken, bedarf es der Erzeugung von Wasserstoff und des Transports zum Abnehmer. Erzeugung und Verteilung sind dabei nicht zwangsläufig auf den Betrachtungsraum beschränkt, H2 Hagen fokussiert sich jedoch auf die regionalen Erzeugungspotenziale bzw. Ansätze zum Import/Transport von Wasserstoff.

Um alle relevanten Wasserstoff-Aktivitäten der regionalen Akteure zu erfassen, wurde eine Umfrage unter allen Unternehmen bzw. Akteuren der Region Hagen verteilt. An der Umfrage haben sich im Ergebnis 27 Unternehmen beteiligt. 81 % der Unternehmen planen Wasserstoff-Aktivitäten oder haben diese bereits umgesetzt. Die Unternehmen kommen vor allem aus dem Verkehr bzw. der Logistik, aus der Energieversorgung und dem verarbeitenden Gewerbe (siehe Abbildung 3-2).

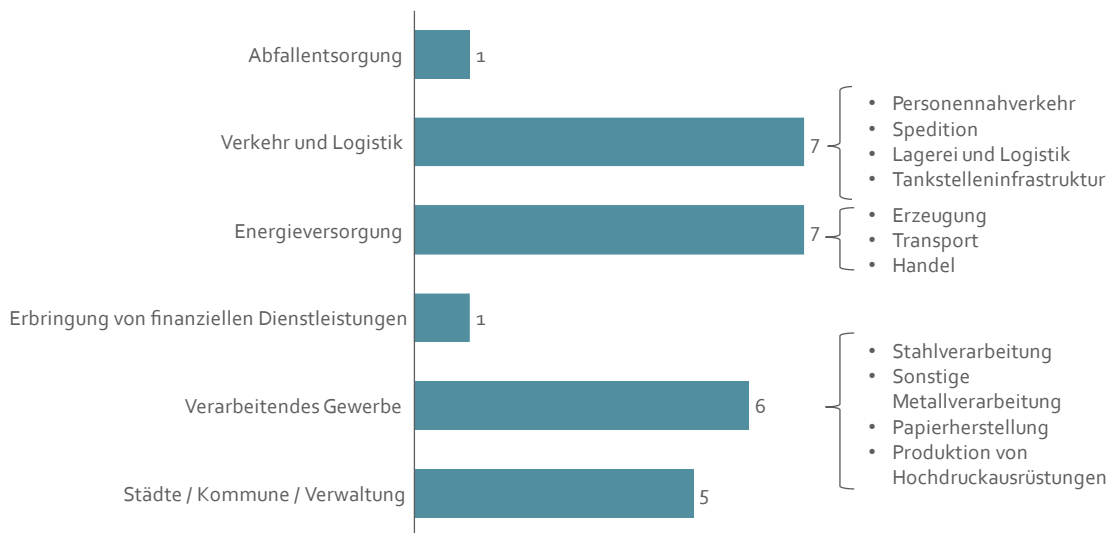


Abbildung 3-2: Wirtschaftstätigkeit der Unternehmen in Hagen, die den Einsatz von Wasserstofftechnologien planen oder schon umgesetzt haben

Die Ergebnisse der Umfrage, der theoretischen Potenzialanalysen und der Erarbeitung der konkreten Projektansätze werden im Folgenden nach Sektoren gegliedert. Beginnend mit den Sektoren zur Wasserstoffnutzung, werden zunächst der Verkehrssektor (Abschnitt 3.1), die Industrie (Abschnitt 3.2) und der Wärmemarkt (Abschnitt 3.3) betrachtet. Im Anschluss erfolgt die Erläuterung der regionalen Potenziale und Ansätze für die Wasserstoffbeschaffung, die die regionale Erzeugung und die Importe von Wasserstoff beinhalten kann (Abschnitt 3.4). Ergänzend liefert die regulatorische Bewertung den Rahmen für eine zukünftige Projektumsetzung (Abschnitt 3.5).

3.1 (Güter-)Logistik und kommunale Unternehmen in der Mobilität

Der Betrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen gewährt einen lokal emissionsfreien Verkehr und – bei Erzeugung des Wasserstoffs durch erneuerbare Energien – signifikante Einsparungen von Treibhausgasemissionen gegenüber Fahrzeugen, die mit fossilen Treibstoffen betrieben werden. Gegenüber batterieelektrischen Fahrzeugen zeichnen sich Brennstoffzellenfahrzeuge durch hohe Reichweiten, kurze Betankungszeiten und höhere Nutzlasten aus.

Aufgrund der stetigen Entwicklung der letzten Jahre steigt das Angebot an Brennstoffzellenfahrzeugen verschiedener Hersteller. Pkw und Busse sind marktreif und werden in Serie produziert und eingesetzt. Lkw, Abfallsammelfahrzeuge, leichte Nutzfahrzeuge und Züge befinden sich in der Phase der Markteinführung. Nach aktuellem Stand der Technik werden die meisten Fahrzeuge mit gasförmigem Wasserstoff betrieben. Im Brennstoffzellensystem wird aus Wasserstoff und aus der Luft zugeführtem Sauerstoff elektrische Energie erzeugt, die den Elektromotor des Fahrzeugs antreibt und eine Pufferbatterie, die auch zur Rekuperation dient, lädt. Abbildung 3-3 zeigt schematisch den Aufbau eines Brennstoffzellenfahrzeugs.

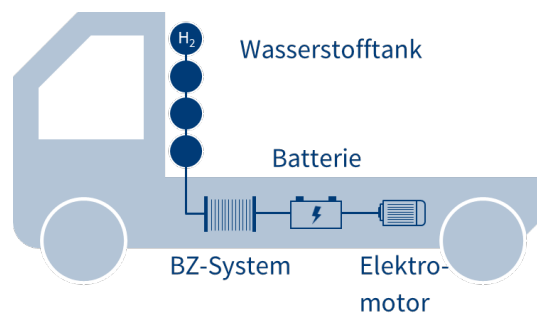


Abbildung 3-3: Schematischer Aufbau eines Brennstoffzellenfahrzeugs

Die Wasserstoffmenge – und damit auch die Reichweite des Fahrzeugs – ist über das Volumen und das Druckniveau der Tanks vorgegeben. Das Druckniveau liegt für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge bei 700 bar, schwere Nutzfahrzeuge und Züge werden momentan vorwiegend bei 350 bar betankt. Eine Ausnahme stellen derzeit Abfallsammelfahrzeuge dar, diese können je nach Hersteller mit 700 bar oder 350 bar betankt werden. Im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge werden aktuell Fahrzeuge zur Betankung mit 700 bar und flüssigem Wasserstoff entwickelt. Bei Lkw können somit Reichweiten von bis zu 1.000 km ermöglicht werden. Verfügbar werden diese Fahrzeuge nach Herstellerangaben ab ca. 2024 sein. Eine Übersicht über die verschiedenen typischen Fahrzeugdaten ist Tabelle 3-1 zu entnehmen.

Die wesentlichen Parameter zu den am Markt verfügbaren Brennstoffzellenfahrzeugen werden im Folgenden genannt. Eine detaillierte Übersicht zu den Fahrzeugen, technischen Parametern und Herstellern ist den Tabellen im Anhang zu entnehmen.

Verschiedene Lkw-Hersteller erwägen aktuell die Entwicklung von Fahrzeugen mit H₂-Verbrennungsmotor als Antriebsstrang. Die entsprechenden H₂-Verbrennungsmotoren werden bspw. durch Cummins Inc., DEUTZ AG oder Keyou hergestellt.

Tabelle 3-1: Fahrzeugtypen mit dazugehörigen Kennzahlen

Fahrzeugtyp	Pkw	LNF	Bus	Lkw	ASF
					
Reichweite [km]	400–650	350–450	350–450	400–1.200	ca. 500–600 km
Druckniveau [bar]	700	700	350	350, später 700 / flüssig	350 / 700
Tankvolumen [kg]	4–6	4–5	35–40	> 35	nach Wunsch
Tankzeit [min]	3–5	3–5	8–15	8–15	8–15
Verbrauch [kg/100 km]	ca. 1	1–1,8	6–10	7–9	Abh. von Betriebsweise
Investitionskosten [T€]	64–79	50–80	550–650	350–600	700–900

3.1.1 Wasserstoff als Treibstoff im Güterverkehr

Die hohen Reichweiten- und Nutzlastanforderungen beim Transport von Waren und Gütern führen zu einem hohen Potenzial für den Einsatz von Brennstoffzellen-Lkw. Die ersten Brennstoffzellen-Lkw mit 350-bar-Betankung und Reichweiten von ca. 400 km sind bereits marktreif. Ab 2024 ist der Vertrieb der ersten Brennstoffzellen-Lkw mit Reichweiten von bis zu 1.000 km geplant. Aktuell haben beispielsweise Hyundai, Hyzon Motors, Quantron und IVECO schwere Lkw bis zu 40 Tonnen im Portfolio. Im Bereich der mittelschweren Lkw existieren ebenfalls erste Hersteller. So hat beispielsweise die Paul Group einen 24-Tonnen-Lkw vorgestellt, der ab 2023 in Serie geht. Schwere Lkw und insbesondere Sattelzugmaschinen bieten mit ihrer hohen Fahrleistung Emissionseinsparungen im Fahrbetrieb von bis zu 71 t CO₂ pro Jahr bei der Nutzung von grünem Wasserstoff.

Leichte Nutzfahrzeuge (LNF) bis zu 3,5 Tonnen sind bereits als Brennstoffzellenfahrzeuge auf dem Markt. Stellantis (mit den Marken Peugeot, Citroën und Opel), Renault und Hyundai/IVECO bieten erste Kleinserienmodelle an. Wie Pkw werden die LNF mit 700 bar betankt und haben Reichweiten von bis zu 500 km. Der Einsatz eines Brennstoffzellenfahrzeugs anstatt eines Dieselfahrzeugs führt jährlich zu einer Einsparung von bis zu 4,7 t CO₂.

Brennstoffzellen-Flurförderfahrzeuge werden in der Logistik bereits eingesetzt und ermöglichen im Vergleich zur Ladung von Batterien eine schnelle Betankung. Für Logistikprozesse bieten Flurförderfahrzeuge so insbesondere im durchgängigen Drei-Schicht-Betrieb einen Wettbewerbsvorteil.

Im Lkw-Bereich zeichnet sich ein Brennstoffzellenfahrzeug aufgrund von höheren Reichweiten, höheren Nutzlasten (als batterieelektrische Fahrzeuge) und kürzeren Betankungszeiten aus. Es lässt sich feststellen, dass Reichweiten im Bereich von 400 bis 1.000 km häufig ausreichen, um eine ausschließliche Betankung an einer Tankstelle zu ermöglichen, z. B. auf dem Betriebshof. Dies eröffnet vielen Unternehmen die Möglichkeit, unabhängig von Tankvorgängen während der Fahrt zu planen. Auch im Verteilerverkehr kann der

Einsatz von Brennstoffzellen-Lkw sinnvoll sein. Typische Bedingungen, die gegen den Einsatz batterieelektrischer und somit für den Einsatz von Brennstoffzellen-Lkw sprechen, sind:

- ▶ der Zeitbedarf zum Nachladen auf der Strecke bzw. am Betriebshof ist zu hoch
- ▶ die Netzkapazität auf dem Betriebshof ist zu gering
- ▶ die Ladeinfrastruktur auf der Strecke ist nicht ausreichend ausgebaut
- ▶ Mehrfahrzeuge und ggf. Mehrpersonal sollen vermieden werden

Um den Einfluss der Wasserstoffpreise und der aktuellen Fördermöglichkeiten auf verschiedene Nutzfahrzeuge zu verdeutlichen, werden beispielhaft die Gesamtkosten (TCO / Total Cost of Ownership) für schwere Nutzfahrzeuge (Lkw) vergleichend dargestellt. Mit der Verabschiedung des delegierten Rechtsakts zur RED II (siehe Kapitel 3.5.3) und dessen erwarteter Umsetzung in der 37. BImSchV sind die Anforderungen an die Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff für die Mobilität definiert worden und eine weitere Stellschraube im Rahmen der Wirtschaftlichkeit entstanden.

Kilometerkosten BZ-Lkw [€/km]

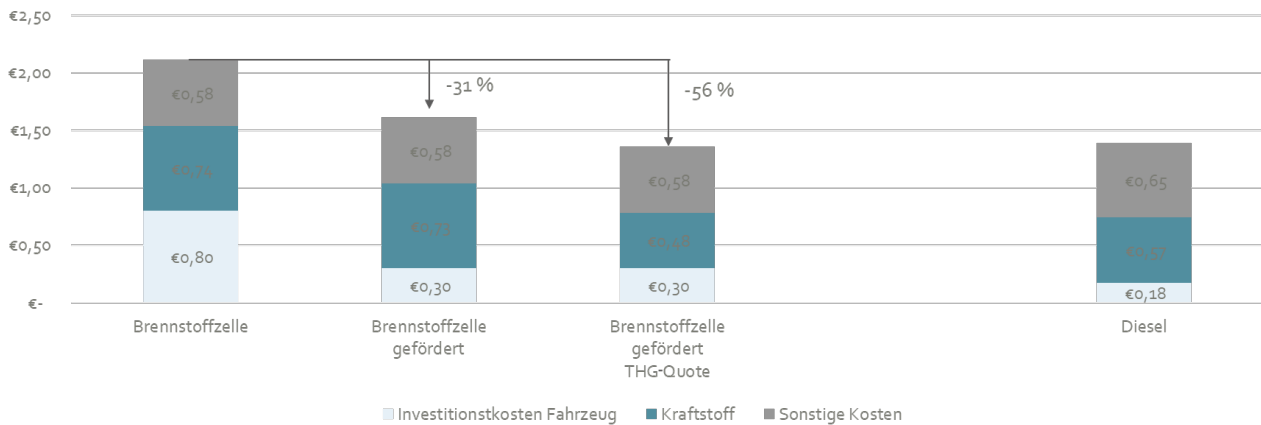


Abbildung 3-4: Vergleich der Kosten eines Brennstoffzellen-Lkw (mit und ohne Förderung) zu einem Diesel-Lkw

In Abbildung 3-4 sind die Gesamtkosten von BZ-Lkw und Diesel-Lkw (40 t) mit und ohne Förderung dargestellt. Regional erzeugter Wasserstoff kann zu Kosten von 9,22 €/kg angenommen werden (vgl. Kapitel 5). Wird eine THG-Quote von ca. 4,00 €/kg angenommen, könnte der Preis auf 5,22 €/kg sinken. Ohne Förderung betragen die Mehrkosten für BZ-Lkw ca. 52 %. Durch die Förderung der Investitionskosten des Brennstoffzellen-Lkw können die Gesamtkosten des Brennstoffzellenfahrzeugs um ca. 31 % reduziert werden. Eine Senkung des Kraftstoffpreises um ca. 4,00 €/kg durch die THG-Quote reduziert die Gesamtkosten um weitere ca. 25 %. Unter Berücksichtigung des im Rahmen des Verbundprojektes ermittelten lokalen Wasserstoffpreises und aktueller Förderbedingungen sind die Gesamtkosten von Brennstoffzellen-Lkw vergleichbar mit den Gesamtkosten des Diesel-Lkw.

Es wird deutlich, welchen erheblichen Anteil sowohl die Förderung der Investitionskosten für die Fahrzeuge als auch die THG-Quote auf die Gesamtkosten haben. Aus diesem Grund sollten Akteure, die sich mit der Beschaffung von Brennstoffzellenfahrzeugen auseinandersetzen, für eine erste wirtschaftliche Einschätzung die erzielbaren Kraftstoffkosten und die Fördermöglichkeiten analysieren sowie eine Gesamtkostenrechnung erstellen.

3.1.2 Wasserstoff als Treibstoff für kommunale Unternehmen

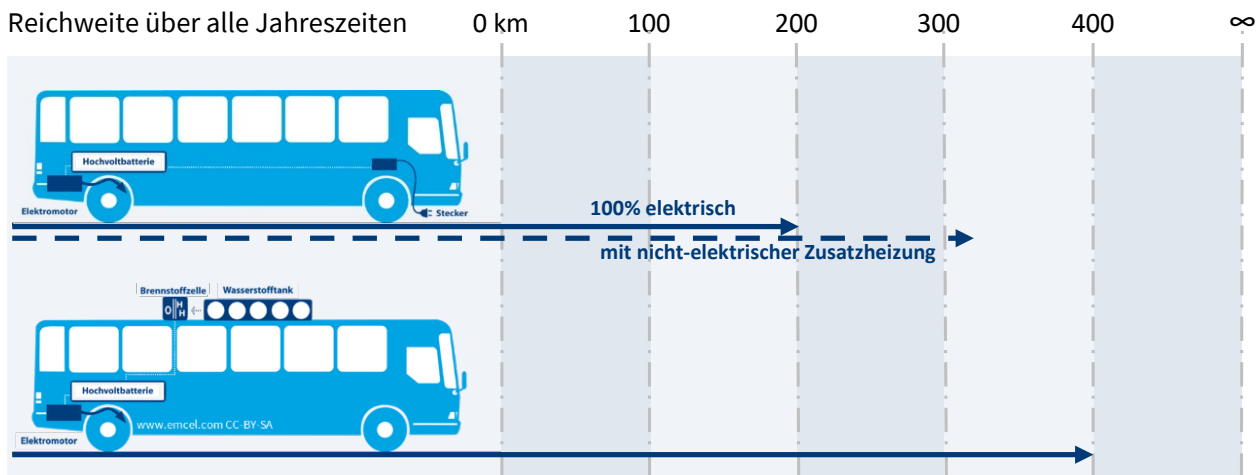
Brennstoffzellenbusse zum Einsatz im ÖPNV

Brennstoffzellenbusse und Batteriebusse sind seit Jahren erfolgreich im ÖPNV im Einsatz und im Markt etabliert. Verschiedene Hersteller (u. a. Solaris, Van Hool, Caetano) bieten die Busse in Serie an. Die Brennstoffzellenbusse können in ca. 10 Minuten mit 350 bar betankt werden und gewährleisten Tagesfahrleistungen von etwa 350 bis 400 km. Das ermöglicht häufig einen 1:1-Ersatz von Dieselnissen. Die hohe Jahresfahrleistung ermöglicht eine Einsparung pro Bus im Fahrbetrieb von bis zu 58 t CO₂.

Die Umstellung des ÖPNV auf Elektrobusse erfordert eine Analyse der individuellen Einsatzbedingungen. Bedingungen, die für den Einsatz von Brennstoffzellenbussen sprechen, sind:

- ▶ hohe Tagesfahrleistungen / Reichweiten / Umläufe (> 250 km)
- ▶ Mehrfahrzeuge und Mehrpersonal werden vermieden
- ▶ die Netzkapazität zum Laden mehrerer batterieelektrischer Busse im Depot / auf der Strecke ist nicht ausreichend
- ▶ die Pausenzeiten zum Nachladen auf der Strecke bzw. im Depot sind nicht ausreichend
- ▶ typische Arbeitsabläufe (Tankzeiten, Instandhaltung, Reinigung etc.) werden aufrechterhalten

Abbildung 3-5 zeigt die Reichweiten über alle Jahreszeiten von Batterie- und Brennstoffzellenbussen für eine Ladung/Betankung.



Die Angaben sind als Richtwerte für gesicherte Reichweiten zu verstehen, die heute am Markt verfügbar sind. Die tatsächlichen Reichweiten sind abhängig von Fahrzeug, Jahreszeit, Topografie etc.

Abbildung 3-5: Reichweiten von Elektro- und Brennstoffzellenbussen

Die Investitionskosten für Brennstoffzellenbusse liegen aktuell deutlich über denen von vergleichbaren Dieselfahrzeugen, die in großen Stückzahlen produziert werden. Gründe dafür sind sowohl die erforderlichen technologischen Umstellungen und fehlenden Skaleneffekte als auch die wenig automatisierten Produktionsprozesse. Für höhere Stückzahlen werden aufgrund von Skaleneffekten deutlich geringere Preise erwartet.

Abfallsammelfahrzeuge

Abfallsammelfahrzeuge sind bspw. von den Herstellern Faun, Zoeller, HyTrucks oder Geesinknorba erhältlich. Je nach Hersteller können sie mit 350 oder mit 700 bar betankt werden und lassen sich dadurch auch in Regionen betreiben, in denen es bisher nur 700-bar-Tankstellen gibt.

Brennstoffzellen-Abfallsammelfahrzeuge weisen im Vergleich zu Batterie-Abfallsammelfahrzeugen größere Reichweiten auf und ermöglichen zudem kürzere Betankungszeiten. Mindestreichweiten für eine Betankung/Beladung sind hier pauschal nicht möglich. Die Bewertung ist stark abhängig vom benötigten Gesamtenergieverbrauch für den Umlauf bzw. von der Tagesfahrleistung des Abfallsammelfahrzeugs. Dabei spielt nicht nur die fahrbezogene Leistung eine Rolle, sondern auch die Energie, die für die Aufnahme, Verarbeitung und Abladung der Abfälle anfällt. Diese kann, insbesondere bei großen Müllmengen oder schweren Abfällen, erheblich sein.

Daher sind die spezifischen Anforderungen und Betriebsbedingungen des Abfallsammelfahrzeugs zu berücksichtigen, um eine umfassende Bewertung der Technologien vornehmen zu können. Die Auswahl einer passenden Technologie erfordert eine enge Abstimmung mit den Fahrzeugherstellern zu den benötigten Energien für die Tagesfahrleistungen.

Kilometerkosten BZ-Abfallsammelfahrzeug [€/km]

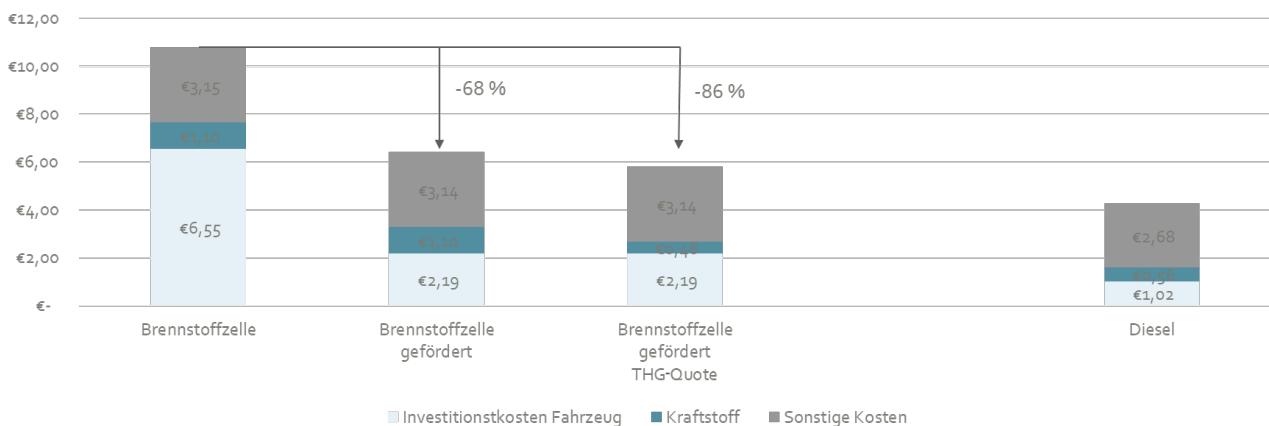


Abbildung 3-6: Vergleich der Kosten eines Brennstoffzellen-Abfallsammelfahrzeug (mit und ohne Förderung) zu einem Diesel-Abfallsammelfahrzeug

Bei Abfallsammelfahrzeugen liegen die Mehrkosten ohne Förderung bei noch über 150 %. Ein wesentlicher Kostenpunkt sind die hohen Fahrzeugkosten aufgrund der geringen Stückzahlen. Wird ein regional erzeugter Wasserstoffpreis aus dem Verbundprojekt Hagen (Kapitel 6.2) von 9,22 €/kg_{H₂} angenommen und eine Förderung der Fahrzeuginvestitionskosten, können die TCO-Kosten um ca. 68 % reduziert werden. Bei einem vergünstigten Wasserstoffpreis von 5,22 €/kg durch Erlöse durch den Verkauf der THG-Quote können die Gesamtkosten um weitere 18 % reduziert werden. Unter Berücksichtigung der aktuellen Förderungen liegen die Gesamtkosten von Brennstoffzellen-Abfallsammelfahrzeugen ca. 30 bis 40 % über den Gesamtkosten von Diesel-Abfallsammelfahrzeugen.

Schienenfahrzeuge

Seit 2018 werden im Schienenpersonennahverkehr (SPNV) auf nicht-elektrifizierten Strecken erste Brennstoffzellenzüge im Linienbetrieb eingesetzt. Mit Alstom und Siemens haben zwei Hersteller Produkte am Markt. Die verfügbaren SPNV-Brennstoffzellenzüge speichern ihren Wasserstoff bei 350 bar und haben bei einem Verbrauch von etwa 25 kg_{H₂}/100 km Reichweiten von bis zu 1.000 km. Die Substitution von Dieselizeugen mit einem Verbrauch von 129 l/100 km durch Brennstoffzellenzüge ermöglicht im Fahrbetrieb eine Einsparung von bis zu 330 t CO₂ pro 100.000 km. Aufgrund seiner hohen Energiedichte bietet sich Wasserstoff

zudem auch für Güter- oder Rangierloks an – hier befinden sich Pilot- und Forschungsprojekte in Umsetzung.

3.1.3 Wasserstofftankstellen

Um den Verkehrssektor auf Grundlage von Wasserstoff zu dekarbonisieren, ist ein flächendeckendes Wasserstofftankstellennetz erforderlich. Dies kann durch die Integration in bestehende Tankstelleninfrastruktur oder durch die Errichtung von Wasserstofftankstellen an neuen Standorten geschehen. In den letzten Jahren hat sich eine grundlegende Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland aufgebaut. Für eine lückenlose Versorgung ist diese derzeit aber noch nicht ausreichend. Insbesondere die Versorgung für schwere Nutzfahrzeuge in unmittelbarer Autobahnnähe ist noch nicht etabliert.

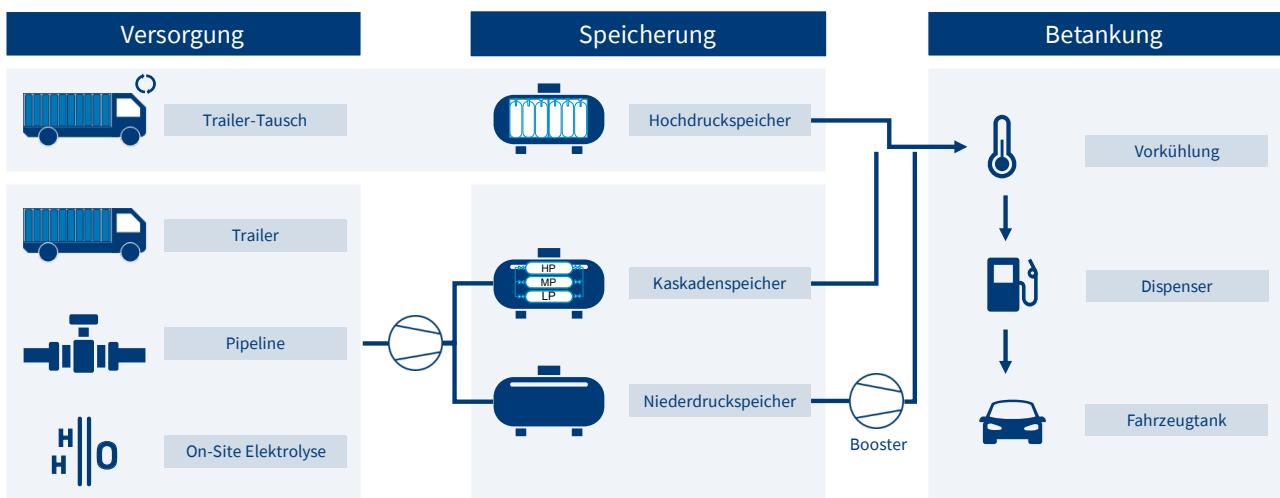


Abbildung 3-7: Bestandteile einer H₂-Tankstelle

Wasserstoff-Anlieferung

Grundsätzlich existieren drei typische Anlieferungsvarianten: Die Anlieferung von gasförmigem oder flüssigem Wasserstoff per Trailer, die Anlieferung von gasförmigem Wasserstoff per Pipeline und die Wasserstoffproduktion vor Ort (On-Site). Wird gasförmiger Wasserstoff per Lkw angeliefert, liegt er standardmäßig auf einem Druckniveau von bis zu 500 bar vor.

Die Anlieferung von Wasserstoff in tiefkalter, flüssiger Form wird aktuell selten praktiziert, könnte aber insbesondere bei Tankstellen mit einem hohen Wasserstoffabsatz relevant werden.

Die Anlieferung von gasförmigem Wasserstoff per Pipeline erfolgt typischerweise auf einem Druckniveau von 20 bis 100 bar. In Zukunft ermöglicht der Aufbau eines deutschlandweiten Wasserstoff-Pipelinennetzes auch vermehrt die Anlieferung per Pipeline.

Wird der Wasserstoff am Standort der H₂-Tankstelle durch einen Elektrolyseur produziert, liegt er auf einem Druckniveau von typischerweise ca. 3–40 bar vor (am Ausgang des Elektrolyseurs).

Speicherung des Wasserstoffs an der H₂-Tankstelle

Heute existieren standardmäßig eingesetzte Speichermöglichkeiten wie Druckgasspeicher auf verschiedenen Druckniveaus oder Flüssigtanks, die bereits standortunabhängig eingesetzt werden. Der gasförmig angelieferte oder vor Ort per Elektrolyse produzierte Wasserstoff wird durch Kompressoren verdichtet.

Die Speicherung von gasförmigem Wasserstoff kann auf verschiedenen Druckniveaus (30 bis 1.000 bar) erfolgen. Dies ist maßgeblich vom zur Verfügung stehenden Platz abhängig. Eine Erhöhung des Drucks führt

zu einer höheren volumetrischen Speicherdichte, d. h., es kann mehr Wasserstoff mit geringerem Platzbedarf gespeichert werden. Aktuell werden die meisten H₂-Tankstellen mit gasförmigen Wasserstoffspeichern ausgerüstet.

Bei der Wasserstoffanlieferung können die mobilen Trailer durch ein „Wechseltrailerprinzip“ in das Speichersystem integriert werden. Auf diese Weise kann das Druckniveau im Trailer für die Betankung mittels Überströmung genutzt werden. Allerdings wird durch die dauerhaften Abladepositionen des Trailers der Platzbedarf erhöht. Alternativ kann der Wasserstoff in einen Niederdruckspeicher überströmt werden. Dadurch wird weniger Aufstellfläche benötigt und die Standzeit des Trailers minimiert.

Hersteller von Tankstellen bevorzugen unterschiedliche Speicherkonzepte, die auch auf die Kompressoreinheit und das restliche Abfüllkonzept abgestimmt sind. Die Kompressoreinheit ist für die Steuerung und Verteilung des Wasserstoffs in einer Tankstelle zuständig und wird an den geplanten Wasserstoffumsatz angepasst. Sie wird für die Verdichtung, Zwischenspeicherung und Betankung verwendet. Bei der Verdichtung wird der Wasserstoff je nach gewünschtem Druckniveau und eingesetztem Verdichtertyp auf verschiedene Druckstufen komprimiert. Um die Leistungsfähigkeit der Tankstelle sicherzustellen und das Ausfallrisiko zu senken, kann eine redundante Ausführung der Kompressoren sinnvoll sein.

Wird flüssiger Wasserstoff angeliefert, wird dieser typischerweise in Flüssigtanks gespeichert. Durch die hohe Energiedichte von flüssigem Wasserstoff ist der Platzbedarf bei einer flüssigen Speicherung geringer. Bei der Verflüssigung von Wasserstoff wird gegenüber der Kompression ein höherer Energiebedarf erforderlich. Weiterhin sind die Investitionskosten für den Verflüssiger höher als für Kompressoren.

Betankungskonzepte

An einer H₂-Tankstelle werden unterschiedliche Betankungskonzepte für Wasserstoff praktiziert:

- ▶ Überströmen über das Kaskadenprinzip
- ▶ Überströmen über den Konstantdruckspeicher
- ▶ Booster-Kompressor

Das am weitesten verbreitete Betankungskonzept, das Überströmen, ist die Betankung des Fahrzeugs aus mehreren Speichern mit unterschiedlichen Druckniveaus (Kaskadenprinzip). Um die Überstrombetankung durchzuführen, muss der Druck in den Wasserstoffspeichern der H₂-Tankstelle höher sein als der Druck im Fahrzeugtank. Aufgrund des vorhandenen Druckgefälles in den Speichern strömt Wasserstoff in den Fahrzeugtank. Hierbei existieren tankstellenseitig typischerweise drei Druckbänke. Den Speichern vorgeschaltet ist ein Kompressor, der den Wasserstoff auf das jeweilige Druckniveau im Speicher verdichtet. Beim Überströmen startet der Betankungsvorgang mit der Druckbank mit dem geringsten Druckniveau. Unterschreitet der Massenstrom vom Speicher zum Fahrzeugtank aufgrund des geringen Druckgefälles einen Schwellenwert, wird der Betankungsvorgang mit Wasserstoff aus der nächsten Druckbank fortgesetzt. Vollständig gefüllt wird der Fahrzeugtank mit der letzten und typischerweise kleinsten Druckbank, die das höchste Druckniveau aufweist.

Um das notwendige Druckniveau zu erhalten, können die Speicher nie vollständig entleert werden. Daraus ergibt sich ein zu berücksichtigender Unterschied zwischen der installierten und nutzbaren Speicherkapazität.

Bei dem Überströmen mit einem Konstantdruckspeicher wird die Betankung aus nur einem Speicher durchgeführt. Hierbei besteht die Infrastruktur in der Regel aus einem Niederdruckspeicher (typischerweise deutlich kleiner als 350 bar), einem Kompressor und einem sogenannten Pufferspeicher auf einem höheren Druckniveau. Der Kompressor hält das Druckniveau im sogenannten Konstantdruckspeicher bei einem bestimmten Druckniveau, das das Druckniveau des Fahrzeugtanks überschreitet. Mit dieser Technik kann der

Niederdruckspeicher fast vollständig entleert und nahezu der gesamte eingelagerte Wasserstoff zur Betankung genutzt werden.

Wird die Betankung über einen sogenannten Booster-Kompressor realisiert, wird Wasserstoff unmittelbar aus einem Niederdruckspeicher (typischerweise deutlich weniger als 350 bar) und ohne Pufferspeicherung auf das erforderliche Fahrzeugdruckniveau (350 / 700 bar) komprimiert und so das Fahrzeug befüllt. Dieses Konzept ist insbesondere für Großverbraucher, die einen hohen täglichen Wasserstoffbedarf aufweisen, interessant. Um die hohe Wasserstoffabnahme zu gewährleisten, ist ein Kompressor mit einer hohen Förderleistung erforderlich. Der Kompressor wird für diese Anforderungen so groß dimensioniert, dass auch die direkte Betankung des Fahrzeuges bei einer kurzen Betankungsdauer möglich ist. Diese Ausführungsart weist somit höhere Investitionskosten für den Kompressor, aber geringere Investitionskosten für die Speicher auf.



Um eine schnelle Betankung (z. B. Pkw < 5 Minuten) zu realisieren, muss Wasserstoff vorgekühlt werden (typischerweise auf bis zu -40 °C, „Cold Filling“). Grund für die Vorkühlung ist, dass die Fahrzeugtanks die zulässigen Temperaturgrenzen nicht überschreiten / nicht überhitzen, da der komprimierte Wasserstoff sich in einem teilentleerten Fahrzeugtank zunächst ausdehnt, was physikalisch mit der Freisetzung von Wärme einhergeht.

Bei einer Speicherung von flüssigem Wasserstoff an der Tankstelle erfolgt die Betankung des Fahrzeugs über eine sogenannte Kryopumpe und einen Verdampfer. Technisch ist auch eine Betankung der Fahrzeuge mit flüssigem Wasserstoff möglich. Allerdings existieren am Markt derzeit nur Fahrzeuge mit Tanksystemen zur gasförmigen Speicherung von Wasserstoff.

Aufbau des Tankstellennetzes

Aktuell existieren noch überwiegend H₂-Tankstellen mit einer geringen Kapazität. Beispielsweise hat die H₂ MOBILITY Deutschland GmbH im Auftrag der Bundesregierung anfangs ausschließlich Pkw-Tankstellen der Größenkategorie XS und S errichtet (vgl. Tabelle 3-2). Aufgrund der geringen Kapazität sind diese nicht für den Schwerlastverkehr ausgelegt, da hier wesentlich höhere Abnahmemengen als bei Pkw auftreten. So ist die Wasserstoffnachfrage eines typischen ÖPNV-Busses ca. 40-mal so hoch wie die eines Pkw. Mittlerweile konzentriert sich die H₂ MOBILITY Deutschland GmbH ausschließlich auf den Schwerlastverkehr. Die hohen Betankungswerte pro Tankvorgang bei Bussen machen beispielsweise standardisierte H₂-Tankstellen der Größe M und der Größe L interessant.

In Hinblick auf die weitere Entwicklung der H₂-Tankstelleninfrastruktur wurden auf europäischer Ebene nationale Mindestziele in der Verordnung zum Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR) festgelegt. Diese Ziele sind für alle beteiligten Nationen bindend und sollen den Ausbau und die Umsetzung der Wasserstofftechnologie fördern. Ziel der AFIR ist, dass bis Ende 2030 entlang des transeuropäischen Verkehrsnetzes alle 200 km eine Wasserstofftankstelle errichtet wird. Zudem sollen an städtischen und multimodalen Knotenpunkten Infrastrukturen für die Betankung mit gasförmigem Wasserstoff aufgebaut

werden. Hinsichtlich der Betankungskapazität wird bis zu eine Tonne pro Tag angestrebt. Ebenso wird die Schaffung von Tankoptionen zur Betankung mit flüssigem Wasserstoff beabsichtigt.

Tabelle 3-2: H₂-Tankstellengrößen

TANKSTELLENGRÖßE S	TANKSTELLENGRÖßE M	TANKSTELLENGRÖßE L	TANKSTELLENGRÖßE XL
Tankstellenkapazität: 200 kg H₂	Tankstellenkapazität: 500 kg H₂	Tankstellenkapazität: 1000 kg H₂	Tankstellenkapazität: 2000 kg H₂
ca. 6 - 8 Busse / LKW oder ca. 40 – 50 PKW pro Tag	ca. 15 - 20 Busse / LKW oder ca. 100 – 125 PKW pro Tag	ca. 30 - 40 Busse / LKW oder ca. 400 – 500 PKW pro Tag	ca. 60 - 80 Busse / LKW oder ca. 800–1000 PKW pro Tag
Ungefährer Flächenbedarf: 500 m ² – 1.000 m ²	Ungefährer Flächenbedarf: 1.000 m ² – 1.800 m ²	Ungefährer Flächenbedarf: 1.800 m ² – 3.000 m ²	Ungefährer Flächenbedarf: 3.600 m ² – 6.000 m ²

Projektierung einer Wasserstofftankstelle

Die Dimensionierung der H₂-Tankstelle richtet sich jeweils nach der benötigten Wasserstoffmenge, den Betankungsintervallen der Fahrzeuge sowie den erforderlichen Ausfallsicherheiten.

Fragestellungen zur Vorplanung

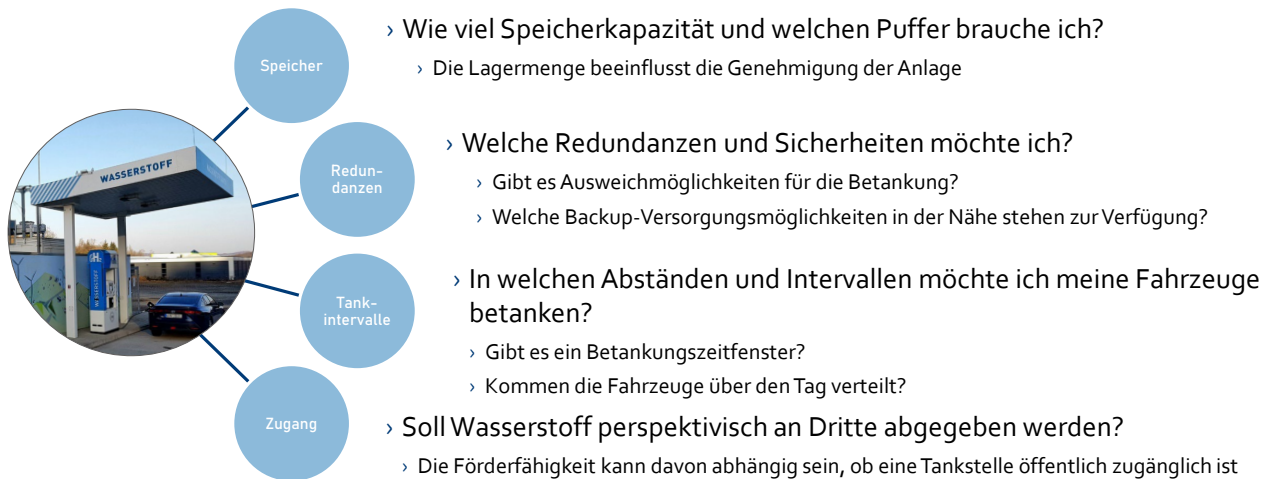


Abbildung 3-8: Fragestellungen zur Vorplanung einer H₂-Tankstelle

Je nach Kundenprofil werden unterschiedliche Anforderungen an die Tankstellenleistung gestellt. Eine öffentliche Tankstelle wird über den ganzen Tag ausgelastet. Fahrzeugflotten haben hingegen feste Zeitfenster, in denen mehrere Fahrzeuge direkt hintereinander betankt werden und hohe Leistungsspitzen von der Tankinfrastruktur gefordert werden. Im Markthochlauf können solche Flotten eine erste feste Abnahme sicherstellen. Frühzeitig auf potenzielle Abnehmer zuzugehen und deren Bedürfnisse in die Tankstellenplanung einzubeziehen, kann die Auslastung der Tankstelle, besonders in den ersten Jahren, deutlich erhöhen. Momentan wird ein großes Abnahmepotenzial im Schwerlastverkehr gesehen (vgl. Abschnitt 4.2).

Bei der Auslegung der Tankstellendimensionierung muss neben der Leistungsfähigkeit der Tankstelle auch deren Genehmigungsfähigkeit bedacht werden. Ab einer bestimmten gelagerten Wasserstoffmenge vor Ort (siehe Kapitel 5.1) können zusätzliche Genehmigungsverfahren wie z. B. die Störfall-Verordnung

(StörfallV) ausgelöst werden. Die Überschreitung der Schwelle einer Lagermenge von 5 Tonnen kann somit einen deutlich höheren Aufwand für das Sicherheitskonzept erfordern. Unter diesen Umständen kann eine regelmäßige Anlieferung oder Nachproduktion von Wasserstoff wirtschaftlicher sein als die Vorhaltung großer Lagermengen am Standort. Hier können die in Kapitel 5.2 dargestellten Strategien zur Speichermenge ebenfalls betrachtet werden. Da sich die Wasserstofftechnologie noch im Markthochlauf befindet, ist ein modularer Aufbau der Tankstelleninfrastruktur zu empfehlen. In der Planung sollten spätere Ausbaustufen von Beginn an mitgedacht werden.

Die Kosten für die Errichtung einer Wasserstofftankstelle hängen von der Leistungsfähigkeit und Ausfallsicherheit (bspw. durch Redundanzen für anfällige Komponenten) der Anlage ab. Neben den Tankstellenkomponenten kommen Baukosten hinzu, z. B. für die Fundamente sowie möglicherweise benötigte Schutzmaßnahmen wie Brandschutzwände, Lärmschutzwände und Anfahrtschutz. Auch die Planungs-, Architekten- und Genehmigungskosten sowie die für die Genehmigungsplanung erforderlichen Gutachten sind für die Infrastruktur mit einzuplanen.

Zeitplan bei der Errichtung von H₂-Tankstelleninfrastruktur

In der Regel sollten Unternehmen für den Zeitraum von der Vorplanung bis zum Regelbetrieb der Tankstelle ca. 2,5 Jahre einplanen. Der dargestellte Zeitplan berücksichtigt in diesem Zusammenhang keine Verzögerungen durch Förderthematiken. Eine Verzögerung kann durch die Bestellung der Komponenten zustande kommen, die erst nach Erhalt der Genehmigung erfolgt.

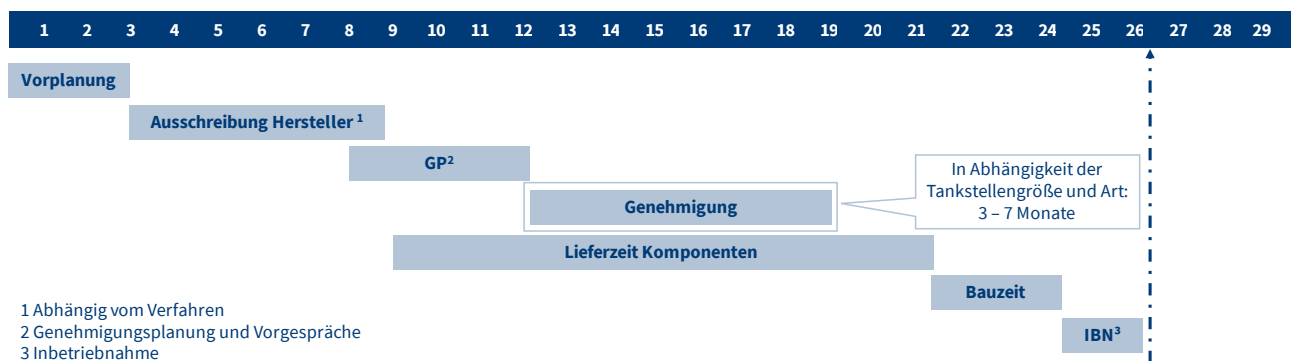


Abbildung 3-9: Zeitplan für die Errichtung einer H₂-Tankstelle

Bundesstraßen untersucht werden. Im Optimalfall wird hierbei ein zusätzliches Lkw-Aufkommen bzw. Stau in städtischen Gebieten vermieden.

- ▶ Ein ausreichend großer Stromnetzanschluss für den Betrieb der H₂-Tankstelle.
- ▶ Optional ist ein Anschluss für die H₂-Entnahme aus einem H₂-Pipelinennetz denkbar.
- ▶ Anschlüsse für eine Datenschnittstelle.

Genehmigungsrechtliche Aspekte (Baurecht) und Genehmigungsfähigkeit der Tankanlage

Für die Erlangung des Baurechts sind verschiedene Faktoren am Standort relevant, z. B.:

- ▶ Wird der Regional- oder Bebauungsplan (z. B. Schallemissionsgrenzen, Anlagenhöhen, Bebauungsgrenzen) eingehalten?
- ▶ Sind Hochwasserschutzmaßnahmen notwendig oder befindet sich das Grundstück in einem Wasserschutzgebiet?
- ▶ Welche Stufe erdbebensicheren Bauens ist erforderlich?
- ▶ Wird die Natur belastet (z. B. Baumschutzsatzung & Flora-Fauna-Habitat-Prüfung)?
- ▶ Ist der Boden vorbelastet (Altlasten, Kampfmittelfreiheit, Bodendenkmäler o. Ä.)?
- ▶ Welche Abstandsflächen zur (Autobahn-)Infrastruktur müssen eingehalten werden?

H₂-Tankstellen und Abfüllanlagen erfordern ein Erlaubnisverfahren nach § 18 BetrSichV. In Abhängigkeit der Speichergröße sind ggf. weitere Bedingungen zu erfüllen. Weitere Informationen werden im Kapitel 3.5 aufgeführt.

Potenzial zur H₂-Abnahme durch lokale Akteure und Transitverkehre

Die Nähe zu möglichen Abnehmern des Wasserstoffs ist für eine entsprechende Auslastung der H₂-Tankstellen erforderlich. Durch einen hohen Zeitdruck sowohl in Güter- als auch in kommunalen Verkehren sind nach Möglichkeit große Umwege für die Betankung von Fahrzeugen zu vermeiden. Für die Eignung eines Wasserstofftankstellen-Standorts sollte daher die Nähe zu möglichen Abnehmern untersucht werden. Hierzu zählen insbesondere eine gute Anbindung des Standorts für den oder die Ankerkunden sowie eine gute Anbindung des Standorts für Transitverkehre.

Fazit

Für die Wahl eines geeigneten Standorts müssen die Einflussfaktoren geprüft werden: eine entsprechende Flächenverfügbarkeit, die zu lagernde Wasserstoffmenge in Hinblick auf die Genehmigungsfähigkeit, eine gute Verkehrsanbindung und die Verfügbarkeit potenzieller H₂-Abnehmer. Durch eine integrierte Herangehensweise an diese Schritte kann die Projektentwicklung optimiert werden.

Beispiel mobile H₂-Tankstelle

Eine mobile H₂-Tankstelle kann eine sinnvolle Übergangslösung für die Einführungsphase darstellen. Grundsätzlich können mobile H₂-Tankstellen entweder gemietet oder gekauft werden. Mobile H₂-Tankstellen sind in der Regel kompakt ausgeführt und wie auch eine ortsbezogene H₂-Tankstelle in 40- bis 45-Fuß-Containern verbaut. Die tägliche Wasserstoffbetankungskapazität hängt wesentlich von dem technischen Konzept der jeweiligen Hersteller und des geforderten Betankungsdruckes ab und variiert zwischen ca. 50 kg und 240 kg. Die Betankungszeiten von mobilen H₂-Tankstellen sind normalerweise über 20 Minuten bis zu deutlich über 60 Minuten. Als Übergangslösung können sie jedoch auch mit der geringeren Betankungskapazität für kleinere Testflotten und somit als Wegbereiter für die Flottenumstellung fungieren.



Abbildung 3-11: Beispiel für eine mobile Wasserstofftankstelle, Quelle: Wystrach

Betreibermodelle für H₂-Tankstellen

Für Verkehrsbetriebe und Unternehmen mit großen Fahrzeugflotten ist es oft üblich, eine H₂-Tankstelle auf dem eigenen Betriebsgelände zu betreiben. Ausschlaggebend für die Entscheidung für eine eigene Tankstelle sind dabei i. d. R. die internen Betriebsabläufe und Kosten. Das gilt auch für bestehende und zukünftige Brennstoffzellen-Fahrzeugflotten.

Es lassen sich drei wesentliche Modelle unterscheiden. Die Unterschiede liegen in Aspekten der Planung, des Baus und des Betriebs mit verschiedenen Vor- und Nachteilen (vgl. Tabelle 3-1).

- 1) Bau einer Tankstelle in Eigenregie:
Bei diesem Konzept ist der Nutzer in sämtliche Phasen – von der Planung bis zum Betrieb – beim Bau der Tankstelle involviert und erwirbt sich so ein großes Know-how beim Thema H₂-Tankstellenbau. Das bedeutet konkret, dass der Nutzer eine hohe Kontrolle über die Ausgestaltung der Tankstelle hat. Allerdings erfordert dies einen sehr hohen Zeit- und Personalaufwand. Dieses Modell kann für Nutzer interessant sein, die viele H₂-Tankstellen bauen und betreiben wollen.
- 2) Bau einer Tankstelle nach dem Betreibermodell:
Bei diesem Konzept definiert der Nutzer lediglich einen Wasserstoffbedarf (Menge und Zeitraum) der Betankung. Der Tankstellenbetreiber hingegen kümmert sich sowohl um die notwendige Detailplanung und als auch um den Bau und Betrieb der H₂-Tankstelle. Dieses Modell ist für Nutzer interessant, die lediglich eine geregelte H₂-Menge benötigen.
- 3) Bau der Tankstelle durch einen Generalunternehmer:
Dieses Konzept stellt eine Zwischenstufe der Modelle 1 und 2 dar. Der Nutzer beauftragt einen Generalunternehmer, der sich um die vollständige Abwicklung von Planung und Errichtung der Tankstelle kümmert. Der Nutzer übernimmt anschließend die fertige Tankstelle und betreibt diese dann in Eigenregie. Der Nutzer kann so besondere Wünsche in den Bau der Tankstelle einfließen lassen und ist beim Betrieb freier in der Wahl der Wasserstofflieferanten. Dieses Modell ist für Nutzer mit eigenem Betriebsgelände interessant und solche, die die H₂-Lieferung wettbewerblich vergeben wollen.

Tabelle 3-3: Vor- und Nachteile von Betreibermodellen für H₂-Tankstellen

	Vorteil	Nachteil
Bau in Eigenregie	<ul style="list-style-type: none"> - Großer Einfluss auf das Projekt 	<ul style="list-style-type: none"> - Sehr zeitintensiv - Sehr viel Know-how notwendig, das meist nur für den Bau einer Tankstelle aufgebaut wird
Betreibermodell	<ul style="list-style-type: none"> - Planung, Bau, Genehmigung, Betrieb und Wartung durch Betreiber - Sehr geringer Organisationsaufwand 	<ul style="list-style-type: none"> - Kein Eigentümer der Tankstelle (ggf. förderrelevant)
Generalunternehmen	<ul style="list-style-type: none"> - Nutzer ist Eigentümer (ggf. förderrelevant) - Geringerer Organisationsaufwand 	<ul style="list-style-type: none"> - Eingeschränkte Kontrolle über einzelne Akteure

3.1.4 Infrastruktur für Service und Wartung

Der Betrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen erfordert Infrastruktur, die Service und Wartung der Fahrzeuge übernehmen und im Schadensfall Reparaturen vornehmen kann. Wie eine Ertüchtigung von Werkstätten ausgestaltet werden kann, wird im Folgenden beschrieben.

Grundlagen

Brennstoffzellenfahrzeuge erhalten ihre Zulassung nach europäischen bzw. internationalen Richtlinien. Der Hersteller des Fahrzeugs gibt eine entsprechende Bestätigung ab und garantiert, bei Unversehrtheit des Fahrzeugs, dessen technische Dichtigkeit.

Im Umgang mit Wasserstoff und wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen ist die Entstehung einer gefährlichen, explosionsfähigen Atmosphäre immer zu vermeiden. In Anlehnung an diesen Grundsatz ergibt sich die allgemeine Vorgehensweise, dass ausschließlich technisch dichte Brennstoffzellenfahrzeuge in die Werkstatt einfahren. Wenn aufgrund von Kollision, Feuer, Manipulation, Fehlermeldungen o. Ä. Zweifel an der Dichtigkeit besteht, so ist diese unter Berücksichtigung der Herstellerangaben außerhalb der Werkstatt zu prüfen und entsprechend zu bearbeiten.¹

Arbeiten am Fahrzeug

Werden Arbeiten an einem Brennstoffzellenfahrzeug durchgeführt, ist es nicht grundsätzlich notwendig, die Tätigkeiten in einer Hochvolt- bzw. Wasserstoffwerkstatt durchzuführen. Konventionelle Arbeiten an Brennstoffzellenfahrzeugen, wie mechanische Arbeiten, Arbeiten am 24-V-System etc., können in entsprechenden Werkstätten vorgenommen werden. Arbeiten am Brennstoffzellensystem und/oder am Wasserstofftanksystem, inklusive der Mittel- und Hochdruckleitungen, sowie der Betrieb des Brennstoffzellensystems sind hingegen nur in hierfür vorgesehenen und ausgestatteten Werkstätten erlaubt und nur durch geschultes Personal durchzuführen. Beim Öffnen der Leitungen ist außerdem zu beachten, dass eine Entstehung von 10 Liter explosionsfähigem Gemisch zu vermeiden ist. Entsprechende Maßnahmen hierfür sind im Werkstattkonzept beschrieben und in der Praxis einzuhalten.

¹ Das folgend dargestellte Werkstattkonzept ist für den Umgang mit zertifizierten und offiziell zugelassenen Fahrzeugen ausgelegt. Die Arbeit an Prototypen- oder Entwicklungsfahrzeugen ist hierbei nicht berücksichtigt. Für diese bedarf es zusätzlicher Schutzmaßnahmen, die je nach Anwendungsfall zu prüfen und auszuarbeiten sind.

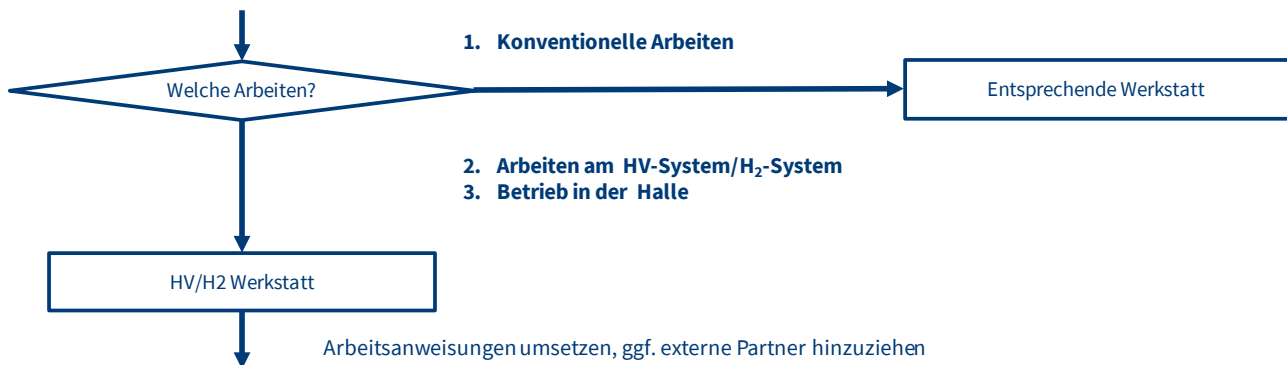


Abbildung 3-12: Vorgehen für Reparaturen an wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen

Werkstatt und Depotertüchtigung

Werkstätten für die Wartung und Instandhaltung von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen bedürfen zunächst keinerlei Ertüchtigungen. Grundsätzlich muss jedoch jede Werkstatt, die diesen Zwecken dient, mit einer Lüftung ausgestattet sein, die eine dreifache Luftwechselrate gewährleistet.

Besteht die Gefahr, dass geringe Mengen an Wasserstoff freigesetzt werden, sind zusätzlich Wasserstoffsensoren und Potenzialausgleiche zu installieren. Der Sensor ist direkt über der potenziellen Quelle anzubringen. Bei der Detektion einer erhöhten Wasserstoffkonzentration (empfohlen bei 10 % der unteren Explosionsgrenze (UEG) bei 0,4 Vol.-% H₂ in der Luft) werden umgehend Alarmierungs- und Lüftungsmaßnahmen eingeleitet. Eine wesentliche Maßnahme ist hierbei, dass bei 20 % (spätestens bei 40 %) UEG, die Halle/Werkstatt stromlos geschaltet wird, um Zündquellen auszuschließen.

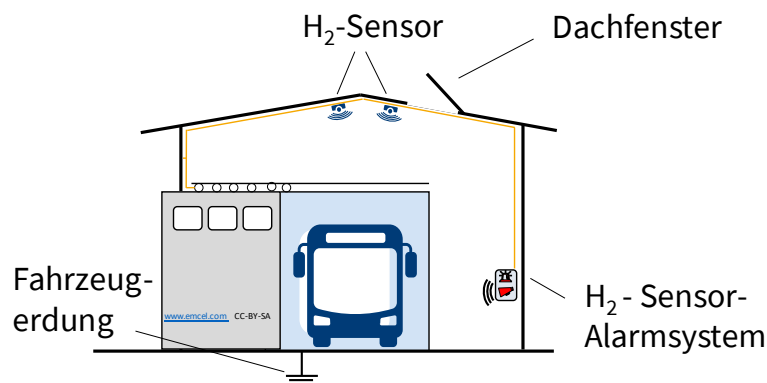


Abbildung 3-13: Beispielhafte Maßnahmen zur Ertüchtigung einer Werkstatt

Besteht die Gefahr des Austritts großer Wasserstoffmengen, ist der potenzielle Gefährdungsbereich zusätzlich mit einer Abblasevorrichtung auszustatten.

Das in den Werkstätten beschäftigte Personal ist auf die Gefahren von Wasserstoff zu sensibilisieren und in den Umgang mit Wasserstofffahrzeugen und wasserstoffführenden Bauteilen einzuweisen. Hierbei ist außerdem die Teilnahme an einer Gassystemeinbauprüfung/Gasanlagenprüfung-Schulung (GAP-/GSP-Schulung) nötig, sobald die Gefahr des Austritts geringer und großer Mengen Wasserstoff besteht.

Durch Kooperationen bei der Ertüchtigung einer strategisch gut gelegenen Werkstatt kann die Umstellung erster Brennstoffzellenfahrzeuge ermöglicht werden. Erfahrungsgemäß können ca. 10 Fahrzeuge pro Wartungsspur gewartet werden. Aktuell haben Fahrzeughersteller in der Regel ein mobiles Serviceteam, das die Fahrzeuge instand setzt und die Reparaturen übernimmt.

3.1.5 Theoretische H₂-Potenzialanalyse im Verkehrssektor in Hagen

Für die Potenzialanalyse im Verkehrssektor werden zwei Szenarien definiert: ein Szenario Regulatorik, das die Anforderungen der Regulatorik beschreibt, und ein Szenario Klimaschutz, das aufzeigt, wie ein Hochlauf für die Zieleinhaltung der Emissionsziele im Verkehrssektor aussehen sollte.

Szenario Regulatorik

Grundlage für das Szenario Regulatorik bilden zum einen die EU-Flottenverordnung und zum anderen die Clean Vehicles Directive. Die EU-Flottenverordnung legt Flottengrenzwerte für die Emissionen (g CO₂/km) fest, die Fahrzeugproduzenten (OEMs) erfüllen müssen. Die Flottengrenzwerte beziehen sich auf Personenkraftwagen, leichte Nutzfahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge. Die Umsetzung der Clean Vehicles Directive in das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz schreibt den Anteil an sauberen und emissionsfreien Fahrzeugen bei der Fahrzeugbeschaffung im öffentlichen Bereich und bei der Vergabe von Aufträgen im ÖPNV vor. Der Wirkungsbereich umschließt insbesondere die Busse des ÖPNV sowie bspw. Abfallsammelfahrzeuge.

Szenario Klimaschutz

Das Szenario Klimaschutz ist durch die Erreichung der Klimaschutzziele definiert, für das die Emissionen der auf der Straße genutzten Fahrzeuge relevant sind. Diese sind durch die Bestandsfahrzeugflotte definiert. Die zugrunde gelegten Ziele sind in Abbildung 3-14 dargestellt.

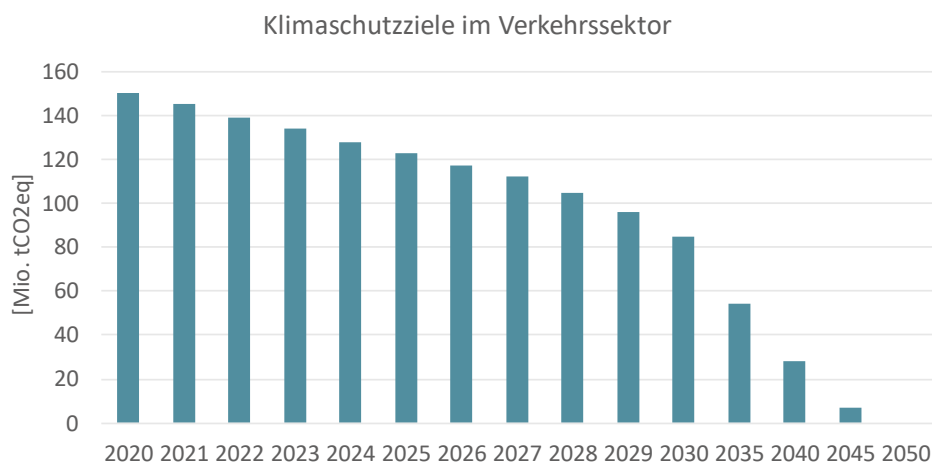


Abbildung 3-14: Klimaschutzziele im Verkehrssektor

Die Abschätzung des Anteils der Brennstoffzellenfahrzeuge an den emissionsfreien (für Busse/Abfallsammelfahrzeuge auch den emissionsarmen) Neuzulassungen für beide Szenarien ist tabellarisch im Anhang aufgeführt.

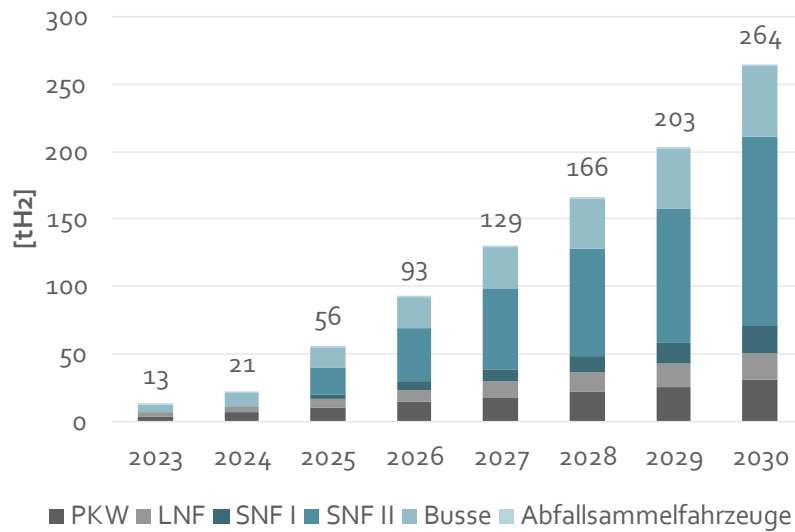


Abbildung 3-15: Wasserstoffbedarf im Szenario Regulatorik im Verkehrssektor in tH₂

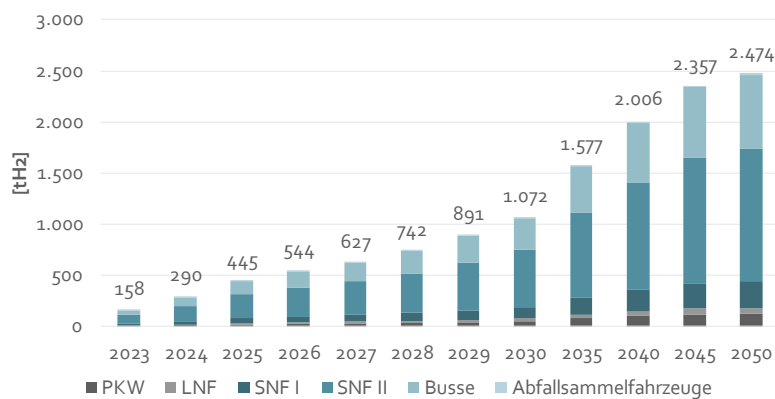


Abbildung 3-16: Wasserstoffbedarf im Szenario Klimaschutz im Verkehrssektor in tH₂

Durch die regulatorischen Anforderungen steigt der Wasserstoffbedarf im Verkehrssektor auf 264 Tonnen im Jahr 2030. Der größte Anteil entfällt mit 139 Tonnen auf schwere Nutzfahrzeuge (zulässiges Gesamtgewicht größer als 12 Tonnen). Um die Klimaschutzziele einzuhalten, erhöht sich der Bedarf bis 2050 auf ca. 2.500 Tonnen H₂. Auch in diesem Szenario ist ein Großteil des Wasserstoffbedarfs den schweren Nutzfahrzeugen sowie den separat ausgewiesenen Abfallsammelfahrzeugen zuzuordnen. Der Vergleich zwischen den Szenarien verdeutlicht, dass allein durch eine Einhaltung der regulatorischen Vorgaben die gesteckten Klimaschutzziele nicht erreicht werden.

3.1.6 Wasserstoff-Projekte im Verkehrssektor in Hagen

In Hagen sind im Verkehrssektor verschiedene H₂-Projekte vorhanden, die sich einerseits bereits in der konkreten Planung befinden und andererseits Projektideen darstellen. Insbesondere in der Logistik haben sich die Akteure im Mobilitätsbereich intensiv mit Wasserstoff beschäftigt. Die drei betrachteten Projektideen sind in Abbildung 3-17 dargestellt.

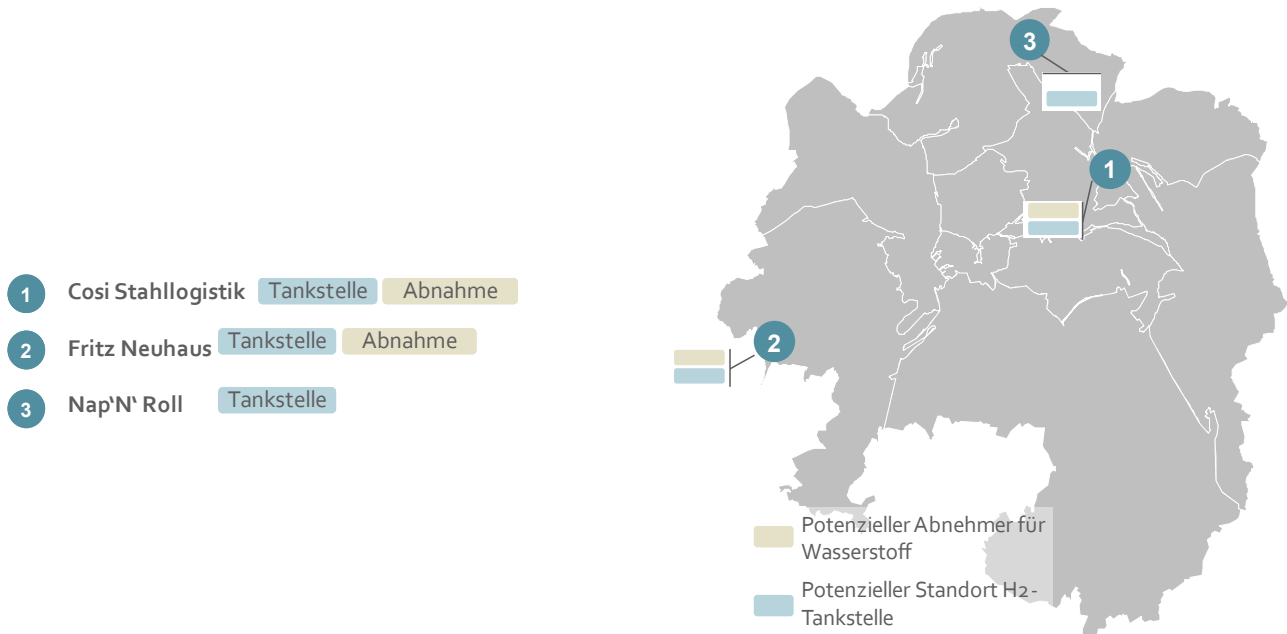


Abbildung 3-17: Projekte im Mobilitätsbereich in Hagen

Akteure aus der Logistik im Rahmen der H₂-Mobilität

Fritz Neuhaus Spedition GmbH

Die Fritz Neuhaus Spedition GmbH plant die Anschaffung von BZ-Lkw im Rahmen des Förderprogramms Klimaschonende Nutzfahrzeuge und Infrastruktur (KsNI). Der nächste Fördercall wird noch im Jahr 2023 erwartet. Geplant ist im ersten Schritt eine Beschaffung von 3 Brennstoffzellen-Lkw, die in den eigenen Werksverkehr eingebunden sind. Grundsätzlich besteht die speditionseigene Flotte aus 25 Fahrzeugen, die perspektivisch schrittweise auf Brennstoffzellen-Lkw umgestellt werden sollen. Die Umstellung ist hierbei wesentlich von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen bspw. der Förderung der Investitionsmehrkosten abhängig.

Zusätzlich treibt die Fritz Neuhaus Spedition GmbH in Zusammenarbeit mit weiteren Akteuren die Projektidee für den Bau einer H₂-Tankstelle westlich von Hagen (in Richtung Gevelsberg) in Kombination von Elektrolyse und Photovoltaik voran. Aktuell befindet sich das Projekt in einem Ideenstadium.

Cosi Stahllogistik GmbH & Co. KG

Die Cosi Stahllogistik GmbH & Co. KG treibt den Bau einer H₂-Tankstelle in der Spannstiftstraße in Hagen voran, die in den kommenden Jahren in Betrieb genommen werden soll. Erste Gespräche mit Herstellern wurden bereits geführt.

Zusätzlich ist ab 2027 eine teilweise Umstellung des speditionseigenen Fuhrparks auf Brennstoffzellen-Lkw geplant. Eine Umstellung auf Brennstoffzellen-Lkw ist insbesondere für die Fahrzeuge von Relevanz, die teilweise Reichweiten von bis zu 1.200 km aufweisen. Die Umstellung ist hierbei wesentlich von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen bspw. der Förderung der Investitionsmehrkosten abhängig.

Nap'N'Roll & JET H₂ Energy

Nap'N'Roll plant gemeinsam mit der JET H₂ Energy einen Standort an der Wandhofener Straße in Hagen, an dem sowohl eine H₂-Tankstelle als auch der Aufbau der Ladeinfrastruktur geplant ist. Die entsprechenden Förderanträge wurden bereits eingereicht. Bei Erteilung eines positiven Förderbescheids steht im nächsten Schritt die Einholung der erforderlichen Genehmigungen an.

Kommunale Akteure im Rahmen der H₂-Mobilität

Hagener Entsorgungsbetriebe (HEB) – Dekarbonisierung der Abfallsammelfahrzeuge

Die Hagener Entsorgungsbetriebe (HEB) setzen sich intensiv mit der Dekarbonisierung der Flotte auseinander. Durch die Clean Vehicles Directive sind kommunale Unternehmen zu einer Neubeschaffung von Fahrzeugen mit sauberen oder emissionsfreien Antrieben verpflichtet (vgl. Kapitel 3.5). Die Beschaffungen werden durch Quoten erfüllt. Die Anwendung der Neubeschaffungsquote auf den Fuhrpark der HEB führt zu dem Ergebnis, dass bis 2025 zwei Fahrzeuge der Fahrzeugklasse N1 und ein Fahrzeug aus der Fahrzeugklasse N3 zu beschaffen sind. Bis 2030 ist die Beschaffung von drei N1-Fahrzeugen und einem weiteren N3-Fahrzeug erforderlich. Wasserstoff bildet hierfür eine Option.

Ein erster Schritt zu geringeren Emissionen im Fahrbetrieb soll durch die Nutzung des „sauberen“ Treibstoffs HVO 100 realisiert werden. Die Tendenz zur vollständigen Dekarbonisierung der Fahrzeugflotte geht aktuell in Richtung batterieelektrisch betriebener Fahrzeuge.

Dekarbonisierung der Busse in Hagen

Der in Hagen ansässige ÖPNV-Betrieb Hagener Versorgungs- und Verkehrs-GmbH (HVG) plant aktuell mit einer Flottenumstellung auf batterieelektrische Busse, da für die betrachteten Routen sowohl die Reichweiten als auch die Ladeleistung am vorhandenen Betriebshof gegeben sind. Die Dekarbonisierung der Flotte wurde durch die Bestellung von 14 batterieelektrischen Bussen bereits angestoßen, die Fahrzeugbeschaffung von weiteren Batteriebusen ist geplant.

Dekarbonisierung des Schienenpersonennahverkehrs in Hagen

Aktuell wird im Raum Hagen eine Machbarkeitsstudie im Auftrag des Zweckverbands Nahverkehr Westfalen-Lippe (NWL) durchgeführt, wie die bislang nicht-elektrifizierten Strecken der Regionalbahnlinien RE 17 (Hagen–Warburg) und RE 57 (Dortmund–Winterberg/Brilon) dekarbonisiert werden können. Aufgrund der hohen Fahrleistungen von mehreren Tausend Kilometern pro Tag bietet der Schienenpersonennahverkehr (SPNV) ein hohes Dekarbonisierungspotenzial.

Die Technologieentscheidung zur Dekarbonisierung des SPNV durch batterieelektrische oder wasserstoffbetriebene Züge wird auf Grundlage der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie erfolgen. Sollte der SPNV mit wasserstoffbetriebenen Zügen dekarbonisiert werden, liegt das tägliche überschlägig ermittelte Wasserstoffpotenzial in einem einstelligen Tonnenbereich.

H₂-Bedarf durch Akteure im Verkehrssektor

Abbildung 3-18 zeigt den H₂-Bedarf, der durch die Hagener Akteure von 2024 bis zum Jahr 2030 zustande kommt. In der Abbildung wird zwischen bestätigten H₂-Bedarfen und theoretischen H₂-Bedarfen differenziert. Ab 2024 planen die ersten Hagener Akteure die ersten Schritte für die Umstellung ihrer Flotte. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Flottenumstellung schrittweise erfolgt und die finale Umsetzung der Flottenumstellung aktuell nicht definiert ist. Die Beschaffung von BZ-Lkw in einem kommenden KsNI-Fördercall durch die Spedition Fritz Neuhaus stellt einen konkreten H₂-Bedarf in Mobilitätssektor dar und führt zu einem Wasserstoffbedarf von ca. 30 t Wasserstoff pro Jahr.

H₂ Bedarf in t

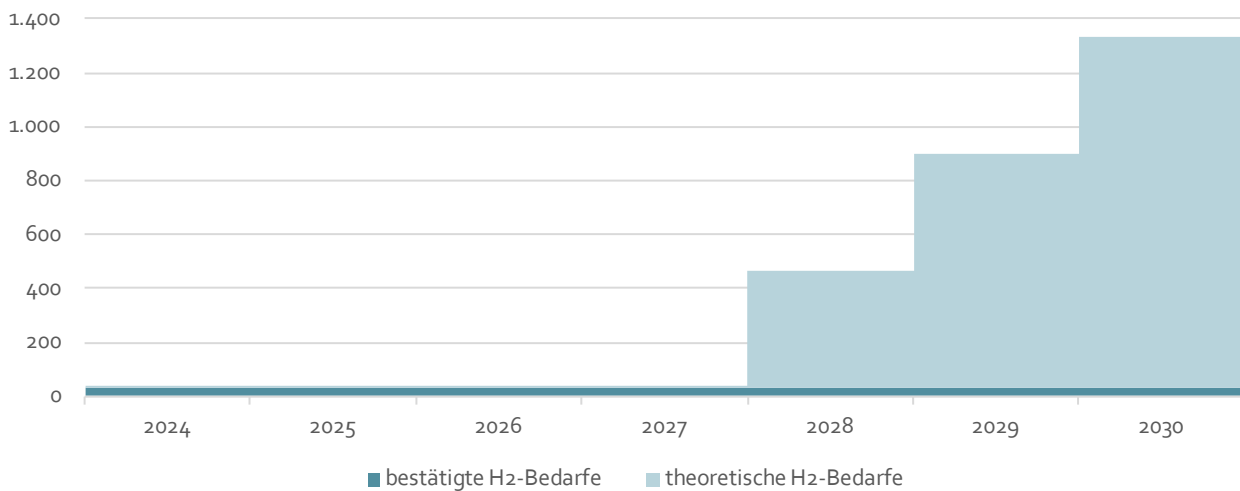


Abbildung 3-18: H₂-Bedarf durch Akteure im Verkehrssektor

Erfolgt die vollständige Flottenumstellung der Logistikunternehmen bis zum Jahr 2030, wie in Abbildung 3-18 durch den theoretischen H₂-Bedarf angedeutet, würden die notwendigen Emissionseinsparungen aus dem Szenario Klimaschutz in Hinblick auf den Wasserstoffbedarf übertroffen.

3.1.7 Handlungsempfehlungen

Den Akteuren, die H₂-Projekte im Verkehrssektor planen, werden folgende Handlungsempfehlungen nahegelegt:

- 1 Vernetzungsangebote nutzen und Wasserstoff-Projekte (bspw. H₂-Tankstellen) kommunizieren
Vernetzungsangebote schaffen einen Informations- und Wissensfortschritt und können zu neuen Projektideen oder Kooperationsmöglichkeiten für H₂-Tankstellen, eine gemeinschaftliche Werkstattnutzung oder Fahrzeugbeschaffung führen.
- 2 Bedarfe planen und anmelden
Zur Kommunikation der H₂-Projekte gehört bspw. Auch, eine geplante H₂-Tankstelle bei den (Fernleitungs-)Netzbetreibern anzugeben, wenn eine Tankstelle an eine Pipeline angeschlossen werden soll. Dazu müssen zunächst die eigenen Bedarfe und deren zeitliche Entwicklung ermittelt werden.
- 3 Kooperative Beschaffungen in Betracht ziehen
H₂-Fahrzeuge können durch Kooperationen oder Beschaffungsinitiativen zu günstigeren Konditionen erworben werden. Der Zusammenschluss mehrerer Unternehmen bei der Fahrzeugbeschaffung verbessert die Verhandlungsposition gegenüber den Fahrzeuganbietern und erhöht zugleich die Attraktivität für Tankstellen-errichtende Unternehmen wie die H₂ MOBILITY oder JET H₂ ENERGY. Eine kooperative Beschaffung einer eigenen H₂-Tankstelle oder Werkstatt kann zudem Kosten und Risiken für die einzelnen Unternehmen reduzieren.

Als Beispiel hierfür kann die „Lernwerkstatt“ für BZ-Busse im Landkreis Gießen dienen. Hier beschaffte die Fahrzeugmanagement Region Frankfurt RheinMain GmbH, eine Tochtergesellschaft des Rhein-Main-Verkehrsverbundes (RMV), im April 2023 zwei BZ-Busse, um verschiedenen Busunternehmen gegen eine Mietgebühr die Erprobung der Fahrzeuge auf den Umläufen zu ermöglichen. So können auch kleine,

mittelständische Unternehmen Erfahrungen mit Wasserstoff sammeln, sowohl im Betrieb als auch in der Instandhaltung. Zudem werden die lokalen H₂-Tankstellen durch die regelmäßigen und planbaren Bedarfe der Busse besser ausgelastet.

4 Auf Förderaufrufe vorbereiten

Die Fördermittel für H₂-Infrastruktur und -Fahrzeuge, die umfangreich zur Verfügung stehen, sind in den zunehmend wettbewerblichen Förderaufrufen umkämpft. Um die Chancen auf einen positiven Bescheid zu erhöhen, sollten sich Unternehmen auf erwartete Förderaufrufe umfassend vorbereiten, z. B. durch die Ermittlung der geplanten technischen und wirtschaftlichen Projektkennzahlen wie bspw. die erwartbaren CO₂-Emissionseinsparungen.

5 Wahl des passenden Betreibermodells

Ein Unternehmen, das eine H₂-Tankstelle plant, sollte hinterfragen, ob lediglich eine bestimmte Menge Wasserstoff für die Betankung von Fahrzeugen benötigt wird oder ob es sinnvoll ist, selbst Know-how im Bereich H₂-Tankstelleninfrastruktur aufzubauen.

6 Auf Genehmigungsverfahren vorbereiten

Für H₂-Infrastrukturprojekte ist eine umfassende Vorbereitung auf das Genehmigungsverfahren sinnvoll. Dazu gehören u. a. die Grundstücksprüfung, das Anlagenkonzept, der Zeitplan sowie die Übersicht über erforderliche Unterlagen und Gutachten. Mit ersten Kenndaten des Projektes können bspw. in einem Vortermi mit den relevanten Genehmigungsbehörden bereits mögliche Probleme oder Anforderungen frühzeitig identifiziert werden.

3.2 Industrie- und Zukunftsfähigkeit

3.2.1 Einordnung der Hagener Industrie im Kontext der Dekarbonisierung & Nutzung von H₂

Die Stadt Hagen hat eine lange Tradition in der metallverarbeitenden Industrie. Seit dem 19. Jahrhundert ist Hagen ein bedeutender Standort für die Herstellung von Metallerezeugnissen und Werkzeugen. Die Metallverarbeitung in Hagen wurde maßgeblich durch die Verfügbarkeit von Rohstoffen wie Eisenerz sowie durch die geografische Lage begünstigt. Die Nähe zu den Kohlegruben des Ruhrgebiets ermöglichte einen einfachen Zugang zu Brennstoffen für die Schmelzöfen und unterstützte so das Wachstum der Metallindustrie. Als Teil des Ruhrgebiets ist die Region Hagen geprägt durch die Industrie. Mit knapp 30 % und damit dem größten Anteil an den jährlichen Emissionen der Region Hagen² hat die produzierende Industrie einen signifikanten Hebel an deren Dekarbonisierungspotenzialen. Im Rahmen des HyExperts-Hagen-Projektes sollen folgende Aspekte im Kontext von Wasserstoff untersucht werden:

- ▶ stoffliche und energetische Einsatzmöglichkeiten,
- ▶ aktuelle Bedarfsmengen und die zukünftige Entwicklung der Wasserstoffbedarfe,
- ▶ die aktuelle Projektlandschaft und Synergiepotenziale zu Wasserstoffanwendungen und deren Reifegrade,
- ▶ besondere Anforderungen bzw. Rahmenbedingungen zu Wasserstoff (stofflich, finanziell, politisch), Rahmenbedingungen zu Wasserstoff (stofflich, logistisch, finanziell),
- ▶ die vorgesehenen Versorgungsketten und
- ▶ die Rolle von HyExperts Hagen als Beschleuniger für die Wasserstoffwende in der Region.

Im Rahmen dieser Analyse wird ebenfalls dargelegt, wie der Wasserstoff zur Weiterentwicklung der aktuellen Geschäftsmodelle beitragen kann.

3.2.2 Produktionsverfahren

Die Hagener Industrie produziert eine große Bandbreite an verschiedenen Metallprodukten. Besonders zu nennen sind hier warm- und kaltgewalztes Band, Grobblech, Profile, Stabstahl, Walzdraht usw. Die genutzten Anlagen sind hierbei hoch technisiert und bearbeiten das Vormaterial (Brammen, Blöcke etc.). Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über die Produktionsverfahren gegeben werden und zudem dargestellt werden, wie Wasserstoff zukünftig in diesen Prozessen eingesetzt werden kann.

Warmwalzen

Beim Warmwalzen wird das Walzgut auf Temperaturen von etwa 1250 °C, also über die Rekristallisierungstemperatur erwärmt. Im Walzspalt des Walzwerks wird das Material dabei auf die gewünschte Dicke reduziert. Da das Volumen der Bramme gleich bleibt, führt dies zu Änderungen von Länge und Breite. In konventionellen Anlagen werden Stahlplatten mit einer Dicke von 20 bis 30 Zentimetern aus dem Lager entnommen und in speziellen Wärmeöfen auf die erforderliche Walztemperatur gebracht. Unmittelbar nach dem Verlassen des Ofens erfolgt das Entfernen der Oxidschicht von der glühend heißen Platte, um sie zu entzundern. Anschließend durchläuft die Platte in der „Vorstraße“ mehrere reversierende Walzgänge, bei denen sie hin- und hergewalzt wird, um zu einem Vorband mit einer Dicke von etwa 25 bis 40 Millimetern geformt zu werden. Bevor das Band seine endgültigen Abmessungen in der „Fertigstraße“ erhält, werden sowohl der Anfang als auch das Ende des Bandes rechtwinklig beschnitten und der neu gebildete Walzzunder entfernt.

² Referenzjahr 2010. https://www.hagen.de/web/media/files/fb/fb_69/klima/Aktuelle_Klimaschutzkonzeptionen_Hagen_2017-04-12.pdf.

Wasserstoff kann im Warmwalzprozess in verschiedenen Schritten eingesetzt werden, um die Prozesseffizienz zu steigern und die Umweltauswirkungen zu reduzieren. Der wichtigste Use Case ist die Reduzierung von Treibhausgasemissionen, die bei der Verbrennung von Erdgas entstehen. Wasserstoff kann als Brennstoff in den Wärmeöfen zur Erzeugung der erforderlichen Walztemperatur verwendet werden. Da Wasserstoff einen hohen Heizwert hat, kann er dazu beitragen, den Energieverbrauch und die damit verbundenen Kohlendioxidemissionen zu reduzieren.

Kaltwalzen

Beim Kaltwalzprozess wird warmgewalztes Band bei Raumtemperatur noch dünner gewalzt. Der Prozess des Kaltwalzens umfasst mehrere Schritte. Zunächst erfolgt das Beizen, bei dem die Zunderschicht des Warmbandes entfernt wird. Dies kann entweder in kontinuierlichen Beizlinien bei Endlosbändern oder in Schubbeizen bei Einzelbändern erfolgen. Anschließend wird das gebeizte Band kaltgewalzt. Bei Endlosbändern geschieht dies in Tandemstraßen, die aus 4 bis 6 Quartogerüsten bestehen. Bei Einzelbändern erfolgt das Kaltwalzen in Reversiergerüsten.

Nach dem Kaltwalzen muss das Material im Glühen „rekristallisierend“ behandelt werden, um seine Umformeigenschaften wiederherzustellen. Dieser Schritt kann in Haubenglühen oder kontinuierlichen Wärmehandlungsanlagen durchgeführt werden. Dabei ist es wichtig, unter Schutzgasatmosphäre oder unter Sauerstoffabschluss zu arbeiten, um die Oberflächenqualität zu erhalten.

Im Anschluss an das Glühen erfolgt das Dressieren, bei dem eine ausgeprägte Streckgrenze beseitigt wird und die Blechoberfläche geglättet oder gezielt aufgeraut und verdichtet wird. Schließlich kommt die Adjustage, bei der das Material auf Oberflächenfehler inspiziert und mit einem Korrosionsschutz versehen wird. Je nach Bedarf kann das Material in schmalere Bänder oder Tafeln zerteilt werden. Anschließend wird es verpackt und zur Auslieferung bereitgestellt, wobei auch eine Oberflächenveredelung möglich ist.

Der Kaltwalzprozess dient dazu, Warmband in kaltgewalztes Band umzuformen und die gewünschten Eigenschaften und Oberflächenqualität zu erreichen.

Wasserstoff kann im Kaltwalzprozess in verschiedenen Anwendungen und Schritten eingesetzt werden:

1. Glühen: Beim Glühen des nach dem Kaltwalzen verfestigten Materials kann Wasserstoff in speziellen Glühöfen oder Wärmehandlungsanlagen verwendet werden. Dies hilft bei der Rekristallisierung des Materials und der Wiederherstellung seiner Umformeigenschaften.
2. Schutzgasatmosphäre: Wasserstoff kann in verschiedenen Schritten des Kaltwalzprozesses als Schutzgas eingesetzt werden, um die Oxidation des Materials zu unterdrücken und die Oberflächenqualität zu erhalten.

3.2.3 Wasserstoff als Energieträger für die lokale Industrie

Die Industrie in Hagen weist einen hohen Energiebedarf auf. Dieser kann in die Bereiche Strom- und Wärmebedarf unterteilt werden. Vor allem der Bedarf an Prozesswärme und der damit verbundene Bedarf an Erdgas sind hoch. Laut dem Statistischen Bundesamt betrug der Erdgasverbrauch der gesamten Hagener Industrie im Jahr 2021 ca. 1.750 GWh. Zudem verbrauchte die Hagener Industrie ca. 1.052 GWh Strom³.

Vor allem der enorme Erdgasbedarf, der in der Industrie hauptsächlich für die Erzeugung von Prozesswärme eingesetzt wird, muss zukünftig durch Wasserstoff gedeckt werden. Aufgrund der geringen volumetrischen Energiedichte von Wasserstoff (3,00 kWh/m³) werden hierfür sehr hohe Mengen nötig sein. Abbildung 3-19

³ Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Potenzialstudie Kraft-Wärme-Kopplung, 2021.

zeigt die notwendigen Mengen an H₂, die ab 2025 bis zum Jahr 2045 notwendig wären. Die bestätigten Bedarfe stammen aus Interviews mit den Hagenern Industrieakteuren. Die theoretischen Bedarfe stammen aus Hochrechnungen, die sich aus dem Wärmebedarf > 500 °C und eigenen Hochrechnungen der Industrien in Hagen ergeben. In der Abbildung wird zwischen bestätigten Industriebedarfen und theoretischen Wasserstoffbedarfen unterschieden. Bereits ab 2025 sind einige Hagener Akteure zumindest theoretisch in der Lage, auch größere Mengen Wasserstoff abzunehmen und für die Produktion ihrer Produkte zu nutzen. Die größeren Industrieakteure planen den Umstieg von Erdgas zu Wasserstoff schrittweise. So sollen mit Beginn der Wasserstoffversorgung erst Teile der Produktionsanlagen mit Wasserstoff und andere weiterhin mit Erdgas betrieben werden. Bis 2045 ist jedoch ein vollständiger Umstieg auf Wasserstoff geplant. Der erwartete Bedarf könnte im Jahr 2025 ca. 15.000 t betragen. Jedoch ist damit zu rechnen, dass eine Versorgung von Produktionsanlagen vor der Anbindung an eine Wasserstoffleitung nicht wahrscheinlich ist. Mit der leitungsgebundenen H₂-Versorgung wird aber ab dem Jahr 2028 zu rechnen sein.

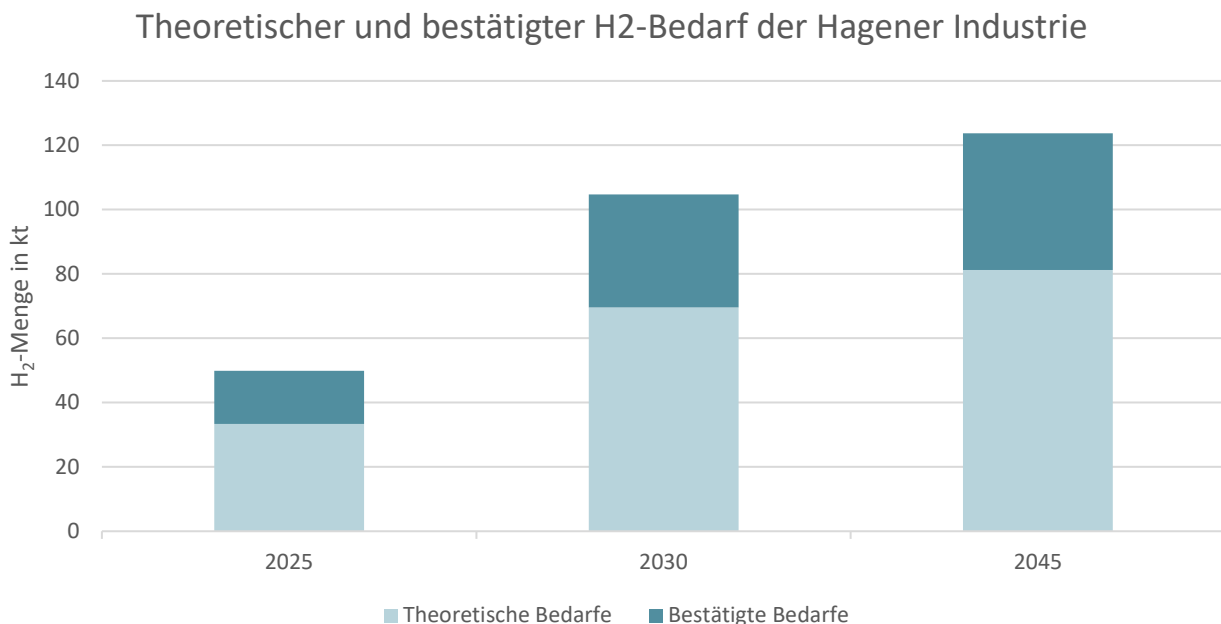


Abbildung 3-19: Theoretische und bestätigte Wasserstoffbedarfe der Hagerer Industrie bis 2045

3.2.4 Aktuelle Herausforderungen

Verzögerter und unzureichender Aufbau der Versorgungsinfrastruktur

Wie im vorherigen Kapitel bereits beschrieben, wird die größte Herausforderung die nicht ausreichende Versorgung mit Wasserstoff sein. Die Erzeugung von grünem Wasserstoff geschieht derzeit vor allem über die Elektrolyse von Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff. Für diesen elektrochemischen Prozess wird viel elektrische Energie benötigt. Damit der Wasserstoff klimaneutral ist, ist es notwendig, dass der verwendete Strom aus erneuerbaren Quellen wie Wind oder Solar stammt. Derzeit ist die Versorgung mit grünem Wasserstoff global noch nicht sichergestellt. Ein eigener Markt für grünen Wasserstoff existiert de facto nicht. Selbst bei einem Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur und einem Anschluss der Industrie an eine H₂-Pipeline ist es fraglich, ob der bezogene Wasserstoff grün ist.

Unzureichende Wirtschaftlichkeit der H₂-Versorgung

Der Wasserstoffpreis setzt sich, je nach Betriebsstrategie eines Elektrolyseurs, üblicherweise zu mehr als 50 % aus Strombezugskosten zusammen. Obgleich sich die Großhandelspreise seit der Coronakrise teilweise erholt haben, besteht aktuell eine signifikante Preis- bzw. Kostendifferenz zwischen der Nutzung von

Wasserstoff und Erdgas. Um die Nutzung von Wasserstoff zukünftig wettbewerbsfähiger zu machen, müssen neben der skalierbaren Produktion von Elektrolyseuren aber auch die bestehenden Mechanismen zur Beeinflussung der Preise evaluiert werden (beispielsweise CO₂-Zertifikatspreise, Aufschläge oder Förderungen zur Produktion/Nutzung von Wasserstoff). Die aktuell erwarteten Entwicklungen sind dafür unzureichend.

Die untersuchten Industriakteure in Hagen nutzen derzeit Erdgas für die Bereitstellung der nötigen Prozesswärme. Mit dem Jahr 2022 sind die Großhandelspreise von Erdgas auf über 118 €/MWh angestiegen und haben sich damit fast vervierfacht. Jedoch sind diese Preise im Jahr 2023 wieder auf 55 €/MWh gesunken (vgl. Abbildung 3-20). Zwar sind die Kosten für Erdgas somit zwar höher als in den Vorjahren, jedoch immer noch günstiger als die Kosten für Wasserstoff, ob grün oder grau. Da grauer Wasserstoff meist durch Dampfreformierung erzeugt wird, richtet sich der Preis hierfür auch stark nach dem Erdgaspreis.

Die Kosten von Wasserstoff lassen sich nicht einwandfrei bestimmen, da Wasserstoff nicht wie Erdgas an der Börse gehandelt wird. Jedoch existiert mit dem Hydex ein kostenbasierter Spotpreis-Index für Wasserstoff. Grundlage für diesen sind kurzfristige Strom-, Gas- und EUA-Notierungen ohne Kapitalkosten. Der Index wird für drei Herstellungstechnologien von Wasserstoff berechnet: „Hydex Green“ für Wasserstoff aus der Elektrolyse von Wasser mithilfe von grünem Strom sowie „Hydex Grey“ für Wasserstoff aus Dampfreformierung von Erdgas mit Beschaffung entsprechender CO₂-Zertifikate (EUA) und den Hydex Blue für Wasserstoff aus Dampfreformierung von Erdgas mit CO₂-Abscheidung und Speicherung (nicht weiter betrachtet). Der Hydex bezieht sich auf den (unteren) Heizwert von Wasserstoff.

Aus Abbildung 3-20 lassen sich die Preise für grünen und grauen Wasserstoff sowie Erdgas entnehmen. Der errechnete Durchschnittswert für grauen Wasserstoff im Jahr 2023 beträgt laut dem Hydex Grey ca. 97 €/MWh, der Preis des Hydex Green liegt 2023 bei ca. 173 €/MWh.

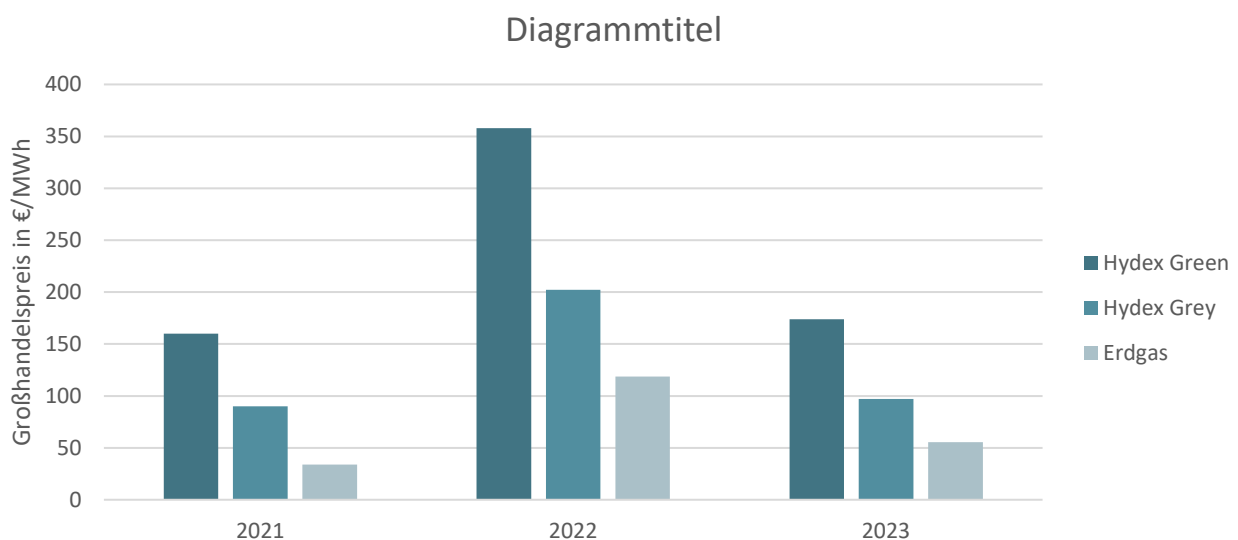


Abbildung 3-20: Durchschnittspreis Hydex Green und Grey⁴ sowie Erdgas

Die Industriakteure in Hagen haben einen großen Wärmebedarf und dementsprechend einen hohen Bedarf an Erdgas. Bei einem durchschnittlichen jährlichen Erdgasbedarf von 150 GWh eines einzelnen Akteurs ergeben sich für das Jahr 2023 Brennstoffkosten von ca. 8,3 Mio. €. Würde die gleiche Wärmemenge durch Wasserstoff erzeugt werden, würden Kosten von 14,6 Mio. € für grauen bzw. 25,9 Mio. € für grünen

⁴ E-Bridge Consulting GmbH, HYDEX – Wasserstoff-Index, 2023, <https://www.energategate-messenger.de/markt/gas-oel-und-wasserstoff/preisgruppe/209600/hydex-wasserstoff-index>, zuletzt abgerufen am 12. Dezember 2023.

Wasserstoff entstehen. Wichtig zu beachten ist, dass es sich um die Großhandelspreise handelt. Zu den genannten kommen zusätzlich die Kosten für den Transport, die Lagerung, die Verteilung sowie Steuern und Abgaben hinzu.

Hohe Investitionskosten

Die Umstellung auf Wasserstoff als Energieträger erfordert auch die Anpassung von Produktionsprozessen und industriellen Anlagen. Bestehende Anlagen müssen umgerüstet oder modernisiert werden, um Wasserstoff nutzen zu können. Dies kann mit zusätzlichen Kosten und technischen Herausforderungen verbunden sein, die bewältigt werden müssen. Da die Lebenszyklen der Produktionsanlagen in der Regel min. 25 Jahre betragen, müssen alle Investitionen die heute (Stand Oktober 2023) getroffen werden, prinzipiell dazu beitragen, die Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 zu erreichen. Die Industrieakteure in Hagen rechnen hierbei mit Investitionskosten im mittleren achtstelligen Bereich.

Keine klaren politischen Signale

Die Umstellung auf CO₂-arme Produktionsverfahren erfordert umfassende Maßnahmen zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit und zur Erleichterung der notwendigen Investitionen. Dazu gehört eine langfristige, parteiübergreifende Zusicherung für die energieintensiven Industrien in Deutschland, die international wettbewerbsfähige Energiekosten gewährleistet. Die Neufassung der EU-Beihilferichtlinien sollte auf Klimaneutralität ausgerichtet sein, und nationale Förderinstrumente für CO₂-arme Schlüsseltechnologien sollten ohne Einzelgenehmigungen finanzielle Unterstützung erhalten, um langfristige Investitionen und Betriebskosten zu sichern. Zudem müssen die notwendigen Infrastrukturen wie Stromleitungen, Wasserstoff-Pipelines und Carbon-Capture-and-Storage-Infrastruktur rechtzeitig und zuverlässig verfügbar sein, wofür beschleunigte Planungsverfahren und Anpassungen im Genehmigungsrecht und bei Einspruchsmöglichkeiten erforderlich sind.

In den Interviews, die für dieses Projekt mit den großen Industrieakteuren durchgeführt wurden, wurden auch Punkte adressiert, die vonseiten der Politik notwendig sind, um eine zukunftsfähige Produktion sicherzustellen. Diese wurden um weitere Punkte ergänzt, die von Agora Energiewende und dem Wuppertal Institut bereits im Jahr 2019 vorgeschlagen wurden. Diese sind nachfolgend aufgezählt.

1. Einführung eines ansteigenden CO₂-Mindestpreises im EU-ETS mit einem Grenzausgleichsregime, das CO₂-basierte Abgaben auf Importe erhebt und Exporte in Regionen ohne vergleichbaren CO₂-Preis kompensiert.
2. Einführung eines „Carbon Contract for Difference (CfD)“-Systems, bei dem Unternehmen projektbezogene Betriebskostenzuschüsse für vermiedene CO₂-Emissionen erhalten, um Risiken bei Investitionen in CO₂-arme Schlüsseltechnologien zu reduzieren.
3. Senkung der Finanzierungskosten für Investitionen in CO₂-arme Technologien durch Zinssenkungen für Fremdkapital und staatliche Absicherung des Technologierisikos in den letzten Entwicklungsstufen.
4. Einführung einer Klima-Umlage auf ausgewählte Materialien wie Stahl, Aluminium etc.
5. Einführung eines CO₂-Preises auf Endprodukte, bei dem eine Abgabe auf Basis des CO₂-Gehalts der Materialien beim Verkauf an Endverbraucher erhoben wird.
6. Verpflichtung zur nachhaltigen öffentlichen Beschaffung, bei der der Staat und staatseigene Unternehmen hohe Nachhaltigkeitskriterien beim Bau und bei der Beschaffung von Fahrzeugen anwenden.
7. Einführung einer Quote für CO₂-arme Materialien, die Produzenten von Konsumgütern verpflichtet, festgelegte Anteile von CO₂-frei produzierten Materialien zu verwenden.

3.2.5 Leitungsgebundene H₂-Versorgung für Hagen

Leitungsgebundener Ausbau

Mehrere Gasnetzbetreiber planen die Errichtung eines regionalen Wasserstoff-Clusters im südöstlichen Ruhrgebiet und dem angrenzenden Sauerland. Dieses Vorhaben zielt darauf ab, industrielle Verbraucher bei der Dekarbonisierung ihrer Herstellungsprozesse mithilfe von Wasserstoff zu unterstützen. Zusätzlich soll der erzeugte Wasserstoff dazu beitragen, die Verkehrs- und Gebäudesektoren auf klimaneutrale Weise umzugestalten. Das Cluster soll perspektivisch mit dem deutschen und europäischen Wasserstoffnetz sowie anderen regionalen Wasserstoff-Clustern vernetzt werden.

Die Region zwischen dem Ruhrgebiet und dem Sauerland bietet ideale Bedingungen für die Schaffung dieses Wasserstoff-Clusters. Bestehende Kraftwerksstandorte verfügen über leistungsstarke Wasser-, Gas- und Stromleitungsanbindungen, die sich für die Wasserstofferzeugung eignen. Verschiedene zukunftsorientierte Unternehmen, darunter Unternehmen aus den Bereichen Industrie, Energie und Logistik, haben Interesse an der Nutzung von Wasserstoff zur Dekarbonisierung ihrer Aktivitäten.

Die Betreiber beabsichtigen, eine regionale Wasserstoffinfrastruktur in Südwestfalen zu etablieren, um nachhaltigen Wasserstoff in mittelständischen Industrieunternehmen sowie in Verkehrs- und Gebäudebereichen bereitzustellen.

Das Ziel des Projektes ist es, den Energieträger Gas grüner zu gestalten, wobei Wasserstoff eine zentrale Rolle spielt und die bestehende Gasinfrastruktur nutzt. Millionen von Haushalten und Unternehmen könnten langfristig direkten Zugang zum Wasserstoffnetz erhalten. Die Region im Ruhrgebiet hat das Potenzial, eine Vorreiterrolle in diesem Bereich einzunehmen.

Die regionale Energieversorgungsgruppe strebt die Anbindung von Gewerbe und Industrie an die Energienetze an und erkennt in Wasserstoff die Chance zur Dekarbonisierung der Produktion vieler Betriebe. Die Zusammenarbeit zwischen den Netzbetreibern soll eine effiziente und wirtschaftliche Bereitstellung von Wasserstoff für Verbraucher sicherstellen.

Zeitplan

Im Rahmen des Projektes wurde eine umfassende Machbarkeitsstudie durchgeführt. Zusätzlich steht noch die Ausführungsplanung an, in der technische Details, Trassenführung, Umweltauswirkungen und erforderliche Genehmigungen festgelegt werden. Darauf folgt die Planung für den Baubeginn der Wasserstoff-Pipeline, der den Start der physischen Umsetzung und der Bauarbeiten markiert. Die Fertigstellung und Inbetriebnahme der Wasserstoff-Pipeline könnten frühestens Ende dieses Jahrzehnts erwartet werden, was einen entscheidenden Meilenstein darstellen würde. Konkrete Jahreszahlen lassen sich hierzu aber nicht final benennen. Zukünftig ist es auch denkbar, die Wasserstoffleitung an den Hydrogen Backbone anzuschließen, um einen überregionalen Wasserstofftransport zu ermöglichen.

Netznutzungsentgelte für die H₂-Versorgung in Hagen

Derzeit existieren keine veröffentlichten Schätzungen bezüglich der Entgelte für Wasserstoffnetze. Die essenziellen Rahmenbedingungen zur Kalkulation der Netzkosten und Gebühren für Wasserstoffnetze sind gemäß § 280 des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) sowie der Wasserstoffnetzentgeltverordnung (WasserstoffNEV) vom 31. November 2021 festgelegt. Diese Richtlinien sind adressiert an die Betreiber von Wasserstoffnetzen und werden durch ein Hinweispapier der Bundesnetzagentur (BNetzA) ergänzt, das im September 2022 veröffentlicht wurde und sämtliche relevanten Informationen zur Kostenermittlung in umfassender Weise darlegt.

Die Bundesnetzagentur trägt die Verantwortung für die Anerkennung der Kosten gemäß § 280 Absatz 1 EnWG. Zukünftig plant die Beschlusskammer 7 die Veröffentlichung einer Liste der regulierten Betreiber

von Wasserstoffnetzen. Die Berechnung der Netzkosten erfolgt jährlich auf Grundlage der prognostizierten Kosten für das kommende Kalenderjahr, die als „Plankosten“ bezeichnet werden, sowie der Differenz zwischen den erzielten und den realen Kosten aus den Vorjahren.

Darüber hinaus legt § 28n des EnWG fest, dass sämtliche Betreiber von Wasserstoffnetzen ihre geltenden Geschäftsbedingungen für den Netzzugang, insbesondere die Entgelte, auf der Webseite des jeweiligen Betreibers veröffentlichen müssen. Die Anreizregulierung und insbesondere der Effizienzvergleich finden in der Regulierung der Wasserstoffnetze keine Anwendung.

3.2.6 Entwicklung der relativen Zahl der Erwerbstätigen durch die Wasserstoffwirtschaft

Als Teil des Ruhrgebiets ist auch die Region Hagen geprägt durch die Industrie. Der Niedergang der Schwerindustrie in Hagen ist der wesentliche Grund, warum die Arbeitslosenquote mit 12 % deutlich höher ist als der Durchschnitt in Nordrhein-Westfalen (8 %). Der Umstieg der lokalen Industrie zur Wasserstoffwirtschaft wird in Zukunft voraussichtlich nicht zu nennenswerten Arbeitsplatzveränderungen führen. In Abbildung 3-21 ist die zu erwartende Auswirkung auf die Zahl der Erwerbstätigen in den Jahren 2030 und 2045 dargestellt. Aus der Abbildung geht hervor, dass vor allem in den in Hagen ausgeprägten industriellen Bereichen kein großer Zuwachs an Arbeitsplätzen durch die Wasserstoffwirtschaft zu erwarten ist. Dieses Bild teilen auch die Hagener Industrieakteure. Während durchgeführter Interviews gab keines der Unternehmen an, durch die Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff eine größere Zahl an neuen Arbeitsplätzen zu schaffen. Jedoch wird durch die Umstellung auch kein Rückgang von Arbeitsplätzen erwartet.

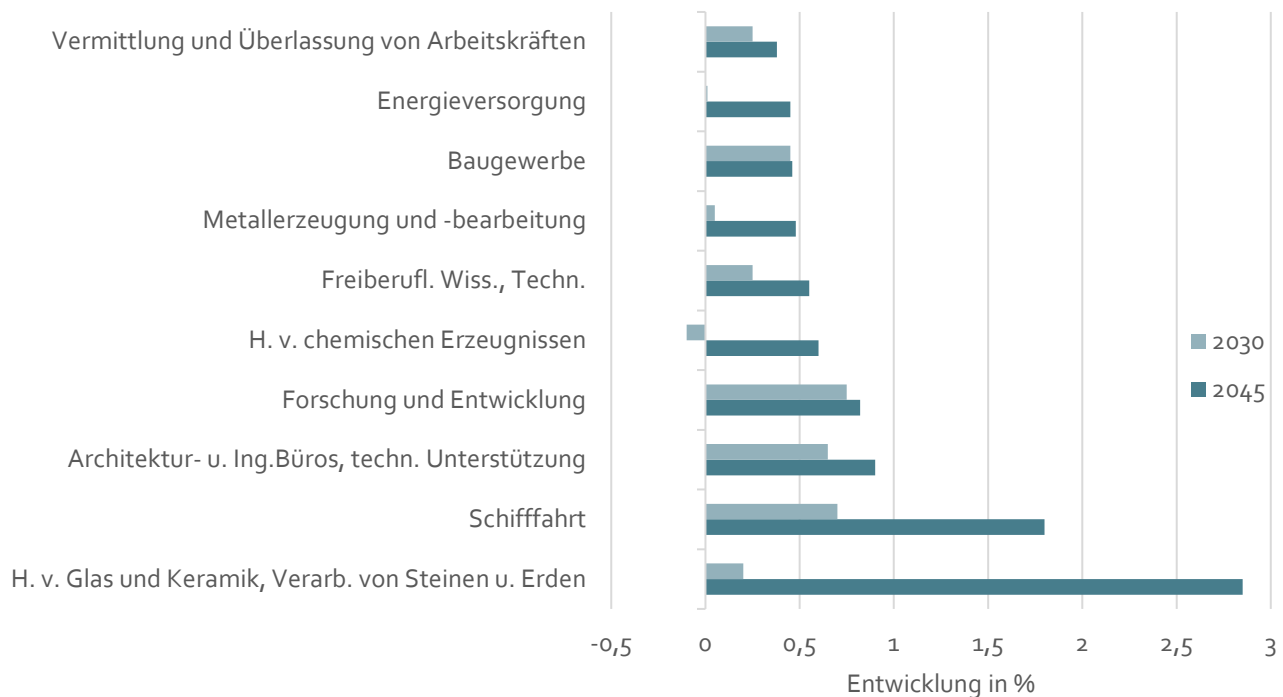


Abbildung 3-21: Entwicklung der relativen Zahl an Erwerbstätigen durch die Wasserstoffwirtschaft⁵

⁵ Bundesinstitut für Berufsbildung, Arbeitskräftebedarf und Arbeitskräfteangebot entlang der Wertschöpfungskette „Wasserstoff“, 2023, https://res.bibb.de/vet-repository_781481.

3.2.7 Zusätzliche Geschäftsmodelle in einer Wasserstoffregion

Definition und Erklärung von Wasserstoffregionen

Eine Wasserstoffregion ist ein räumlich begrenztes Gebiet mit zusammenhängenden ökonomischen Strukturen und Perspektiven. Diese soll die wirtschaftliche Umsetzbarkeit einer Wasserstoffwirtschaft in der Realität erproben und dabei helfen, die gesellschaftliche Akzeptanz des Wasserstoffs zu stärken. Der Fokus liegt dabei oft auf der Erzeugung, dem Einsatz und der Verteilung von grünem Wasserstoff, der aus erneuerbaren Energiequellen produziert wird. Die Ziele einer Wasserstoffregion können unterschiedlich sein, einige Beispiele sind:

- ▶ Demonstrationsprojekte
- ▶ Infrastrukturausbau
- ▶ Forschung und Entwicklung
- ▶ Netzbildung
- ▶ Wirtschaftliche Entwicklung

Insgesamt zielt eine Wasserstoffregion darauf ab, den Übergang zu einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft zu beschleunigen, indem sie den Einsatz von Wasserstofftechnologien demonstriert, Infrastruktur schafft, Forschung betreibt und Netzwerke aufbaut. Dies soll dazu beitragen, die Klimaziele zu erreichen, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern und die Energiewende voranzutreiben.

Vorstellung möglicher Geschäftsmodelle in einer Wasserstoffregion

Eine Wasserstoffregion bietet ein fruchtbares Umfeld für die Entwicklung und Umsetzung von zusätzlichen Geschäftsmodellen im Zusammenhang mit der Nutzung von Wasserstoff als nachhaltige Energiequelle. In solchen Regionen stehen die Potenziale und Chancen von Wasserstoff im Fokus, um den Übergang zu einer kohlenstoffarmen Gesellschaft zu beschleunigen. Abgesehen von den bereits etablierten Geschäftsmodellen, die sich auf die Wasserstoffproduktion, -distribution und -nutzung konzentrieren, eröffnen sich in einer Wasserstoffregion neue Möglichkeiten für innovative Unternehmensansätze.

Diese zusätzlichen Geschäftsmodelle können verschiedene Bereiche abdecken, angefangen von Beratungs- und Dienstleistungen bis hin zur **Infrastrukturentwicklung und Technologieoptimierung**. Unternehmen können sich beispielsweise auf die Energieeffizienzberatung spezialisieren und metallverarbeitenden Unternehmen helfen, ihren Energiebedarf zu optimieren und den Einsatz von grünem Wasserstoff in ihren Prozessen zu maximieren. Dies kann durch die Identifizierung von Einsparpotenzialen, die Implementierung von Überwachungssystemen und die kontinuierliche Optimierung der Energieeffizienz erreicht werden.

Des Weiteren bietet eine Wasserstoffregion Raum für den Aufbau einer **spezialisierten Wasserstofflogistik und Distribution**. Unternehmen können sich darauf konzentrieren, eine zuverlässige und effiziente Wasserstoffversorgung über Pipelines oder andere Infrastrukturen sicherzustellen. Sie können dabei als Wasserstofflieferanten agieren und langfristige Lieferverträge mit Unternehmen abschließen, die Erdgas durch grünen Wasserstoff ersetzen möchten.

Ein weiterer vielversprechender Bereich liegt in der Entwicklung von **Wasserstoffzertifikaten und -Nachverfolgbarkeit**. Durch die Einführung eines Zertifizierungssystems kann die Nachhaltigkeit und Herkunft des gelieferten Wasserstoffs sichergestellt werden. Unternehmen können Wasserstoffzertifikate anbieten, um den Unternehmen zu helfen, ihren Energieverbrauch und ihre CO₂-Emissionen nachhaltig zu reduzieren und so ihre Nachhaltigkeitsziele zu erreichen.

Darüber hinaus bieten Wasserstoffregionen Raum für Forschung und Entwicklung. Unternehmen können in Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen und Universitäten neue Wasserstofftechnologien erforschen und entwickeln. Dies beinhaltet die Suche nach innovativen Lösungen und Prozessoptimierungen,

um den Einsatz von grünem Wasserstoff in verschiedenen Anwendungen zu verbessern und effizienter zu gestalten. Zudem bietet sich die Möglichkeit, Hagen zu einem Standort für die Schulung von Mitarbeitenden im Umgang mit Wasserstoff zu etablieren. Wenn Wasserstoff zukünftig in großem Stil in Hagen genutzt wird, müssen die Industriebetriebe Teile ihres Personals dahingehend schulen. Als Standort der FernUni Hagen könnte die Stadt in Kooperation mit der Universität und anderen Institutionen wie IHKs ein Zentrum für den sicheren Umgang mit Wasserstoff aufbauen. Auch besteht die Möglichkeit, das Wissen und Know-how einer Vorreiterregion in Kompetenzzentren zu bündeln.

Neben den großen Unternehmen, die in der Stadt ansässig sind, stehen zukünftig auch kleine und mittelständische Unternehmen vor der Herausforderung, den wachsenden Bedarf an nachhaltiger Energie zu decken. Die Lösung für dieses Problem könnte in der Schaffung von grünen Industriegebieten liegen, in denen diese Unternehmen gemeinsam an der Beschaffung von Wasserstoff arbeiten können. Durch den Zusammenschluss und die Bündelung ihrer Ressourcen könnten sie eine stärkere Marktposition erlangen und möglicherweise einfacheren Zugang zu grünem Wasserstoff zu besseren Preisen erhalten.

Grüne Industriegebiete sind speziell entwickelte Bereiche in einer Stadt, die darauf abzielen, nachhaltige Industrie- und Wirtschaftsaktivitäten zu fördern. Sie setzen auf erneuerbare Energien und ressourceneffiziente Produktionsprozesse, um den ökologischen Fußabdruck zu minimieren und eine zukunftsweisende Wirtschaft zu unterstützen. In Hagen könnten solche grünen Industriegebiete eine Lösung bieten, um den Bedarf an Wasserstoff für die ansässigen Unternehmen zu decken und gleichzeitig die Gefahr einer Abwanderung aufgrund mangelnder Wasserstoffversorgung zu reduzieren.

Ein entscheidender Vorteil dieser Idee ist die kollektive Stärke, die durch den Zusammenschluss der Unternehmen entstehen würde. Durch die enge Zusammenarbeit könnten sie gemeinsame Wasserstoffproduktionsanlagen errichten, die auf erneuerbaren Energiequellen wie Solarenergie oder Windkraft basieren. Diese Anlagen könnten überschüssigen Strom produzieren und in Wasserstoff umwandeln, der dann von den Unternehmen vor Ort genutzt werden kann. Dieser kollektive Ansatz würde die Kosten für den Aufbau und Betrieb der Wasserstoffinfrastruktur reduzieren und somit den Unternehmen grünen Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Preisen ermöglichen.

Darüber hinaus würde die Schaffung grüner Industriegebiete in Hagen die Attraktivität der Stadt für weitere Unternehmen steigern. Wenn sich herumgesprochen hat, dass eine zuverlässige und nachhaltige Wasserstoffversorgung vorhanden ist, könnten andere Firmen angezogen werden, die ebenfalls auf Wasserstoff angewiesen sind oder nach umweltfreundlichen Produktionsstandorten suchen. Dies würde zu einem positiven wirtschaftlichen Wachstum führen und könnte Arbeitsplätze in der Region schaffen.

Die Stadt Hagen hat die Möglichkeit, eine Vorreiterrolle in der Förderung grüner Industriegebiete einzunehmen und so eine nachhaltige und zukunftsweisende Wirtschaft zu schaffen. Die Zusammenarbeit kleiner und mittelständischer Unternehmen in diesen Industriegebieten würde ihre Marktmacht stärken, die Kosten für grünen Wasserstoff senken und gleichzeitig neue Geschäftsmöglichkeiten schaffen. Durch diese Maßnahmen könnte Hagen nicht nur die Gefahr einer Abwanderung minimieren, sondern auch als attraktiver Standort für weitere umweltbewusste Unternehmen dienen.

3.2.8 Handlungsempfehlungen

1 Förderung der sicheren H₂-Versorgung für die Industrie

Die Stadt Hagen sollte alle notwendigen Schritte unternehmen, um die Bereitstellung einer sicheren und pipelinegebundenen Wasserstoffversorgung für die großen Industrieakteure zu beschleunigen. Dies kann die Einleitung eines beschleunigten Genehmigungsverfahrens und die Zusammenarbeit mit den relevanten Parteien beinhalten. Zugleich sollte die Stadt Maßnahmen zur Steigerung der Akzeptanz für große Wasserstoffleitungen in der Bevölkerung frühzeitig in Angriff nehmen. Hier könnten beispielsweise

Informationsveranstaltungen dabei helfen, der Bevölkerung die Vorteile des Leitungsbaus darzulegen. Auch herrschen immer noch große Vorurteile bezüglich der Gefahren von Wasserstoff. Hier muss viel Aufklärungsarbeit erfolgen, um diese Zweifel zu beseitigen. Auch andere Konzepte wie die dauerhafte Errichtung von Informationszentren können zu einer höheren Akzeptanz in der Bevölkerung beitragen.

2 Lobbyarbeit auf Landes- und Bundesebene

Die Stadt Hagen sollte sich nicht nur auf lokaler, sondern auch auf regionaler, landes- und bundesweiter Ebene aktiv für Fördermöglichkeiten einsetzen, um die Mehrkosten für Wasserstoff in der energieintensiven Industrie zu reduzieren. Diese proaktive Beteiligung ist entscheidend, um die Wettbewerbsfähigkeit der Hagener Industrie zu erhalten und das Risiko von Carbon Leakage, also der Verlagerung von CO₂-emittierenden Aktivitäten in Regionen mit laxeren Umweltauflagen, zu minimieren.

Insbesondere für den Mittelstand spielt dies eine herausragende Rolle, da viele mittelständische Industrieunternehmen in Hagen zu den energieintensiven Sektoren gehören. Die Verfügbarkeit von Fördermitteln würde diesen Unternehmen helfen, die Umstellung auf klimafreundliche Produktionsverfahren voranzutreiben und somit ihre Wettbewerbsposition zu stärken.

In Anbetracht zukünftiger Entwicklungen werden Klimaschutzverträge zu einem bedeutenden Instrument für die Industrie. Diese Verträge fördern die Umstellung auf klimafreundliche Produktionsverfahren, indem sie Unternehmen in energieintensiven Branchen, wie der Metallverarbeitung, Ausgleichszahlungen gewähren. Diese Ausgleichszahlungen sollen die Mehrkosten für die Umstellung auf beinahe treibhausgasneutrale Verfahren abdecken, und sie berücksichtigen sowohl die Investitionskosten (CAPEX) als auch die Betriebskosten (OPEX) für klimafreundlichere Anlagen im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen oder Produktionsverfahren.

Die ganzheitliche Unterstützung der Industrie, insbesondere des Mittelstands, durch gezielte Fördermaßnahmen und die Berücksichtigung von Klimaschutzverträgen wird einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, die Hagener Wirtschaft nachhaltig und zukunftsfähig zu gestalten.

3 Zentrum für Schulungen und Arbeitssicherheit

Hagen kann ein Zentrum für die Schulung von Mitarbeitenden im Umgang mit Wasserstoff und für Arbeitssicherheit im Zusammenhang mit Wasserstoffanlagen etablieren. Dieses Schulungszentrum könnte in Zusammenarbeit mit Institutionen wie der IHK oder der FernUni Hagen entwickelt werden, um sicherzustellen, dass das Personal, das zukünftig mit Wasserstoffanlagen arbeitet, angemessen ausgebildet und geschult wird. Ein gutes Beispiel ist hier die Fachhochschule Südwestfalen, die neue Studiengänge zum Thema Wasserstoff plant. Hagen und die Hochschulen in der Region können hierdurch zur Experten- und Vorreiterregion in Nordrhein-Westfalen werden.

4 Erweiterung des H₂-Verteilnetzes

Neben der OGE-Pipeline sollte ein Verteilnetz für Wasserstoff geschaffen werden, um auch denjenigen großen Industrieakteuren, die nicht an die OGE-Pipeline angeschlossen werden, einen sicheren leitungsgebundenen Zugang zu Wasserstoff zu gewährleisten.

5 Grüne Industriegebiete

Die Stadt Hagen sollte die Schaffung von „grünen Industriegebieten“ für kleine und mittelständische Unternehmen fördern, die zukünftig ebenfalls Wasserstoff benötigen. Obwohl diese Unternehmen individuell möglicherweise nicht große Wasserstoffmengen beziehen, könnten sie im Verbund eine stärkere Marktposition erreichen. Dies würde die Entwicklung von Wasserstoff-Cluster-Initiativen unterstützen und die wirtschaftliche Nachhaltigkeit in der Region fördern.

3.3 Dekarbonisierung des Wärmemarktes

3.3.1 Status quo Wärmemarkt Hagen

Die im Rahmen dieses Abschlussberichts dargestellten Informationen basieren auf sorgfältig ausgewerteten Daten, die im Energieatlas NRW zusammengetragen wurden⁶. Der Datenstand der wärmeerzeugenden Energien spiegelt den Ausbaustand bis Ende 2022 wider, mit teilweisen Ergänzungen für das Jahr 2021 (Solarthermie) und 2020 (Kraft-Wärme-Kopplung). Diese Daten wurden vornehmlich der Bundesnetzagentur sowie LANUV-eigenen Quellen entnommen, während die Einwohnerzahlen aus den Erhebungen von IT.NRW stammen. Der Wärmebedarf wurde im Rahmen der Potenzialstudie Kraft-Wärme-Kopplung erarbeitet, basierend auf Grundlagendaten von März 2019.

Bestehende Energieversorgungsstruktur im Wärmemarkt von Hagen

Der Wärmebedarf in der Stadt Hagen unterteilt sich auf die Bereiche Raumwärme und Warmwasser, Prozesswärme < 500 °C und Raumkältebedarf. Zum Stand Ende 2022 entfällt mit 2.377 GWh/a⁷ der größte Anteil der Wärmebereitstellung auf die Raumwärme bzw. die Warmwasserbereitstellung. Der Wärmebedarf für Prozesswärme über 500 °C beträgt 629 GWh/a. Der kleinste Anteil des Wärmebedarfs wird für die Raumkälteerzeugung benötigt. Hier beträgt der Bedarf 24 GWh/a.

Die Wärmeversorgung in Hagen geschieht überwiegend durch fossile Energieträger. Der dominante Heizenergieträger ist hierbei Erdgas. Zudem wird im Stadtgebiet Wärme vereinzelt durch Ölheizungen, Fernwärme oder durch Strom produziert. Tabelle 3-4 zeigt die dominanten Heizenergieträger für die Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung der Stadt Hagen für Ende 2022

Tabelle 3-4: Anteil der Energieträger für die Wärmebereitstellung in Hagener Wohngebäuden in %⁸

Energieträger	Anteil [%]
Gasheizungen	66
Ölheizungen	11
Stromheizungen	4
Fernwärme	3
Erneuerbare Wärme	1
Sonstige und unbekannt	15

Abbildung 3-22 zeigt die dominanten Heizenergieträger auf Baublockebene, die in Tabelle 3-4 aufgelistet sind. Hier zeigt sich nochmals der überwiegende Anteil an Gasheizungen im Stadtgebiet. Alle gelb dargestellten Bereiche der Stadt zeigen Baublöcke, in denen überwiegend mit Erdgas geheizt wird. Vereinzelt zeigen sich im Stadtgebiet auch Gebäudeblöcke die vorwiegend mit Erdöl, Fernwärme, Strom oder erneuerbaren Energieträgern beheizt werden. Ölheizungen kommen so beispielsweise zu sehr großen Anteilen im südlichen Teil der Stadt (Dahl) vor. Bei der Fernwärme konzentriert sich der Bestand auf die Gebiete Hagen-Emst sowie Hagen-Helfe. Die Lieferung der Fernwärme bzw. die Wärmebereitstellung für das Fernwärmenetz Hagen-Helfe erfolgt von der E.ON Energy Solutions GmbH aus Essen.

⁶ Energieatlas NRW, 2023, https://www.energieatlas.nrw.de/site/service/download_daten

⁷ Davon 1.516 GWh/a Wohngebäude und 861 GWh/a Nichtwohngebäude.

⁸ Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Potenzialstudie Kraft-Wärme-Kopplung, 2021, https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30116.pdf.

Betreiber des 4,6 km langen Fernwärmenetzes in Hagen-Erst ist Mark-E. Die Wärmebereitstellung erfolgt mittels BHKW und Heizkessel. Als Energieträger wird Erdgas genutzt. Pro Jahr werden so ca. 35 GWh Erdgas verbrannt. An das Netz sind ca. 1.400 Abnehmer angeschlossen. Erweiterungspläne für das Netz gibt es derzeit nicht. Das liegt zum einen daran, dass nahezu alle Anlieger an den Trassen des Bestandsnetzes bereits angeschlossen sind, und zum anderen, dass Ungewissheit herrscht, wie das bestehende Netz zukünftig dekarbonisiert werden soll. Das Fernwärmenetz in Hagen-Helfe wird teilweise vom Hagener Entsorgungsbetrieb und einer weiteren Gesellschaft betrieben. Die Wärme wird durch die drei Abfallverbrennungslinien bereitgestellt. Diese produzieren durch das Verbrennen von Abfall Dampf, mit denen das Gebiet im Norden des Stadtgebiets versorgt wird. Pro Jahr werden so ca. 43 GWh Wärme ausgekoppelt.

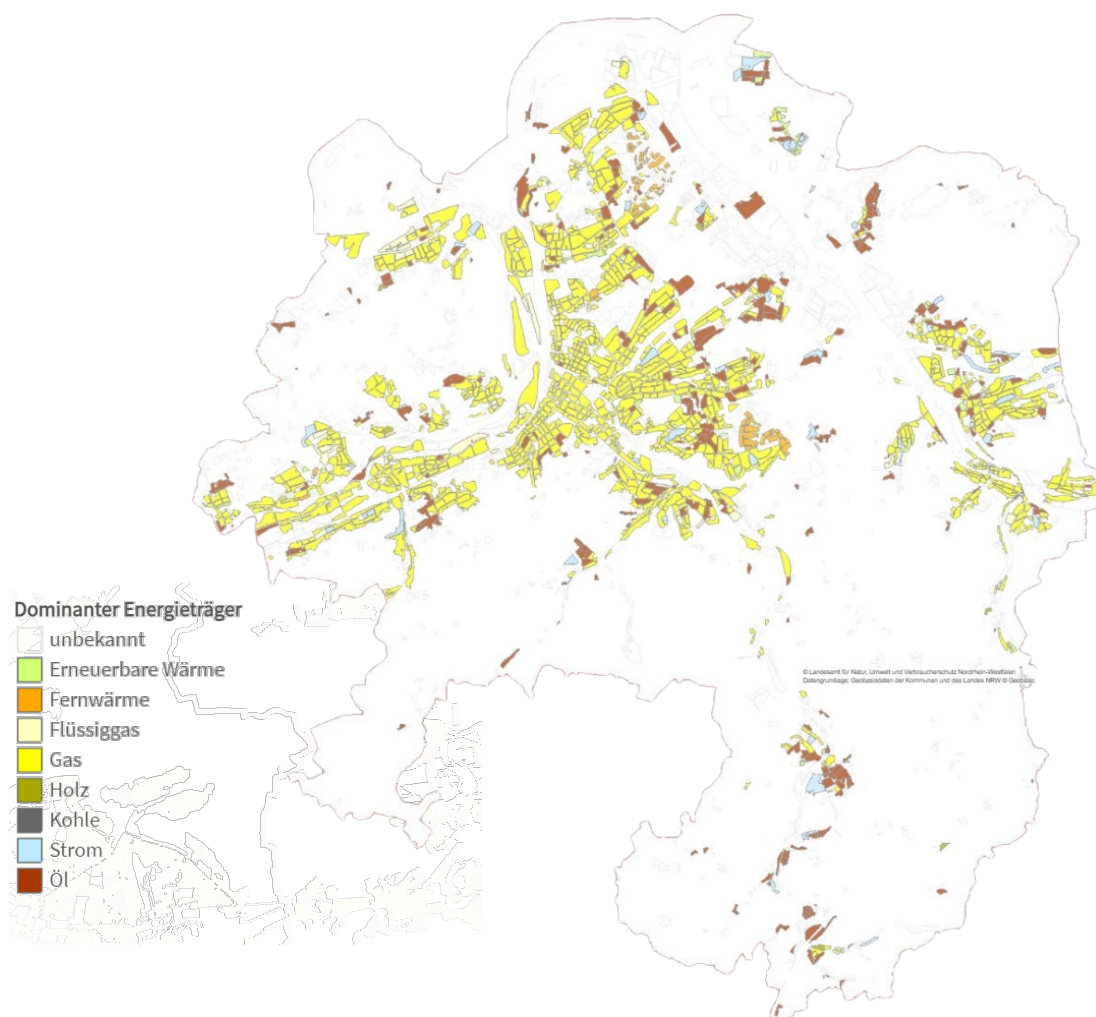


Abbildung 3-22: Dominante Heizenergieträger in Hagen⁹

Entwicklung der Wärmebedarfe bis 2045

Der Wärmebedarf in der Stadt Hagen soll bis 2045 deutlich reduziert werden, um politische Ziele zu erreichen, die bspw. aus dem Klimaschutzgesetz, der Energieeinsparverordnung und durch nachhaltige Stadtentwicklungskonzepte hervorgehen. Die Ziele der Stadt werden in Abbildung 3-23 dargestellt. Im Jahr 2023

⁹ Energieatlas Nordrhein-Westfalen, 2023, https://www.energieatlas.nrw.de/site/service/download_daten, zuletzt abgerufen am 12. Dezember 2023.

beträgt der Wärmebedarf 2.377 GWh/a. Bis 2030 soll er voraussichtlich auf 1.886 GWh/a sinken. Zum Zieljahr 2045 soll der Wärmebedarf um mehr als die Hälfte auf etwa 1.000 GWh/a reduziert werden. Dies erfordert verstärkte Maßnahmen zur Gebäudesanierung, den Einsatz effizienter Heizsysteme und verstärkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen, um den Wärmebedarf nachhaltig und klimafreundlich zu decken.

Die Entwicklung des Wärmebedarfs im Bereich der Prozesswärme unter 500°C in der Stadt Hagen zeigt einen Anstieg. Im Jahr 2022 wurde ein Wärmebedarf von 629 GWh/a verzeichnet, der bis 2045 voraussichtlich auf 796 GWh/a anwachsen wird. Eine mögliche Ursache für diesen Anstieg könnte in der verstärkten industriellen Aktivität in Hagen liegen, die mit einer gesteigerten Produktion einhergeht. Diese Produktionszunahme erfordert eine erhöhte Nutzung von Prozesswärme zur Herstellung von Gütern. Infolgedessen sind eine sorgfältige Planung und die Implementierung energieeffizienter Technologien erforderlich, um sicherzustellen, dass der steigende Wärmebedarf in nachhaltiger und umweltverträglicher Weise gedeckt werden kann.

Die Entwicklung des Kältebedarfs in der Stadt Hagen zeigt eine vergleichsweise geringe Veränderung. Gegenwärtig beträgt der Kältebedarf lediglich 24 GWh/a. Die Prognose bis zum Jahr 2045 deutet auf eine minimale Erhöhung auf 25 GWh/a hin.

Wärmebedarf in Hagen von 2022 bis 2045

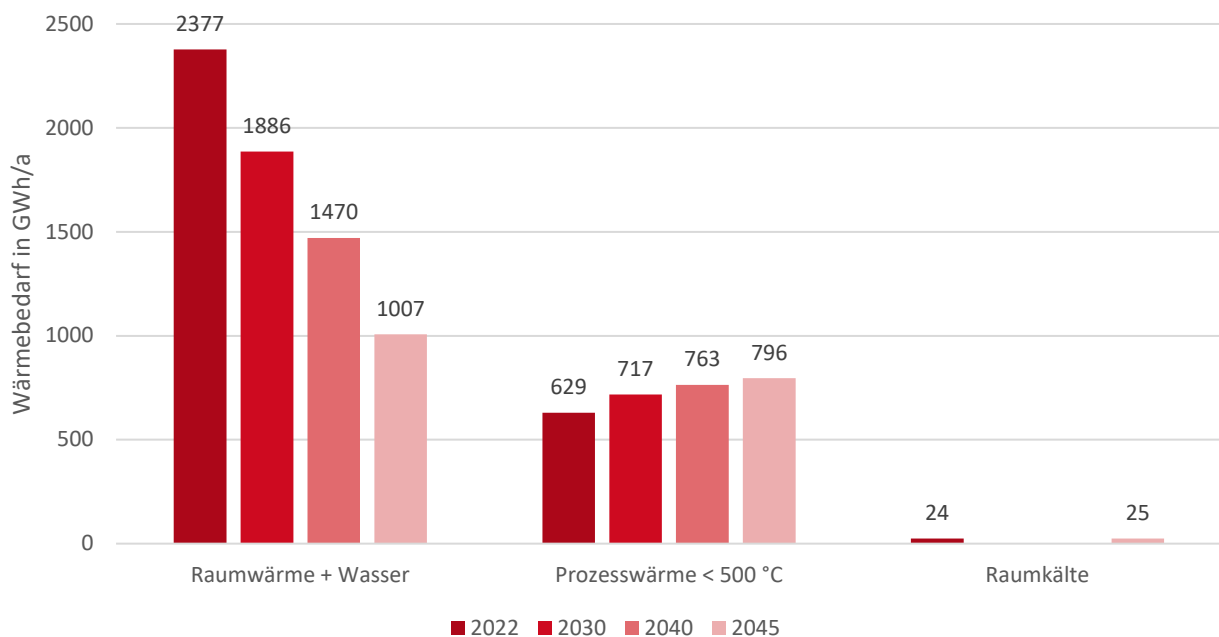


Abbildung 3-23: Wärmebedarf in Hagen von 2022 bis 2045¹⁰

Zusammensetzung der Heizungen im Bestand in Hagen

Die Ermittlung der zukünftigen Heizungszusammensetzung in Hagen ist mit einigen Unsicherheiten verbunden. Die Dominanz eines Heizenergieträgers ist von diversen Faktoren abhängig.

Die zukünftige Zusammensetzung der Heizungsanlagen in Wohngebäuden unterliegt in der heutigen Zeit einem stetigen Wandel und ist geprägt von vielfältigen Unsicherheiten. Die Wahl der Heizungsart und -technologie ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, die von ökonomischen und politischen Entwicklungen

¹⁰ Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Potenzialstudie Kraft-Wärme-Kopplung, 2021, https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30116.pdf.

bis hin zu technologischen Innovationen und Umweltzielen reichen. In dieser Untersuchung wird ein Blick auf die gegenwärtige Landschaft der Heizungssysteme in Wohngebäuden der Stadt Hagen geworfen, wobei die Unsicherheiten und Einflussfaktoren beleuchtet werden, die die Zusammensetzung und die zukünftige Entwicklung dieses wichtigen Aspekts der Energieinfrastruktur prägen.

Die Auswahl der richtigen Heizungsanlage ist eine bedeutende Entscheidung für Hausbesitzer und Bewohner, da sie sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch die Umweltauswirkungen des Gebäudes maßgeblich beeinflusst. In Hagen, wie in vielen anderen Städten, stehen Eigentümer und Mieter vor einer komplexen Entscheidungsmatrix, wenn es darum geht, welche Heizungsart die beste Option für ihre Bedürfnisse und Ziele ist.

Der Energiemarkt unterliegt ständigen Veränderungen, sei es durch Schwankungen in den Strom- und Erdgaspreisen, politische Zielsetzungen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen, den verstärkten Ausbau von Wasserstofftechnologien oder die Förderung erneuerbarer Energien. All diese Faktoren wirken sich direkt auf die Heizungsentscheidung aus und schaffen ein komplexes Umfeld, das es Hausbesitzern und Mietern erschwert, langfristige Entscheidungen zu treffen.

In dieser Untersuchung werden nicht nur die aktuelle Zusammensetzung der Heizungsanlagen in Hagen analysiert, sondern auch die vielfältigen Unsicherheiten und Faktoren identifiziert, die die Zukunft dieser Systeme prägen werden. Darüber hinaus werden der Einfluss technologischer Entwicklungen und Innovationen, insbesondere im Bereich der Wasserstofftechnologien und erneuerbaren Energien, auf die Heizungssysteme in Hagen und die damit verbundenen Herausforderungen und Möglichkeiten untersucht.

3.3.2 Wasserstoff im Gebäudesektor

Entscheidend für den Einsatz von Wasserstoff im Gebäudesektor ist, ob dieser zukünftig in ausreichend großer Menge zur Verfügung steht. Neben den Wasserstoffmengen spielt auch die Priorisierung des verfügbaren Wasserstoffes eine entscheidende Rolle. Wie bereits in den vorherigen Kapiteln angesprochen, wird vor allem grüner Wasserstoff in Zukunft ein knappes Gut bleiben. Wasserstoff sollte zu Beginn deshalb vorrangig in Bereichen eingesetzt werden, in denen keine treibhausgasneutralen Versorgungsalternativen zur Verfügung stehen.

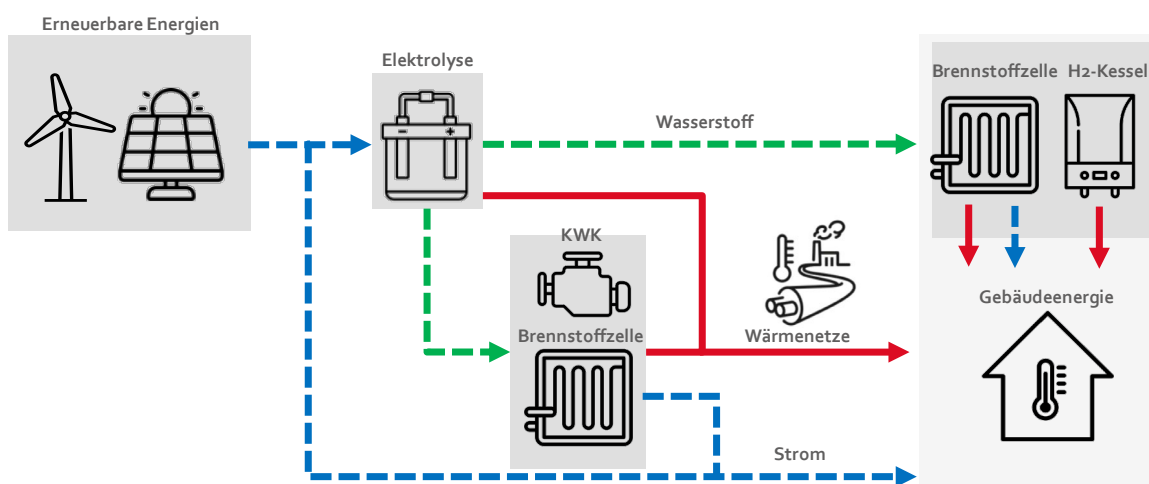


Abbildung 3-24: Technische Optionen der Wärmebereitstellung mit Wasserstoff im Gebäudesektor¹¹

¹¹ Angelehnt an: Kopernikus-Projekt Ariadne Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Die Rolle von Wasserstoff im Gebäudesektor, 2021, https://www.kopernikus-projekte.de/lw_resource/datapool/systemfiles/cbox/1713/live/lw_datei/ariadne-analyse_wasserstoffgebaeudesektor_september2021.pdf.

Prinzipiell lässt sich Wasserstoff zentral durch H₂-Heizkessel, Mikro-KWK-Anlagen oder Brennstoffzellen oder dezentral durch Einspeisung in die Wärmenetze durch H₂-KWK einsetzen. In Abbildung 3-24 sind die technischen Optionen der Wärmebereitstellung mit Wasserstoff im Gebäudesektor dargestellt.

Modellierung von Wärmetechnologien im Gebäudesektor für die Stadt Hagen

Wie bereits dargestellt, lässt sich Wasserstoff technisch auf unterschiedliche Arten zur Wärmeversorgung von Gebäuden einsetzen. Jedoch gehen aktuelle Untersuchungen davon aus, dass grüner Wasserstoff zukünftig zu knapp ist, um ihn in großen Mengen zur Wärmeversorgung zu nutzen. Strombasierte Heiztechnologien wie Wärmepumpen zeigen hier ein größeres Potenzial, allein schon aufgrund des deutlichen höheren Wirkungsgrads.

In Abbildung 3-25 ist das Ergebnis einer Simulation für einen möglichen Technologiemix in Hagen dargestellt. Die Simulation betrachtet den Zeitraum von 2025 bis 2045 im 5-Jahres-Rhythmus. In den Parametern der Simulation werden aus verschiedenen Parametern die günstigsten Heiztechnologien ermittelt. Hierbei werden ebenso technologische wie auch wirtschaftliche und soziale Parameter betrachtet. Die wirtschaftlichen Parameter, die zur Errechnung genutzt wurden, sind nachfolgend in Tabelle 3-5 dargestellt. Diese werden mit spezifischen Daten der Stadt Hagen wie Neubau- und Sanierungsquoten gespeist, um ein möglichst realistisches Endergebnis zu erhalten.

Tabelle 3-5: Wirtschaftliche Parameter für die Errechnung der Wärmetechnologien

	2030	2040	2045
CO ₂ -Preis [€/t]	90	160	190
Strompreis Haushalte [ct/kWh]	37.9	39.9	40.3
Erdgas Großhandelspreis [ct/kWh]	3.7	3.7	2.95
Biogas Großhandelspreis [ct/kWh]	8	9	9
Wasserstoffpreis [ct/kWh]	15.02	11.41	10.51
Pelletpreis [ct/kWh]	5	5	5
Hackschnitzelpreis [ct/kWh]	2.5	2.5	2.5
Fernwärme Arbeitspreis [ct/kWh]	9.2	9.2	9.2
Nahwärme Arbeitspreis [ct/kWh]	12	13	13.5
Heizöl Preis [ct/kWh]	6.48	40	45

Die Simulation zeigt folgende prozentualen Zusammensetzungen der Heiztechnologien im Hagener Gebäudebestand. Zu berücksichtigen ist, dass die Wärmebedarfe einen abnehmenden Trend über die kommenden 5-Jahres-Iterationen aufzeigen, weshalb die relative Verteilung die absoluten Bedarfe der entsprechenden Richtjahre nicht widerspiegelt (s. Abbildung 3-26-37).

Zusammensetzung Heizungen im Bestand in % der Gebäude

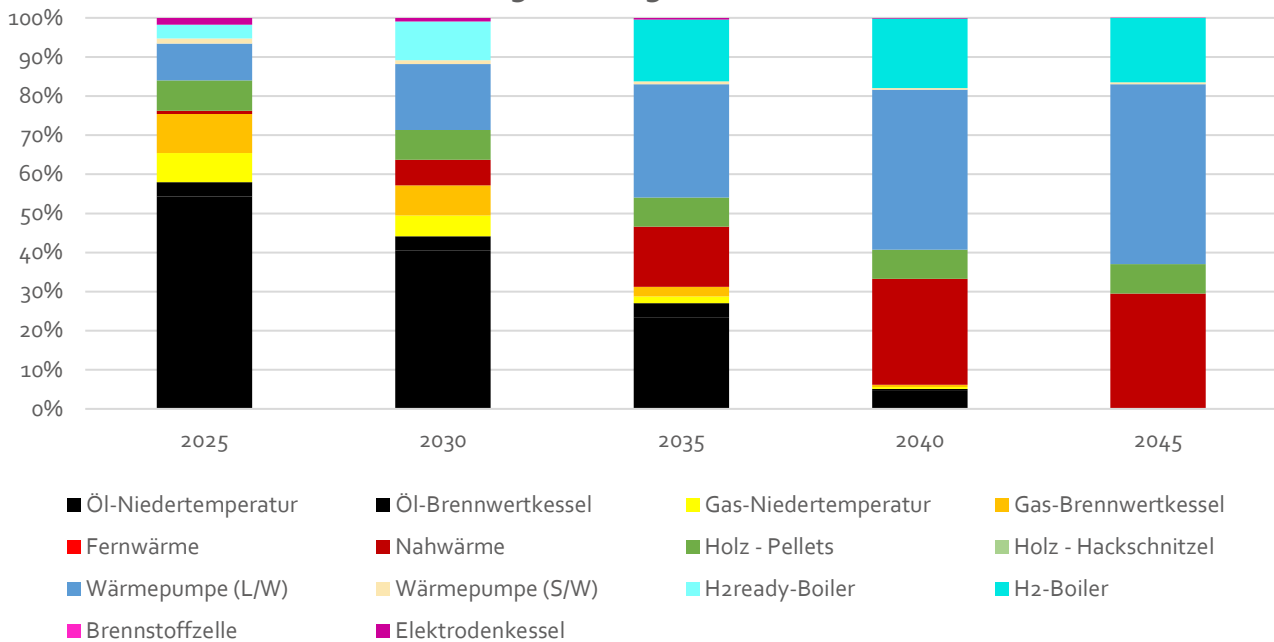


Abbildung 3-25: Zusammensetzung der Heiztechnologien im Hagerer Gebäudebestand in Prozent

Dezentraler Einsatz

Im Jahr 2025 wird Erdgas den höchsten Anteil an der Wärmebereitstellung für Gebäude haben. Auch Erdöl wird einen nicht unerheblichen Anteil der Wärme bereitstellen. Allerdings zeichnen sich auch bereits alternative Heiztechnologien wie Wärmepumpen und H₂-ready-Boiler ab. Ab 2030 bis 2040 werden vor allem Wärmepumpen zur bedeutendsten Heiztechnologie werden und die bestehenden Öl- und Gasheizungen nach und nach vertreiben. Auch wasserstoffbasierte Heiztechnologien werden ab 2035 einen nicht unerheblichen Anteil der Wärme bereitstellen. Der Hauptgrund für den späten Einsatz dieser Technologie ist, dass vor dem Jahr 2035 nicht mit einer flächendeckenden und pipelinegebundenen Wasserstoffversorgung zu rechnen ist. Auch der Anteil der Fernwärme an der Wärmebereitstellung nimmt in dieser Simulation ab 2030 zu. Mit dem Jahr 2045 werden keine fossilen Energieträger mehr verwendet werden. Elektrische Heiztechnologien, vor allem die Wärmepumpe, werden bevorzugt zur Wärmeerzeugung eingesetzt. Aufgrund der niedrigeren Stromkosten und des Ausbaus erneuerbarer Energien werden Wärmepumpen auch Teile der Wasserstoffheizungen verdrängen. In der Simulation sind auch exotischere Heiztechnologien wie Brennstoffzellen und Elektrodenkessel dargestellt. Diese werden sich aber aufgrund der hohen Investitionskosten und der schlechten Wirkungsgrade nicht durchsetzen.

Zentraler Einsatz

Aus diversen Untersuchungen geht hervor, dass die Bedeutung der Fern- und Nahwärme in Zukunft wachsen wird. Für ganz Deutschland betrachtet liegt der Anteil der dezentralen Wärmeversorgung etwa zwischen 15 und 25 %. Es existieren jedoch kaum Informationen über die Brennstoffzusammensetzung in den Wärmenetzen. Lediglich aus zwei Veröffentlichungen (Gerbert et al. 2018 und Graichen et al. 2021) gehen Werte von 14 bzw. 25 % Wasserstoff bei der Wärmebereitstellung in den Fernwärmenetzen hervor. Andere Veröffentlichungen nennen zwar keine genauen Werte, schätzen den Anteil von Wasserstoff jedoch trotzdem als gering ein.

Wasserstoffbedarf für den Hagerer Wärmesektor

In Abbildung 3-26 sind die theoretischen Wasserstoffbedarfe für den Hagener Wärmesektor angegeben. Betrachtet wird hierbei die Wärmebereitstellung in Wohn- und Nichtwohngebäuden sowie die Warmwasserbereitstellung. Die Daten ergeben sich aus Hochrechnungen auf Grundlage der Zusammensetzung der Heiztechnologien aus Abbildung 3-25 und des voraussichtlichen Wärmebedarfs bis 2045 aus Abbildung 3-23. Im Jahr 2025 beträgt der theoretische Wasserstoffbedarf für den Hagener Wärmesektor etwa 1.800 kg. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nur ein kleiner Anteil der Heizanlagen H₂-ready ist und es noch keine flächendeckende leitungsgebundene Wasserstoffversorgung gibt.

Im Jahr 2030 wird der theoretische Wasserstoffbedarf voraussichtlich auf etwa 6.800 kg ansteigen. Dieser Anstieg ist ausschließlich auf die wachsende Zahl von H₂-ready-Heizanlagen zurückzuführen, da eine flächendeckende leitungsgebundene Wasserstoffversorgung noch nicht gegeben ist.

Ab dem Jahr 2035 kann mit einer leitungsgebundenen Wasserstoffversorgung auch im Gebäudesektor gerechnet werden. Der Wasserstoffbedarf wird voraussichtlich – im Vergleich zu 2030 – leicht abnehmen, da der allgemeine Wärmebedarf zurückgeht. Dies kann auf modernere Gebäude und Modernisierungsmaßnahmen zurückgeführt werden.

Auch für das Jahr 2040 wird der Bedarf im Vergleich zu 2030 leicht abnehmen, da der allgemeine Wärmebedarf voraussichtlich weiter sinkt.

Im Jahr 2045 wird der Wasserstoffbedarf im Vergleich zu 2040 stark abnehmen. Dies könnte auf einen starken Ausbau erneuerbarer Energien zurückzuführen sein, der die Strompreise so günstig macht, dass mehr Menschen von Wasserstoff-Gas-Heizungen auf Wärmepumpen umsteigen.

Es ist wichtig zu beachten, dass diese Szenarien rein theoretischer Natur sind und auf einer Analyse der Heiztechnologien bis 2045 in Hagen basieren. Der tatsächliche Wasserstoffbedarf kann von diesen Schätzungen abweichen und wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, einschließlich politischer Maßnahmen, technologischer Entwicklungen und gesellschaftlicher Trends.

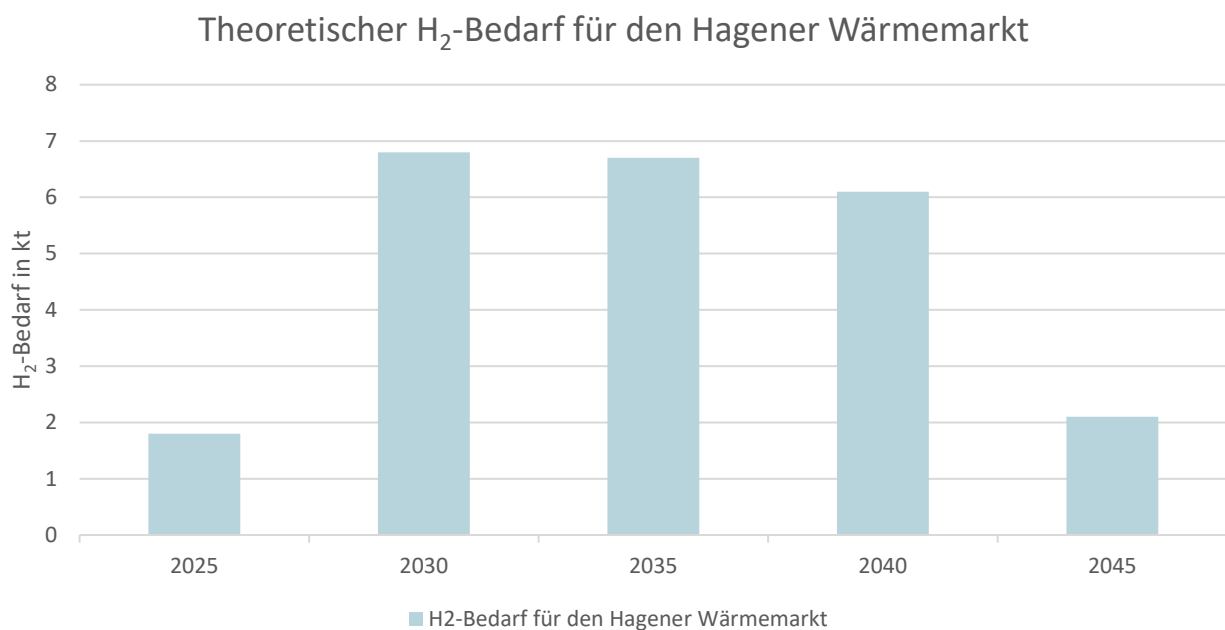


Abbildung 3-26: Theoretischer Wasserstoffbedarf für den Hagener Wärmesektor

Umwidmung des Erdgasnetzes auf Wasserstoff

Für die effektive Nutzung von Wasserstoff in Wohngebäuden vor allem im innerstädtischen Bereich ist es notwendig, dass die bestehenden Erdgasnetze zu reinen Wasserstoffnetzen umgebaut werden können oder eine eigene Verteilnetzinfrastuktur für Wasserstoff aufgebaut wird. Laut aktuellen Untersuchungen¹² stellt sich vor allem der Umbau der Verteilnetze als technisch anspruchsvoll heraus. Die Verwendung von Wasserstoff in Gasleitungen kann zu beschleunigtem Risswachstum führen, insbesondere bei geringeren dynamischen Belastungen. Daher sind entsprechende Überwachungs- und Präventionsmaßnahmen erforderlich. Die Integration von Wasserstoff stellt auch erhöhte Anforderungen an Betriebsmittel wie Druckregler und Volumenstrommessgeräte. In einem Szenario mit 95 % Wasserstoff in der Gasversorgung müssten sogar alle Betriebsmittel (außer den Leitungen) speziell für Wasserstoffgas ausgelegt werden. Bei einer Beimischung von bis zu 80 % Wasserstoff wäre ein Teil des Betriebsmittelaustauschs erforderlich. Eine flächendeckende Umwandlung des gesamten Erdgasnetzes erscheint technisch möglich, jedoch aufgrund des Aufwands unwahrscheinlich. Stattdessen scheint der Umbau ausgewählter Netzabschnitte realistischer.

Die Umstellung des Erdgasnetzes auf Wasserstoff zur Wärmeversorgung erfordert eine umfassende Wärmeplanung, die die technischen Gegebenheiten der Gebäude, die bestehende Erdgasinfrastruktur und potenzielle Wohngebiete eingehend untersucht. Nur durch eine solche ganzheitliche Analyse können Teilgebiete identifiziert werden, in denen sich der Umstieg auf Wasserstoff oder der Aus- bzw. Neubau einer Wasserstoffinfrastruktur wirtschaftlich lohnt.

In diesem Zusammenhang sind Gebäudeanalysen von entscheidender Bedeutung. Verschiedene Gebäudestrukturen, angefangen bei Wohnhäusern bis hin zu Industriegebäuden, erfordern unterschiedliche Wärmequellen und -systeme. Die Wärmeplanung sollte die technischen Anpassungen in den Gebäuden berücksichtigen, die erforderlich sind, um Wasserstoff effizient zu nutzen. Dazu gehören möglicherweise Änderungen an Heizungsanlagen, Dämmmaßnahmen und die Leitungsinfrastruktur.

Ebenso muss die bestehende Erdgasinfrastruktur in die Planung einfließen. Dies bedeutet, dass die vorhandenen Gasleitungen, Speichereinrichtungen und Regelsysteme auf ihre Eignung für den Transport und die Verteilung von Wasserstoff überprüft werden müssen.

Die geografische Verteilung von Wohngebieten, insbesondere in dicht besiedelten Städten wie Hagen, spielt ebenfalls eine wichtige Rolle in der Wärmeplanung. Es ist entscheidend, zu ermitteln, in welchen Gebieten der Bedarf an Wasserstoffwärme am größten ist und wo die Umstellung auf Wasserstoffnetze den größten Nutzen bringt. Dies könnte insbesondere in innerstädtischen Bereichen der Fall sein, in denen alternative Heiztechnologien weniger effizient sind und Fernwärme keine praktikable Option darstellt.

Die Wirtschaftlichkeit der Umstellung muss ebenfalls sorgfältig analysiert werden. Eine umfassende Kosten-Nutzen-Analyse sollte die Umstellungskosten, erwartete Einsparungen und die langfristige Wirtschaftlichkeit des Wasserstoffnetzes bewerten. Dies ist entscheidend, um sicherzustellen, dass die Umstellung in den ausgewählten Teilgebieten nicht nur technisch machbar, sondern auch wirtschaftlich sinnvoll ist.

3.3.3 Nachhaltige Wärmeerzeugungstechnologien in Hagen

Luftwärmepumpe

Eine Luftwärmepumpe ist eine thermische Anlage, die Umgebungsluft als Energiequelle nutzt, um Wärme zu erzeugen und in ein Gebäude zu übertragen. Sie nutzt das Prinzip der Wärmepumpentechnologie, um

¹² Kopernikus-Projekt Ariadne Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Die Rolle von Wasserstoff im Gebäudesektor, 2021, https://www.kopernikus-projekte.de/lw_resource/datapool/systemfiles/cbox/1713/live/lw_datei/ariadne-analyse_wasserstoffgebaeudesektor_september2021.pdf.

die vorhandene Wärme aus der Außenluft auf ein höheres Temperaturniveau zu bringen und für Heizzwecke zu nutzen.

Die Luftwärmepumpe nutzt die Umgebungsluft als unerschöpfliche Energiequelle, um Wärmeenergie zu gewinnen. Sie kann das ganze Jahr über eingesetzt werden, da selbst bei niedrigen Außentemperaturen noch genügend Wärmeenergie in der Luft enthalten ist. Die gewonnene Wärmeenergie kann für die Beheizung von Räumen und die Bereitstellung von Warmwasser genutzt werden.

Ein wichtiger Vorteil der Luftwärmepumpe ist ihre einfache Installation, da sie keine Erdbohrungen oder Erdkollektoren erfordert. Sie benötigt lediglich einen Platz im Freien, an dem die Außeneinheit aufgestellt werden kann. Die Luftwärmepumpe ist auch flexibel einsetzbar und kann in verschiedenen Arten von Gebäuden wie Wohnhäusern, Büros oder Gewerbegebäuden genutzt werden.

Zusätzlich kann eine Luftwärmepumpe oft auch im Sommer für die Kühlung des Gebäudes verwendet werden, indem der Prozess umgekehrt und die Wärme aus dem Gebäude in die Außenluft abgeführt wird.

Zahlreiche Studien weisen darauf hin, dass Wärmepumpen eine Hauptrolle in der Wärmewende übernehmen werden. Entgegen der weitverbreiteten Meinung, dass diese nur für Neubauten bzw. umfangreich sanierte Gebäude sinnvoll sind, lassen sich auch Gebäude mit geringem Sanierungsstand effizient mit Wärmepumpen beheizen. So sind Wärmepumpen auch für die Stadt Hagen eine Schlüsseltechnologie mit sehr hohem Potenzial insbesondere für die Haushalte, die sich nicht an Nah- bzw. Fernwärmenetze anbinden lassen.

Erdwärmesonden

Eine Erdwärmesonde ist eine geothermische Anlage, die die im Erdreich gespeicherte Wärmeenergie nutzt, um Gebäude zu heizen oder zu kühlen. Sie besteht aus einem geschlossenen Rohrsystem, das in das Erdreich eingeführt wird und als Wärmeaustauscher fungiert. Die Erdwärmesonde nutzt das Prinzip der Geothermie, um die natürliche Wärmeenergie des Bodens zu nutzen. Der Betrieb einer Erdwärmesonde erfolgt zyklisch. Im Winter entzieht die Wärmepumpe dem Erdreich die gespeicherte Wärmeenergie, um das Gebäude zu beheizen. Dabei wird das Wärmeträgermedium durch die Sondenrohre geleitet, absorbiert die Wärmeenergie aus dem Boden und gibt sie an die Wärmepumpe ab. Die Wärmepumpe erhöht die Temperatur des Wärmeträgermediums und leitet es zur Raumheizung im Gebäude weiter.

Im Sommer kann der Prozess umgekehrt werden, indem die Wärmepumpe die Wärme aus dem Gebäude aufnimmt und in das Erdreich leitet, wo sie abgeführt wird. Dadurch wird das Gebäude gekühlt, und das Wärmeträgermedium nimmt die Wärme aus dem Gebäude auf und leitet sie in das Erdreich zur Abkühlung ab.

Erdwärmesonden bieten eine hohe Effizienz und sind umweltfreundlich, da sie erneuerbare Erdwärme als Energiequelle nutzen. Sie können in verschiedenen Arten von Gebäuden eingesetzt werden, erfordern jedoch ausreichend Platz.

Solarthermie

Solarthermie ist eine Technologie, bei der Sonnenenergie genutzt wird, um Wärme zu erzeugen. Sie basiert auf der Nutzung von Sonnenkollektoren, die die Sonnenstrahlung absorbieren und in Wärme umwandeln. Die Funktionsweise einer Solarthermieanlage besteht darin, dass die Solarkollektoren die Sonnenstrahlung absorbieren und die Wärmeenergie an die Wärmeträgerflüssigkeit abgeben. Die Wärmeträgerflüssigkeit transportiert die Wärme zum Wärmespeicher oder direkt zum Verwendungszweck im Gebäude, wie z. B. zur Warmwasserbereitung oder zur Heizungsunterstützung. Die gespeicherte Wärmeenergie kann bei Bedarf genutzt werden, selbst wenn die Sonneneinstrahlung nicht ausreichend ist, wie z. B. an bewölkten Tagen oder nachts.

Solarthermieranlagen bieten eine nachhaltige und umweltfreundliche Möglichkeit, Wärme zu erzeugen, da sie erneuerbare Sonnenenergie nutzen. Sie können in verschiedenen Gebäudetypen eingesetzt werden, von Wohnhäusern über Gewerbe- und Industriegebäude bis hin zu öffentlichen Einrichtungen. Die Größe und Auslegung der Solarthermieranlage hängt von den spezifischen Anforderungen des Gebäudes und dem gewünschten Anwendungsbereich ab.

Typischerweise werden Solarthermieranlagen aus wirtschaftlichen Gründen so ausgelegt, dass sie ca. 60 % des Warmwasserbedarfs von Ein- und Zweifamilienhäusern decken. Das lässt sich mit einer Kollektorfläche von 1 m² bis 1,5 m² pro Person realisieren. Solarthermische Systeme, die neben der Warmwassererzeugung zusätzlich die Gebäudeheizung unterstützen, decken bei üblicher Dimensionierung je nach Dämmung des Gebäudes ungefähr 10 % bis 30 % des Heizwärmebedarfs – bei Gebäuden mit niedrigem Energiebedarf sogar mehr als 50 %.

Solarthermie eignet sich also weniger für eine autarke Wärmebereitstellung, sondern vielmehr für die Unterstützung von gegebenen Warmwasser- und Heizsystemen, vor allem dann, wenn das Gebäude bzw. der Haushalt über eine zentrale Warmwasserbereitung verfügt.

Die theoretisch erzeugbare Wärmemenge durch Solarthermie auf Hausdächern beträgt in der Stadt ca. 1.700 GWh/a verteilt auf 3,3 km². Trotz des relativ geringen jährlichen Warmwasserbedarfs von 160 GWh/a (2018), lassen sich nur ca. 29,4 % davon durch Solarthermie decken. Grund dafür ist zum einen, dass sich nur 60 % des Warmwassers wirtschaftlich durch Solarthermie bereitstellen lassen, zum anderen verfügt nur ungefähr die Hälfte der Haushalte über eine zentrale Warmwasserbereitung.

Fernwärme

Fernwärme ist ein Energiesystem, bei dem Wärmeenergie in Form von heißem Wasser von einer zentralen Wärmequelle zu mehreren Gebäuden oder Wohnungen transportiert wird. Es handelt sich um eine effiziente Methode zur Versorgung von Gebäuden mit Wärme, insbesondere in städtischen Gebieten. Der Betrieb eines Fernwärmesystems erfolgt kontinuierlich, da die Wärmequelle ständig Wärmeenergie erzeugt. Die Wärme wird über das Netzwerk zu den Verbrauchern transportiert, wo sie für Heizzwecke genutzt wird. Die Rückführung des abgekühlten Wassers oder Dampfes zum Wärmeerzeugungsort ermöglicht die erneute Aufheizung und den weiteren Wärmetransport.

Fernwärme bietet eine effiziente Möglichkeit, mehrere Gebäude mit Wärme zu versorgen, da die Wärmeenergie nicht dezentral in jedem Gebäude erzeugt werden muss. Dies führt zu Kosteneinsparungen und einer Verringerung des CO₂-Ausstoßes, insbesondere wenn erneuerbare oder hocheffiziente Wärmequellen verwendet werden.

Fernwärme kann in verschiedenen Anwendungsbereichen eingesetzt werden, von Wohn- und Gewerbegebäuden bis hin zu Industrieanlagen. Sie ermöglicht auch die Integration verschiedener Wärmequellen wie Solarenergie, Biomasse oder Abwärme aus industriellen Prozessen, um eine nachhaltige und vielseitige Wärmeversorgung zu gewährleisten.

Wasserstoff-Brennwertkessel

Ein Wasserstoffkessel ist ein Heizgerät, das Wasserstoff als Brennstoff verwendet, um Wärme für die Beheizung von Gebäuden zu erzeugen. Die Funktionsweise eines Wasserstoffkessels ähnelt der eines herkömmlichen Gas-Brennwertkessels, jedoch erfolgt die Verbrennung von Wasserstoff anstelle von fossilem Erdgas.

Die grundlegende Funktionsweise eines Wasserstoffkessels umfasst folgende Schritte:

1. Wasserstoffzufuhr: Der Wasserstoff wird entweder gasförmig aus einem externen Tank oder durch direkte Anbindung an ein Wasserstoffversorgungsnetz zum Kessel geleitet.
2. Verbrennung: Der Wasserstoff wird mit Sauerstoff aus der Umgebungsluft vermischt und in der Brennkammer des Kessels verbrannt. Dabei entsteht Wärmeenergie.
3. Wärmeaustausch: Die durch die Verbrennung erzeugte Wärme wird über einen Wärmetauscher an das Heizungswasser übertragen. Der Wärmetauscher besteht aus Rohrschlangen oder Platten, die eine große Oberfläche bieten, um die Wärme effizient zu übertragen.
4. Heizungssystem: Das erhitzte Wasser wird dann durch das Heizungssystem des Gebäudes gepumpt und an Heizkörper oder Fußbodenheizungen abgegeben. Dadurch wird die Wärme im Gebäude verteilt.
5. Abgasabführung: Die Verbrennungsgase, die bei der Wasserstoffverbrennung entstehen, müssen sicher aus dem Kessel abgeführt werden. Dies geschieht normalerweise über ein Abgasrohr, das die Abgase nach außen leitet. Es ist wichtig, sicherzustellen, dass die Abgasabführung den spezifischen Anforderungen und Vorschriften für Wasserstoff entspricht.

Brennstoffzellenheizung

Eine Brennstoffzellenheizung, auch als Wasserstoff-Brennstoffzellenheizung bezeichnet, ist ein System zur Wärmeerzeugung für Gebäude, das auf der elektrochemischen Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff basiert. Im Gegensatz zu einem Wasserstoffkessel erzeugt eine Brennstoffzellenheizung nicht nur Wärme, sondern auch Strom.

Die Funktionsweise einer Brennstoffzellenheizung umfasst die folgenden Schritte:

1. Wasserstoffzufuhr: Wasserstoff wird entweder aus einem externen Tank oder durch Anbindung an ein Wasserstoffversorgungsnetz in die Brennstoffzelle geleitet.
2. Elektrochemische Reaktion: Der Wasserstoff reagiert in der Brennstoffzelle mit Sauerstoff aus der Umgebungsluft. Dies erfolgt durch eine elektrochemische Reaktion, die als kalte Verbrennung bezeichnet wird. Dabei entstehen Wärmeenergie, Wasser und elektrischer Strom.
3. Wärmeaustausch: Die bei der elektrochemischen Reaktion erzeugte Wärmeenergie wird über einen Wärmetauscher an das Heizungssystem des Gebäudes übertragen. Ähnlich wie bei einem herkömmlichen Heizkessel wird das erhitzte Wasser durch das Heizungssystem geleitet, um das Gebäude zu beheizen.
4. Stromerzeugung: Gleichzeitig zur Wärmeerzeugung erzeugt die Brennstoffzelle auch Gleichstrom, der für den Betrieb elektrischer Geräte im Gebäude genutzt werden kann. Der erzeugte Strom kann direkt verwendet werden oder durch einen Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt werden.
5. Abgasabführung: Bei der elektrochemischen Reaktion in der Brennstoffzelle entsteht Wasserdampf als einziges Nebenprodukt. Das entstehende Kondenswasser wird über einen Abfluss abgeführt. Da keine Verbrennungsgase entstehen, ist die Abgasabführung bei einer Brennstoffzellenheizung nicht erforderlich.

Brennstoffzellenheizungen bieten den Vorteil einer hohen Effizienz, da sie sowohl Wärme als auch Strom erzeugen können. Dies wird als Kraft-Wärme-Kopplung bezeichnet und ermöglicht eine effiziente Nutzung

des eingesetzten Wasserstoffs. Darüber hinaus sind Brennstoffzellenheizungen leise, da sie keine beweglichen Teile haben. Sie tragen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen bei und bieten eine dezentrale Energieversorgungsoption für Gebäude.

Wasserstoff-BHKW

Ein Wasserstoff-BHKW (Blockheizkraftwerk) ist ein System zur dezentralen Energieerzeugung, das Wasserstoff als Brennstoff nutzt, um gleichzeitig Wärme und elektrischen Strom zu erzeugen. Es kombiniert die Vorteile eines Verbrennungsmotors mit einem Generator und einer Wärmerückgewinnungseinheit. Ein Wasserstoff-BHKW bietet den Vorteil einer hohen Energieeffizienz, da es gleichzeitig Wärme und Strom erzeugt. Es kann eine hohe Gesamtnutzung des eingesetzten Wasserstoffs erreichen und dadurch einen Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen leisten. Wasserstoff-BHKW können in Gebäuden, Wohnsiedlungen oder Industrieanlagen eingesetzt werden und bieten eine dezentrale Energieversorgungsoption.

Kälteversorgung

Ein kaltes Wärmenetz, auch bekannt als Kaltwassernetz oder Kältenetz, ist ein Energienetz, das kaltes Wasser oder eine andere kalte Flüssigkeit zur Kühlung und Klimatisierung von Gebäuden verwendet. Im Gegensatz zu herkömmlichen Heizungsnetzen, die warmes Wasser für die Beheizung transportieren, werden bei kalten Wärmenetzen kalte Medien durch das Netzwerk geleitet. Ein kaltes Wärmenetz bietet verschiedene Vorteile, insbesondere im Hinblick auf Energieeffizienz und Umweltfreundlichkeit:

- ▶ Kältenetze nutzen erneuerbare Energien oder Abwärmequellen zur Kälteerzeugung, was zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen führt.
- ▶ Sie ermöglichen eine zentrale Kälteerzeugung und -verteilung, was zu Effizienzsteigerungen im Vergleich zu dezentralen Kühlsystemen führt.
- ▶ Kältenetze bieten Flexibilität bei der Nutzung verschiedener Kälteanwendungen, wie zum Beispiel Klimatisierung von Bürogebäuden, Supermärkten oder Krankenhäusern.
- ▶ Sie können dazu beitragen, die Hitzebelastung in städtischen Gebieten zu reduzieren und das städtische Mikroklima zu verbessern.

3.3.4 Nutzung von industrieller Abwärme

Wie bereits in den vorherigen Kapiteln erörtert, wird in der Hagerer Industrie viel Wärme erzeugt. Die metallverarbeitende Industrie ist ein wichtiger Energieverbraucher und erzeugt erhebliche Mengen an Abwärme während verschiedener Prozesse, darunter Kalt- und Warmwalzprozesse. Diese Abwärme kann technisch genutzt werden, um die Energieeffizienz zu steigern und die Umweltauswirkungen zu reduzieren.

Die technische Nutzung von Abwärme in der metallverarbeitenden Industrie bietet verschiedene Möglichkeiten zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung. Eine Möglichkeit ist die Rückgewinnung von Abwärme durch den Einsatz von Wärmetauschern. Die erfasste Abwärme kann dann zur Vorwärmung des Metalls vor dem Walzen oder zur Beheizung von Gebäuden und Büros verwendet werden. Dies reduziert den Bedarf an extern zugeführter Energie und senkt die Energiekosten. Die Nutzung von Abwärme zur Vorwärmung von Metall oder zur Erwärmung von Prozessmedien kann den Gesamtprozess optimieren und die Produktionskosten senken. Dies trägt zur Effizienzsteigerung der metallverarbeitenden Industrie bei und hilft dabei, den ökologischen Fußabdruck zu verkleinern.

Die technische Nutzung von Abwärme erfordert spezielle Anlagen und Investitionen, ist jedoch eine nachhaltige und ökonomisch sinnvolle Strategie. Viele Unternehmen erkennen den Wert der Abwärmerückgewinnung und setzen entsprechende Maßnahmen um, um Energiekosten zu reduzieren und gleichzeitig die

Umweltbelastung zu minimieren. Die effiziente Nutzung von Abwärme trägt somit nicht nur zur Wirtschaftlichkeit der metallverarbeitenden Industrie bei, sondern auch zur Schonung der Umweltressourcen.

In Abbildung 3-27 sind die potenziellen Abwärmeerzeugungsquellen in Hagen dargestellt. Aus den durchgeführten Interviews mit den Industrieakteuren zeigte sich, dass prinzipiell ein hohes Abwärmepotenzial vorhanden ist, jedoch nicht immer genutzt wird. Einige der Akteure nutzen die Abwärme für eigene Zwecke wie die Beheizung von Sozialräumen. Die exakte Abwärmemenge lässt sich nicht einwandfrei beziffern, jedoch ging aus den Interviews hervor, dass das Potenzial im dreistelligen Gigawattstunden-Bereich liegen dürfte.

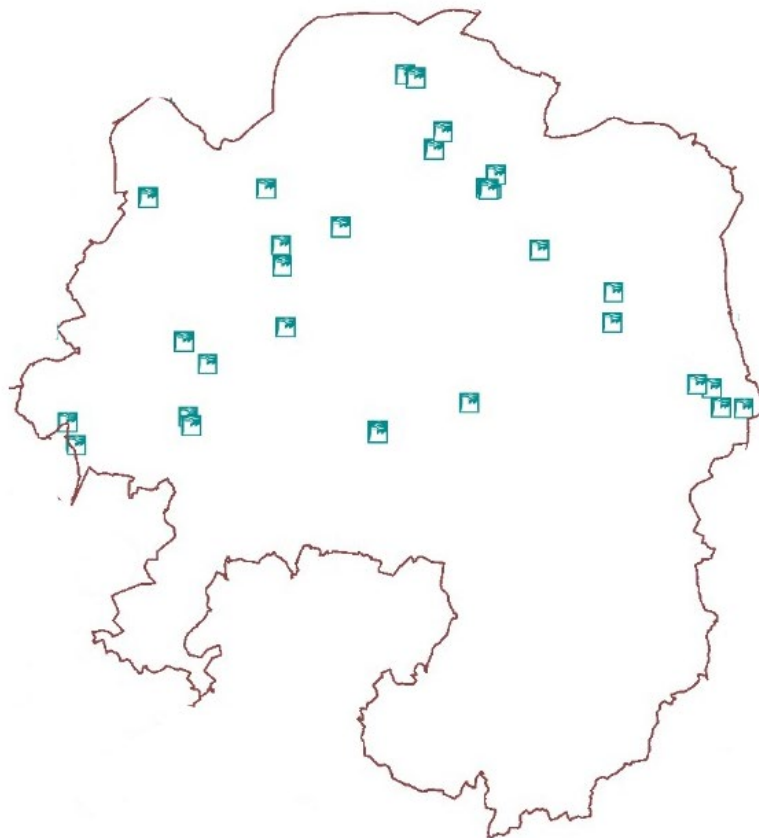


Abbildung 3-27: Abwärmeerzeugungsquellen in Hagen¹³

3.3.5 Sanierungs- und Gebäudebestand

Gebäudebestand in Hagen

In Abbildung 3-29 ist die prozentuale Verteilung der Wohngebäude in Hagen nach Alter dargestellt. Die Bau- altersstruktur des Hagener Gebäudebestandes spiegelt eine breite zeitliche Spanne wider. In Hagen wurden 3,7 Prozent der Gebäude nach dem Jahr 2000 errichtet, was auf eine kontinuierliche städtebauliche Entwicklung hinweist. Zwischen 1980 und 1999 wurden 12 Prozent der Gebäude errichtet, was auf eine Phase stärkerer Bautätigkeit in diesem Zeitraum hinweist.

¹³ Energieatlas Nordrhein-Westfalen, 2023, https://www.energieatlas.nrw.de/site/service/download_daten, zuletzt abgerufen am 12. Dezember 2023.

Die 1970er-Jahre markieren einen weiteren Zeitraum mit 15 Prozent der Gebäude, die zwischen 1970 und 1979 gebaut wurden. Dies ist eine Fortsetzung des Trends aus den 1960er-Jahren, wobei 21 Prozent der Gebäude zwischen 1960 und 1969 errichtet wurden.

Ein bedeutender Teil des Gebäudebestandes in Hagen, nämlich 22 Prozent, stammt aus den 1950er-Jahren, was auf eine intensive Bauphase in der Nachkriegszeit hinweist. Es ist jedoch interessant, festzustellen, dass ein großer Anteil, nämlich 27 Prozent, bereits vor 1950 erbaut wurde, was auf eine historische und gewachsene Struktur in der Stadt hinweist.

In Abbildung 3-32 ist die Anzahl der Wohnungen pro Gebäude dargestellt. Bei 43,2 Prozent der Gebäude handelt es sich um Einfamilienhäuser, in denen nur eine Wohnung untergebracht ist. Dies spiegelt die Präsenz von Einfamilienhäusern in der städtischen Landschaft wider. In 16,2 Prozent der Gebäude befinden sich zwei Wohnungen, was auf eine gewisse Anzahl von Doppelhaushälften oder kleineren Mehrfamilienhäusern hinweist. Dies trägt zur Vielfalt des Wohnungsangebots bei. Ein weiterer signifikanter Anteil von 26,5 Prozent umfasst Gebäude, in denen sich drei bis sechs Wohnungen befinden. Dies deutet auf die Existenz von Mehrfamilienhäusern und Wohnkomplexen in der Stadt hin. In 12,2 Prozent der Gebäude sind sieben bis zwölf Wohnungen untergebracht, was auf größere Wohngebäude oder Apartmentkomplexe hinweist. Dies trägt zur Bereitstellung von Wohnraum für verschiedene Bedürfnisse in der Stadt bei. Schließlich machen Gebäude mit 13 oder mehr Wohnungen einen Anteil von 1,9 Prozent aus. Dies sind in der Regel größere Apartmenthäuser oder Wohnanlagen, die eine höhere Anzahl von Mietwohnungen in einem Gebäude zusammenfassen.

Gebäudebestand in Hagen in Prozent

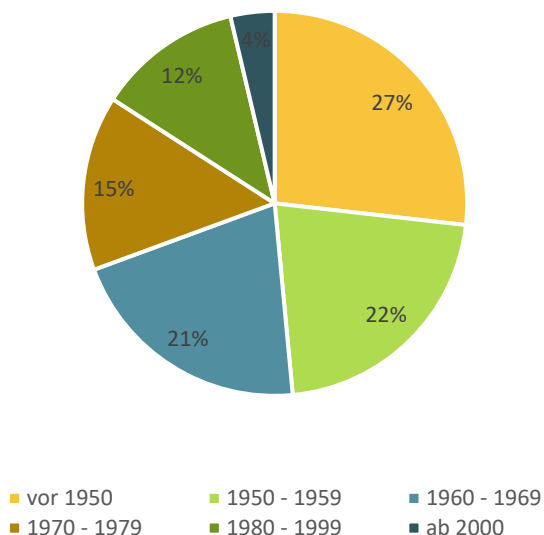


Abbildung 3-28: Gebäudebestand in Hagen in %¹⁴

Anzahl der Wohnungen pro Gebäude

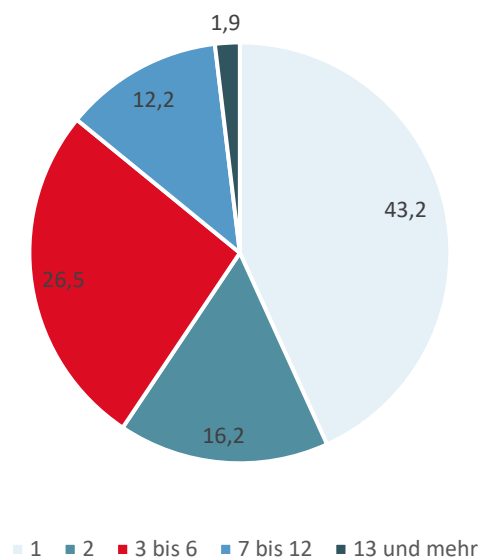


Abbildung 3-29: Anzahl der Wohnungen pro Gebäude in %

Wenn man die Baualterstruktur der Wohnbezirke in Hagen betrachtet, fällt auf, dass sich hier ein Unterschied zu vielen anderen Städten zeigt. Anders als in vielen Städten, gibt es in Hagen keinen deutlichen Rückgang des Anteils der Gebäudebestände aus der Vorkriegszeit mit zunehmender Entfernung vom

¹⁴ Datengrundlage: Institut für Raumforschung & Immobilienwirtschaft, Wohnungsmarktstudie Hagen Abschlussbericht, https://www.hagen.de/web/media/files/fb/fb_60/wohnen/Abschlussbericht_Hagen.pdf.

Stadtzentrum. Tatsächlich verfügen die Wohnbezirke im Süden der Stadt in der Regel über einen höheren Anteil an Altbaubeständen im Vergleich zu den nördlichen Bezirken.

Der höchste Anteil an Wohnungsbeständen, die vor 1948 erbaut wurden, ist in Wehringhausen-West zu finden, wobei dieser Anteil knapp 60 % beträgt. Weitere Wohnbezirke mit einem Anteil solcher Wohnbestände von über 50 % sind Wehringhausen-Ost, die Zentren von Haspe und Hohenlimburg sowie Delstern und Oege/Nahmer. Im zentralen Innenstadtbezirk Zentrum liegt der Prozentsatz dieser Baualtersklasse dagegen nur bei 11,4 %. Geringere Anteile sind lediglich in den Wohnbezirken Westerbauer-Nord, Henkhausen-Reh und Fley-Helfe zu finden.

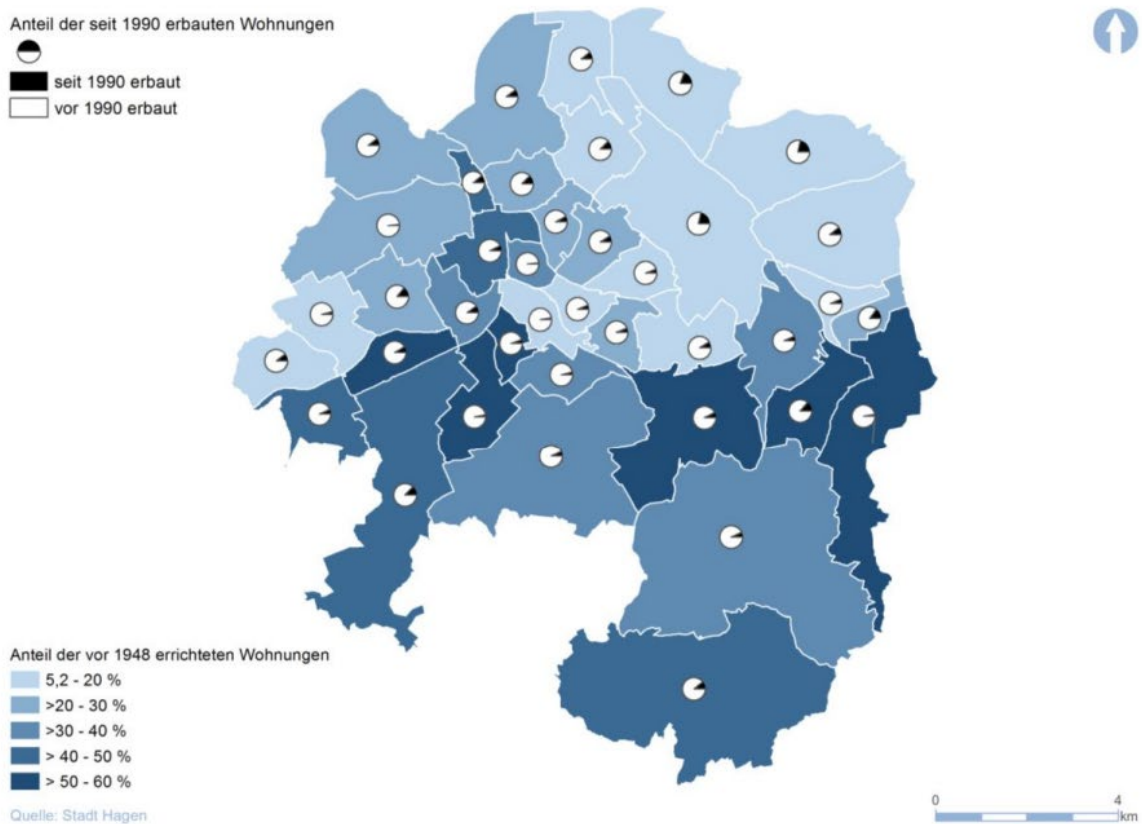
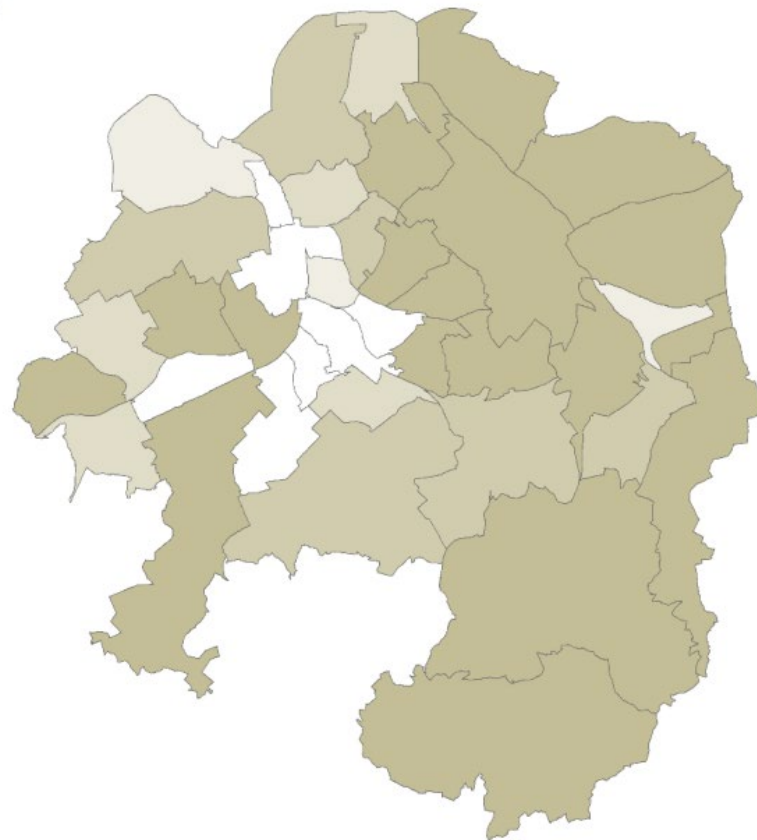
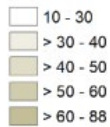


Abbildung 3-30: Anteil der vor 1948 und nach 1990 erbauten Wohnungen in Hagen in %¹⁵

In den innerstädtischen und innenstadtnahen Wohnbezirken von Hagen ist der Anteil von Ein- und Zweifamilienhäusern erwartungsgemäß geringer im Vergleich zu den eher randstädtisch gelegenen Wohnbezirken. Die Wohnbezirke wie Zentrum, Remberg, Wehringhausen, Altenhagen und Eckesey zeichnen sich durch eine geschlossene Blockrandbebauung mit Mehrfamilienhäusern aus. Gleiches gilt für Haspe-Zentrum und bestimmte Teilbereiche von Elsey-Nord. Daher liegt der Anteil von Ein- und Zweifamilienhäusern in diesen Bezirken deutlich unter dem Durchschnitt.

¹⁵ Institut für Raumforschung & Immobilienwirtschaft, Wohnungsmarktstudie Hagen Abschlussbericht, https://www.hagen.de/web/media/files/fb/fb_60/wohnen/Abschlussbericht_Hagen.pdf.

Anteil EFH & ZFH 2014 (%)



Quellen: Stadt Hagen



Abbildung 3-31: Anteil der Ein- und Zweifamilienhäuser zum Stand 2014 in %¹⁶

Modernisierungspotenzial

In Hagen offenbart sich ein hohes Modernisierungspotenzial, wie aus den Daten des Energieatlas NRW und einer Analyse hervorgeht. Mithilfe eines MatLab-Skripts wurde das technische Modernisierungspotenzial ermittelt. Etwa 30 % der Gebäude in Hagen zeichnen sich durch ein deutlich überdurchschnittliches Sanierungspotenzial aus, was bedeutet, dass erheblicher Raum für energetische Verbesserungen besteht. Weitere 28 % der Gebäude weisen immerhin noch ein durchschnittliches Modernisierungspotenzial auf, was darauf hindeutet, dass auch hier sinnvolle Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz ergriffen werden können.

Interessanterweise zeigt sich, dass bei etwa 37 % der Gebäude das Modernisierungspotenzial als maximal unterdurchschnittlich eingestuft wird. Das könnte darauf hinweisen, dass diese Gebäude bereits vergleichsweise modern und effizient sind und weniger Raum für Verbesserungen bieten.

Es ist jedoch wichtig, zu beachten, dass die Ergebnisse des MatLab-Skripts kumuliert nicht auf 100 % kommen. Dies liegt daran, dass die Datenerfassungsgrenze des Skripts bei 95 % liegt, was bedeutet, dass für einige Gebäude keine genauen Modernisierungseinschätzungen vorliegen.

Besonders interessant ist die Erkenntnis, dass die Gebiete in Hagen mit einem besonders alten Gebäudebestand das höchste Modernisierungspotenzial aufweisen. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit und Chancen

¹⁶ Institut für Raumforschung & Immobilienwirtschaft, Wohnungsmarktstudie Hagen Abschlussbericht, https://www.hagen.de/web/media/files/fb/fb_60/wohnen/Abschlussbericht_Hagen.pdf.

für Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen, die nicht nur zur Verbesserung der Energieeffizienz beitragen, sondern auch das städtische Erscheinungsbild positiv beeinflussen können. Die Stadt Hagen und ihre Bürger haben somit die Gelegenheit, durch gezielte Sanierungsmaßnahmen einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten und gleichzeitig die Lebensqualität in der Stadt zu steigern.

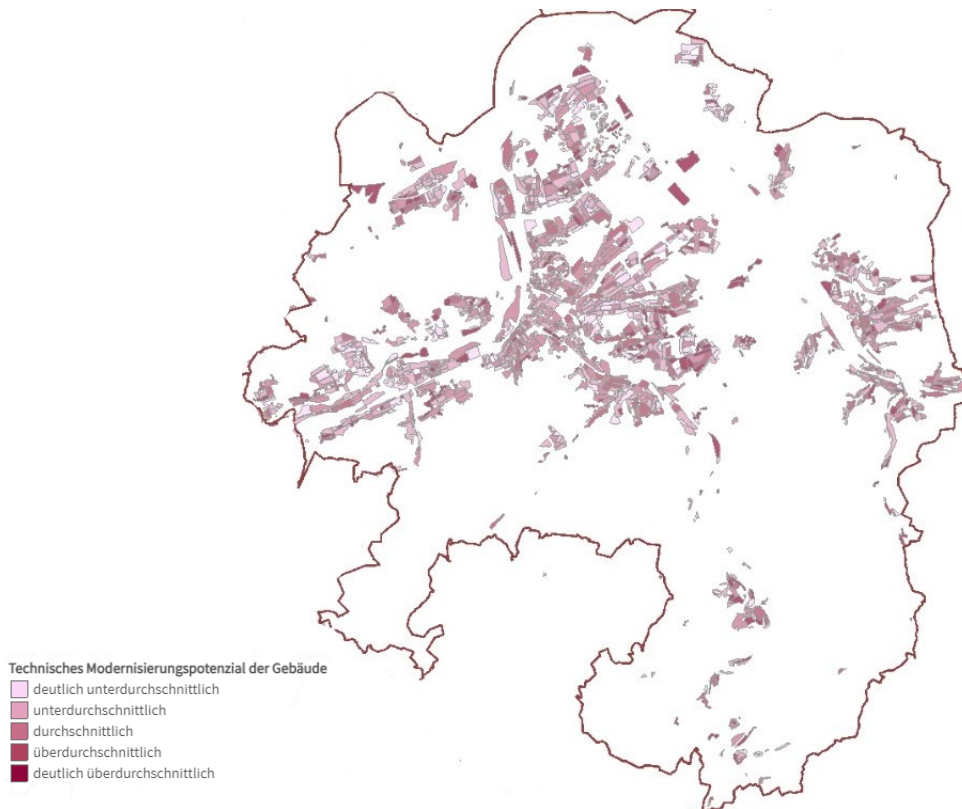


Abbildung 3-32: Technisches Modernisierungspotenzial für Hagen¹⁷

3.3.6 Handlungsempfehlungen

1 Machbarkeitsstudie und Überprüfung des bestehenden Erdgasnetzes

Durchführung einer umfassenden Machbarkeitsstudie, die nicht nur die Eignung von Wasserstoff als Energiequelle für die Wärmeversorgung in Hagen bewertet, sondern auch eine gründliche Untersuchung des aktuellen Erdgasleitungsnetzes einschließt. Ziel ist es, zu prüfen, ob das bestehende Erdgasnetz für den Wasserstofftransport oder für die Beimischung von Wasserstoff in relevanter Größenordnung geeignet ist oder mit geringem Aufwand für den Wasserstoffbetrieb ertüchtigt werden kann.

2 Dekarbonisierung des Fernwärmenetzes

Untersuchung der Möglichkeit der Diversifizierung und Dekarbonisierung des Fernwärmenetzes. Neben Wasserstoff könnten auch andere erneuerbare Quellen wie Erdwärme in Betracht gezogen werden. Das derzeit laufende Projekt in Kooperation mit dem Fraunhofer Umsicht zeigt hier bereits erstes Engagement.

3 Kommunale Wärmeplanung

In Hagen ist es von entscheidender Bedeutung, eine umfassende kommunale Wärmeplanung zu initiieren, um die langfristige Ausrichtung der Wärmeversorgung der Stadt sicherzustellen. Diese Planung umfasst die Analyse des Wärmebedarfs in verschiedenen Sektoren, die Identifizierung von Potenzialen für erneuerbare

¹⁷ Energieatlas Nordrhein-Westfalen, 2023, https://www.energieatlas.nrw.de/site/service/download_daten, zuletzt abgerufen am 12. Dezember 2023.

Energien, die Entwicklung einer klaren Dekarbonisierungsstrategie und die Planung der erforderlichen Netzinfrastruktur. Die Einbindung der Bürger, die Identifizierung von Fördermöglichkeiten und ein Monitoring- und Anpassungssystem sind ebenfalls entscheidende Elemente. Diese kommunale Wärmeplanung schafft die Grundlage für nachhaltige Wärmeversorgungslösungen und die Integration erneuerbarer Energien in Hagen.

4 Bereitstellung von Geodaten

Angesichts der Komplexität der Wärmeversorgung einer ganzen Stadt ist die Bereitstellung von hochwertigen Geodaten von entscheidender Bedeutung. Die Stadt Hagen sollte im Rahmen der Machbarkeitsstudie und der kommunalen Wärmeplanung neue, detaillierte Geodaten erheben und verwalten. Diese Daten umfassen Informationen zu infrastrukturellen Ressourcen, Standorten für erneuerbare Energien, bestehenden Leitungsnetzen und Potenzialen für die Wärmeversorgung. Die Erhebung und Verwaltung dieser Daten ermöglichen eine fundierte Entscheidungsfindung und Planung. Zudem sollten die Daten öffentlich geteilt werden, um die Transparenz zu erhöhen und eine breite Beteiligung von Bürgern und Interessengruppen zu ermöglichen.

5 Nutzung von Fördermöglichkeiten

Die Stadt Hagen sollte aktiv die Verfügbarkeit von Förderprogrammen und -mitteln für die Umsetzung der Wärmeplanung und die Dekarbonisierung des Wärmenetzes nutzen. Insbesondere nationale Programme wie die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) sollten identifiziert und in die Planung einbezogen werden. Auch die direkte Förderung von verschiedenen Heiztechnologien sollte verstärkt genutzt werden.

6 Nutzung von industrieller Abwärme

Die metallverarbeitenden Unternehmen in Hagen bergen ein erhebliches, bislang ungenutztes Potenzial für industrielle Abwärme, das im dreistelligen GWh-Bereich liegt. Diese Ressource kann einen Beitrag zur nachhaltigen Wärmeversorgung der Stadt leisten. Angesichts der zukünftigen Trends, in denen Industrieakteure vermehrt auf Wasserstoff und grünen Strom für die Prozesswärme umsteigen, bietet die Integration von industrieller Abwärme eine zusätzliche Möglichkeit zur Steigerung der Wärmeversorgungseffizienz und Reduzierung von CO₂-Emissionen. Um dieses Potenzial zu erschließen, ist ein intensiver Austausch mit den Industrieakteuren erforderlich, um die tatsächliche technische Nutzbarkeit zu prüfen und die notwendigen Schritte zur Einbindung in die zukünftige Wärmeplanung zu ermitteln. Der Stadt Hagen wird empfohlen, die Kooperation mit den Industrieunternehmen zu suchen, um die Nutzung von industrieller Abwärme als integralen Bestandteil der künftigen Wärmeversorgungsstrategie zu evaluieren und umzusetzen. Dies kann die Effizienz und Nachhaltigkeit der Wärmeversorgung erheblich steigern.

3.4 Wasserstoffbeschaffung

Die Versorgung der Wasserstoffbedarfe in der Region Hagen kann über zwei Wege erfolgen: einerseits über die Produktion von Wasserstoff in der Region und andererseits über den Import von Wasserstoff. Welche Versorgungswege aber sind für die Region Hagen vielversprechend? Die vorhandenen Potenziale und Ansätze in Hagen werden für beide Optionen in den folgenden Abschnitten erläutert. Der Betrachtungsfokus liegt vor allem auf der regionalen Wasserstoffproduktion, da die regionalen Akteure auf diese Wasserstoffbezugsoption den größten Einfluss nehmen können und gleichzeitig die Zeitschiene der übergeordneten Importinfrastrukturen in Teilen noch ungewiss ist.

3.4.1 Wasserstofferzeugung

Die Erzeugung von Wasserstoff kann über verschiedene Umwandlungsverfahren und aus einer Vielzahl von Rohstoffen erfolgen. Die unterschiedlichen Herstellungspfade sind in Abbildung 3-33 dargestellt. Die Einfärbung der Pfade in grün, blau, grau und türkis entspricht der Farbzuteilung aus der Nationalen Wasserstoffstrategie¹⁸ und hat keine weiterführende Relevanz – dieser Aspekt wird im weiteren Verlauf noch einmal aufgegriffen. Insbesondere in der Industrie gibt es seit Jahrzehnten etablierte Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff.

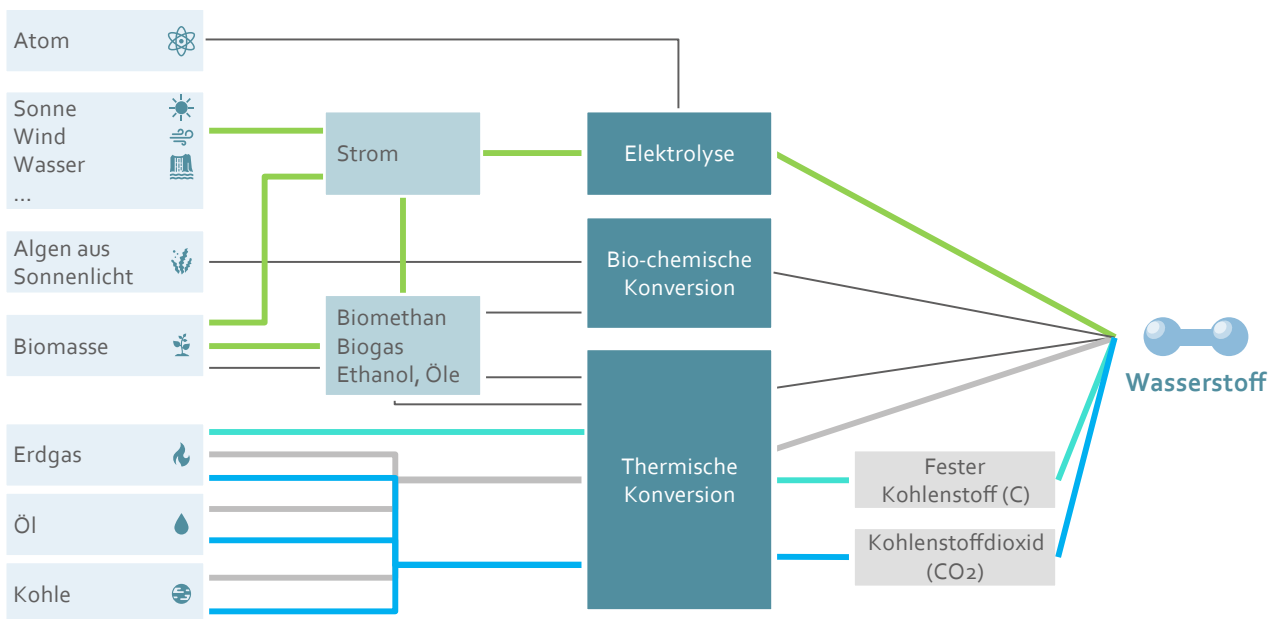


Abbildung 3-33: Wasserstofferzeugungspfade

Dazu zählt allen voran die Dampfreformierung, bei der Erdgas – also fossiles Methan (CH₄) – in die Moleküle Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasserstoff (H₂) aufgespalten wird. Durch dieses Verfahren werden global gegenwärtig ca. 2.280 TWh Wasserstoff erzeugt, fast 60 % der jährlichen Produktionsmenge weltweit. Weitere Einsatzstoffe sind andere Kohlenwasserstoffe wie Erdöl oder Kohle. Um den Ausstoß an CO₂ zu verringern, kann der Herstellungspfad angepasst werden. In den Verfahren Carbon Capture and Storage (CCS) bzw. Carbon Capture and Utilization (CCU) wird das entstehende Kohlenstoffdioxid aufgefangen und im Anschluss entweder eingespeichert, bspw. in unterirdische geologische Speicher, oder einem sonstigen Nutzen zugeführt, bspw. in der Harnstoffproduktion oder Getränkeindustrie. Bei beiden Herstellungswegen

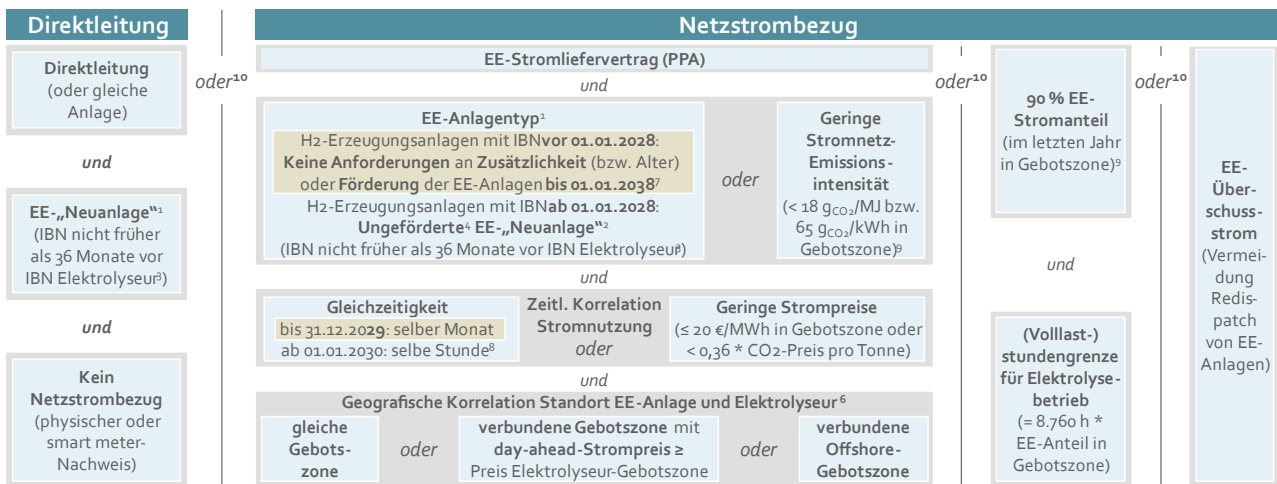
¹⁸ Nationale Wasserstoffstrategie, die Bundesregierung, 2020, https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energie-wende-und-nachhaltiges-wirtschaften/nationale-wasserstoffstrategie/nationale-wasserstoffstrategie_node.html, zuletzt abgerufen am 12. Dezember 2023.

spricht man von „blauem Wasserstoff“. Das Pyrolyse-Verfahren spaltet fossile Energieträger unter Abwesenheit von Sauerstoff, sodass sich Kohlenstoffmoleküle nicht mit Sauerstoffmolekülen zu Kohlenstoffdioxid verbinden können. Dieser Wasserstoff wird gemeinhin als „türkiser Wasserstoff“ bezeichnet. Alle beschriebenen Herstellungspfade verbindet jedoch, dass als Input fossile Rohstoffe eingesetzt werden. Im Sinne einer regenerativen und umweltfreundlichen Energieerzeugung können auch Biomasse-basierte Rohstoffe wie Biomethan eingesetzt werden.

Ebenfalls in industriellem Maßstab erprobt ist die Chloralkali-Elektrolyse, bei der Natriumchlorid (NaCl) und Wasser eingesetzt werden, um wichtige chemische Grundstoffe wie Chlor (Cl), Natronlauge (NaOH) und Wasserstoff herzustellen. Neben der Chloralkali-Elektrolyse gibt es weitere Elektrolysetechnologien, die insbesondere im Rahmen der großen Wasserstofferzeugungskapazitäten für die zukünftige Bereitstellung in Industrie und Verkehr zunehmend zum Einsatz kommen werden. Das gilt beispielsweise für die Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse, kurz PEM-Elektrolyse. Bei diesem Verfahren gibt es, anders als bei der Chloralkali-Elektrolyse, keine flüssigen Elektrolyte, sondern eine feste Membran. Darüber wird Wasser (H₂O) in Wasserstoff und Sauerstoff (O₂) aufgespalten. Bei dem Elektrolyseverfahren entstehen also keine unmittelbaren Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen). Da das Elektrolyseverfahren jedoch endotherm abläuft und auf die Zufuhr von externer Energie angewiesen ist, muss elektrische Energie zugeführt werden. Pro Kilogramm erzeugtem Wasserstoff sind es ca. 55 kWh Strom. Damit das Elektrolyseverfahren auch in der Gesamtbilanz THG-neutral bleibt, muss der zugeführte Strom klimaneutral produziert werden. Ist dies der Fall, wird umgangssprachlich von „grünem Wasserstoff“ gesprochen.

Wie eingangs beschrieben, hat die Farbeinteilung der unterschiedlichen Wasserstoffherstellungspfade keine Rechtsbindung und wird je nach Nachschlagewerk, Land etc. unterschiedlich ausgelegt. Die EU-Kommission hat im Jahr 2023 daher erstmals eine Harmonisierung für den Begriff des „erneuerbaren Wasserstoffs“ vorgenommen, um EU-weite Standards vor allem für die Förderung von Wasserstofftechnologien einzuführen. Die Harmonisierung erfolgte im Rahmen der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (kurz: RED II) als Vorgabe für die Erzeugung von erneuerbaren Kraftstoffen nicht-biogenen Ursprungs. Sie umfasst also lediglich Wasserstoff, der über Strom aus Wind, PV und Wasser produziert wird, und klammert zunächst Biomasse-basierten Wasserstoff aus. Zudem sind in der relevanten delegierten Verordnung zusätzliche Anforderungen an die Stromzufuhr für den Elektrolyseur definiert worden.¹⁹ Diese sind in Abbildung 3-34 zusammenfassend dargestellt. Nach dieser Definition kann Strom zur Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff nicht-biogenen Ursprungs sowohl über eine Direktleitung zwischen Elektrolyse und Stromerzeugungsanlage als auch über Netzstrombezug genutzt werden. In beiden Fällen muss zudem ein direkter Stromliefervertrag zwischen dem Betreiber der Stromerzeugungsanlage(n) und dem Elektrolysebetreiber geschlossen werden (Ausnahmen bilden die rechts abgebildeten und aktuell nicht (wirtschaftlich) gangbaren Wege, in denen das Stromnetz einen EE-Anteil von über 90 % aufweist oder nur Überschussstrom genutzt wird). Zudem gelten weitere Anforderungen, bspw. an die Zeitspanne zwischen der Inbetriebnahme von EE-Anlage und Elektrolyse. Nähere Informationen finden sich in Abschnitt 3.4. Wichtig ist der Hinweis, dass die Vorgaben der Verordnung bei der Produktion von Wasserstoff nicht zwangsläufig eingehalten werden müssen. Nach wie vor kann Wasserstoff über jeden Pfad hergestellt und eingesetzt werden. Die Vorgaben haben jedoch Auswirkungen auf regulatorische Mechanismen, unter anderem auf die Anrechenbarkeit von THG-Minderungsquoten von Kraftstoffinverkehrbringern, und Förderungen. So werden für die Errichtung von Wasserstofftankstellen nur Zuschüsse gewährt, wenn über die gesamte Lebensdauer der Tankstelle erneuerbarer Wasserstoff nach Vorgabe aus der Verordnung der EU-Kommission bereitgestellt wird.

¹⁹ Delegierte Verordnung 2023/1184 [...] zur Festlegung einer Unionsmethode mit detaillierten Vorschriften für die Erzeugung flüssiger oder gasförmiger erneuerbarer Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs für den Verkehr, Europäische Kommission, 2023.



IBN: Inbetriebnahme, ¹ Stromerzeugungsanlagen, die Biomasse nutzen sind ausgeschlossen, ² nach Ende eines PPAs mit einer H₂-Erzeugungsanlage erhalten Stromerzeugungsanlagen das IBN -Datum der H₂-Erzeugungsanlage, mit dem ein neuer PPA abgeschlossen wird, ³ Erweiterungen von H₂-Erzeugungsanlagen innerhalb der ersten 36 Monate nach IBN erhalten das ursprüngliche IBN -Datum, ⁴ ausgenommen sind u. a. zurückgezählte Förderungen und Förderungen vor einem Repowering, ⁵ EU-Mitgliedsstaaten können strengere Anforderungen erlassen, ⁷ gilt nicht für Kapazitäten, die ab dem 1.1.2028 hinzugebaut werden, ⁸ Zwischenspeicherung in neuer Anlage erlaubt; Mitgliedsstaaten können Anforderung der stündlichen Gleichzeitigkeit bereits ab 01.07.2027 festlegen, ⁹ Sofern Wert in einem Kalenderjahr erreicht wird, wird unterstellt, dass dies auch die folgenden 5 Kalenderjahre der Fall ist. ¹⁰ die vertikalen Pfade können beliebig miteinander kombiniert werden.

Abbildung 3-34: Anforderungen an die Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff nicht-biogenen Ursprungs nach EU-Definition

Um, ergänzend zu nicht-biogenem Wasserstoff, auch biogenem Wasserstoff die Anrechenbarkeit auf die THG-Minderungsquote und die Förderung in bestimmten Konstellationen zu ermöglichen, hat Deutschland im Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) einen entsprechenden Paragraphen eingeführt (siehe Abschnitt 3.4). Die genaue Ausgestaltung des Mechanismus befindet sich im Zuge der Novellierung der 37. Bundesimmissionsschutzverordnung jedoch noch im Gesetzgebungsverfahren.

Abgesehen von den regulatorischen Vorgaben bei der Konzeptionierung einer Elektrolyseanlage sind weitere Aspekte für einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage zu berücksichtigen. In Abbildung 3-35 sind beispielhaft die Erzeugungskosten für ein Kilogramm Wasserstoff dargestellt.

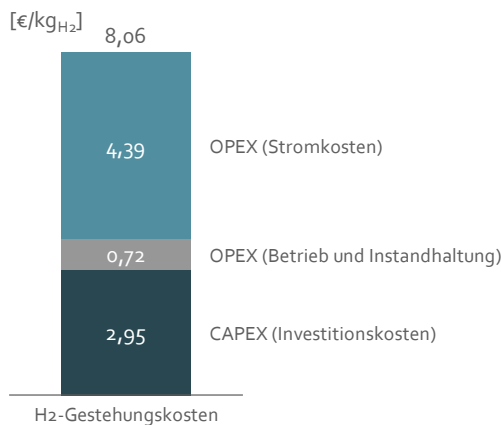


Abbildung 3-35: Beispielhafte Wasserstoffgestehungskosten bei Erzeugung via Elektrolyse²⁰

²⁰ Annahmen zu H₂-Gestehungskosten: 5-MW-Elektrolyseur (Auslastung: 4.000 Volllaststunden, Strombezugskosten: 8 ct/kWh (EEX Phelix DE Futures: Base-Produkt, gehandelte Futures am Terminmarkt (Abrufdatum: 21.07.2023)), keine Entrichtung von Abgaben + Umlagen, Systemwirkungsgrad: 60 % (≅ 55 kWh_{el}/kgH₂), Systemkosten Elektrolyse (inkl. Ingenieursdienstleistungen und Genehmigungskosten): 1.750 €/kW, Investitionskostenförderung: keine.

Die Gesamtkosten belaufen sich in diesem Beispiel auf ca. 8 € pro Kilogramm, wobei 2,95 €/kg_{H₂} auf die (auf ein Kilogramm Wasserstoff umgelegten) Investitionskosten entfallen, 0,72 €/kg_{H₂} auf die Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie 4,39 €/kg_{H₂} auf die Betriebskosten, die durch den Einkauf des Stroms anfallen. Der Strombezugspreis hat einen wesentlichen Einfluss auf die Gestehungskosten, weshalb die Strombeschaffung bei der Planung eines Elektrolysekonzepts von zentraler Bedeutung ist. Abbildung 3-36 zeigt, dass die Kosten je Kilogramm Wasserstoff mit jedem Cent, den die Kilowattstunde (kWh) Strom mehr kostet, um ca. 55 Cent steigen.

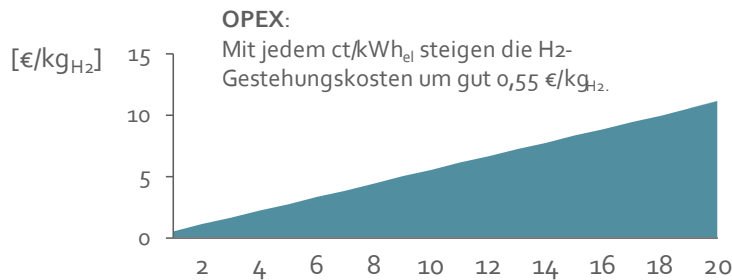


Abbildung 3-36: Einfluss der Stromkosten auf die Wasserstoffkosten

Aus diesem Grund ist zum Beispiel abzuwägen, ob die Stromzufuhr für einen Elektrolyseur über das Netz der öffentlichen Versorgung erfolgen sollte. Durch die dann anfallenden Abgaben und Umlagen (Netzentgelte, Stromsteuer, netzentgeltgekoppelte Abgaben) können die Stromkosten um mehr als 3 € pro Kilogramm steigen (Abbildung 3-37)²¹.

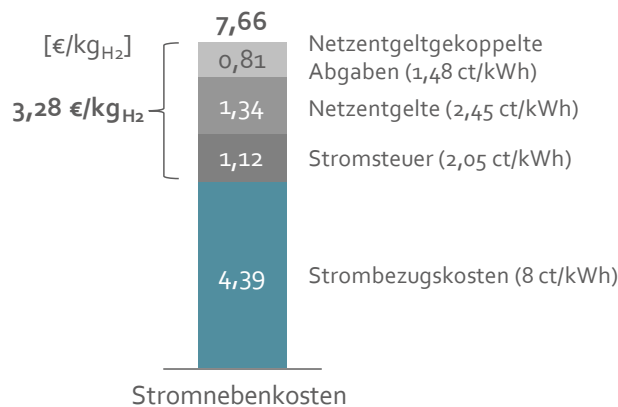


Abbildung 3-37: Einfluss der Stromnebenkosten bei Netzstrombezug auf die Wasserstoffkosten

Gleichzeitig birgt ein Konzept, dass nur auf einer Direktleitung zwischen Elektrolyse und Stromerzeugungsanlage beruht, das Risiko, dass die Auslastung der Elektrolyse zu gering ausfällt. Dies hat Auswirkungen auf den zweiten wesentlichen Kostenparameter, die Investitionskosten (CAPEX). In Abbildung 3-38 sind die anteiligen CAPEX-Kosten in Abhängigkeit von den Volllaststunden der Elektrolyse dargestellt. Je weniger Volllaststunden die Elektrolyse aufweist, desto höher fallen die anteiligen CAPEX-Kosten je Kilogramm Wasserstoff aus. Eine Auslastung des Elektrolyseurs von mindestens 3.000 bis 4.000 Volllaststunden sollte daher gewährleistet werden, ist jedoch angesichts der volatilen Stromerzeugung von Windkraft- und PV-Anlagen ein nicht zu vernachlässigender Aspekt.

²¹ Es gelten Ausnahmetatbestände: So sind bspw. Elektrolyseure, die vor dem 04.08.2026 installiert werden, von Netzentgelten befreit (§ 118 EnWG).

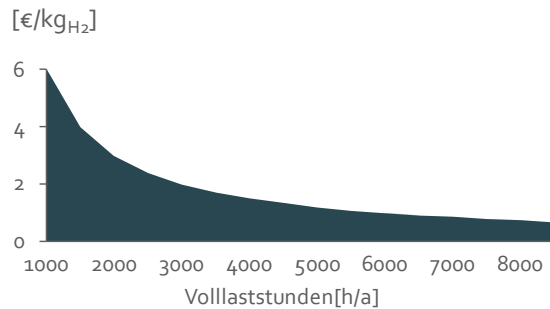


Abbildung 3-38: Einfluss der Auslastung des Elektrolyseurs auf die Wasserstoffkosten

Installiert man beispielsweise einen Elektrolyseur mit gleicher Leistung wie eine PV-Anlage (Verhältnis 1:1), dann erreicht man lediglich ca. 1.000 Volllaststunden in der Elektrolyse (siehe Abbildung 3-39). Da eine Windkraftanlage über höhere Volllaststunden verfügt, lassen sich bei einer leistungsgleichen Auslegung der Elektrolyse schon fast 3.000 Volllaststunden erreichen. Um die Volllaststunden in Bereiche zu heben, die einen wirtschaftlichen Betrieb einer Elektrolyse ermöglichen, empfiehlt sich jedoch ein Konzept, in dem die Elektrolyse weniger Leistung aufweist als die Stromerzeugungsanlagen. Hat die Elektrolyse bspw. nur ein Drittel der Leistung der verbundenen Windkraftanlagen, sind über 5.000 Volllaststunden erreichbar. Eine Erkenntnis ist allerdings auch, dass die Erreichung von Volllaststunden jenseits der 3.000 oder 4.000 Stunden allein mit PV-Anlagen nur möglich ist, wenn die Leistung der Elektrolyse um mehr als das Zehnfache geringer ausfällt.

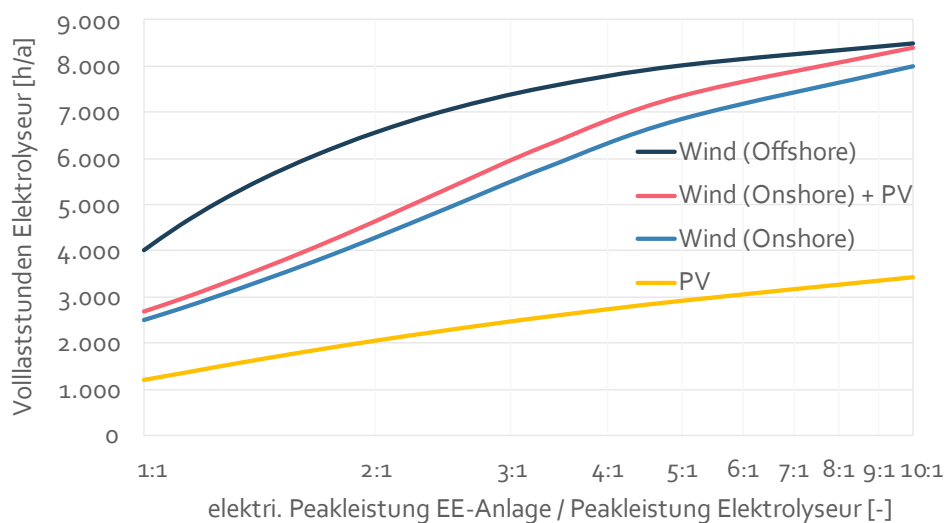


Abbildung 3-39: Auslastung einer Elektrolyse in Abhängigkeit von dem Leistungsverhältnis zwischen Elektrolyse und Stromerzeugungsanlage

Auf der anderen Seite bieten Stromquellen mit einem konstanten Erzeugungsband, z. B. Müllheizkraftwerke, große ökonomische Vorteile für den Betrieb von Elektrolyseuren, da konstant hohe Volllaststunden erzielt werden können.

Wasserstoffherzeugungspotenzial aus EE-Anlagen

Die Region Hagen ist, wie eingangs beschrieben, nicht auf eine lokale Stromerzeugung für potenzielle Elektrolyseanlagen angewiesen. In der Theorie kann der Strom über das Netz bezogen werden, soweit die Vorgaben der europäischen Verordnung eingehalten werden. Im Sinne der regionalen Wertschöpfung und einer regionalen Versorgungssicherheit sollte auch das regionale Potenzial zur Wasserstoffherzeugung analysiert werden.

In der Region Hagen sind im Jahr 2023 etwas mehr als 15 Megawatt (MW) elektrischer Leistung aus Windkraftanlagen (WEA) und Photovoltaikanlagen (PV) installiert, wobei ca. 9 MW auf Windkraft und ca. 6 MW auf PV-Anlagen entfallen. Im Marktstammdatenregister wird darüber hinaus das Heizkraftwerk Hagen als Biomassekraftwerk mit einer Leistung von knapp 20 MW geführt. Aus diesen Strompotenzialen werden die jährlichen Wasserstofferzeugungspotenziale bis 2050 abgeleitet. Die theoretische Potenzialanalyse unterliegt verschiedenen Annahmen, die im Anhang einzusehen sind. Die Analyse berücksichtigt bspw., dass nur ein Teil des erzeugten Stroms zur Wasserstofferzeugung eingesetzt und der Rest anderen Nutzungen zugeführt wird. Weiterhin werden z. B. bestehende Wind- und PV-Anlagen in ihren Spezifika darin unterschieden, ob sie eine Lebensdauer von 20 Jahren überschritten haben. Zum einen sinkt nach 20 Jahren die Verlässlichkeit der Anlagen (so sie denn weiterbetrieben werden), da die Abschreibungsdauer abgelaufen ist, und zum anderen entfällt der Anspruch auf Vergütung über das EEG²² („ausgeförderte“ Anlagen). Diese Anlagen weisen in der Analyse u. a. einen geringeren Restwirkungsgrad auf, haben eine begrenzte Restlebensdauer und alte Windkraftanlagen erzielen aufgrund des Alters geringere Volllaststunden pro Jahr²³. Um einen Ausblick auf die zukünftigen Wasserstofferzeugungspotenziale aus regionalen EE-Erzeugungsanlagen zu ermöglichen, wird ein Ausbaupfad für die zukünftig installierten Kapazitäten aus Wind-, PV- und Biomasse-Anlagen ermittelt. Dieser orientiert sich an den Zubauzielen des Klimaschutzgesetzes und baut auf den im Jahr 2023 installierten Kapazitäten auf. Zur Einordnung: In der Region Hagen stehen im Jahr 2023 0,02 % der Windkraft- und 0,03 % der PV-Anlagen-Kapazitäten, die in ganz Deutschland installiert sind. Die Ergebnisse der Potenzialanalyse sind in Abbildung 3-40 dargestellt. Das Wasserstofferzeugungspotenzial aus EE-Anlagen in Hagen beläuft sich auf 321 Tonnen im Jahr 2023. Bis 2040 steigt das Erzeugungspotenzial durch den angenommenen kontinuierlichen Zubau neuer EE-Anlagen-Kapazitäten auf ca. 500 Tonnen Wasserstoff pro Jahr, danach bleibt dieser Wert ungefähr konstant. Unter der Annahme, dass ein Bus pro Jahr ca. 5 Tonnen Wasserstoff benötigt, reichen die Wasserstofferzeugungspotenziale der Region Hagen aus, um eine mittelgroße Flotte von schweren (Nutz-)Fahrzeugen zu betreiben²⁴.

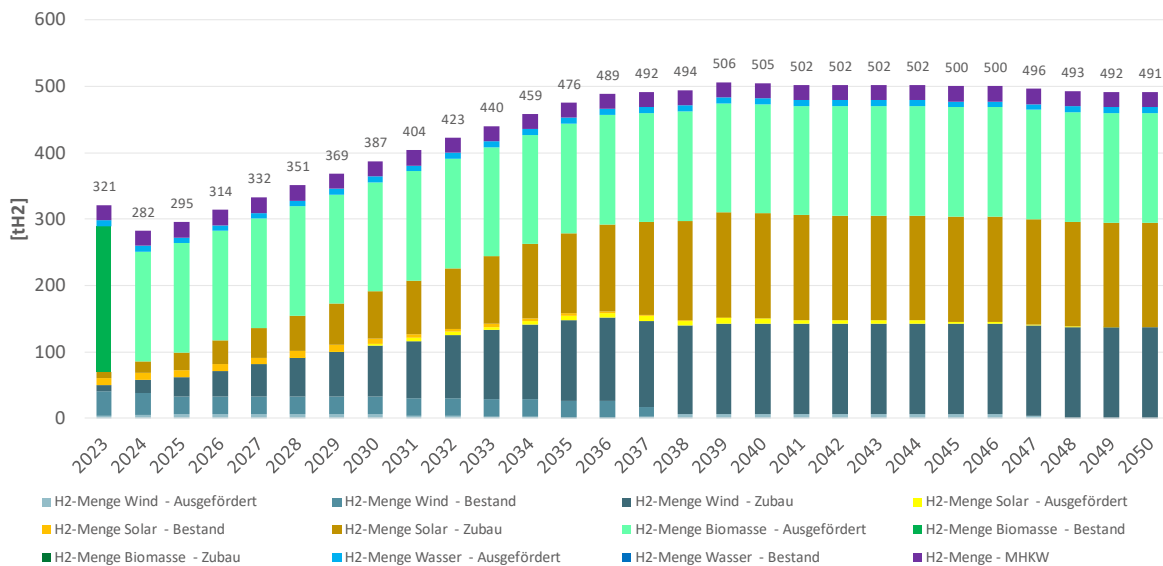


Abbildung 3-40: Wasserstofferzeugungspotenzial über Elektrolyse aus regionalen EE-Anlagen

²² Erneuerbare-Energien-Gesetz.

²³ Volllaststunden beschreibt die Anzahl der Stunden im Jahr, in denen die Anlage unter Volllast Energie produziert.

²⁴ Annahmen: Fahrleistung: 54.900 km/a; Verbrauch: 9,00 kgH₂/100 km.

In Abbildung 3-41 sind die theoretischen Wasserstoffherzeugungspotenziale aufgeführt, die unter Berücksichtigung der delegierten Verordnung für die Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff aus nicht-biogenen Quellen erzeugt werden können.

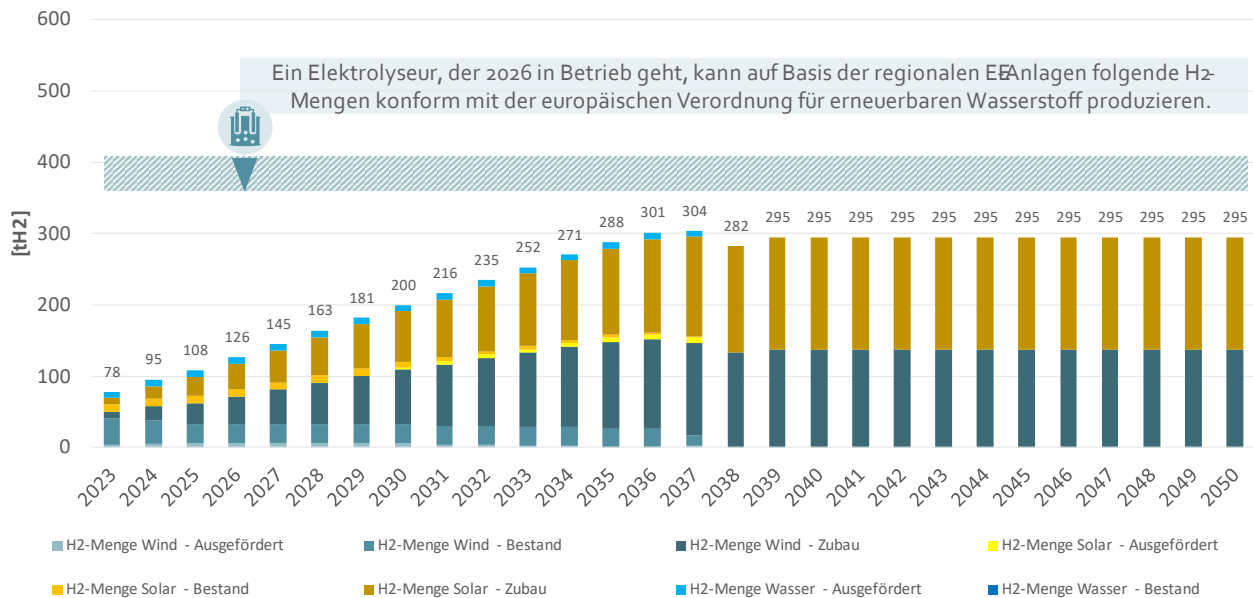


Abbildung 3-41: Erzeugungspotenzial für erneuerbaren Wasserstoff nach Definition der EU-Verordnung aus regionalen EE-Anlagen

In diesem Beispiel wird ein Elektrolyseur im Jahre 2026 in Hagen errichtet. Auf Basis des Inbetriebnahmedatums können die Stromerzeugungsanlagen identifiziert werden, die die Anforderungen der delegierten Verordnung erfüllen. Die Erzeugungspotenziale sinken auf ca. 300 Tonnen Wasserstoff pro Jahr. Der Elektrolyseur kann dabei nur auf EE-Anlagen zurückgreifen, die maximal 36 Monate vor Inbetriebnahme des Elektrolyseurs in Betrieb gegangen sind. Zudem entfallen Erzeugungspotenziale aus Biomasse.

Es ist zu konstatieren, dass die Region Hagen als dicht besiedeltes und hügeliges Gebiet überschaubare Strommengen aus EE-Anlagen bereitstellen kann. In Anbetracht der EU-weiten Regelung zur Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff ist diese Tatsache jedoch zu vernachlässigen. Durch strategisch kluge Strombezugsverträge mit EE-Anlagen außerhalb Hagens können wirtschaftliche Stromportfolios für Elektrolyse-Projekte konzipiert werden.

Projekte zur Wasserstoffherzeugung und -verteilung

Die vier Projektansätze bzw. potenziellen Standorte zur Wasserstoffherzeugung in der Region Hagen sind in Abbildung 3-42 dargestellt. Es handelt sich um zwei bestehende Kraftwerke und zwei Standorte (Hobräck und Rafflenbeul), an denen die Installation von Windkraftanlagen geplant wird. Im Folgenden werden die vier Standorte näher beleuchtet und einer Standortbewertung unterzogen.



Abbildung 3-42: Übersicht der Projektansätze zur Wasserstoffherzeugung in Hagen

1) Biomasseverstromungsanlage (BVA) Hagen-Kabel

Die BVA Hagen-Kabel wurde im Jahr 2005 in Betrieb genommen und verfügt über eine elektrische Leistung von 20 Megawatt. Der Brennstoff des Kraftwerks besteht zum überwiegenden Teil aus Althölzern der Klassen I bis IV, wobei der Gewichtsanteil der Althölzer der Klasse IV 25 % der Verbrennungsmasse ausmacht. Insgesamt werden pro Jahr ca. 120.000 Tonnen Altholz in der BVA eingesetzt. Das Kraftwerk wird aktuell über das EEG für den eingespeisten Strom vergütet. Allerdings endet die Vergütung nach 20-jähriger Laufzeit am 31.12.2024 und es stellt sich die Frage nach dem wirtschaftlichsten Folgebetriebskonzept. Eine Option ist die Wasserstoffherzeugung über Elektrolyse, bei der ein maximales Wasserstoffherzeugungspotenzial von 2.196 Tonnen Wasserstoff pro Jahr besteht. Der Vorteil der BVA als Stromquelle wäre eine konstante Stromverfügbarkeit für den Elektrolyseur, sodass dieser optimal ausgelastet werden könnte und ein wirtschaftlicher Betrieb möglich wäre. Dazu verfügt der Standort durch den geplanten Abriss bestehender Infrastruktur über eine Freifläche in der Größenordnung von 1.800 m², auf denen ein Elektrolyseur errichtet werden könnte. Für die Einspeisung des Wasserstoffs in eine Wasserstoff-Pipeline eignet sich die Nähe zu den beiden Pipelines, die auf Wasserstoff umgestellt bzw. neu errichtet werden sollen (siehe Abschnitt 3.4.3). Aktuell regulatorisch unklar ist die Klassifizierung des Wasserstoffs, der über den Strom der BVA via Elektrolyse erzeugt werden könnte. Wie in Abschnitt 3.4.3 beschrieben, ist die Novellierung der 37. Bundesimmissionsschutzverordnung zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht final, sodass noch nicht alle Rahmenbedingungen und Kriterien für die Anrechenbarkeit von Biomasse-basiertem Wasserstoff auf die Treibhausgasminderungsquote bekannt sind. Sobald die Veröffentlichung der 37. BImSchV erfolgt ist, muss im nächsten Schritt geprüft werden, ob das eingesetzte Altholz Bestandteil der zugelassenen Biomassearten ist. Abschnitt 3.4.3 erläutert, dass das Altholz als Industrieabfall eingestuft werden könnte.



Abbildung 3-43: Potenzielle Fläche für einen Elektrolyseur am Standort der BVA Hagen-Kabel (Quelle: Google Maps)

Abgesehen von der Anrechenbarkeit auf die Treibhausgasminderungsquote spielt die Herkunft bzw. der Erzeugungspfad des Wasserstoffs auch eine Rolle für die Einwerbung von Fördermitteln. Dafür relevant ist insbesondere die europäische Allgemeine Gruppenfreistellungsverordnung (AGVO). Die AGVO dient dazu, einheitliche Vorgaben für die Ausgestaltung von Förderrichtlinien unterhalb gewisser Schwellenwerte anzugeben, sodass die Mitgliedsstaaten keine gesonderte Anmeldung und Prüfung dieser Richtlinien bei der EU vornehmen müssen²⁵. Die Novellierung der AGVO in diesem Jahr ging mit der Anpassung der Vorgaben bspw. für die Förderfähigkeit von Wasserstofftankstellen einher (§ 36a AGVO). Eine Vorgabe ist, dass der Mitgliedsstaat bzw. der Tankstellenbetreiber sicherstellen muss, dass „[...] die Tankinfrastruktur spätestens bis zum 31. Dezember 2035 ausschließlich erneuerbaren Wasserstoff bereitstellen wird“. Nach aktueller Definition muss dieser Wasserstoff aus nicht-biogenen Quellen stammen. Somit wäre eine Tankstelle nicht förderbar, die bis 2036 Wasserstoff einsetzt, der über Strom der BVA gewonnen wird. Dadurch kann die Attraktivität des Wasserstoffs für Abnehmer aus dem Verkehr sinken.

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt die Planung eines Elektrolyse-Projekts bei der BVA Hagen-Kabel mit großen regulatorischen Unsicherheiten behaftet ist. Daher ist zu empfehlen, die Veröffentlichung der 37. BImSchV abzuwarten und anschließend eine Evaluierung der Anrechenbarkeit von Altholz-basiertem Wasserstoff vorzunehmen. Wird festgestellt, dass die regulatorischen Bedingungen eine Wasserstofferzeugung ermöglichen, sollte geprüft werden, zu welchen Preisen der Strom eingesetzt werden kann und welche Akteure in der Region Hagen Interesse an der Abnahme des Wasserstoffs zeigen.

2) MVA Hagen

Die Müllverbrennungsanlage Hagen liegt im nördlichen Zentrum der Stadt Hagen. Wie die BVA Hagen-Kabel ist auch die MVA Hagen in der Lage, eine zeitlich konstante Stromproduktion zu gewährleisten. Das Kraftwerk erzeugt im Jahr zwischen 13.000 und 16.000 Megawattstunden (MWh) Strom. Der überwiegende Teil des erzeugten Stroms wird in den Prozessen der MVA eingesetzt, sodass eine Strommenge von ca. 2.000 bis 2.500 MWh/a für eine potenzielle Wasserstofferzeugung zur Verfügung stünde. Diese Strommengen stünden zu einem Preis von 0,30 € pro Kilowattstunde zur Verfügung. Zusammen mit der potenziell hohen Auslastung ergäbe sich ein wirtschaftlich interessantes Elektrolysekonzept. Aufgrund der unter Abschnitt 3.4 erläuterten regulatorischen Vorgaben für die Anrechenbarkeit von Wasserstoff aus biogenen Quellen ist jedoch perspektivisch höchstens der organische Anteil des in der MVA verwerteten Abfalls relevant für eine Wasserstofferzeugung. Laut Aussage der MVA beträgt der organische Anteil am gesamten Abfall 50 %, sodass effektiv ca. 1.000–1.250 MWh/a für die Herstellung von Wasserstoff zur Verfügung stehen. Mit dieser Strommenge lassen sich im Maximum 23 Tonnen Wasserstoff erzeugen, die wiederum für den Betrieb einer beispielhaften Busflotte von ca. fünf bis sechs Fahrzeugen ausreicht²⁶.

Grundsätzlich bietet die MVA ideale Bedingungen für die Erzeugung von Wasserstoff, da das Kraftwerk eine kontinuierliche Stromerzeugung zu günstigen Preisen gewährleisten kann. Sobald die regulatorischen Unsicherheiten hinsichtlich der Anrechenbarkeit von Biomasseabfall-basiertem Wasserstoff aufgelöst sind und ggf. zukünftig größere Strommengen ausgekoppelt werden können, bietet der Standort gute Bedingungen und eine potenzielle Wasserstofferzeugung sollte näher untersucht werden. Im Rahmen dieser Untersuchung sollte jedoch geprüft werden, inwieweit der Einsatz von Biomasseabfall-basiertem Wasserstoff die Förderfähigkeit bspw. von Tankstellen beeinträchtigt.

²⁵ Siehe § 4 AGVO.

²⁶ Annahmen: Fahrleistung: 54.900 km/a; Verbrauch: 9,00 kgH₂/100 km.

3) Hobräck

Hobräck ist eine kleine Ortschaft im Südosten der Region Hagen. Das Gebiet eignet sich für die Errichtung von Windkraftanlagen. Gegenwärtig ist die Installation einer Windkraftanlage mit einer Leistung von ca. 4,3 MW geplant. Da das Mittelspannungsnetz in dieser Gegend derzeit noch zu schwach ist, um die geplante Leistung aufzunehmen, gelten die Überlegungen zusätzlich der Installation einer Elektrolyse vor Ort. Dementsprechend müsste der produzierte Wasserstoff gespeichert und abtransportiert werden. Eine Alternative wäre die Einspeisung in eine in der Nähe verlaufende Pipeline; dies ist mittelfristig aus technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten aber nicht realisierbar. Auf Basis dieser Angaben sind die in Abbildung 3-44 dargestellten Kosten pro Kilogramm Wasserstoff dargestellt, einmal für die Auslegung der Elektrolyse mit der gleichen Leistung (links) und einmal für die Auslegung mit der halben Leistung einer 4-MW-Windkraftanlage (rechts).

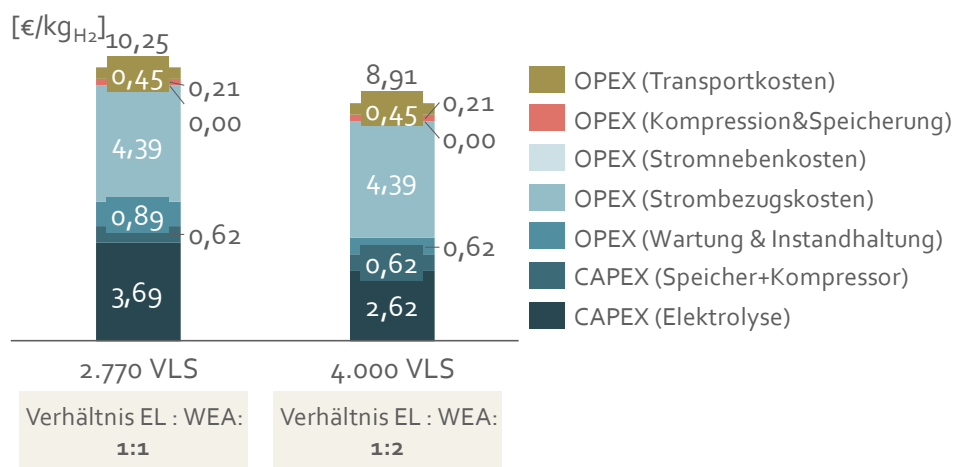


Abbildung 3-44: Beispielhafte Wasserstoffkosten für den Standort Hobräck²⁷

Das Ergebnis zeigt, dass sich die Wasserstoffkosten inklusive Kompression, Speicherung und Transport zwischen 9 und über 10 € pro Kilogramm Wasserstoff bewegen. Aufgrund einer Direktleitung zwischen Windkraftanlage und Elektrolyseur entfallen die Stromnebenkosten. Kosteneinsparungspotenziale bestehen weiterhin bspw. beim Strompreis, auf den der regionale Akteur jedoch nur bedingt Einfluss hat. Die potenzielle maximale Wasserstofferzeugungsmenge beträgt ca. 220 Tonnen Wasserstoff pro Jahr. Die weiteren Schritte des Projektansatzes sollten umfassen:

- ▶ Identifikation und Ansprache potenzieller Abnehmer – insbesondere aus dem Verkehr, da dort potenziell höhere Preise bezahlt werden (im Vergleich zu Industrie oder Wärme).
- ▶ Herausforderung der fehlenden Redundanz im Strombezug, falls das Windrad ausfällt. Können weitere Quellen aus der Region als Ergänzung hinzugezogen werden?
- ▶ Die Genehmigung von Elektrolyseuren ist aktuell im Außenbereich nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich (siehe Abschnitt 3.5). Ist die Genehmigung eines Elektrolyseurs in Hobräck in der angedachten Konfiguration möglich?

²⁷ Annahmen zu H₂-Gestehungskosten: 4-/2-MW-Elektrolyseur, Auslastung: 2.770/4.000 Vollaststunden, Strombezugskosten: 8 ct/kWh, keine Entrichtung von Abgaben + Umlagen, Systemwirkungsgrad: 61 % (\cong 55 kWh_{el}/kgH₂), Systemkosten Elektrolyse (inkl. Ingenieursdienstleistungen und Genehmigungskosten): ~ 1.750 €/kW.

4) Rafflenbeul

Am Standort Rafflenbeul, der im Westen der Region Hagen liegt, werden zwei Windkraftanlagen geplant – eine Anlage mit Inbetriebnahme Ende 2023 und eine Anlage mit Inbetriebnahme Anfang 2024. Beide Anlagen sollen jeweils eine Leistung von 4,2 MW aufweisen und Volllaststunden von ca. 3.000 Stunden pro Jahr erreichen. Zusammengenommen haben diese Anlagen ein Wasserstoffherzeugungspotenzial von ungefähr 460 Tonnen pro Jahr. Geplant ist ebenfalls die Installation eines geeigneten Stromanschlusses, sodass die erzeugten Strommengen in das Netz der öffentlichen Versorgung gespeist werden können. Es ergeben sich daher mehrere denkbare Konstellationen für eine Kombination aus Windkraftanlagen und Elektrolyseanlage. Diese sind in Abbildung 3-45 dargestellt. Allen Kombinationen gleich ist die Annahme, dass der Wasserstoff komprimiert, gespeichert und per Trailer transportiert werden muss.

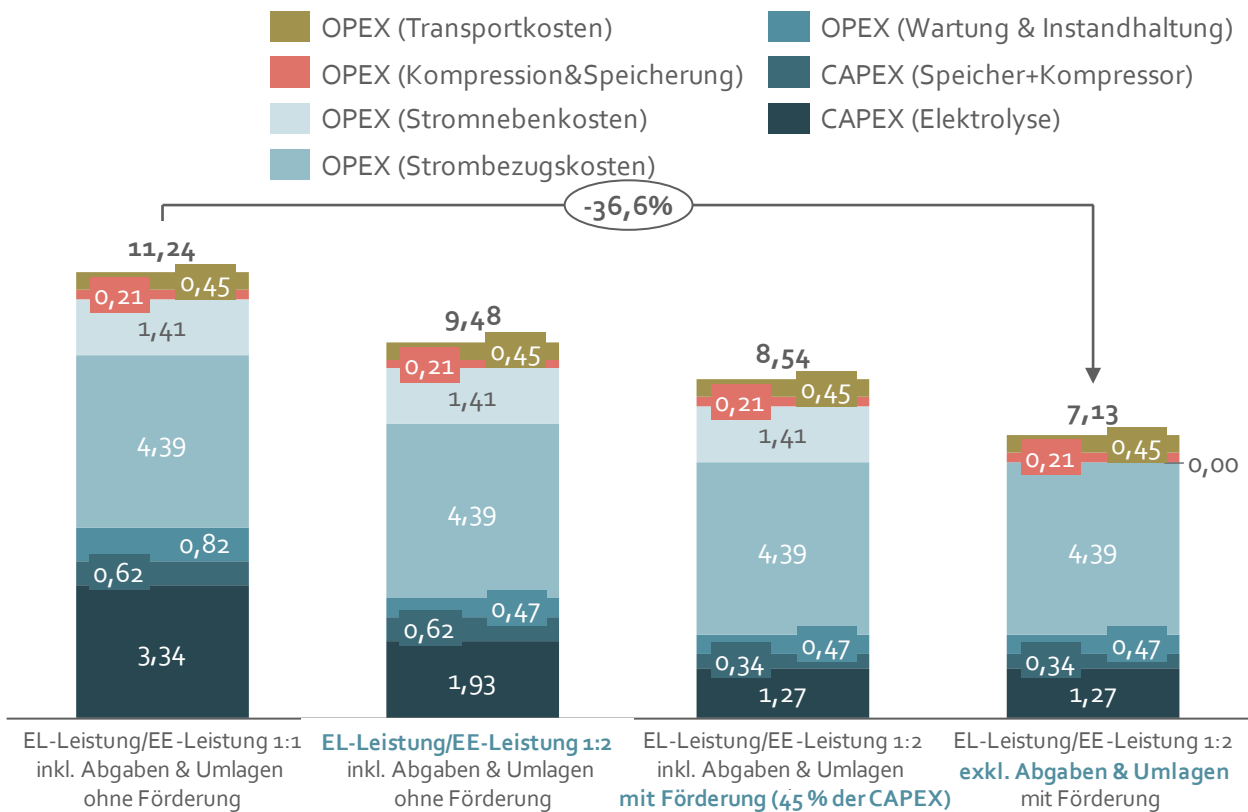


Abbildung 3-45: Beispielhafte Wasserstoffkosten für den Standort Rafflenbeul²⁸

Wird die Leistung der Elektrolyse im Verhältnis 1:1 zur Leistung der Windkraftanlagen ausgelegt, liegen die Wasserstoffkosten im Bereich von 11 € pro Kilogramm Wasserstoff. Um die Wirtschaftlichkeit des Konzepts zu optimieren, kann die Leistung des Elektrolyseurs halbiert werden, wodurch die Wasserstoffkosten um ca. 15 % sinken. Die Einwerbung von Fördermitteln für die Investitionskosten senkt die Gesamtkosten um weitere 10 %. Wird der Elektrolyseur per Direktleitung an die Windkraftanlagen angeschlossen, entfallen die Abgaben und Umlagen auf den Strom und die Kosten sinken auf knapp 7 € pro Kilogramm. Letztgenannter

²⁸ Annahmen zu H₂-Gestehungskosten: 4-/2-MW-Elektrolyseur, Auslastung: 2.770/4.000 Volllaststunden, Strombezugskosten: 8 ct/kWh, Systemwirkungsgrad: 61 % (≙ 55 kWh_{el}/kg_{H₂}), Systemkosten Elektrolyse (inkl. Ingenieursdienstleistungen und Genehmigungskosten): ~ 1.750 €/kW.

Fall setzt jedoch eine Genehmigungsfähigkeit einer Elektrolyse außerhalb eines Industriegebiets voraus, bspw. durch die Deklaration eines Sondergebiets. Nähere Erläuterungen zur Genehmigung von Elektrolyseuren sind in Abschnitt 3.4 einzusehen. Zudem ist zu evaluieren, ob der Standort durch Trailer-Lkw zum Abtransport des Wasserstoffs befahrbar ist. Der Standort der Elektrolyse determiniert sich außerdem durch den Wasserstoffabnehmer. Folgende Schritte werden daher zur weiteren Konkretisierung des Projektansatzes empfohlen:

- ▶ Identifikation und Ansprache potenzieller Abnehmer – insbesondere aus dem Verkehr, da dort potenziell höhere Preise bezahlt werden (im Vergleich zu Industrie oder Wärme).
- ▶ Prüfung potenzieller Standorte für den Elektrolyseur.
- ▶ Falls die Standortsuche Rafflenbeul umfassen soll: Die Genehmigung von Elektrolyseuren ist aktuell im Außenbereich nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich (siehe Abschnitt 3.5). Ist die Genehmigung eines Elektrolyseurs in Rafflenbeul in der angedachten Konfiguration möglich?

Zusammenfassung

In Abbildung 3-46 sind die akkumulierten Erzeugungsmengen dargestellt, die sich aus den theoretischen Potenzialen und den konkreten Projektansätzen der Region ergeben. Insgesamt ergibt sich ein Erzeugungspotenzial von fast 4.000 Tonnen Wasserstoff im Jahr 2030. Der größte Anteil ergibt sich aus den Potenzialen der BVA Hagen-Kabel (ca. 3.000 Tonnen Wasserstoff). An dieser Stelle ist der Hinweis wichtig, dass es sich nach aktuellem Stand um theoretische Potenziale bzw. Projektansätze handelt, sodass die tatsächlich realisierten Wasserstoffmengen abweichen können.

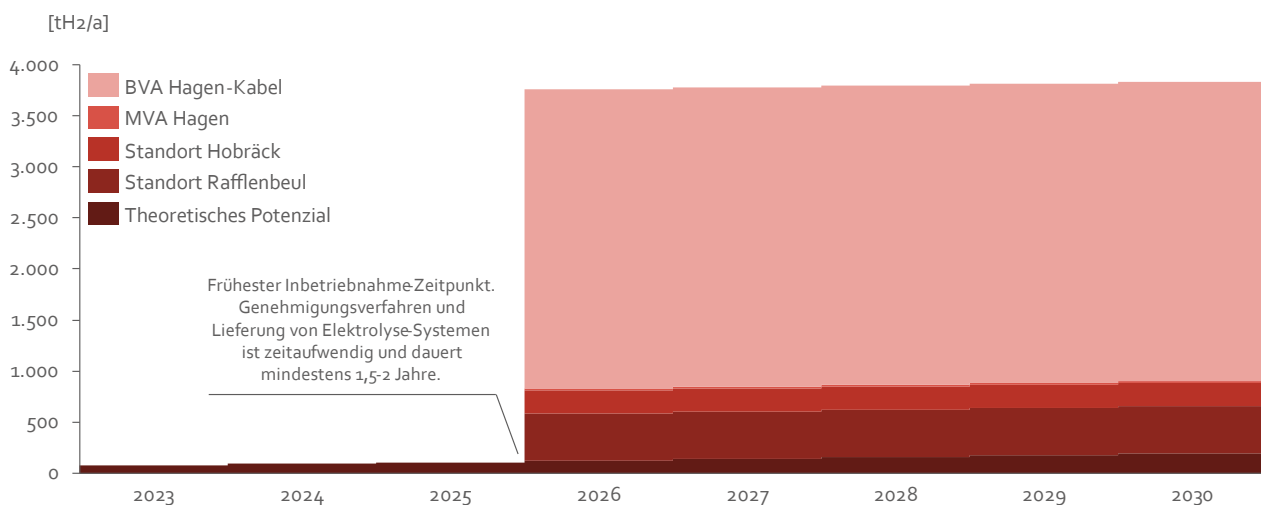


Abbildung 3-46: Akkumuliertes Erzeugungspotenzial der Region Hagen (theoretisches Potenzial und Projektansätze)

Anforderungskatalog und Bewertung für Elektrolyse-Standorte

Die Bewertung von potenziellen Standorten von Elektrolyseuren kann anhand folgender Kriterien erfolgen:

- ▶ Flächenverfügbarkeit
- ▶ Wasserverfügbarkeit
- ▶ Genehmigungsvoraussetzungen für Elektrolyseanlagen
- ▶ Potenzial zum Anschluss der Elektrolyse an einen Mittelspannungsanschluss
- ▶ Potenzial zur H₂-Einspeisung in ein potenzielles H₂-Pipelinennetz
- ▶ Potenzial zur H₂-Abgabe an Trailer (Straßenanbindung)

Im Folgenden werden die einzelnen Kriterien erläutert und auf die vorgestellten potenziellen Wasserstoff-Erzeugungsstandorte angewendet.

Flächenverfügbarkeit

Bei der Analyse eines Standorts ist zu prüfen, ob für die Errichtung des Elektrolyseurs ausreichende Flächen vorhanden sind. Die notwendigen Flächenausmaße hängen von der Technologiewahl (Hersteller, Elektrolysetechnologie (PEM, AEL, SO)), der Größe bzw. Leistung der Elektrolyse (je größer der Elektrolyseur, desto mehr Fläche ist trotz Skaleneffekten notwendig) und notwendigen Mindestabständen zur umgebenden Infrastruktur (z. B. Straßen, Wohngebiete etc.) ab. Erfahrungswerte aus der Praxis zeigen, dass der Flächenbedarf von Elektrolyseuren in Größenordnungen bis 10 Megawatt Leistung bei ca. 400 Quadratmetern pro Megawatt Leistung liegt. Durch die Skaleneffekte sinken die Flächenbedarfe – insbesondere für Elektrolysen im industriellen Maßstab, deren Leistung deutlich über 100 MW_{el} liegen kann. Im Kontext von H2 Hagen sind jedoch insbesondere Elektrolyseure in den Größenordnungen bis 10 Megawatt relevant, da diese in der Regel ausreichen, um bspw. die regionalen Fahrzeugflotten zu versorgen. Daher wird für die Standortbewertung beispielhaft ein Elektrolyseur mit einer Leistung von 10 MW_{el} herangezogen, dessen Flächenbedarf bei ungefähr 4.000 m² liegt²⁹.

Bewertungsschema:

Für die Bewertung der Standorte wird ein Elektrolyseur mit einer Leistung von **10 MW** mit einem Flächenbedarf von ca. **4.000 m²** angenommen.

Gut	Der potenzielle Standort erfüllt die Kriterien an die Flächenbedarfe und die notwendigen Abstände zu bestimmten Infrastrukturen.
Mittel	Der potenzielle Standort erfüllt die Kriterien an die Flächenbedarfe und die notwendigen Abstände bei wesentlichen Anpassungen (bspw. Abriss oder Flächenbegradigung).
Wenig	Der potenzielle Standort erfüllt die Kriterien an die Flächenbedarfe und die notwendigen Abstände zu bestimmten Infrastrukturen nicht.

Wasserverfügbarkeit

Die Wasserverfügbarkeit des Elektrolyseurs ist ein wesentliches Thema, das häufig in den Diskussionen zur Planung einer Elektrolyse vernachlässigt wird, je nach Region aber von hoher Bedeutung sein kann. Für die Erzeugung von 1 kg Wasserstoff werden ca. 9–10 Liter entmineralisiertes Wasser oder ca. 12–22 Liter Speisewasser benötigt. Ein Elektrolyseur mit einer Leistung von 10 MW benötigt dementsprechend pro Jahr mindestens 8.100.000 Liter Wasser³⁰. Dies entspricht ungefähr dem Jahresbedarf von 170 Menschen. Bei der Erschließung eines Standorts ist daher auch ein Wassergutachten in Auftrag zu geben, um die verfügbaren Entnahmemengen und Entnahmeorte zu ermitteln bzw. eine Genehmigung über die Entnahme einzuholen (siehe dazu auch Abschnitt 3.4). Für die Region Hagen wird durch die Nähe zu Ruhr und Lenne angenommen, dass für eine Elektrolyse bis zu einer Leistung von 10 MW keine Knappheit für die Wasserversorgung auftritt.

Bewertungsschema:

Für die Bewertung der Standorte wird ein Elektrolyseur mit einer Leistung von **10 MW** angenommen. Der Wasserbedarf liegt mindestens bei 8,1 Mio. Liter pro Jahr.

Gut	Der potenzielle Standort kann genug Wasser zur Versorgung des Elektrolyseurs bereitstellen .
Wenig	Der potenzielle Standort kann nicht genug Wasser zur Versorgung des Elektrolyseurs bereitstellen .

²⁹ Rangierflächen exkludiert.

³⁰ Auslastung Elektrolyse: 5.000 VLS.

Genehmigungsvoraussetzungen für Elektrolyseanlagen

Die Genehmigung von Elektrolyseuren ist nach gegenwärtiger Gesetzgebung auf Flächen begrenzt, die als Industriegebiet ausgewiesen sind oder – in Bezug auf Außenbereiche – auf denen ein räumlich-funktionaler Zusammenhang zu Wind- oder PV-Anlagen besteht. Ausnahmen gibt es in der Praxis beispielsweise durch die Ausweisung von Sondergebieten. Der aktuelle Stand und angedachte Änderungen der Genehmigungsvorschriften sind Abschnitt 3.4 zu entnehmen. Für die potenziellen Standorte wird geprüft, ob sie in der aktuellen Ausprägung für die Genehmigung einer Elektrolyse geeignet sind, ob die Genehmigungsfähigkeit durch Anpassungen hergestellt werden kann oder eine Genehmigung gänzlich unrealistisch ist.

Bewertungsschema:

Für die Bewertung der Standorte hinsichtlich des Genehmigungspotenzials wird auf eine beispielhafte Konfiguration verzichtet. Je nach Konfiguration, bspw. bei der Größe des Speichers, unterscheiden sich die anzuwendenden gesetzlichen Bauvorschriften. Daher wird untersucht, welche Standorte die grundsätzlichen genehmigungsrelevanten Vorgaben für eine Elektrolyse (inkl. Speicher) erfüllen.

Gut	Der potenzielle Standort erfüllt die Voraussetzungen für die Errichtung einer Elektrolyse (inkl. Speicher) mit hoher Wahrscheinlichkeit.
Mittel	Der potenzielle Standort erfüllt die Voraussetzungen für die Errichtung einer Elektrolyse (inkl. Speicher) unter bestimmten Bedingungen.
Wenig	Der potenzielle Standort erfüllt die Voraussetzungen für die Errichtung einer Elektrolyse (inkl. Speicher) unter keinen Umständen.

Potenzial zum Anschluss der Elektrolyse an einen Mittelspannungsanschluss

Elektrolyseanlagen benötigen für die Aufspaltung des Wasserstoffs elektrische Energie. Der Strom muss mindestens über ein Mittelspannungsnetz bereitgestellt werden, das in Deutschland üblicherweise eine Spannung von ca. 10 bis 30 kV aufweist. Auch bei Systemen, an dem der Elektrolyseur an der Stromerzeugungsanlage errichtet werden soll, ist ein solcher Anschluss notwendig, um Ausfälle der Stromerzeugungsanlage durch Netzstrom kompensieren zu können. Dementsprechend ist zu prüfen, ob an dem potenziellen Standort bereits ein Mittelspannungsanschluss verfügbar ist oder zumindest die Möglichkeit zur Installation eines Mittelspannungsanschlusses besteht.

Bewertungsschema:

Für die Bewertung der Standorte ist zu prüfen, ob ein geeigneter Mittelspannungsanschluss verfügbar oder nutzbar ist oder nachgerüstet werden kann.

Gut	Ein Mittelspannungsanschluss ist vorhanden und nutzbar.
Mittel	Ein Mittelspannungsanschluss ist nicht vorhanden bzw. nicht nutzbar, eine Nachrüstung ist möglich.
Wenig	Ein Mittelspannungsanschluss ist nicht vorhanden bzw. nicht nutzbar, eine Nachrüstung ist nicht möglich.

Potenzial zur H₂-Einspeisung in ein potenzielles H₂-Pipelinennetz

Für eine potenzielle Wasserstoffeinspeisung in das zukünftige Wasserstoff-Verteilnetz ist die Nähe zu einer (potenziellen) Wasserstoff-Pipeline entscheidend. Dabei können zum gegenwärtigen Zeitpunkt zwei Dinge analysiert werden:

- ▶ **Priorität 1:** Die Nähe zu den geplanten Wasserstoff-Pipelines der Ferngasnetzbetreiber (und angrenzender Pipeline-Projekte, bspw. im Rahmen von ZukunftRuH₂r).
- ▶ **Priorität 2:** Die Nähe zu dem übrigen Erdgasfernleitungsnetz, das langfristig entweder auf H₂ umgewidmet oder rückgebaut werden muss.

Die geplanten Wasserstoff-Pipelines sind in Abschnitt 3.4.2 erläutert dargestellt. Mit Blick auf die technischen und finanziellen Aufwände sollte ebenfalls geprüft werden, ob die Elektrolyse ohne große Eingriffe in Infrastruktur (Straßen, Schienen etc.) oder Gebäudebestände angeschlossen werden kann.

Bewertungsschema:

Für die Bewertung der Standorte wird in Priorität 1 die Nähe zur geplanten H₂-Pipeline und in Priorität 2 die Nähe zum Erdgasfernleitungsnetz untersucht.

Gut	Der potenzielle Standort liegt in unmittelbarer Nähe zur geplanten H ₂ -Pipeline. Eine Anbindung ist baulich möglich.
Mittel	Der potenzielle Standort liegt in unmittelbarer Nähe zu einer bestehenden Erdgasfernleitungs-Pipeline. Eine Anbindung ist baulich möglich.
Wenig	Der potenzielle Standort liegt in keiner unmittelbaren Nähe zur geplanten H ₂ -Pipeline oder zu einer bestehenden Erdgasfernleitungs-Pipeline oder eine bauliche Anbindung ist ausgeschlossen.

Potenzial zur H₂-Abgabe an Trailer (Straßenanbindung)

Die Verteilung des Wasserstoffs über die Straße ist notwendig, um Wasserstofftankstellen zu versorgen. Zudem kann es in der Hochlaufphase eine Option für die Versorgung von (kleinen) Industrien sein, die noch keinen Anschluss an eine Wasserstoff-Pipeline haben. Für die Eignung eines Elektrolyse-Standorts sollte daher aus zwei Gründen die Nähe zu Autobahnen und Bundesstraßen untersucht werden:

- ▶ Effizienter Abtransport für schnelle Verteilung.
- ▶ Vermeidung von zusätzlichem Lkw-Aufkommen bzw. -Staus in städtischen Gebieten.

In Abbildung 3-47 ist das für einen schnellen (und wenn notwendig überregionalen) Abtransport relevante Straßennetz der Region Hagen dargestellt.

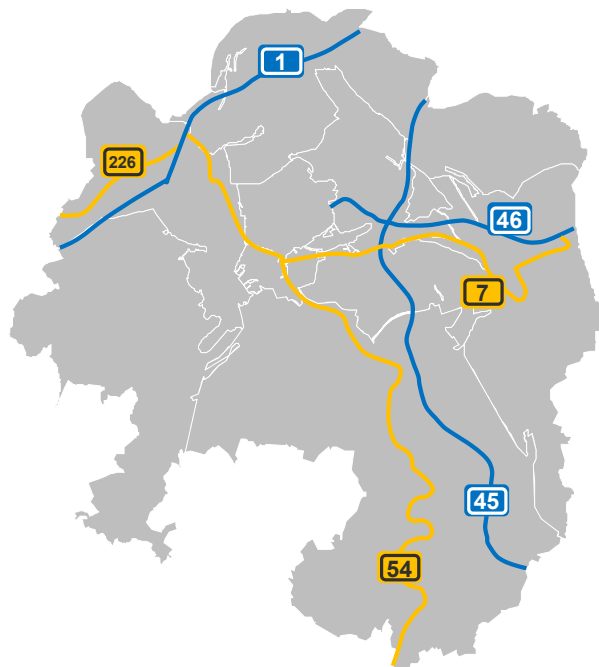


Abbildung 3-47: Relevante Autobahnen bzw. Bundesstraßen zum schnellen Abtransport des Wasserstoffs

Bewertungsschema:

Für die Bewertung der Standorte wird die Nähe zu Autobahnen/Bundesstraßen untersucht.

Gut	Der potenzielle Standort liegt in unmittelbarer Nähe zur Straßeninfrastruktur. Eine Anbindung ist baulich möglich.
Mittel	Der potenzielle Standort liegt in unmittelbarer Nähe zur Straßeninfrastruktur. Eine Anbindung ist baulich nur schwer möglich.
Wenig	Der potenzielle Standort liegt nicht in unmittelbarer Nähe zur Straßeninfrastruktur.

Mithilfe des Anforderungskatalogs können potenzielle Standorte, die in der Region Hagen identifiziert werden, einem ersten Check unterzogen werden, ob eine grundsätzliche Eignung des Standorts vorliegt. Insbesondere bei den Aspekten der Genehmigung, der Wasserverfügbarkeit und der Nähe zu Abnehmern muss in einer Projektkonkretisierung noch einmal eine detaillierte Prüfung vorgenommen werden. Die Ergebnisse der Prüfung der im Rahmen von H2 Hagen identifizierten Projekte ist in Abbildung 3-48 dargestellt³¹.

	Flächenverfügbarkeit			Wasserverfügbarkeit		Genehmigungsfähigkeit			Stromanschlusspotenzial			Potenzial Pipeline Anbindung			Potenzial Straßenanbindung		
	Gut	Mittel	Wenig	Gut	Wenig	Gut	Mittel	Wenig	Gut	Mittel	Wenig	Gut	Mittel	Wenig	Gut	Mittel	Wenig
BVA Hagen-Kabel	Mittel			Gut		Gut			Gut			Gut			Gut		
MVA Hagen	Wenig			Gut		Gut			Gut			Wenig			Mittel		
Hobräck	Gut			Gut		Mittel			Mittel			Mittel			Mittel		
Rafflenbeul	Gut			Gut		Mittel			Gut			Wenig			Wenig		

Abbildung 3-48: Ergebnisse des ersten Checks zur Eignung der potenziellen Standorte mithilfe des Anforderungskatalogs

Die Auswertung zeigt, dass insbesondere der Standort bei der BVA Hagen-Kabel gute Voraussetzungen für die Installation eines Elektrolyseurs bietet. Durch das bestehende Kraftwerk sollten die Voraussetzungen für den Anschluss an ein Mittelspannungsnetz und für die Genehmigungen gegeben sein. Zudem befinden sich in unmittelbarer Nähe wichtige Straßen- und zukünftig ggf. wichtige Pipeline-Infrastrukturen, die den Transport des Wasserstoffs techno-ökonomisch vereinfachen. Die Standorte in Hobräck und Rafflenbeul müssen einer Detailprüfung der Genehmigungsfähigkeit im Rahmen des Ausnahmetatbestandes aus § 249a BauGB unterzogen werden und haben weniger Potenzial zum Abtransport des Wasserstoffs. Der Vorteil dieser beiden Standorte liegt in der Stromverfügbarkeit.

3.4.2 Wasserstoffimport

Deutschland wird im Hinblick auf seine Wasserstoffversorgung kein autarker Staat. In der Nationalen Wasserstoffstrategie wird eine Importquote von 50 bis 70 % angegeben. Das bedeutet, 30 bis 50 % des deutschen Wasserstoffbedarfs werden in Deutschland erzeugt, die übrigen Wasserstoffmengen müssen aus anderen Ländern und Regionen der Welt nach Deutschland transportiert werden. Auch für industriestarke Regionen wie Hagen innerhalb Deutschlands, die perspektivisch hohe Wasserstoffbedarfe aufweisen werden und gleichzeitig unter anderem aufgrund der begrenzten Freiflächen vergleichsweise wenig erneuerbaren Strom produzieren können, könnte der regionale „Import“ von hoher Bedeutung sein. Zwar spielt wie eingangs beschrieben der Standort der Elektrolyse für den Strombezug nur eine untergeordnete Rolle, die großen Kapazitäten an erneuerbarer Stromerzeugung aus Wind (bspw. Offshore-Wind) bestehen jedoch vor allem im Norden Deutschlands. Es bleibt abzuwarten, ob dieser Standortvorteil, auch mit Blick auf die Herausforderungen des Stromtrassen-Ausbaus, für die Errichtung von Elektrolyseuren genutzt wird. Für die

³¹ Im Anhang sind die standortspezifischen Begründungen der Bewertungen hinterlegt.

Region Hagen bestehen unterschiedliche Möglichkeiten des Wasserstoffbezugs. Abbildung 3-49 zeigt die verschiedenen Optionen. Im Wesentlichen wird zwischen dem Wasserstofftransport über Trailer auf der Straße und dem Transport via Pipeline unterschieden. Der Transport über die Straße kann gasförmig oder flüssig erfolgen. Bei einem gasförmigen Transport wird der Wasserstoff bei hohem Druck (ab 200 bar) in Röhren oder Flaschenbündeln gespeichert. Die Kapazität eines Trailers liegt bei ca. 500 bis 1.000 Kilogramm. Wird der Wasserstoff unter zusätzlichem Energieaufwand verflüssigt, kann die Kapazität auf etwa 4.000 Kilogramm steigen. Für die Versorgung von Industrieprozessen ist der Straßentransport jedoch nicht ausreichend. Diese Bedarfe können nur über ein Wasserstoff-Pipelinennetz bedient werden.

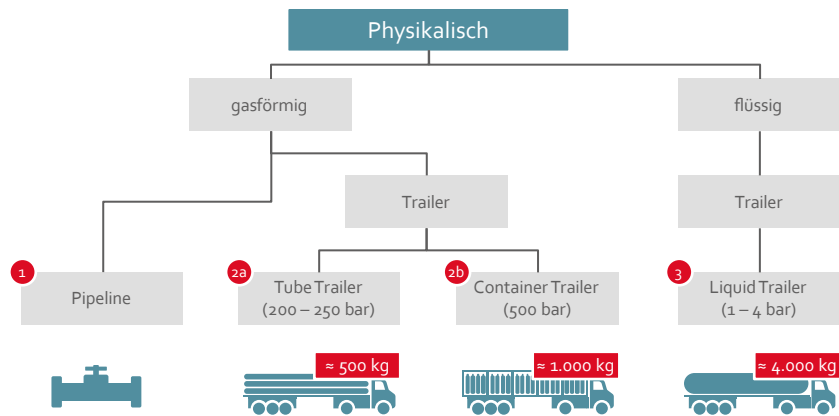


Abbildung 3-49: Schematische Darstellungen der Optionen zum Wasserstofftransport

In der Region Hagen bestehen aufgrund der hohen Dichte an Industrieunternehmen mit hohen Wasserstoffbedarfen bereits sehr konkrete Pläne für den Transport bzw. Import von Wasserstoff via Pipeline. In Abbildung 3-50 ist der Verlauf von geplanten Wasserstoff-Pipelines in Hagen skizziert.

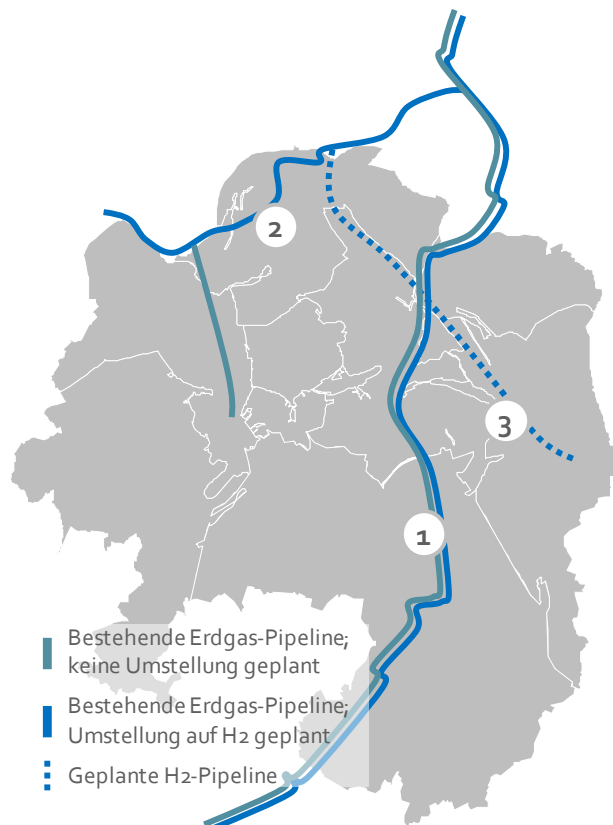


Abbildung 3-50: Übersicht der geplanten Pipeline-gebundenen Wasserstoffverteilung in Hagen

Unterschieden wird dabei zwischen zwei Arten von Pipelines: Pipelines, die aktuell noch Erdgas führen und aufgrund ihrer technischen Voraussetzungen über Anpassungen für den Transport von Wasserstoff ertüchtigt werden können, und Pipelines, die für den Transport von Wasserstoff neu gebaut werden. In Hagen gibt es aktuell drei Ansätze, Pipeline-Stränge für Wasserstoff zu realisieren:

- ▶ Leitung 1: Das wichtigste Infrastrukturprojekt für den Import von Wasserstoff ist die Umstellung einer bestehenden Erdgas-Pipeline mit einem Doppelstrang. Dieses Projekt ist Teil des Wasserstoff-Kernnetzes, das von den Fernleitungsnetzbetreibern konzipiert worden ist und zum ersten Mal den Verlauf eines zusammenhängenden Wasserstoff-Transportnetzes in Deutschland skizziert³². Potenzielle Erzeuger der Region hätten die Möglichkeit, ihren erzeugten Wasserstoff über das Kernnetz an Abnehmer in ganz Deutschland zu verteilen. Die Umstellung des Hagerer Leitungsschnitts ist für Ende 2031 geplant. Ob dieser Realisierungszeitraum eingehalten werden kann, gilt abzuwarten.
- ▶ Leitung 2: Hierbei handelt es sich um eine bestehende Erdgas-Pipeline, die aktuell jedoch nicht genutzt wird. Diese soll nach ersten Plänen der regionalen Akteure um 2032 auf Wasserstoff umgestellt werden, um regionale Abnehmer zu versorgen.
- ▶ Leitung 3: Um die Industrie-Unternehmen entlang der Lenne mit Wasserstoff zur Deckung der perspektivisch hohen Wärmebedarfe zu decken, wird aktuell die Errichtung einer neuen Wasserstoff-Pipeline angedacht. Die Überlegungen befinden sich jedoch noch am Anfang und ein Realisierungsziel gibt es noch nicht.

Durch die Lage im Einzugsgebiet des Wasserstoff-Kernnetzes hat die Region Hagen einen Standortvorteil gegenüber Regionen, die deutlich später angeschlossen werden. Durch die Planungen regionaler Pipelines fließt dieser Aspekt bereits in die Entwicklung der regionalen Wasserstoffwirtschaft ein. Neben der Planung der Pipeline-Infrastruktur sollte der Fokus jedoch auch auf den Wasserstoffquellen liegen. Gerade in der Anfangsphase werden die verfügbaren Wasserstoffmengen in Deutschland begrenzt sein und auf die großen Industrieabnehmer verteilt. Für die Versorgung der regionalen Akteure wird die Wasserstoffbeschaffung daher ein wichtiger Baustein. Nicht nur für Abnehmer mit kleineren Wasserstoffbedarfen sollte auch der Austausch mit den umliegenden Regionen forciert werden, um ggf. Wasserstoffüberschüsse von dort per Pipeline nach Hagen zu bringen.

3.4.3 Handlungsempfehlungen

1 Identifikation von konkreten Abnehmern

Bevor regionale Akteure in die konkretere Planung der Wasserstoffherzeugung einsteigen, ist die Abnahme zu fixieren. Dazu sollten im ersten Schritt interessierte Abnehmer in der Region oder benachbarten Regionen identifiziert werden. Insbesondere Abnehmer aus dem Verkehr sollten aufgrund handelbarer Bedarfsmengen im Fokus stehen. Im zweiten Schritt sollte gemeinsam mit den Abnehmern abgestimmt werden, welche Anforderungen an die Wasserstoffversorgung bestehen (Qualität, Liefermengen, Lieferfrequenz).

2 Bündelung von regionalen Erzeugungspotenzialen

Wie Abschnitt 3.4.1 zeigt, bestehen in der Region verschiedene Potenziale und Ansätze für die Wasserstoffherzeugung. Für sich genommen werden diese Potenziale und Ansätze höchstwahrscheinlich zu keinem wirtschaftlichen Erfolg führen. Zusammengedacht gäbe es jedoch Optionen, eine Wasserstoffherzeugung mit wirtschaftlicher Perspektive umzusetzen. Dazu könnte z. B. ein Kraftwerksstandort als Installationsort

³² Wasserstoff-Kernnetz, Deutsche Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e.V., 2023, <https://fnb-gas.de/wasserstoffnetz-wasserstoff-kernnetz/>, zuletzt abgerufen am 12.12.2023.

dienen und regionale Stromerzeugung aus MHKW und Windkraftanlagen ergänzt um PPA-Stromeinkäufe aus überregionalen EE-Quellen die Energie für die Elektrolyse liefern. Dazu müssen viele Akteure der Region an einem Strang ziehen.

3 Organisation der überregionalen Wasserstoffbeschaffung

Im Fokus einer Wasserstoffwirtschaft steht die Versorgung der Bedarfe. Ergänzend zu den unter Punkt 1 und 2 genannten Handlungsempfehlungen sollten die Pläne zur Wasserstoffversorgung der Industrie per Pipeline-Infrastruktur weitergetrieben werden. Dies beinhaltet aber auch den Aspekt der Beschaffung der großen Mengen an Wasserstoff, die durch die Pipeline nach Hagen kommen sollen. Ggf. sollte auf überregionale Akteure zugegangen werden, die an großen Erzeugungsprojekten in Deutschland, aber auch im Ausland arbeiten.

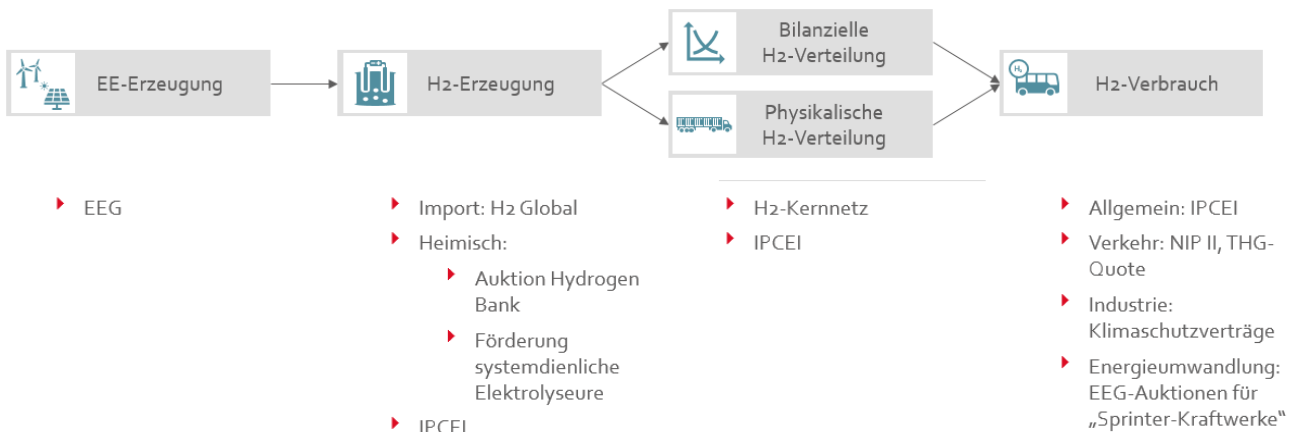
3.5 Rechtliche Bewertung

3.5.1 Prüfungsauftrag

Im folgenden Kapitel werden die in Kapitel 3 entwickelten Maßnahmen und Konzepte einer projektspezifischen rechtlichen Prüfung unterzogen. Grundlage dieser Bewertung sind die Ergebnisse der zweiten Lenkungskreissitzung vom 30.8.2023. Darin wurden die Wasserstoff-Projekte in der Stadt Hagen identifiziert. Abhängig von deren Entwicklungsstand werden nun in einem ersten Schritt die einschlägigen rechtlichen Rahmenbedingungen herausgearbeitet, in einem zweiten Schritt bewertet und in einem dritten Schritt Handlungsempfehlungen entwickelt. Ziel dieser Untersuchung ist es, die relevanten regulatorischen Themenfelder für die einzelnen Projekte frühzeitig zu identifizieren, Chancen zu nutzen und etwaige Risiken zu reduzieren oder zu vermeiden.

3.5.2 Prüfungsmaßstab

Der zu prüfende Rechtsrahmen bezieht sich zunächst auf das Anlagenzulassungsrecht. Elektrolyseure, Wasserstofftankstellen oder Speicher sind Anlagen, für die ein Genehmigungsverfahren durchzuführen ist. Weiterhin müssen diese mit den Anforderungen des materiellen öffentlichen Rechts im Einklang stehen. Der rechtliche Rahmen wird weiterhin durch verschiedene Verwaltungsvorschriften, Verordnungen und Gesetze geprägt, die den Einsatz von grünem Wasserstoff fördern sollen. Diese Förderlandschaft erstreckt sich über die gesamte Wertschöpfungskette und ist für eine Vielzahl der hier identifizierten Projekte von entscheidender Bedeutung:



3.5.3 Sektorspezifische Betrachtung

Erzeugung

In Hagen gibt es vier potenzielle Projektstandorte für die Wasserstoffherzeugung:

- Am Heizkraftwerk Hagen-Kabel könnte Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser unter Einsatz des Stroms aus dem biogenen Anteil der Einsatzstoffe erzeugt werden. Dies ist Altholz.
- An der Müllverbrennungsanlage Hagen könnte eine Wasserstoffherzeugung aus dem organischen Anteil des Abfalls aufgebaut werden.
- In Hobräck wird die Errichtung einer Windenergieanlage mit einer Leistung von ca. 4 MW geplant. Auch dort könnte ein Elektrolyseur entstehen.
- In Rafflenbeul sollen 2 Windenergieanlagen mit einer Leistung von insgesamt 8 MW errichtet werden. Auch dieser Standort kommt für den Aufbau einer Elektrolyseeinheit in Betracht.

Elektrolyseure werden nach Auffassung der Verwaltungspraxis bisher als Anlagen im Sinne der Ziffer 4.1.12 Anhang 1 4. BImSchV eingestuft.³³ Dies erfasst „Anlagen zur Herstellung von Stoffen oder Stoffgruppen durch chemische, biochemische oder biologische Umwandlung in industriellem Umfang [...] zur Herstellung von Gasen wie [...] Wasserstoff“. Sie unterliegen damit dem immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG), wenn die Herstellung des Wasserstoffs im „industriellen Umfang“ erfolgt.³⁴ Der Begriff „industrieller Umfang“ wird in der 4. BImSchV nicht legal definiert. Die Verwaltungspraxis geht davon aus, dass dieser vorliegt, sobald die Anlage kommerziell genutzt werden soll.³⁵ Dies wird für die Mehrheit der Elektrolyseprojekte der Fall sein, sodass regelmäßig das immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren durchzuführen ist. Folge der Zuordnung zu Ziffer 4.1.12 Anhang 1 4. BImSchV ist, dass Elektrolyseure nur in einem förmlichen Verfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung zugelassen werden können. Sie werden darüber hinaus als Industrieemissionsanlage (im Folgenden: **IE-Anlage**) behandelt und unterliegen damit den für diese Anlagen geltenden Pflichten, wie etwa der Pflicht zur Anfertigung eines Ausgangszustandsberichtes gemäß § 10a BImSchG, besonderen Eigenüberwachungsvorgaben und den BVT-Schlussfolgerungen.

Nach einem Vorschlag des Rates der EU über die Novellierung der Industrieemissions-Richtlinie ist vorgesehen, in Anhang 1 der Richtlinie einen eigenen Tatbestand für die Wasserelektrolyse aufzunehmen. Nr. 6.6 soll vorsehen, dass die „Wasserelektrolyse zur Wasserstoffherzeugung mit einer Produktionskapazität **von über 60 t pro Tag**“ in den Anwendungsbereich der IE-Richtlinie fällt.³⁶ Sofern der Vorschlag in entsprechender Weise beschlossen wird, würden Elektrolyseure, die eine Produktionskapazität von 60 t oder weniger pro Tag aufweisen, nicht dem Anwendungsbereich der Industrieemissions-Richtlinie unterfallen. Damit könnte der nationale Gesetzgeber Anlagen bis zu dieser Größenordnung von der immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsbedürftigkeit ausnehmen. Aktuelle Vorschläge auf nationaler Ebene, wonach für Anlagen ab 1

³³Ausschuss Anlagenbezogener Immissionsschutz/Störfallvorsorge der Länderarbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI), Beschluss aus der 139. Sitzung vom 4.- 7.2017.

³⁴Bayerisches Landesamt für Umwelt, Übersicht über Genehmigungsverfahren – Genehmigung einer Wasserstofftankstelle, S. 2, abrufbar unter: <https://www.lenk.bayern.de/themen/energiewende/doc/Genehmigungsverfahren.pdf>.

³⁵Ebd.

³⁶Rat der EU, Interinstitutionelles Dossier, 2022, 0104, COD v. 16.03.2023.

MW weiterhin ein großes immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung und eine Einstufung als IE-Anlage vorgesehen ist, gehen insoweit nicht weit genug.³⁷

Unabhängig davon, ob für Elektrolyseure ein Genehmigungserfordernis besteht oder nicht, müssen die Anlagen den Anforderungen genügen, die durch baurechtliche oder sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften an eine bauliche Anlage gestellt werden.³⁸ Für die bauplanungsrechtliche Zulässigkeit ist zunächst danach zu differenzieren, ob ein Vorhaben innerhalb oder außerhalb der Geltung eines qualifizierten oder vorhabenbezogenen Bebauungsplans umgesetzt werden soll. Vorhaben, die im Geltungsbereich eines qualifizierten oder vorhabenbezogenen Bebauungsplans umgesetzt werden, sind zulässig, wenn sie mit den Festsetzungen des betreffenden Bebauungsplans im Einklang stehen.³⁹ Sofern kein entsprechender Bebauungsplan besteht, richtet sich die bauplanungsrechtliche Zulässigkeit nach § 34 BauGB, sofern sich das Vorhaben im Innenbereich befindet, oder nach § 35 BauGB, sofern das Vorhaben im Außenbereich liegt. Für Elektrolyseure stellt sich gegenwärtig die Frage, ob diese innerhalb eines durch Bebauungsplan ausgewiesenen oder faktischen Gewerbegebiets errichtet werden können.

In Gewerbegebieten sind gemäß § 8 Abs. 1 BauNVO „nicht erheblich belästigende Gewerbebetriebe“ zulässig. Ob diese Voraussetzung gegeben ist, wird nach der Rechtsprechung aufgrund einer typisierenden Betrachtung beurteilt. Maßgeblich ist, ob Betriebe des in Frage stehenden Typs *üblicherweise* für die Umgebung in diesem Sinne erheblich belästigend wirken; auf das Maß der *konkret* hervorgerufenen oder in Aussicht genommenen schädlichen Umwelteinwirkungen kommt es demgegenüber grundsätzlich nicht an.⁴⁰ Die Rechtsprechung geht davon aus, dass immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen in Gewerbegebieten nicht ohne Weiteres als nicht erheblich störende Gewerbebetriebe betrachtet werden können. Zwar soll allein der Umstand, dass eine Anlage als immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig einzustufen ist, nicht per se die Versagung des Vorhabens in einem Gewerbegebiet rechtfertigen.⁴¹ Sofern allerdings davon auszugehen ist, dass die Anlagen üblicherweise für die Umgebung unzumutbare Störungen hervorrufen, sind immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen in Gewerbegebieten unzulässig. Sie werden dann den Industriegebieten zugeordnet. Zwar verursachen Elektrolyseure mit Ausnahme von Lärm keine schädlichen Umwelteinwirkungen. Es handelt sich jedoch um immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen. Auch fällt Wasserstoff in den Anwendungsbereich der Gefahrstoffverordnung und ist bei Überschreitung bestimmter Mengenschwellen als störfallrelevanter Stoff nach der 12. BImSchV zu behandeln.

Vor diesem Hintergrund lässt sich festhalten, dass die planungsrechtliche Zulässigkeit von Elektrolyseuren in Gewerbegebieten bisher nicht hinreichend gesichert ist. Diese Unsicherheiten sind durch § 14 BauNVO noch verschärft worden. Nach § 14 Abs. 4 S. 1 BauNVO sind Anlagen zur Herstellung oder Speicherung von Wasserstoff in einem eigens durch Bebauungsplan ausgewiesenen Sondergebiet für Sonnenenergie zulässig, wenn die Voraussetzungen des § 249a Abs. 4 BauGB⁴² gegeben sind. Diese Vorgabe soll nach § 14 Abs. 4 S. 2 BauNVO auch in faktischen oder durch Bebauungsplan festgesetzten Gewerbegebieten gelten. Diese Formulierung lässt im Umkehrschluss die Annahme zu, dass Elektrolyseure in Gewerbegebieten im Übrigen

³⁷ Ausschuss Anlagenbezogener Immissionsschutz/Störfallvorsorge, Protokoll der 141. Sitzung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz.

³⁸ Beckmann, Eine Systematisierung baurechtlicher und sonstiger öffentlich-rechtlicher Instrumentarien zur Legalisierung von genehmigungspflichtigen und genehmigungsfreien Bauvorhaben, KommJur 2012, 401 (404).

³⁹ Vgl. § 30 Abs. 1 und 2 BauGB.

⁴⁰ BVerwG, Urt. v. 25.1.2022, 4 C 2.20, NVwZ 2022, 893 (893).

⁴¹ Vgl. § 15 Abs. 3 BauNVO; OVG Münster, Beschl. v. 7.1.2021, 8 B 548/20, ZUR 2021, 489 (491).

⁴² Dazu sogleich.

nicht zulässig sind.⁴³ Eine höchstrichterliche oder gesetzliche Befassung mit dieser Fragestellung hat bisher nicht stattgefunden.

Nach § 11 BauNVO kommt für die Schaffung der planungsrechtlichen Zulässigkeit von Elektrolyseuren auch die Ausweisung von Sondergebieten in Betracht. Die Festsetzung von Sondergebieten ist dabei möglich, wenn mit den typisierten Baugebieten selbst unter Nutzung der Gestaltungsmöglichkeiten nach § 1 Abs. 5 und 9 BauNVO die städtebaulichen Entwicklungsvorstellungen der Gemeinde nicht verwirklicht werden können.⁴⁴ In Betracht für die Festsetzung als Sondergebiet kommen daher insbesondere Einzelvorhaben (z.B. Sondergebiet Kraftwerk) oder bestimmte Nutzungszusammenhänge (z.B. Sondergebiet Logistikzentrum), also vor allem monostrukturelle Konzentrationen von Nutzungsarten.⁴⁵ In entsprechender Weise werden auch bereits jetzt Elektrolyseurvorhaben in Bebauungsplänen umgesetzt.⁴⁶

Für den unbeplanten Außenbereich kommt es auf die Privilegierung nach § 249a BauGB an. Danach „gilt“ für Elektrolyseure und Speicheranlagen für Wasserstoff im Außenbereich unter bestimmten Voraussetzungen die Privilegierung von Wind- oder Solaranlagen nach § 35 Abs. 1 Nr. 5 und 8 BauGB. Es handelt sich um eine „angehängte“ Privilegierung, die vom Bestand der Privilegierung der Wind- oder Solaranlage abhängig ist.⁴⁷ Voraussetzung ist zunächst, dass sich der Elektrolyseur in einem „räumlich-funktionalen Zusammenhang“ mit der privilegierten Wind- oder Stromerzeugungsanlage befindet. Dieser unbestimmte Rechtsbegriff wird im Gesetz nicht definiert. Nach der Gesetzesbegründung soll dieser aber an den gleichlautenden Begriff aus § 35 Abs. 1 Nr. 6a BauGB angelehnt sein.⁴⁸ Nach § 249a Abs. 4 BauGB setzt die Privilegierung weiter voraus, dass folgende Tatbestandsvoraussetzungen kumulativ erfüllt sind: 1. es muss durch technische Vorkehrungen sichergestellt sein, dass der Wasserstoff entweder ausschließlich durch Strom aus der Anlage erzeugt wird, an dessen Privilegierung der Elektrolyseur nach § 249a Abs. 1 bis 3 teilnimmt, oder dazu ergänzend Strom aus anderen EE-Anlagen genutzt wird, die sich im räumlich-funktionalen Zusammenhang befinden; 2. die Größe der Grundfläche der zum Vorhaben gehörenden baulichen Anlagen 100 Quadratmeter und der Höhenunterschied zwischen Geländeoberfläche im Mittel und dem höchsten Punkt der baulichen Anlagen 3,5 Meter nicht überschreitet; 3. die stromerzeugende Anlage nicht bereits mit einem anderen Vorhaben zur Herstellung oder Speicherung von Wasserstoff verbunden ist und 4. die Kapazität des Wasserstoffspeichers, sofern vorhanden, die Mengenschwelle der Störfall-Verordnung nicht erreicht (5.000 kg gem. Spalte 4 Anhang 1 12. BImSchV).

Bei der Erzeugung von Wasserstoff ist regelmäßig auch eine wasserrechtliche Gestattung einzuholen.⁴⁹ Dies deshalb, weil für die Erzeugung von Wasserstoff Grundwasser oder Wasser aus Gewässern entnommen werden muss. Gleiches gilt, wenn bei der Aufbereitung des in der Elektrolyse aufgespaltenen Reinwassers vor Ort Abwasser entsteht. Problematisch ist hierbei, dass die wasserrechtlichen Gestattungen nicht von der Konzentrationswirkung der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung nach § 13 BImSchG erfasst werden.⁵⁰ Gleiches gilt auch für die Baugenehmigung, sofern hier überhaupt in den Landesbauordnungen eine

⁴³ So im Ergebnis auch *Henkel*, in: Spannowsky/Hornmann/Kämper, Stand: 15.4.2023, BauNVO, § 14, Rn. 63e.

⁴⁴ BVerwG, Beschl. v. 30. 6. 2014 – 4 BN 38.13, BauR 2014, 1745.

⁴⁵ *Mitschang/Reidt*, in: Battis/Krautzberger/Löhr, BauGB, 15. Aufl. 2022, Rn. 13a.

⁴⁶ Vgl. Bebauungsplan der Gemeinde Reußenköge, Bebauungsplan Nr. 17 „Elektrolyseur“, abrufbar unter https://www.amnf.de/fileadmin/user_upload/dokumente/Bauleitplanung/Reu%C3%9Fen-koege_ab_Nov_2017/23._%C3%84nd._F-Plan_B-Plan_Nr_17/Unterlagen_-_11_3_B-Plan_Nr._17_-4-2-_Planzeichnung.pdf.

⁴⁷ *Decker*, Erste Überlegungen zum neuen § 249 BauGB, ZfBR 2023, 319 (320 ff.).

⁴⁸ BT-drs. 20/4227, S. 15.

⁴⁹ *Bringewat*, Zulassung von Elektrolyseuren und Wasserstofftankstellen: Eine Bestandsaufnahme, ZNER 2022, 21 (24).

⁵⁰ *Jarass*, in: Jarass, BImSchG, 14. Aufl. 2022, § 13, Rn. 17; *Seibert*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, 100. EL Jan. 2023, § 13 BImSchG Rn. 101.

Konzentrationswirkung vorgesehen ist.⁵¹ Sie müssen somit in einem separaten Zulassungsverfahren eingeholt werden, was den Arbeits- und Verwaltungsaufwand erhöht („keine Genehmigung aus einer Hand“). Darüber hinaus wird in der Praxis je nach Einzelfall die Erstellung eines Ausgangszustandsberichts verlangt.⁵² Weitere Aspekte (Naturschutz, Altlasten, Denkmalschutz) sind vom jeweiligen Standort abhängig und damit eine Frage des Einzelfalls.

Für den Förderrahmen ist der Ursprung des zur Elektrolyse eingesetzten Stroms bedeutsam. Wasserstoff, der durch Strom aus nicht-biogenen erneuerbaren Energien erzeugt worden ist, wird als erneuerbarer Kraftstoff nicht-biogenen Ursprungs (renewable fuel of non-biological origin, RFNBO) klassifiziert. Er ist damit nach § 37a Abs. 5 Nr. 6 BImSchG auf die Treibhausgasminderungsquote anrechenbar, sofern die Strombezugsanforderungen des delegierten Rechtsaktes zu Art 27 Abs. 3 Uabs. 5 und 6 RED II erfüllt sind.⁵³ Nach § 37b Abs. 8 S. 3 BImSchG ist Wasserstoff aus biogenen Quellen des Anhangs IX Teil A RED II, der in Straßenfahrzeugen eingesetzt wird, auf die Treibhausgasminderungsquote anrechenbar. Voraussetzung für die Anrechnung ist neben dem Nachweis über dessen Einsatz in Straßenfahrzeugen und der Erfüllung der Anforderungen an Biokraftstoffe nach der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung, dass der biogene Wasserstoff aus Rohstoffen des Anhangs IX Teil A RED II erzeugt worden ist. Dies entspricht der Anlage 1 zur 38. BImSchV, auf den auch der Novellierungsentwurf für die 37. BImSchV verweist. Altholz wird darin nicht ausdrücklich aufgeführt. Nr. 4 erfasst den „Biomasseanteil von Industrieabfällen, der ungeeignet zur Verwendung in der Nahrungs- oder Futtermittelkette ist, einschließlich Material aus Groß- und Einzelhandel“. Als Altholz werden Industrierestholz und Gebrauchtholz verstanden, soweit diese als Abfall anfallen.⁵⁴ Damit ist festzuhalten, dass Altholz wohl als Abfall einzustufen ist. Stammt dieses als Industrierestholz aus dem Industriesektor, spricht der Wortlaut dafür, dieses als Industrieabfall einzustufen. Dies ist aber bisher nicht höchstrichterlich geklärt und mit Unsicherheiten behaftet.

(Güter-)Logistik / Kommunale Unternehmen und Mobilität

In der Stadt Hagen liegt der Schwerpunkt der bisherigen Wasserstoff-Projekte auf dem Verkehrssektor. Hier gibt es in Hagen gegenwärtig vier Projekte, die vor allem der Logistik zugeordnet werden können:

- ▶ Die Cosi Stahllogistik plant bis 2026/2027 die Errichtung und den Betrieb einer Wasserstoff-tankstelle. Zudem soll der Fuhrpark teilweise auf Brennstoffzellenfahrzeuge umgestellt werden.
- ▶ Die Fritz Neuhaus Spedition GmbH plant die Anschaffung von Brennstoffzellenfahrzeugen im (hoffentlich auch noch nach dem BVerfG-Urteil von Mitte November 2023 zur Unzulässigkeit des Nachtragshaushalts 2021) kommenden KsNI-Förderauftrag, die den Werksverkehr bedienen sollen. Zudem gibt es die Planung einer Wasserstofftankstelle westlich von Hagen in Kombination mit einem Elektrolyseur und einer PV-Anlage.
- ▶ Die Nap'N'Roll GmbH plant ebenfalls die Errichtung einer Wasserstofftankstelle an der A1, Hagen-West.
- ▶ Die Hagener Entsorgungsbetriebe sind in Bezug auf neue Abfallsammelfahrzeuge noch technologieoffen. Das kommunale Busunternehmen setzt demgegenüber auf die Anschaffung von batterieelektrischen Bussen.

⁵¹ Vgl. § 72 Abs. 1 S. 2 und 3 BbgBO.

⁵² *Bringewat*, Zulassung von Elektrolyseuren und Wasserstofftankstellen: Eine Bestandsaufnahme, ZNER 2022, 21 (25).

⁵³ Die Kriterien entsprechen den Anforderungen aus § 3 ff. des Referentenentwurfs zur Novellierung der 37. BImSchV.

⁵⁴ *Umweltbundesamt*, Altholz – Hinweise zum Recycling, abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/altholz#hinweise-zum-recycling>, zuletzt abgerufen am 12. Dezember 2023.

Im Fokus der nachfolgenden Untersuchung stehen daher die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Be- tankungsinfrastruktur und für den Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen im Verkehrssektor.

Für die Errichtung und den Betrieb von Wasserstofftankstellen entscheidet gegenwärtig die Lagerkapazität des Wasserstoffs über das durchzuführende Genehmigungsverfahren: Wasserstofftankstellen ab einer Lagerkapazität von 3 t Wasserstoff bedürfen einer Zulassung nach dem BImSchG, denn ab einer Lagerkapazität von 3 t entzündbarer Gase besteht nach Nummer 9.1.1.2 der 4. BImSchV ein Genehmigungserfordernis. Ab einer Lagerkapazität von 30 t ist dann ein förmliches Genehmigungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung durchzuführen. Wasserstofftankstellen mit einer Lagerkapazität von weniger als 3 t Wasserstoff bedürfen einer Baugenehmigung nach der in den jeweiligen Bundesländern geltenden Bauordnung (BauO), hier § 60 BauO NRW. Da die Erlaubnis nach § 18 Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) nur von der Konzentrationswirkung der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung erfasst wird, nicht aber von der Baugenehmigung, ist bei Tankstellen mit einer Lagerkapazität von weniger als 3 t Wasserstoff regelmäßig zusätzlich die Erlaubnis nach § 18 BetrSichV einzuholen.

Die Prüfung erstreckt sich sowohl im immissionsschutzrechtlichen als auch im baurechtlichen Genehmigungsverfahren nicht spezifisch auf Aspekte des Bau- oder Immissionsschutzrechtes. Vielmehr sind regelmäßig umfassend anlagenbezogene öffentlich-rechtliche Vorschriften zu überprüfen, also etwa das Bauplanungsrecht sowie das Naturschutz, das Bodenschutz oder das Denkmalschutzrecht. Aus dem Bereich der öffentlich-rechtlichen Vorschriften spielt das Bauplanungsrecht eine herausragende Rolle. Während Tankstellen in Gewerbe-, Industrie-, Misch- und Dorfgebieten generell zulässig sind (vgl. § 8 Abs. 2 Nr. 3, § 9 Abs. 2 Nr. 2, § 6 Abs. 2 Nr. 7, § 5 Abs. 2 Nr. 8) und in allgemeinen Wohngebieten noch ausnahmsweise zugelassen werden können (vgl. § 4 Abs. 3 Nr. 5 BauNVO), gibt es im Außenbereich bisher keine gesetzliche Regelung, wonach Tankstellen im Außenbereich als privilegierte Vorhaben einzustufen sind.⁵⁵ Vielmehr werden sie im Außenbereich nach der Rechtsprechung grundsätzlich als sonstige Vorhaben nach § 35 Abs. 2 BauGB eingestuft.⁵⁶ Sie sind damit im Unterschied zu den privilegierten Vorhaben nach § 35 Abs. 1 BauGB nur im Einzelfall zulässig, wenn ihre Ausführung oder Benutzung öffentliche Belange gar nicht erst beeinträchtigt.⁵⁷ Lediglich sofern ein besonderer Bedarf für die Errichtung und den Betrieb der Tankstelle besteht, wird bisher ausnahmsweise ein privilegiertes Vorhaben nach § 35 Abs. 1 Nr. 4 BauGB angenommen.⁵⁸ Dies kann etwa bei der Errichtung von Tankstellen an Bundesautobahnen oder Ausflugsraststätten gegeben sein, nicht aber an einer Kreisstraße.⁵⁹

Der Betriebsbereich einer Wasserstofftankstelle und damit verbundener Einrichtungen kann den Grundpflichten sowie ggf. auch den erweiterten Pflichten der Störfall-Verordnung (12. BImSchV) unterfallen.⁶⁰ Wasserstoff wird in Anhang 1 der 12. BImSchV als gefährlicher Stoff in Zeile 38 aufgeführt. Er unterliegt ab einer Menge von 5.000 kg (Spalte 4) den Grundpflichten des zweiten und vierten Teils der Störfall-Verordnung, vgl. § 1 Abs. 1 Satz 1 der 12. BImSchV. Hierzu gehört unter anderem, dass der Betreiber die „nach Art

⁵⁵ So im Ergebnis auch *Stiftung Umweltenergierecht*, Machbarkeitsstudie zum Verbundvorhaben „Akzeptanz durch Wertschöpfung“, S. 62, abrufbar unter: [GP_1602_PP_014_Machbarkeitsstudie_72_Seiten_inkl_10_Infografiken_06012017_14032017_1545_WEB-PDF.indd](https://www.stiftung-umweltenergierecht.de/06012017_14032017_1545_WEB-PDF.indd) (stiftung-umweltenergierecht.de).

⁵⁶ VGH Kassel, Beschl. v. 7.12.2000, 4 ZU 3402/99, NVwZ-RR 2001, 428; *Mitschang/Reidt*, in: Battis/Krautzberger/Löhr, BauGB, 15. Aufl. 2022, § 35, Rn. 67.

⁵⁷ *Mitschang/Reidt*, in: Battis/Krautzberger/Löhr, BauGB, 15. Aufl. 2022, § 35, Rn. 6.

⁵⁸ OVG Lüneburg, Beschl. v. 24.3.1988, 1 A 111/87 (Juris); *Bringewat*, Zulassung von Elektrolyseuren und Wasserstoff-tankstellen: Eine Bestandsaufnahme, ZNER 2022, 21 (26).

⁵⁹ OVG Lüneburg, Beschl. v. 24.3.1988, 1 A 111/87 (Juris); *Mitschang/Reidt*, in: Battis/Krautzberger/Löhr, BauGB, 15. Aufl. 2022, § 35, Rn. 67.

⁶⁰ *Bayerisches Landesamt für Umwelt*, Genehmigungsrechtlicher Leitfaden für Wasserstofftankstellen im Freistaat Bayern, S. 13; *Bringewat*, Zulassung von Elektrolyseuren und Wasserstofftankstellen: Eine Bestandsaufnahme, ZNER 2022, 21 (26).

und Ausmaß der möglichen Gefahren erforderlichen Vorkehrungen zu treffen [hat], um Störfälle zu verhindern“, § 3 Abs. 1 der 12. BImSchV. Ab der Mengenschwelle von 50.000 kg (Spalte 5) greifen dann die erweiterten Pflichten nach den §§ 9 bis 12 der 12. BImSchV. Zu diesen erweiterten Pflichten gehören die Anfertigung eines Sicherheitsberichts (§ 9 der 12. BImSchV), die Erstellung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen (§ 10 der 12. BImSchV) sowie die Information über Sicherheitsmaßnahmen (§ 11 der 12. BImSchV). Zumindest in diesen Fällen ist außerdem ein Störfallbeauftragter zu bestellen, siehe § 1 Abs. 2 Satz 1 der 5. BImSchV in Verbindung mit § 1 Abs. 1 Satz 2 der 12. BImSchV. Auch die Bestimmung des angemessenen Sicherheitsabstands nach § 3 Abs. 5d BImSchG ist mit vergleichbaren Unsicherheiten verbunden, da dieser stets für den jeweiligen Einzelfall ermittelt werden muss. Ansätze einer Konkretisierung (etwa durch einen TA-Abstand) sind bisher gescheitert.

Für den Verkehrssektor ist die Treibhausgasminderungsquote gemäß § 37a BImSchG das wesentliche Förderinstrument. Nach § 37a Abs. 1 BImSchG ist, wer gewerbsmäßig oder aufgrund wirtschaftlicher Unternehmungen nach dem Energiesteuergesetz zu versteuernde Otto- oder Dieseldieselkraftstoffe in den Verkehr bringt, verpflichtet, eine bestimmte Treibhausgasminderung sicherzustellen (sog. Treibhausgasminderungsquote). Zu den Erfüllungsoptionen gehören u. a. erneuerbare Kraftstoffe nicht-biogenen Ursprungs und biogener Wasserstoff, soweit eine Rechtsverordnung der Bundesregierung dies zulässt. Die Anrechnungsvoraussetzungen werden hierbei durch die 37. Verordnung zum Bundes-Immissionschutzgesetz (im Folgenden: **37. BImSchV**) konkretisiert. Diese wird gegenwärtig insbesondere zur Umsetzung der Strombezugsanforderungen des delegierten Rechtsaktes zu Art. 27 RED II novelliert. Nach § 37a Abs. 6 BImSchG können die verpflichteten Unternehmen die Erfüllung ihrer Treibhausgasminderungsverpflichtung (nicht die Verpflichtung selbst) auf einen Dritten übertragen. In der Folge übernimmt dann der Dritte die Quotenerfüllung, indem er anrechenbare Kraftstoffe – hier grünen Wasserstoff – in den Verkehr bringt und hierfür im Gegenzug einen Zahlungsbetrag vom Quotenverpflichteten erhält (sog. Quotenhandel).⁶¹ Ein solcher Quotenhandel ist dabei zwischen quotenverpflichteten Unternehmen selbst oder auch durch einen nicht selbst zur Quotenerfüllung Verpflichteten zulässig.⁶² Dritte in diesem Sinne sind beim Einsatz von Wasserstoff in Brennstoffzellenfahrzeugen aber nicht die Halter der Fahrzeuge, sondern gemäß § 3 Abs. 1 S. 3 37. BImSchV diejenige (natürliche oder juristische) Person, „in deren Namen und auf deren Rechnung die Abgabe an den Letztverbraucher erfolgt“. Dies ist der Tankstellenbetreiber, sofern die Abgabe in dessen Namen und auf dessen Rechnung erfolgt und keine Personenidentität zwischen Tankstellenbetreiber und Letztverbraucher besteht. Sofern Personenidentität besteht, ist nach hiesiger Einschätzung der Wasserstoffproduzent als vorletztes Glied in der Kette als Quotenberechtigter anzusehen. Im aktuellen Entwurf der 37. BImSchV zeichnet sich nun ab, dass der Tankstellenbetreiber umfassend als Quotenberechtigter implementiert werden könnte.

Industrie

Auch in der Industrie in Hagen wird der umfassende Einsatz von grünem Wasserstoff vorbereitet. Im Fokus steht hier bisher die Transportinfrastruktur über Pipelines. Die Unternehmen in Hagen planen die Umstellung einer bestehenden Erdgasleitung auf den Betrieb von Wasserstoff. Weiterhin wird der Neubau einer Wasserstoffanschlussleitung an das bestehende Erdgasverteilnetz anvisiert.

Für die Umstellung einer vorhandenen Erdgasleitung auf den Transport von Wasserstoff kommen die Regelungen zur Planfeststellung nach § 43 ff. EnWG zur Anwendung. Nach § 43 Abs. 1 S. 1 Nr. 5 EnWG ist die Änderung einer Gasversorgungsleitung mit einem Durchmesser von mehr als 300 Millimetern

⁶¹ Wird daher die Treibhausgasminderungsvorgabe verfehlt, bleibt auch im Falle der Einbindung eines Dritten das quotenverpflichtete Unternehmen in der Pflicht und damit Schuldner einer evtl. festgesetzten Abgabe, *Röckinghausen*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, 99. EL Sep. 2022, § 37a BImSchG, Rn. 12.

⁶² § 37a Abs. 7 BImSchG.

planfeststellungsbedürftig. Eine Änderung setzt voraus, dass eine Abweichung von der vorhandenen Gestattung vorliegt, mithin dem Planfeststellungsbeschluss oder der Plangenehmigung für die Erdgasleitung.⁶³ Nach § 43l Abs. 4 S. 1 EnWG gelten behördliche Zulassungen für die Errichtung, Änderung und den Betrieb einer Gasversorgungsleitung für Erdgas einschließlich der für den Betrieb notwendigen Anlagen auch als Zulassung für den Transport von Wasserstoff. Aus dieser gesetzlichen Fiktionsregelung ergibt sich, dass allein der Austausch des Transportmediums (Wasserstoff anstelle von Erdgas) noch keine Änderung einer Gasversorgungsleitung im Sinne des § 43 Abs. 1 S. 1 Nr. 5 EnWG begründet⁶⁴. Entscheidend für die Planfeststellungsbedürftigkeit ist damit, ob der Wechsel von Erdgas auf Wasserstoff mit weiteren, rechts-erheblichen Abweichungen von der vorhandenen Gestattung einhergeht. In Betracht kommen Begleitmaßnahmen wie zum Beispiel technische Umbaumaßnahmen an der Gasversorgungsleitung (Auswechslung von Rohren oder Einbauteilen). Sofern damit von den Festsetzungen der vorhandenen Zulassung abgewichen werden sollte, liegt eine Änderung vor. In diesem Fall ist im nächsten Schritt zu prüfen, ob diese als wesentlich oder unwesentlich einzustufen ist. Nach § 43f EnWG können Änderungen, die als unwesentlich einzustufen sind, anstelle eines erneuten Planfeststellungsverfahrens durch ein Anzeigeverfahren zugelassen werden. Unter welchen Voraussetzungen Änderungen als unwesentlich einzustufen sind, ergibt sich aus § 43f Abs. 1 S. 2 EnWG. Danach setzt das Vorliegen einer unwesentlichen Änderung voraus, dass 1. weder nach UVPG noch nach § 43f Abs. 2 EnWG eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen ist, 2. andere öffentliche Belange nicht berührt sind oder die erforderlichen behördlichen Entscheidungen vorliegen und sie dem Plan nicht entgegenstehen und 3. Rechte anderer nicht beeinträchtigt werden oder mit den vom Plan Betroffenen entsprechende Vereinbarungen getroffen wurden. Wie der Wortlaut des § 43f Abs. 1 EnWG zeigt („und“), müssen die genannten Voraussetzungen kumulativ vorliegen. Nach § 43f Abs. 2 S. 1 Nr. 1 EnWG ist bei Änderungen oder Erweiterungen von Gasversorgungsleitungen zur Ermöglichung des Transports von Wasserstoff nach § 43l Abs. 4 EnWG für die Änderung oder Erweiterung eine Umweltverträglichkeitsprüfung nicht durchzuführen. Nach § 43f Abs. 4 S. 5 2. HS EnWG ist eine Prüfung der dinglichen Rechte anderer ebenfalls entbehrlich. Damit kommt es insbesondere darauf an, inwieweit andere öffentliche Belange berührt werden. Dies ist eine Frage des Einzelfalls. Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass die Durchführung des Anzeigeverfahrens nach § 43f Abs. 1 S. 1 EnWG im Ermessen der Genehmigungsbehörde steht („... können ... zugelassen werden.“).

Aus § 43l Abs. 4 S. 3 i.V.m. § 113c Abs. 3 EnWG ergibt sich ferner, dass vor der Umstellung einer Gasversorgungsleitung auf den Transport von Wasserstoff ein sicherheitstechnisches Anzeigeverfahren durchzuführen ist. In diesem soll die Anlagensicherheit überprüft werden. Der Vorhabenträger hat hierbei die gutachterliche Äußerung eines Sachverständigen beizufügen, aus der hervorgehen muss, dass die angegebene Beschaffenheit der genutzten Leitung den sicherheitstechnischen Anforderungen des § 49 Abs. 1 EnWG entspricht. Nach § 113 Abs. 3 S. 1 EnWG hat diese Anzeige mindestens acht Wochen vor dem geplanten Beginn der Umstellung zu erfolgen.

Für die Errichtung und den Betrieb der Anschlussleitung wäre ebenfalls zu prüfen, inwieweit diese auch ohne ein erneutes Planfeststellungsverfahren gemäß § 43 EnWG oder das Anzeigeverfahren nach § 43f Abs. 1 EnWG zugelassen werden kann. Vor dem Hintergrund, dass Um- und Zubeseilungen von bis zu 15 km 220-kV-Freileitungen als unwesentliche Änderungen eingestuft werden, spricht viel dafür, dass auch die Errichtung einer Anschlussleitung als unwesentliche Änderung gilt und damit dem Anzeigeverfahren nach § 43f EnWG zu unterstellen ist. Dies ist aber bisher nicht abschließend geklärt. So wird von einigen Behörden eine restriktive Sichtweise vertreten. Danach soll die Errichtung einer Netzanschlussleistung als „neue Beseilung“ einzustufen sein, mit der Folge, dass eine neue Plangenehmigung nach § 43 EnWG einzuholen ist.

⁶³ Pielow, in: Säcker, Berliner Kommentar zum Energierecht, 3. Aufl., § 43 EnWG, Rn. 6.

⁶⁴ Riege, Die Umstellung von Gasversorgungsleitungen für den Wasserstofftransport, EnWZ 2021, 387 (391).

Die Bundesregierung hat ferner den Erlass eines „Wasserstoffbeschleunigungsgesetzes“ angekündigt. Darin sollen ähnliche Erleichterungen geschaffen werden wie für die LNG-Infrastruktur. Bisher ist noch kein umfassender Gesetzesentwurf veröffentlicht worden.

Für die Industrie sind Klimaschutzverträge von hoher Bedeutung. Klimaschutzverträge fördern die Umstellung der Industrie auf CO₂-arme Produktionsverfahren nach dem Konzept der CO₂-Differenzverträge. Den Unternehmen aus energieintensiven Branchen werden hierbei die Mehrkosten ausgeglichen, die ihnen dadurch entstehen, dass sie ihre Produktion auf Verfahren umstellen, die perspektivisch nahezu THG-neutral erfolgen können. Dabei werden nicht nur die zusätzlichen Errichtungskosten (CAPEX) berücksichtigt, sondern auch die Mehrkosten aus dem Betrieb (OPEX) der klimafreundlicheren Anlagen, die im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen oder Produktionsverfahren entstehen. Die Fördervoraussetzungen sind in einer Förderrichtlinie dargelegt.⁶⁵ Danach werden nur solche industriellen Tätigkeiten gefördert, deren Produkte eine äquivalente oder bessere Funktionalität im Vergleich zu Produkten entsprechender Referenzsysteme erbringen, die im Anhang I der ETS-Richtlinie erfasst sind. Im Fokus stehen somit die energieintensiven Industrieunternehmen, mithin Stahl-, Zement- oder Glasindustrie. Noch nicht sicher geklärt ist, inwieweit das Urteil des BVerfG zur Unzulässigkeit des Bundeshaushalts 2021 vom 14. November 2023 die Finanzierung der Klimaschutzverträge über den Klima- und Transformationsfonds gefährdet. Hier könnte es zu Verzögerungen oder gar Änderungen des Förderrahmens kommen.

Wärme

Nach § 71f GEG-E kann die Verpflichtung, Heizungsanlagen mit mindestens 65%-Anteil aus erneuerbaren Energien zu betreiben, auch durch grünen oder blauen Wasserstoff erfüllt werden. Als grüner Wasserstoff wird nach § 3 Nr. 13b GEG-E Wasserstoff angesehen, der die Anforderungen aus Art. 27 Abs. 3 Uabs. 7 sowie Art. 28 Abs. 5 und 25 Abs. 2 Richtlinie (EU) 2018/2001 (RED II) erfüllt. Es sind also die Anforderungen der delegierten Rechtsakte zu erfüllen. Blauer Wasserstoff ist nach § 3 Nr. 4a GEG-E Wasserstoff, der durch Reformation oder Pyrolyse aus Erdgas hergestellt worden ist und der den nach Maßgabe der delegierten Verordnung (EU) 2021/2139 der Kommission vom 4.6.2021 geltenden technischen Bewertungskriterien genügt. Sofern der Wasserstoff über das Erdgasnetz bezogen wird, muss die Menge des entnommenen Wasserstoffs im Wärmeäquivalent am Ende eines Kalenderjahres der Menge des Wasserstoffs entsprechen, der an anderer Stelle in das Erdgasnetz eingespeist worden ist, und es müssen Massebilanzsysteme verwendet worden sein (§ 71f Abs. 3 S. 3 GEG-E). Bei der sonstigen Nutzung muss die Menge des entnommenen Wasserstoffs am Ende eines Kalenderjahres der Menge entsprechen, die an anderer Stelle hergestellt worden ist, und es müssen ebenfalls Massebilanzsysteme verwendet werden, um eine lückenlose Rückverfolgbarkeit zu gewährleisten.

⁶⁵ Die Förderrichtlinie ist abrufbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Klimaschutz/klimaschutzvertraege.html>, zuletzt abgerufen am 12. Dezember 2023.

4 Ökologische Analyse

Die ökologische Analyse des Wasserstoffeinsatzes in Hagen bietet einen zukunftsorientierten Blick auf die CO₂-Einsparpotenziale, die sich aus dem Umstieg von traditionellen Energiequellen auf erneuerbaren Wasserstoff ergeben könnten. Im Fokus stehen die Auswirkungen auf verschiedene Industriesektoren bis zum Jahr 2030.

4.1 CO₂-Einsparpotenziale in verschiedenen Sektoren

Grundstoffchemie

Die Grundstoffchemie stellt einen signifikanten Bereich in der deutschen Industrielandschaft dar, in dem der Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff maßgebliche Reduktionen von CO₂-Emissionen ermöglichen kann. Für das Jahr 2030 zeigen Studien, dass sowohl die energetische als auch die stoffliche Nutzung von Wasserstoff im Verhältnis von 3 zu 2 ein Einsparpotenzial von durchschnittlich 8,02 kg_{CO₂} pro kg H₂ versprechen.

(Gebäude-)Wärme, Glas-, Papierindustrie

Im Vergleich dazu ist das Einsparpotenzial in der Glas- und Papierindustrie sowie in der Produktion von Nichteisenmetallen geringer. Hier wird traditionell Erdgas für die Prozesswärmeerzeugung eingesetzt. Die Umstellung auf grünen Wasserstoff in Gasbrennern könnte pro Kilogramm Wasserstoff eine Einsparung von 6,7 kg_{CO₂} gegenüber dem Erdgasbetrieb bedeuten. Allerdings ist zu beachten, dass die Technologie für einen 100%igen H₂-Einsatz in Brennern noch nicht vollständig entwickelt ist, was das Einsparpotenzial begrenzen könnte.

Mineralölverarbeitung

Die Mineralölverarbeitung deckt ihren externen Wasserstoffbedarf bisher überwiegend mit grauem Wasserstoff aus Dampfreformierung. Ein Umstieg auf erneuerbaren H₂ könnte hier zu einer Vermeidung von 8,9 kg_{CO₂} pro kg H₂ führen.

Stromerzeugung

Bei einer kompletten Umstellung der Stromerzeugung auf H₂-Gasturbinen bis 2030, ausgehend von einem Turbinenwirkungsgrad von etwa 65 %, liegt das Einsparpotenzial bei fast 9 kg_{CO₂} pro Kilogramm Wasserstoff.

Straßengüterverkehr

Im Straßengüterverkehr könnte der Austausch von schweren Nutzfahrzeugen mit Dieselantrieb durch Brennstoffzellenantriebe zu einer Ersparnis von 10,55 kg_{CO₂} pro Kilogramm Wasserstoff führen.

Roheisen und Stahl

Das mit Abstand größte Einsparpotenzial bietet die Roheisen- und Stahlproduktion. Durch die Substitution des Hochofenprozesses mit der Direktreduktion mittels grünem H₂ ließen sich circa 28 kg_{CO₂} pro Kilogramm Wasserstoff einsparen.

4.2 Hagens Potenzial

Die Stadt Hagen verfügt über beträchtliche Möglichkeiten, insbesondere in der Verarbeitung von Nichteisenmetallen und im Logistikverkehr. Eine theoretische Betrachtung der Potenziale in allen identifizierten Anwendungsfällen offenbart, dass durch den Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff beachtliche CO₂-Einsparungen möglich sind. Bereits im Jahr 2025 könnten 233 Kilotonnen CO₂ vermieden werden, bis 2030

könnte diese Zahl auf 510 Kilotonnen CO₂ ansteigen. Die Abbildung 4-1 visualisiert die aufgeführten Potenziale und unterstreicht die Bedeutung des Wasserstoffeinsatzes als Schlüsselfaktor für eine nachhaltigere Industrie und Wärmebereitstellung sowie einen umweltschonenderen Verkehr in Hagen.

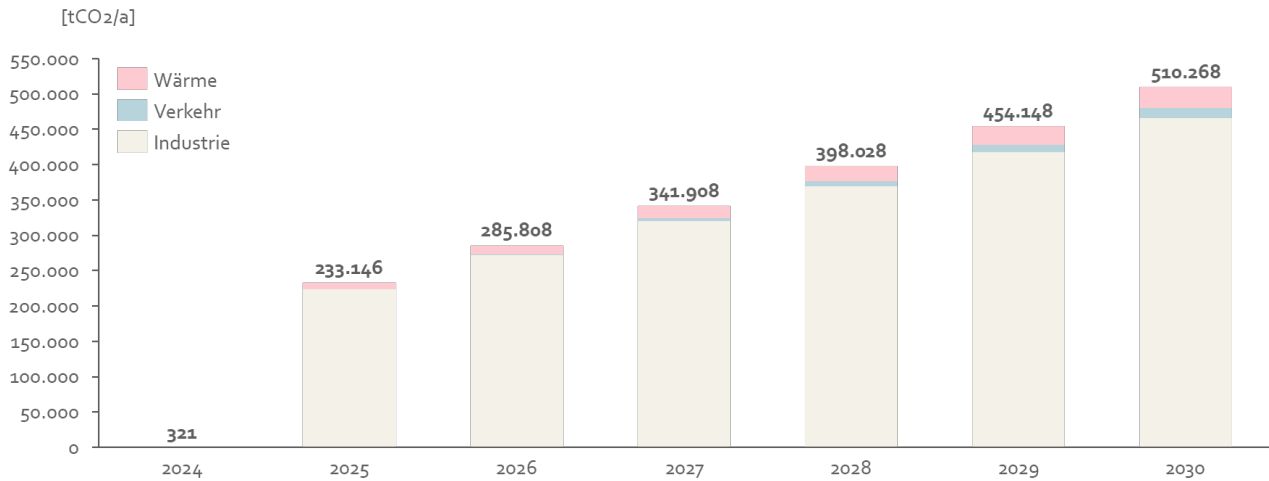


Abbildung 4-1: Hochlauf der CO₂-Einsparungen nach Sektor

Die Analyse zeigt, dass eine strategische Priorisierung des Wasserstoffeinsatzes in bestimmten Sektoren – insbesondere in der Industrie – für Hagen von großer Bedeutung ist. Der gezielte Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff könnte als Katalysator für erhebliche CO₂-Einsparungen dienen und Hagen einen Weg in eine nachhaltigere Zukunft weisen.

5 Akzeptanz und Bildung

Akzeptanz von und Bildung für Wasserstoff spielen eine entscheidende Rolle für die erfolgreiche Umsetzung einer nachhaltigen Energiewende. Um die breite Akzeptanz von Wasserstoff als Energieträger zu fördern, ist eine umfassende Aufklärung und Sensibilisierung der Öffentlichkeit erforderlich. Es ist wichtig, dass die Menschen verstehen, welche Potenziale, aber auch Risiken Wasserstoff für Hagen und die Region bietet, sowohl in Bezug auf den Klimaschutz als auch auf die soziale und wirtschaftliche Entwicklung. Mit zielgruppenspezifischen Vermittlungsformaten können hier erste Schwerpunkte gesetzt werden. Darüber hinaus müssen Bildungsmaßnahmen entwickelt werden, um Fachkräfte für die Wasserstoffindustrie mit dem nötigen Wissen und den Fähigkeiten auszustatten. Dies kann durch die Anpassung von Ausbildungsrichtlinien und die Schaffung neuer Curricula geschehen, um den steigenden Bedarf an qualifizierten Arbeitskräften im Bereich Wasserstoff zu decken. Im Rahmen dieser Studie wurde die Zielgruppe der Verwaltungsmitarbeitenden sowie der Planerinnen und Planer erforderliche Kompetenzen für wasserstoffspezifische Genehmigungsverfahren konkretisiert.

5.1 Akzeptanz

Es ist von entscheidender Bedeutung, die viel diskutierten und auch kritischen Fragen und Themen im Zusammenhang mit der Energiewende, die sowohl in den Medien als auch von den Menschen artikuliert werden, zu berücksichtigen. Diese haben einen Einfluss auf die Akzeptanz und wirken sich auf die regionale Wertschöpfung sowie den Ausbau erneuerbarer Energien, insbesondere von Windkraft- und Photovoltaikanlagen in der Region, aus. Die daraus resultierenden Erkenntnisse unterstützen bei der Identifizierung von Handlungsempfehlungen für den Wissenstransfer und den Dialog mit den Bürgerinnen und Bürgern sowie zivilgesellschaftlichen Akteuren.

Die aktuelle Studienlage zur Akzeptanz der Energiewende in Deutschland zeigt auf, dass die Mehrheit der in Deutschland lebenden Bevölkerung die Energiewende und den damit zusammenhängenden Ausbau der erneuerbaren Energien unterstützt.⁶⁶ Auf der lokalen Umsetzungsebene sind zwei zentrale Dimensionen relevant, um gemeinsam mit den Menschen in Hagen und der Region die Energiewende insbesondere auch von Wasserstoff zu realisieren:

1. Ein frühzeitiger Einbezug der Bürger*innen durch barrierefreie und transparente Kommunikations- und Beteiligungsangebote (Verfahrensgerechtigkeit).
2. Eine faire Verteilung von Lasten, durch wirtschaftliche Anreizstrukturen für die Bürger*innen und/oder die Berücksichtigung der Gemeinwohlinteressen (Verteilungsgerechtigkeit).⁶⁷

Im Rahmen der Erstellung des Handlungskonzeptes wurden: 1. Kurz-Interviews mit Vertreter*innen der Hager Zivildgesellschaft geführt⁶⁸ und 2. eine quantitative Medienanalyse ist erfolgt, um den Status quo der Dimensionen abzubilden. Die Ergebnisse der Interviews zeigen eine grundsätzliche Befürwortung der Energiewende und des erforderlichen Ausbaus erneuerbarer Energien in Hagen und der Region. Zudem besteht eine Offenheit gegenüber und Interesse am Thema Wasserstoff. Weiterhin wird deutlich, dass der Bedarf an barrierefreien Informationen, transparenten Planungsverfahren und einem Überblick zum geplanten und

⁶⁶ Agentur für Erneuerbare Energien e.V.: AEE-Akzeptanzumfrage 2022, online verfügbar unter: www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/aee-akzeptanzumfrage-2022, zuletzt abgerufen am 12. Dezember 2023.

⁶⁷ Hübner, G.; Pohl, J.; Warode, J.; et al. (2020): „Akzeptanzfördernde Faktoren erneuerbarer Energien“, Bundesamt für Naturschutz, online verfügbar unter: <https://www.bfn.de/publikationen/bfn-schriften/bfn-schriften-551-akzeptanzfoerdernde-faktoren-erneuerbarer-energien>, zuletzt abgerufen am 12. Dezember 2023.

⁶⁸ Interviewpartner waren unter anderem: BINSE e.V. (Berchumer Initiative für solare Energien). und NABU Stadtverband Hagen.

durchgeführten Ausbau der Energiewende in Hagen und der Region hoch ist. Die Netzwerkarbeit mit der Hagerer Zivilgesellschaft sollte vertieft werden, um gemeinsam die Energiewende vor Ort zu gestalten. In Beteiligungsverfahren sollten stärker als bisher die frühzeitige Ankündigung in den Medien und die Durchführung vor Ort der Betroffenen umgesetzt werden sowie über einmalige Treffen hinausgehen und positive Partizipationserfahrungen möglich sein. Hinsichtlich der fairen Verteilung der Lasten ist die Gemeinwohlorientierung der lokalen Energiewende nicht klar erkennbar. Zudem sind die Vorteile für kapitalschwache Haushalte nicht immer ersichtlich und Wasserstoff wird aktuell vor allem als Chance für Unternehmen wahrgenommen, während die Chancen für die Bevölkerung noch unklar sind.

Die durchgeführte Medienanalyse⁶⁹ identifiziert im betrachteten Zeitraum 3–9 Zeitungsartikel pro Monat für das Thema Wasserstoff und 11–24 Beiträge (kumuliert) für alle übrigen erneuerbare Energien. Die zeitliche Betrachtung zeigt, dass vor allem im April eine hohe Anzahl von Beiträgen ermittelt wurde. Mögliche Gründe können Entwicklungen auf Bundesebene (z. B. Beschluss der 2. Novelle des Gebäudeenergiegesetzes, beschlossene Regelungen für einfachere Verfahren für Planung und Genehmigung von Windrädern und PV-Anlagen) sowie auf regionaler Ebene (z. B. geplante regionale Windpark- und PV-Projekte) sein. Die Betrachtung der Tonalität der ermittelten Beiträge zeigt (Abbildung 5-1), dass positive und kritische Beiträge jeweils rund ein Viertel der ermittelten Zeitungsartikel ausmachen und neutrale Beiträge in etwa die Hälfte.

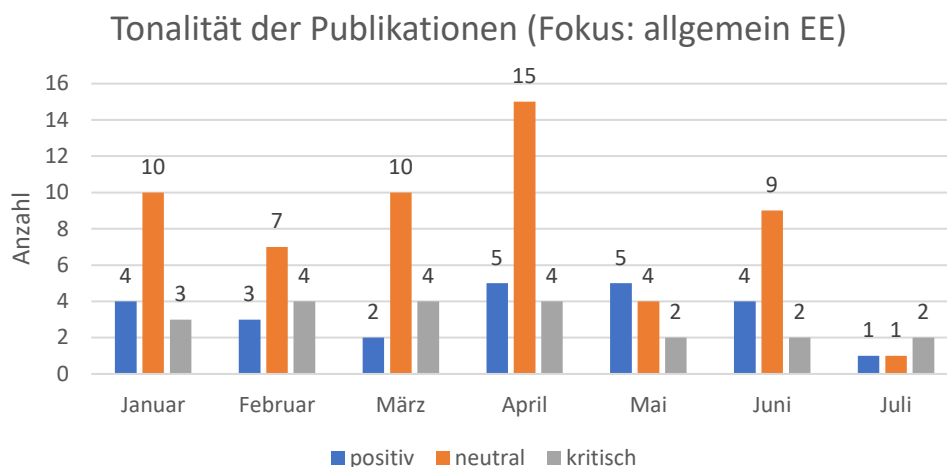


Abbildung 5-1: Überblick Tonalität der in der Mediaanalyse ermittelten Publikationen

Positive Zeitungsartikel sind dabei insbesondere Berichterstattungen über erfolgreiche Projekte, (wirtschaftliche) Innovationen und Unterstützung in der Bevölkerung; als kritische Beiträge wurden Berichterstattungen über fehlgeschlagene Projekte oder Bürgerproteste klassifiziert und neutrale Zeitungsartikel umfassen sachliche Nachrichten zu Ereignissen rund um das Thema erneuerbare Energien ohne normative Bewertung seitens des Autors (z. B. „Trianel informiert über geplanten Windpark Sundern“).

⁶⁹ Die Medienanalyse deckt den Zeitraum von Januar bis Juli 2023 ab. Gegenstand der Analyse war die Suche nach Beiträgen in regionalen Zeitungen mit den Schlagwortkombinationen „Hagen“ und „Wasserstoff* [or] Photovoltaik* [or] Solar* [or] Wind* [or] Biomasse* [or] Energiewende [or] erneuerbare Energien“ im genannten Zeitraum. Recherchewerkzeug war der PMG Presse Monitor, eine tagesaktuelle Datenbank mit veröffentlichten Zeitungsbeiträgen. Die aus der Recherche ermittelten Zeitungsartikel wurden in eine Liste überführt und mittels individueller Durchsicht validiert, um doppelte Ergebnisse oder unzutreffende Artikel zu filtern. Ein Beispiel hierfür sind Zeitungsartikel, die zwar thematisch relevant sind, aber nicht auf die Stadt bzw. Region Hagen fokussieren, jedoch als Ergebnis geliefert wurden, da im Beitrag eine Person mit dem (Vor-)Namen Hagen genannt wird.

Der fokussierte Blick auf das Thema Wasserstoff zeigt (Abbildung 5-2), dass es im Vergleich zum Gesamtüberblick über alle erneuerbaren Energien eine positivere Tendenz gibt.

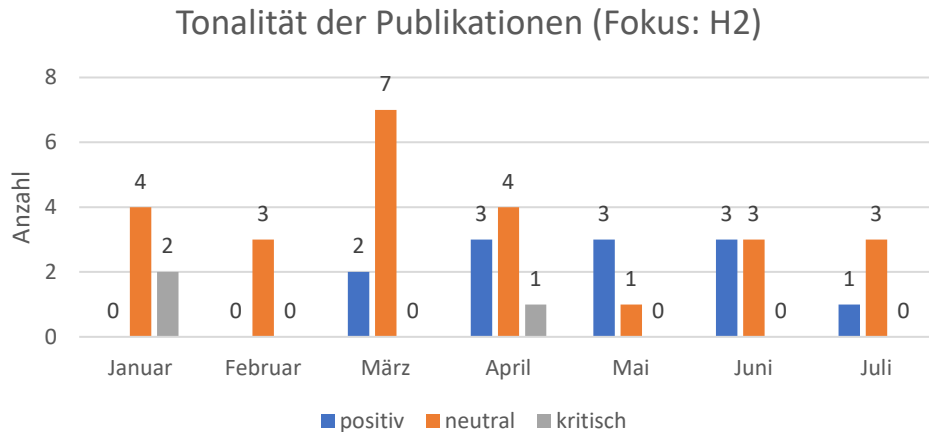


Abbildung 5-2: Tonalität der in der Mediaanalyse ermittelten Publikationen zum Thema Wasserstoff

Dies liegt zum einen daran, dass das Thema Wasserstoff zum Beispiel im Kontext der Wärmewende als mögliche Lösung zur Substitution fossiler Energieträger dient, und zum anderen daran, dass negative Zeitungsartikel über Bürgerproteste beim Thema Wasserstoff noch nicht in dem Maße relevant sind, da konkrete Projekte (z. B. Bau von Elektrolyseuren; Ausbau der H₂-Transportinfrastruktur) in großen Teilen noch nicht in der Umsetzung sind.

Insgesamt werden folgende Handlungsempfehlungen gegeben (s. Tabelle 5-1):

Tabelle 5-1: Handlungsempfehlungen zur Förderung der lokalen Akzeptanz

Akzeptanzfördernd	Themen	Aufwand
Gesprächsräume zwischen Politik und Bürger*innen (insbesondere mit direkt Betroffenen)	Lokaler & regionaler Ausbau EE & Wasserstoff	Mittel
Zielgruppenorientierte und barrierefreie Online-Kommunikation	Überblick Planungs- und Ausbaustand EE / H ₂ , Fördermöglichkeiten & Beratung auf einen Blick	Mittel
Stärkere Vernetzung mit Initiativen und Vereinen vor Ort	Gemeinsame Veranstaltungen, Bereitstellung von Expert*innen	Niedrig
Energiewende Rat Hagen: für direkten Austausch zwischen Politik, Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft und Bürger*innen	Energiewende in Hagen	Mittel
Netzwerk: Wirtschaftsunternehmen für die Energiewende	H ₂ -Infrastruktur aufbauen	Mittel

5.2 Kompetenzbedarfe H₂ am Beispiel von Verwaltungsmitarbeitenden und Planer*innen

Der angestrebte Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft hat Auswirkungen auf bestehende Berufsbilder und erforderliche (neue) Kompetenzen entlang der gesamten Wasserstoff-Wertschöpfungskette, einschließlich Genehmigung, H₂-Produktion, Handhabung, Lagerung, Transport, Endanwendungen und einer weiteren Verarbeitung im Rahmen von PtX-Technologien (Power-to-X) wie die strombasierte Wärmeherzeugung oder die Herstellung von Synfuels.

Im Bereich der Ausbildung wird erwartet, dass zusätzliche Qualifikationen in bestehende Ausbildungsberufe integriert werden können⁷⁰. Eine Sensibilisierung für das Thema Wasserstoff ist darüber hinaus auf allen beruflichen Ebenen notwendig. Die Qualifikationsbedürfnisse sollten sich dabei nicht nur auf Wasserstoff beschränken, sondern auch eine nachhaltige Energieversorgung und Transformationsprozesse von Unternehmen hin zu neuen (wasserstoffbasierten) Anwendungen, Technologien oder Dienstleistungen berücksichtigen.

Die durchgeführte Standortanalyse im Rahmen dieses Vorhabens hat gezeigt, dass in Hagen die größte potenzielle Nachfrage nach Wasserstoff im Bereich der industriellen Nutzung besteht. Einen Schwerpunkt bildet hier die Metallverarbeitung (s. Kapitel 3.2). Ein weiterer Hebel zur Umsetzung von Wasserstoffprojekten sind die Planung und Genehmigung von Erzeugungsanlagen (Elektrolyseure), Speichereinrichtungen (u. a. in Tankstellen) und die Neuplanung und Umrüstung von Gasinfrastruktur (z. B. bei der Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff in einem Produktionsbetrieb). Nachfolgend werden die dafür identifizierten Kompetenzbedarfe und möglichen Weiterbildungsinhalte dargestellt, die sich insbesondere aus den einzureichenden und zu bewertenden Inhalten im Rahmen von immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren, der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) sowie einem allgemeinen Überblick über Planungen zum Markthochlauf und dem Stand der Technik ergeben.

*Tabelle 5-2: Kompetenzbedarfe und mögliche Weiterbildungsinhalte für die Zielgruppen
Verwaltungsmitarbeitende in Genehmigungsbehörden sowie Planer/Planerinnen*

Kompetenzbereich	Weiterbildungsinhalte
Basiswissen	<ul style="list-style-type: none"> - Planungen zum Markthochlauf Wasserstoffwirtschaft (nationale und europäische Strategien, Einbettung in gesetzliche Rahmenbedingungen wie Treibhausgas-minderungsziele) - Einordnung von Wasserstoff: physikalisch und chemische Eigenschaften einschließlich Abbauverhalten; Freisetzungsverhalten
Wasserstoff-erzeugungsanlagen (Elektrolyseure)	<ul style="list-style-type: none"> - Stand der Technik zu verschiedenen Elektrolysetechnologien inklusive Aufbau und Funktion sowie erforderliche Nebenaggregate - Umweltauswirkungen (Wasserbedarfe, Abwassermengen sowie Eigenschaften des Abwassers, anfallende Energie in Form von Wärme, Lärmemissionen) - Art und Ausmaß der Emissionen, die voraussichtlich von der Anlage ausgehen werden - Schutzmaßnahmen gegen schädliche Umwelteinwirkungen (insb. Verminderung von Emissionen, Messung von Emissionen und Immissionen), Wirksamkeit von technischen und organisatorischen Vorkehrungen zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft, Stand des Wissens zu Arbeitsschutzmaßnahmen im Bereich Wasserstoff-erzeugung - Stand des Wissens zu Überwachungsmaßnahmen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen sowie Arbeitsschutzmaßnahmen

⁷⁰ Zinke, Gert: Sektoranalyse: Erzeugung, Speicherung und Transport von Wasserstoff; eine Untersuchung im Rahmen des Projekts „H2PRO: Wasserstoff – ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“, online verfügbar unter: https://res.bibb.de/vet-repository_780890.

	<ul style="list-style-type: none"> - Betriebssicherheit (Brand- und Explosionsverhalten, Wirksamkeit von Maßnahmen zum Brand- und Explosionsschutz)
Anlagen zur Speicherung von Wasserstoff	<ul style="list-style-type: none"> - Stand der Technik zur Speicherung von Wasserstoff (flüssig, gasförmig, Feststoffspeicher) - Sicherheitseinrichtungen, z. B. an Fahrzeugen - Schutzmaßnahmen, s. o.
Umrüstung von Erdgasversorgung auf Wasserstoff	<ul style="list-style-type: none"> - Technisches Wissen zu H₂-Readiness von Armaturen, Leitungen und angeschlossenen Aggregaten - Unterschiedliches Explosionsverhalten von Wasserstoff und Erdgas insbesondere hinsichtlich der Festlegung von Ex-Zonen und Bemessungsregeln für das Ablassen von Erdgas und/oder Wasserstoff - Schutzmaßnahmen, s. o.

Aufgrund der sich im Rahmen von Gesetzesnovellierungen und Rechtsprechungen ändernden Genehmigungsrandbedingungen (z. B. der angestrebten Novellierung der IE-Richtlinie) sowie neueren wissenschaftlichen Erkenntnissen und technischen Entwicklungen empfehlen sich regelmäßige Weiterbildungen und Schulungen. Diese sollten aktuelle Planungen zu Änderungen von Genehmigungsverfahren und -randbedingungen auf EU-Ebene und nationaler Ebene sowie Landesebene mit Bezug zu Wasserstoff und PtX-Anlagen (z. B. IE-Richtlinie, BImSchG, StörfallVO) sowie Übersichten über aktuelle Rechtsprechungen diesbezüglich enthalten. Darüber hinaus sind Best-Practice-Beispiele sowie aktuelle Forschungs- und Entwicklungsthemen im Bereich Wasserstofferzeugung, -speicherung und -nutzung und Forschungsergebnisse im Bereich des Brand- und Explosionsschutzes sowie Materialprüfungen von besonderer Relevanz.

5.3 Zielgruppenspezifische Vermittlungsformate & Skizzierung H₂-Infohaus

Auf Basis der Akzeptanzstudie und den daraus entwickelten Handlungsempfehlungen (Kapitel 5.1) wurden Leitfragen und anschließend Vermittlungsformate abgeleitet, die für die Sensibilität für die (lokale) Energiewende und Umsetzung der Maßnahmen zum Klimaschutz in Hagen von besonderer Bedeutung sind (s. Tabelle 5-3).

Tabelle 5-3: Leitfragen und Vermittlungsformate

Leitfrage	Vermittlungsformat	Vermittlungsziel	Rahmen und Verantwortlichkeit
Wie viele Emissionen entstehen jährlich in Deutschland und in Hagen in den einzelnen Sektoren?	Website: Digitale Grafik	Informieren	Stadt Hagen
Wie tragen erneuerbare Energien jährlich zur Einsparung von Emissionen in Hagen bei? (Windkraft, Photovoltaik, Wasserstoff, Biogas usw.)	Website: Digitale Einsparuhr & digitale Karte	Informieren	Stadt Hagen
Was bringt der Einsatz von erneuerbaren Energien unserer Stadt finanziell? / Wie trägt der Einsatz	Digitale Darstellung von Einnahmen und Investitionen	Informieren	Stadt Hagen / Kämmerer

erneuerbarer Energien in Hagen zum Gemeinwohl bei?			
Wo werden Erneuerbare-Energieanlagen in Hagen geplant und wie kann ich daran mitwirken?	Website: Karte & Newsletter	Informieren & partizipieren	Stadt Hagen / Stadtplanungsamt, ständig
Welche Herausforderungen und Potenziale hat Wasserstoff in der Hagerener Energiewende?	Wissenschaft im Wirtshaus/Wasserstoffstammtisch	Informieren & partizipieren	Pro-und-Kontra-Debatte von Expert*innen, 1–2-mal im Jahr
Wie wird Wasserstoff in Hagen nachhaltig produziert, gespeichert und genutzt?	Website: Digitale Karte & Bürgerinitiativen-Stammtisch mit Politik	Informieren & partizipieren / Netzwerkaufbau und Ausbau	Stadt Hagen, ständig, alle drei Monate
Welche Projekte gibt es zum Thema Wasserstoff in Hagen?	Virtuelle Touren und/oder Entdeckungstouren vor Ort	Informieren & partizipieren	2–3-mal pro Jahr, Besuch bei einzelnen Unternehmen anbieten; Geocaching-Touren fortführen
Was ist die Vision für ein klimaneutrales und wirtschaftlich starkes Hagen 2050?	Klimamobil / Lastenrad	Informieren & partizipieren	Vor Ort & digital: Veranstaltungen (Sommer, bis zu 6 Termine)

Die dargestellten Vermittlungsformate eignen sich grundsätzlich auch für die Präsentation und Diskussion im Rahmen einer permanenten oder temporären Ausstellung. Hier sind verschiedenen Varianten denkbar, die sich in ihrem Aufwand (finanziell und personell) und in ihrer Komplexität unterscheiden.

Folgende Aspekte sind bei einer Umsetzung zu berücksichtigen:

1. Zielgruppengerechte Darstellung der Inhalte
 - a. Allgemein: Informationen transparent und barrierefrei bereitstellen (s. Empfehlungen Akzeptanz). Hier sind ein niederschwelliger Einstieg und eine didaktische Aufbereitung wichtig.
 - b. Berücksichtigung der genannten Leitfragen bei der Entwicklung von Informationsangeboten – Kopplung digital bereitgestellter Informationen mit Anfassproben wie beispielsweise einem Elektrolyseurmodell sowie Veranstaltungsformaten wie Führungen, Workshops, Debatten etc.
 - c. Begleitende Evaluation der dargestellten Inhalte und Vermittlungsformate empfehlenswert. Zudem sollte eine sukzessive Aktualisierung gewährleistet werden.
2. Räumlichkeiten
 - a. Allgemein: gute Erreichbarkeit und Barrierefreiheit wichtig (s. Empfehlungen Akzeptanz).
 - b. Zwei Varianten denkbar:
 - Mobiles Ausstellungsformat („Hagener Klimamobil“)
 - Nutzung einer stationären Räumlichkeit („H₂-Infohaus“)

Die beiden Varianten zur Vor-Ort-Vermittlung und Diskussion sind nachfolgend beschrieben (s. Tabelle 5-4).

Tabelle 5-4: Varianten zur permanenten oder temporären Präsentation und Diskussion

Hagener Klimamobil	H2-Infohaus
<ul style="list-style-type: none"> - Was: Anhänger oder Lastenrad - Vorteile: mobile Nutzung auf lokalen Veranstaltungen (z. B. Umwelttag in der Innenstadt) bzw. bei Stadtteilveranstaltungen oder in Schulen; dadurch niederschwellige Erreichbarkeit; nutzbar für Aktionswochen etc.; Möglichkeit zur Nutzung für partizipative Formate (Diskussionen, Befragungen) - Nachteile: ggf. Beschränkung bei der Ausstellung von Exponaten 	<ul style="list-style-type: none"> - Was: einzelner Raum oder Neubau - Vorteile: Möglichkeit zur Nutzung von Leerstand in der Innenstadt oder räumliche Anbindung an ein Demonstrationsvorhaben (Showroom); je nach Räumlichkeit Möglichkeit für die Durchführung von Veranstaltungsformaten - Nachteile: für attraktives Angebot sehr hoher Aufwand erforderlich; Bevölkerung ggf. nicht breit erreichbar
<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen: idealerweise geschultes Personal; Verbindung mit partizipativen Formaten zur Erhöhung der Wirkung empfehlenswert - Aufwand und Komplexität der Umsetzung: stark abhängig von Größe, Intensität der Nutzung und partizipativen Formate 	

6 Unser Zukunftskonzept

Mit der Herausforderung des Klimawandels und der Suche nach nachhaltigen Energielösungen rückt Wasserstoff zunehmend in den Fokus der Energiepolitik. Das Potenzial dieses vielseitigen Energieträgers ist beachtlich, insbesondere wenn es darum geht, die Dekarbonisierung in verschiedenen Sektoren voranzutreiben und zu verknüpfen. In diesem Kapitel wird die Rolle von Wasserstoff als zentraler Baustein für die Zukunft der Stadt Hagen beleuchtet. Es werden deduktive Schlussfolgerungen aus der vorausgegangenen Analyse gezogen, um ein klares Bild von den Möglichkeiten der Wasserstofftechnologien zu zeichnen und um die Wege zu skizzieren, wie diese in die städtischen Strukturen integriert werden können. Es wird ein Leitbild für den Einsatz von Wasserstoff in Hagen entworfen, das sowohl ambitioniert als auch realistisch die Weichen für eine nachhaltige Stadtentwicklung stellt. Die Schaffung eines Verbundprojektes ist dabei ein wesentlicher Schritt, um Einzelinitiativen zu einem synergetischen Gesamtkonzept zu verbinden und den vielschichtigen Herausforderungen einer nachhaltigen Energieversorgung und -nutzung zu begegnen.

Im Sektor Güterverkehr werden konkrete Handlungsempfehlungen wie die Nutzung von Vernetzungsangeboten und die Planung gemeinsamer Beschaffungen als fundamentale Schritte angesehen (vgl. Kapitel 3.1.7). Diese Empfehlungen spiegeln die Notwendigkeit wider, nicht nur technologische Infrastrukturen, sondern auch kooperative Netzwerke aufzubauen, die eine effiziente und effektive Implementierung von Wasserstofflösungen ermöglichen. Des Weiteren sind die Vorbereitung auf Förderaufrufe und die Auswahl geeigneter Betreibermodelle für die H₂-Tankstelleninfrastruktur von immenser Bedeutung für den Verkehrssektor.

In der Industrie fokussiert sich das Zukunftskonzept auf die Sicherstellung einer zuverlässigen Wasserstoffversorgung (vgl. Kapitel 3.2.8). Die Stadt Hagen steht hier vor der Aufgabe, die Rahmenbedingungen zu schaffen, die eine zügige und sichere Integration von Wasserstoff in die industrielle Nutzung ermöglichen. Eine gesteigerte Akzeptanz in der Bevölkerung und eine intensive Lobbyarbeit auf allen politischen Ebenen sind dabei ebenso von Relevanz wie die Etablierung eines Zentrums für Schulungen und Arbeitssicherheit.

Für den Wärmesektor zeichnet das Konzept die Notwendigkeit einer detaillierten Machbarkeitsstudie und die Untersuchung des bestehenden Erdgasnetzes vor (vgl. Kapitel 3.3.6). Die kommunale Wärmeplanung und die Nutzung industrieller Abwärme werden als Schlüsselkomponenten betrachtet, um die Wärmeversorgung der Stadt zu dekarbonisieren und nachhaltig zu gestalten.

Dieses Kapitel wird somit nicht nur die strategischen Richtungen für den Einsatz von Wasserstoff in Hagen definieren, sondern auch die Synergien zwischen den verschiedenen Sektoren aufzeigen, um eine kohärente und integrierte Umsetzung des Zukunftskonzeptes zu gewährleisten.

6.1 Ableitungen aus den Analysen

In der Zukunftskonzeption für eine regional verankerte Wasserstoffwirtschaft stehen die Regionen vor maßgeblichen Herausforderungen und signifikanten Chancen zugleich. Eine zentrale Herausforderung ist der Ausgleich der Diskrepanz zwischen dem regionalen Erzeugungspotenzial von Wasserstoff auf der Basis lokaler erneuerbarer Energien sowie den konkreten Projektansätzen und dem prognostizierten Bedarf verschiedener Sektoren.

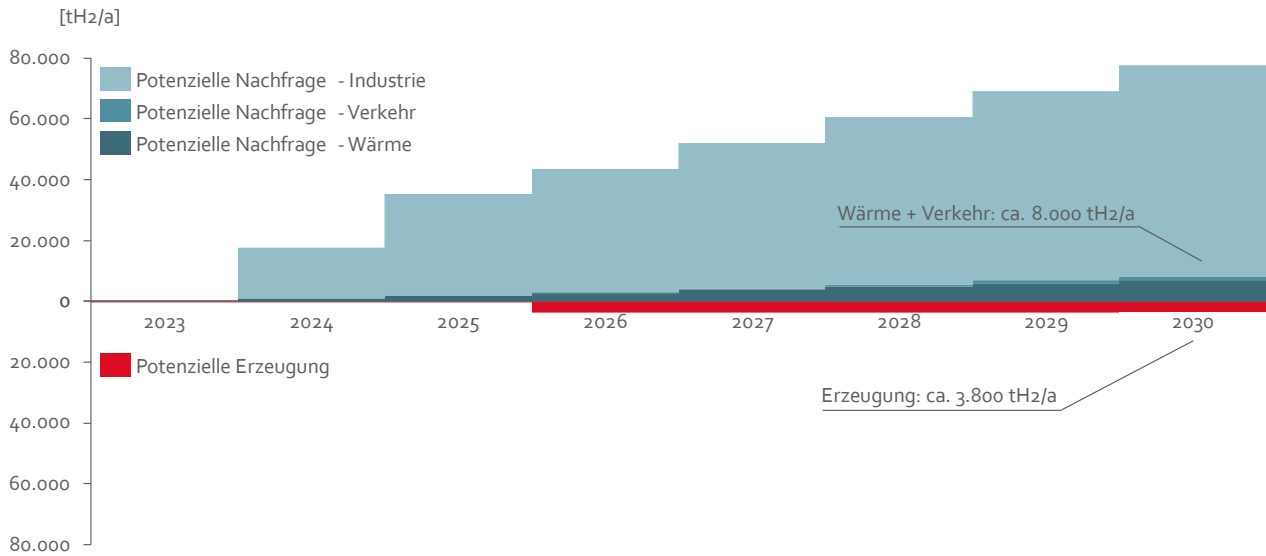


Abbildung 6-1: Gegenüberstellung der Wasserstoffabnahme- und -erzeugungspotenziale über alle Sektoren bis 2030

Abbildung 6-1 veranschaulicht die Entwicklung der theoretischen Potenziale in allen analysierten Sektoren bis zum Jahr 2030. Bis zum Jahr 2030 wird ein Erzeugungspotenzial von ca. 3.800 Tonnen Wasserstoff pro Jahr erwartet. Im Gegensatz dazu steht eine potenzielle Nachfrage der Industrie von 69.550 Tonnen, des Verkehrs von etwa 1.333 Tonnen und des Wärmebereichs von 6.800 Tonnen Wasserstoff pro Jahr. Diese Zahlen veranschaulichen, dass die theoretischen Bedarfe die Erzeugungspotenziale um mehr als das Zwanzigfache übersteigen. Dieses Ungleichgewicht gilt es auszubalancieren, indem beispielsweise die Lage der Region im Herzen des Wasserstoff-Kernetzes sowie die Planung weiterer Pipeline-Stränge für die zusätzliche Wasserstoffbeschaffung einbezogen werden.

Daneben soll das sogenannte Verbundprojekt als potenzielle Lösung und entscheidender Schritt zur Realisierung des Zielbildes fungieren. Durch die Bündelung der regionalen Kompetenzen und Ressourcen kann das Verbundprojekt Synergieeffekte sowohl in der Nutzung als auch in der Beschaffung von Wasserstoff erzeugen. Es schafft die Möglichkeit, dass Akteure gemeinsam Strategien zur Erweiterung der Produktion entwickeln und Importquellen identifizieren, um so die lokale Versorgung zu sichern.

Die Verzahnung der Erzeugungs- und Verbrauchskonzepte im Rahmen des Verbundprojektes trägt dazu bei, die Lücke zwischen Bedarf und Produktion zu schließen. Zudem kann es als Katalysator für weitere regionale Projekte fungieren, die perspektivisch Teil der regionalen Wasserstoffwirtschaft werden wollen. Somit wird deutlich, dass die Integration des Verbundprojektes in die Gesamtstrategie nicht nur notwendig ist, sondern auch den Grundstein für eine nachhaltige und wirtschaftlich erfolgreiche Zukunft der Region legt.

6.2 Das Verbundprojekt

Das Verbundprojekt stellt ein Kernstück der strategischen Entwicklung dar, das maßgeblich zur Realisierung einer integrierten Wasserstoffwirtschaft in der Region beitragen kann. Das Projekt ermöglicht es, Ressourcen effizient zu bündeln und dabei die Stärken verschiedener Akteure zu nutzen, um die individuellen sowie gemeinsamen Ziele zu erreichen. Das Verbundprojekt bietet dabei nicht nur ökonomische Vorteile durch die Nähe zu existierenden Infrastrukturen und Märkten, sondern die Zusammenarbeit innerhalb des Verbundes ermöglicht eine optimierte Positionierung am Markt.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil des Verbundprojektes liegt darin, dass regulatorische Vorgaben und Vorschriften, die für einzelne Akteure nur mit hohem Aufwand zu verstehen und bewältigen sind, durch die Bündelung der Kompetenzen und Erfahrungen effizienter und schneller abgearbeitet werden können.

Der Austausch von Fertigkeiten und Wissen zwischen den Akteuren des Verbundprojektes ist von unschätzbarem Wert. Durch interdisziplinäre Teams und den Transfer von Know-how entsteht eine Lernkultur, die den technologischen Fortschritt vorantreibt und die Wettbewerbsfähigkeit der Akteure sowie der Region stärkt. Koordiniertes Lieferkettenmanagement ist ein weiterer Synergieeffekt, der die Effizienz der gesamten Wertschöpfungskette erhöht. Die Integration und Synchronisation der Lieferketten der Teilnehmenden ermöglicht es, Risiken zu minimieren, Lagerhaltung zu optimieren und den Materialfluss zu verbessern.

Schließlich verbessert das Verbundprojekt auch die Aussichten auf Förderung. Durch die Bündelung der Projekte und die Darlegung der gesamtwirtschaftlichen Bedeutung steigt die Chance, dass Fördermittel bewilligt werden. Dies erleichtert die Finanzierung von Forschung, Entwicklung und der Implementierung neuer Technologien.

Insgesamt bietet das Verbundprojekt einen zukunftsorientierten Ansatz, um die zahlreichen Herausforderungen auf dem Weg zum Zukunftskonzept einer regionalen, nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft im Verbund zu meistern, und dient als Nukleus, an den sich weitere Projekte anschließen können, sobald diese einen bestimmten Reifegrad erreichen.

6.2.1 Fokus des Verbundprojektes und Auswahl der Akteure

Das Hauptanliegen des Verbundprojektes ist es, durch die Bündelung der Kräfte existierender Wasserstoffinitiativen Barrieren für den Marktzugang zu senken, Kosteneffizienz zu steigern und die Erfolgsaussichten von Wasserstofftechnologien zu verbessern. Die Analyse der regionalen Initiativen zielte darauf ab, mögliche Synergien zu identifizieren und die Einbeziehung verschiedener Akteure zu ermöglichen. Industrielle Akteure waren entweder bereits in Vorhaben involviert, die sich primär der großskaligen Wasserstofferzeugung und -nutzung widmeten, oder sie befanden sich in einer Phase, in der eine aktive Beteiligung am Verbundprojekt aufgrund des Projektreifegrads zu früh kommt. Daher ergab sich eine fokussierte Ausrichtung des Projektes auf die Sektoren Erzeugung und Verkehr.

Dieses Vorgehen ist insbesondere deshalb von strategischem Vorteil, weil im Verlauf der Markteinführung eine direkte Korrelation zwischen den Mengen aus Wasserstofferzeugung und -nachfrage im Verkehrssektor besteht, wie die Markthochlaufphase bis 2030 zeigt (siehe Abbildung 6-1). Die Nachfrage ist in dieser Phase zu gering, um den Bau einer Pipeline-Infrastruktur zu rechtfertigen, was die Wahl einer Trailerlogistik nahelegt. Dieses flexible System ermöglicht einerseits kleineren Akteuren, sich am Markt zu etablieren, und andererseits erhöht es die Chancen, weitere Akteure im weiteren Verlauf des Markthochlaufs zu integrieren. Durch die Bildung von Verbundprojekten entstehen zudem Anknüpfungspunkte zu anderen regionalen Initiativen, welche die industrielle Nachfrage bedienen.

Basierend auf dieser strategischen Ausrichtung wurden folgende Akteure und ihre Projekte für eine weiterführende Analyse ausgewählt⁷¹:

Mögliche Erzeugungsprojekte:

MVA Hagen: Die Nutzung von Müll als Energiequelle erlaubt es, den Kreislauf der Abfallwirtschaft zu schließen, und bietet eine lokale, nachhaltige Energieerzeugung. Darüber hinaus liefert die Anlage eine konstantere Stromerzeugung im Vergleich zu volatileren erneuerbaren Energiequellen. Dadurch kann die Anlage die Stromversorgung eines Elektrolyseurs optimieren.

Standort Hobräck: Durch seine geografische Lage bietet Hobräck Vorteile für die lokale Energieerzeugung und unterstützt die regionale Versorgungssicherheit.

⁷¹ Wichtig: Hierbei handelt es sich um keine abschließende Liste! Die Idee des Verbundprojektes ist es, dass sich weitere Akteure anschließen können.

Standort Rafflenbeul: Mit seiner günstigen Positionierung kann dieser Standort die lokale Energieversorgung stärken und als zuverlässiger Energieproduzent dienen.

Mögliche Nutzer im Verkehrssektor:

Cosi Stahllogistik: Beabsichtigt den Bau einer Wasserstofftankstelle und die Umstellung eines Teils ihres Fuhrparks auf Brennstoffzellen-Lkw, was ihre Ambitionen in Richtung nachhaltiger Transportlösungen signalisiert.

Fritz Neuhaus: Plant die Anschaffung von Wasserstoff-Lkw und treibt die Entwicklung einer H2-Tankstelleninfrastruktur voran, um ihre Transportflotte zu dekarbonisieren.

Nap’N’Roll: Arbeitet mit H2Mobility zusammen, um eine Wasserstofftankstelle zu implementieren, und zeigt damit das Bestreben, integrierte Mobilitätslösungen zu unterstützen.

Durch die Einbindung dieser spezifischen Projekte und Akteure kann das Verbundprojekt maßgeschneiderte Lösungen für die Herausforderungen bei der Erzeugung und Anwendung von Wasserstoff bieten und somit zur Realisierung einer nachhaltigen und integrierten Energie- und Mobilitätswende beitragen.

6.2.2 Analyse der möglichen Synergien

Im Rahmen der Konzeptionierung des Verbundprojektes nimmt die Analyse der Synergien zwischen den einzelnen Projekten eine Schlüsselstellung ein. Angesichts der Tatsache, dass sich viele der betrachteten Projekte noch in einem frühen Entwicklungsstadium befinden, wurde besonderes Augenmerk auf die Standortoptimierung gelegt. Für die methodische Untersuchung dieser Potenziale wurde ein spezifisches Modell zur Standortoptimierung entworfen, das die Komplexität des Unterfangens abbildet und den Entscheidungsprozess unterstützen soll. Im Einklang mit den Grundprinzipien der Wasserstoffwirtschaft werden in der Regel die drei Phasen der Energieumwandlung – Stromquelle, Elektrolyse und Nutzung – berücksichtigt, außer in Fällen, in denen H2 direkt importiert oder über Pipelines bezogen wird.

Die Standortoptimierung wurde anhand von drei ausgearbeiteten Konzepten detailliert analysiert, wobei jeweils eine spezifische Optimierungsdimension im Vordergrund stand. Diese Konzepte sind in Abbildung 6-2 grafisch dargestellt und werden im Folgenden erläutert:

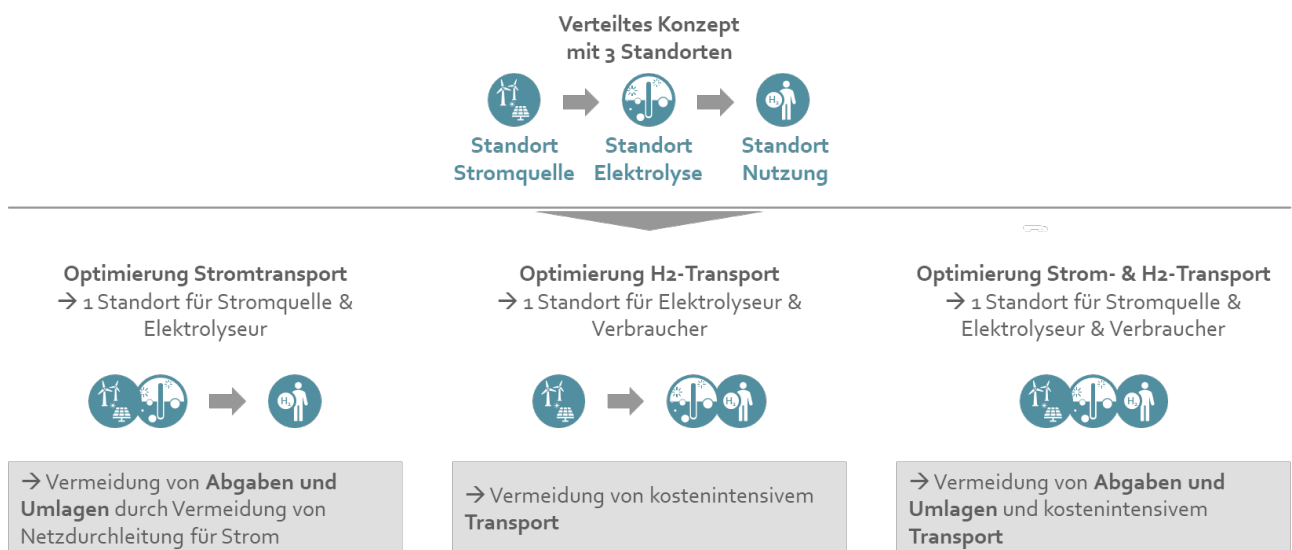


Abbildung 6-2: Standortkonzepte

Optimierung des Stromtransports – Hier werden Stromquelle und Elektrolyseur räumlich kombiniert, um die Nutzung des Stromnetzes zu vermeiden. Dies führt zur Einsparung netzentgeltgekoppelter Abgaben

und gegebenenfalls von Stromsteuer, erfordert jedoch einen Wasserstofftransport zum Verbraucher, beispielsweise per Trailer.

Optimierung des H₂-Transports – In diesem Szenario befinden sich Elektrolyseur und H₂-Verbraucher am selben Ort. Während also der Wasserstoff nicht transportiert werden muss, fallen Kosten für die Durchleitung des Stroms durch das Netz sowie die entsprechende Stromsteuer an. Jedoch können Transportkosten für Wasserstoff, die sonst per Trailer oder Pipeline entstehen würden, eingespart werden.

Optimierung von Strom- und H₂-Transport – Diese Konstellation sieht vor, dass alle Komponenten – Stromquelle, Elektrolyse und Verbraucher – am selben Ort angesiedelt sind, wie es beispielsweise bei einer Onsite-Elektrolyse an einer Betriebshoftankstelle der Fall sein könnte. Hierbei werden sowohl die Kosten für die Durchleitung von Strom als auch für den H₂-Transport eliminiert.

In den nachfolgenden Abschnitten werden diese drei Optionen im Detail gegenübergestellt und in Bezug auf ihre techno-ökonomischen Aspekte, Anwendbarkeit und Effizienz innerhalb des Verbundprojektes diskutiert.

6.2.2.1 Optimierung des Stromtransports

Im Rahmen der Optimierungsstrategie des Stromtransports für das Verbundprojekt ist die Frage nach adäquater Dimensionierung und Anzahl der Elektrolyseure entscheidend. Für die Positionierung der Elektrolyseure in unmittelbarer Nähe zur Stromquelle bestehen zwei wesentliche Szenarien:

Bei einer Konfiguration mit **mehreren Elektrolyseuren** – vergleichbar mit zahlreichen Post-EEG-Anlagen – sind die Skaleneffekte weniger stark ausgeprägt. Diese geringeren Skaleneffekte bedeuten, dass die Kostenvorteile, die normalerweise durch die Produktion in größerem Maßstab entstehen, hier nicht voll ausgeschöpft werden können. Dies resultiert in höheren relativen Kosten pro Einheit. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt jedoch in einer erhöhten Versorgungssicherheit, da das Risiko eines Anlagenausfalls über mehrere Einheiten verteilt und somit reduziert wird.

Im Gegensatz dazu steht die Konfiguration mit **weniger Elektrolyseuren** – diese ist typischerweise bei einem einzelnen großen Windpark vorzufinden. Hierbei werden höhere Skaleneffekte erzielt, was zu niedrigeren Kosten pro erzeugter Wasserstoffeinheit führt. Der Nachteil hierbei ist eine potenzielle Reduktion der Versorgungssicherheit, da eine geringere Anzahl von Produktionsstätten das Risiko von Ausfällen und deren Auswirkungen auf die Gesamtproduktion erhöht.

Die Potenziale der Skaleneffekte bei Elektrolyseuren sind von großer Bedeutung für das Verbundprojekt. Zwischen einem 5-MW- und einem 100-MW-Elektrolyseur können Kosteneinsparungen von bis zu 31 % verzeichnet werden, wie die Abbildung 6-3 verdeutlicht.

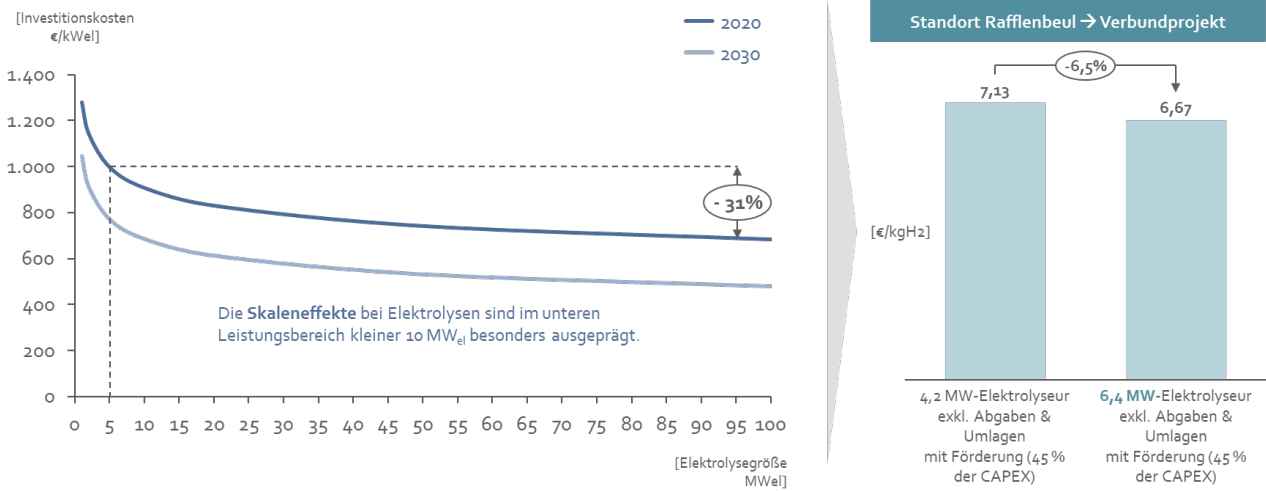


Abbildung 6-3: Investitionskosten eines PEM-Elektrolyseurs abhängig von der Größe

Weiterhin kann durch die Zusammenführung des Stroms aus den Erzeugungsprojekten der Region eine ökonomisch vorteilhafte Auslastung eines 6,4-MW-Elektrolyseurs erreicht werden. Dies stellt im Vergleich zu einem 4,2-MW-Elektrolyseur, der mit den Windenergieanlagen am Standort Rafflenbeul realisiert werden könnte, ein Kostensenkungspotenzial von ungefähr 6 % dar, wiederum begünstigt durch die Skaleneffekte des größeren Elektrolyseurs (vgl. Abbildung 6-3).

Die vorliegende Analyse unterstreicht die Bedeutung einer detaillierten Planung hinsichtlich der Anzahl und Größe von Elektrolyseuren und liefert somit einen zentralen Beitrag zur strategischen Ausrichtung des Verbundprojektes.

6.2.2.2 Optimierung des H₂-Transports

Im Rahmen der Strategie zur Optimierung des Wasserstoff-Gastransports richtet sich das Augenmerk auf die Konfiguration der Elektrolyseure in Bezug auf die Anzahl und geografische Verteilung der Wasserstoffverbraucher. Dies führt zu folgenden Betrachtungen:

Die Verteilung mit **mehreren Elektrolyseuren**, die kleinere H₂-Verbraucher bedienen, weist geringere Skaleneffekte auf. In dieser Konstellation werden zwar keine großen Mengen in einem zentralisierten Prozess produziert, was zu höheren relativen Kosten pro erzeugte Einheit führt, jedoch ergibt sich der Vorteil einer diversifizierten Risikoverteilung. Eine Vielzahl von Produktionsstätten bedeutet hierbei eine erhöhte Versorgungssicherheit, da ein Ausfall einzelner Anlagen nicht unmittelbar zu einer umfassenden Versorgungsknappheit führt.

Im Kontrast dazu steht die Konfiguration mit **weniger Elektrolyseuren**, die einen oder wenige große Industrieverbraucher versorgen. Dies ermöglicht das Erreichen deutlich ausgeprägter Skaleneffekte, da die Wasserstoffproduktion in großem Maßstab stattfinden kann, was zu einer Kostenreduktion pro Einheit führt. Allerdings ist hierbei die Versorgungssicherheit potenziell gefährdet, da die gesamte Wasserstoffproduktion von wenigen Standorten abhängig ist, was bei Ausfällen zu erheblichen Versorgungslücken führen kann.

Im Kontext der Initiativen des Verbundprojektes führt die Eliminierung des Transports von Wasserstoff zu beträchtlichen Kosteneinsparungen. Die Wegfallkosten für den Transport per Trailer beispielsweise bedeuten, wie in der Abbildung 6-4 illustriert, eine Kostenreduktion von nahezu 7 %. Dies unterstreicht die finanzielle Effizienz, die durch die lokale Produktion und Nutzung des Wasserstoffs ohne die Notwendigkeit von dessen Transfer zwischen verschiedenen Standorten erreicht werden kann.

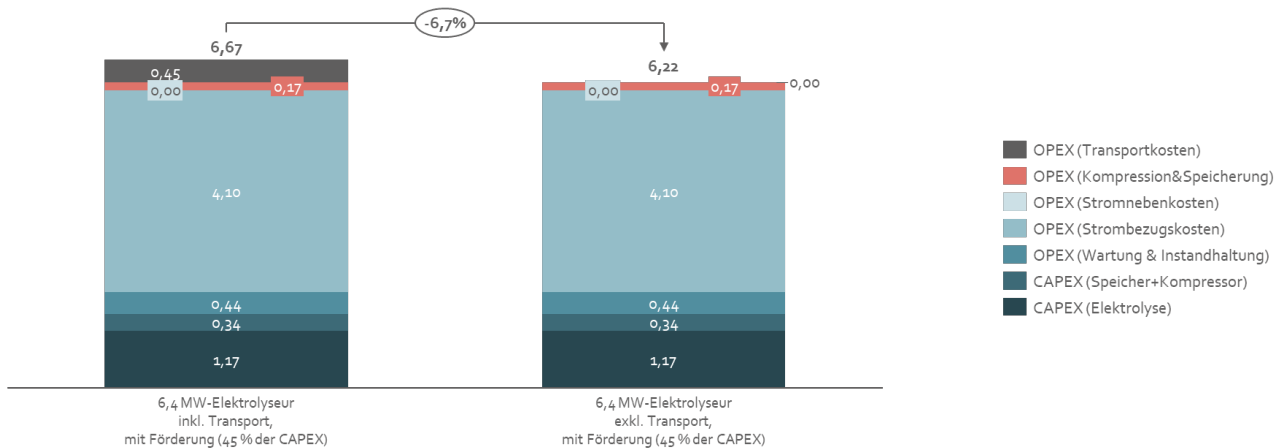


Abbildung 6-4: H₂-Gestehungskosten mit/ohne Transportkosten [€/kgH₂]

Diese Analyse zeigt deutlich, dass die strategische Platzierung von Elektrolyseuren in direkter Nähe zu den Hauptverbrauchern einen wesentlichen Einfluss auf die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des gesamten Verbundprojektes hat. Entscheidend ist dabei, ein Gleichgewicht zwischen Skaleneffekten und Versorgungssicherheit zu finden, um eine nachhaltige und kosteneffiziente Wasserstoffinfrastruktur zu realisieren.

6.2.2.3 Optimierung von Strom- und H₂-Transport

Bei der Strategie zur Optimierung von Strom- und H₂-Transport im Rahmen des Verbundprojektes handelt es sich um eine Konstellation, die zwar selten vorkommt, jedoch signifikante Vorteile bietet, wenn alle Elemente – Stromquelle, Elektrolyse und Verbraucher – lokalisiert an einem Standort zusammengeführt werden.

Diese seltene, aber äußerst vorteilhafte Situation bringt den fundamentalen Vorteil mit sich, dass weder Kosten für die Nutzung des Stromnetzes noch für den Wasserstofftransport entstehen. Die Zusammenführung aller Komponenten in einem integrierten System vermeidet die Ineffizienzen, die durch die Übertragung und den Transport über Distanzen entstehen.

Ein prägnantes Beispiel für eine solche Konstellation ist der Mobilitätssektor, insbesondere die On-Site-Wasserstoffproduktion an Tankstellen. Diese direkte Vor-Ort-Produktion ermöglicht es, die Kosten um 10 % zu senken, wie in der Abbildung 6-5 dargestellt. Dieser Kostenvorteil resultiert aus der Eliminierung zusätzlicher Aufwendungen, die normalerweise für die Kompression, Speicherung sowie den Transport per Anhänger erforderlich sind. Die Kostenreduktion ist somit ein direktes Ergebnis der verringerten Komplexität und der Effizienzsteigerung durch lokale Produktion.

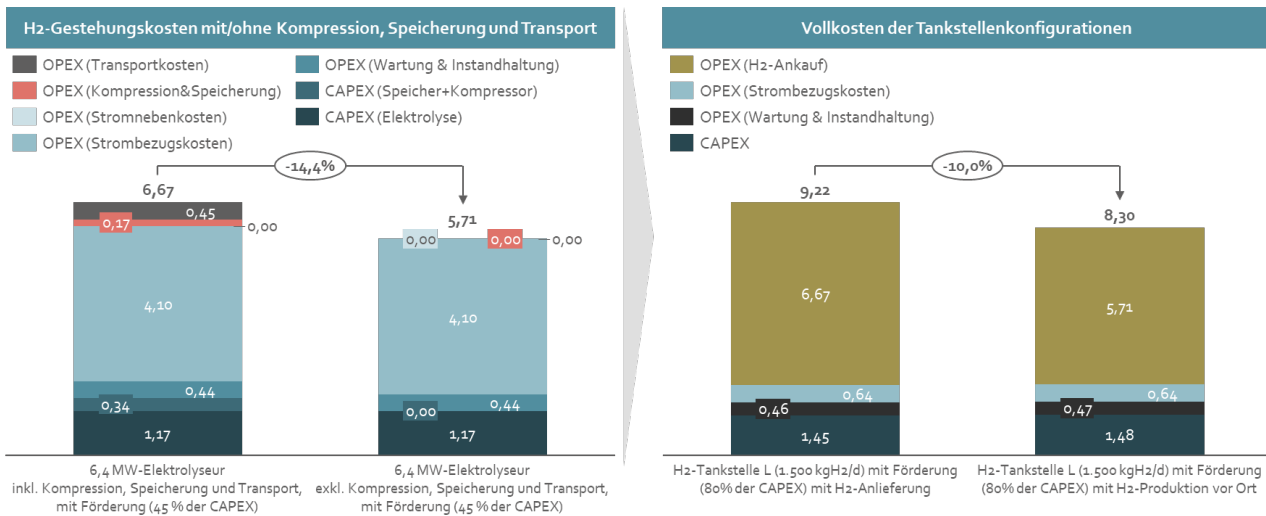


Abbildung 6-5: Mit dem Transport verbundene Kosten bei der H₂-Erzeugung und -Betankung [€/kgH₂]

Die On-Site-Produktion und -Nutzung stellt damit eine ideale Lösung für die Minimierung von Transport- und Übertragungsaufwendungen dar, wobei die Herausforderung in der Realisierung solcher integrierten Standorte liegt. Bei der Ausgestaltung von Projekten im Rahmen des Verbundprojektes sollte daher besonderes Augenmerk auf die Potenziale gelegt werden, die durch die Bündelung von Ressourcen und Prozessen an einem Ort realisiert werden können.

In der Machbarkeitsstudie wird diese Konstellation speziell im Mobilitätssektor weiter untersucht, da hier das Kostensenkungspotenzial besonders hoch ist. Es wird beleuchtet, inwieweit solche On-Site-Lösungen zur Kosteneffizienz des gesamten Verbundprojektes beitragen und welche spezifischen Bedingungen für eine erfolgreiche Implementierung erfüllt sein müssen.

6.2.2.4 Sonderfall Mobilität

Im Sonderfall Mobilität ist die Anzahl der Wasserstofftankstellen (H₂-Tankstellen) in einer Region von entscheidender Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit und Effizienz der Wasserstoffinfrastruktur. Die Entscheidung, ob eine zentralisierte oder eine dezentrale Wasserstoffversorgung bevorzugt wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab, insbesondere von der Auslastung der Tankstellen und der Bereitschaft lokaler Akteure, in der Anfangsphase Investitionen und zusätzliche Wege in Kauf zu nehmen.

In der Anfangsphase des Aufbaus einer H₂-Infrastruktur kann es sinnvoll sein, eine zentrale Wasserstofftankstelle (HRS) zu errichten, welche die Versorgung mehrerer Verbraucher sicherstellt. Diese zentrale HRS würde von den Betreibern des öffentlichen Nahverkehrs und ähnlichen Akteuren genutzt, die bereit sind, in der Startphase mit wenigen Brennstoffzellenfahrzeugen in der Flotte zusätzliche Anfahrtswege zu akzeptieren, um die Infrastruktur auszulasten.

Die Größe und die Auslastung einer Tankstelle sind entscheidend für die Skaleneffekte und somit für die Kosteneffizienz. Skaleneffekte führen bei einer Größenzunahme unter Beibehaltung der gleichen Auslastung zu Kostenreduktionen von circa 6 %, wie in der Abbildung 6-6 ersichtlich. Die Auslastung hat einen noch größeren Einfluss auf die Rentabilität und den entsprechenden Wasserstoffpreis. Steigt die Auslastung einer Tankstelle von 50 % auf 100 %, können die Wasserstoffpreise aufgrund der Kosteneinsparungen um fast 19 % sinken. Dieser Zusammenhang wird ebenfalls in der Abbildung 6-6 veranschaulicht.

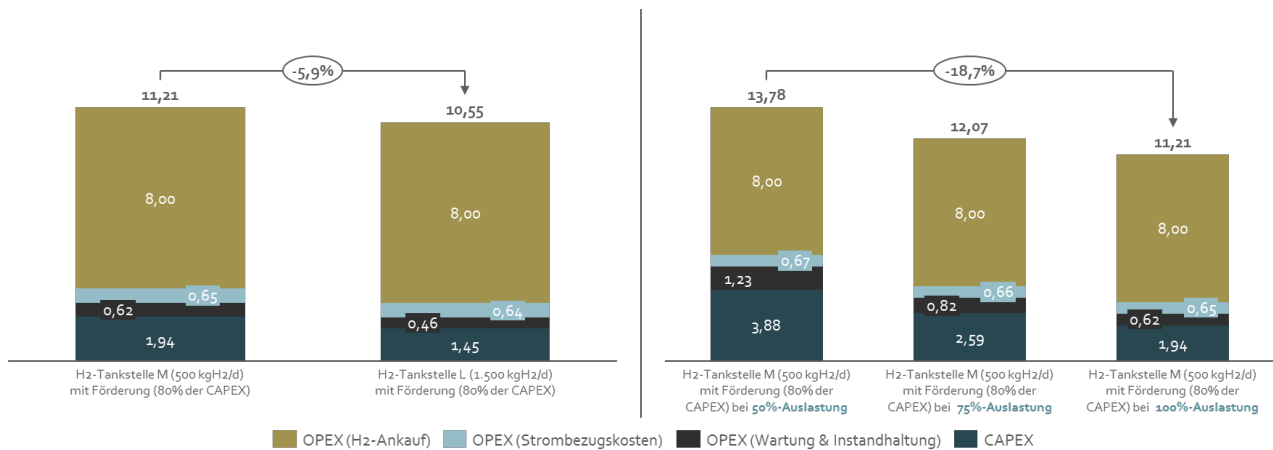


Abbildung 6-6: Vollkosten der HRS abhängig von der Größe und Auslastung [€/kgH₂]

In den folgenden Phasen des Verbundprojektes muss daher detailliert untersucht werden, inwieweit eine hohe Auslastung realisierbar ist und durch welche strategischen Planungen sowie Kooperationen mit lokalen Akteuren sie gefördert werden kann. Es gilt, eine Balance zu finden zwischen den anfänglich höheren Investitionskosten für den Aufbau einer zentralisierten Versorgungsstation und den langfristigen Einsparungen, die durch hohe Auslastungsraten und Skaleneffekte erzielt werden können.

Besonders relevant ist diese Überlegung vor dem Hintergrund, dass innerhalb der Region mehrere Initiativen zum Aufbau von Wasserstofftankstellen existieren. Es muss geprüft werden, welche Rahmenbedingungen und Anreizsysteme etabliert werden sollten, um eine optimale Auslastung zu gewährleisten und somit die Kosteneffizienz des Wasserstoffversorgungssystems zu maximieren. Die Synergien zwischen diesen Initiativen könnten entscheidend dazu beitragen, die Infrastruktur effektiver zu gestalten und die regionale Wasserstoffwirtschaft zu stärken.

6.2.3 Handlungsempfehlungen

Das Verbundprojekt zeichnet sich durch eine Vielzahl von Initiativen aus, bei denen erhebliche Synergieeffekte und Möglichkeiten zur Kostensenkung erkannt wurden. Insbesondere die Koordination von Standorten, der gemeinschaftliche Betrieb von Elektrolyseuren und eine strategische Wasserstofftankstellennetz-Planung haben zu gesteigerter Effizienz geführt. Die Kooperationen bieten das Potenzial, wirtschaftlichen Nutzen durch Größenvorteile und reduzierte Logistik- sowie Lagerkosten zu erzielen.

Für eine erfolgreiche Realisierung bedarf es allerdings einer präzisen Zieldefinition sowie eines koordinierten Steuerungsprozesses. Es gilt, die unterschiedlichen Interessen und Kapazitäten der Partner in Einklang zu bringen, um die Projektziele zu erreichen.

Folgender dreistufiger Prozess wird zur Erreichung der Projektziele vorgeschlagen:

1. **Zielklärung durch Abstimmungen:** Durch Treffen mit allen Beteiligten sollen einheitliche Ziele für das Projekt erarbeitet werden, auf die sich alle einigen können. Dies soll die Ausrichtung, das gemeinsame Verständnis und die Akzeptanz für das Verbundprojekt stärken.
2. **Interessen- und Einflussbestimmung:** Es ist wichtig, die Interessen und Einflussmöglichkeiten aller Beteiligten zu identifizieren und zu diskutieren, um die jeweiligen Erwartungen und den Beitrag zum Projektverlauf zu verstehen.

3. **Definition und Zuteilung der Rollen:** Eine klare Festlegung und Verteilung der Verantwortlichkeiten innerhalb des Projektes ist notwendig, um Doppelarbeiten zu verhindern und die Umsetzung zu konkretisieren.

Zur Weiterführung und Durchführung der Idee sollte eine Arbeitsgruppe folgenden Ablauf verfolgen:

1. **Bildung der Arbeitsgruppe:** Auswahl eines Teams, das alle Interessengruppen repräsentiert und interdisziplinär aufgestellt ist.
2. **Ausarbeitung eines Aktionsplans:** Erstellung eines detaillierten Plans mit klar definierten Zielen, Zuständigkeiten und Zeitrahmen für das Projekt.
3. **Regelmäßige Koordinationstreffen:** Einführung fester Treffen zur Überprüfung des Fortschritts, zur frühzeitigen Identifizierung von Herausforderungen und zur Entwicklung von Handlungsstrategien.
4. **Offener Kommunikations-/Diskussionsraum:** Gewährleistung einer transparenten, vertraulichen und kontinuierlichen Kommunikation bzw. Diskussion innerhalb der Gruppe und – bei Bedarf – mit externen Stakeholdern.
5. **Bewertung und Anpassung:** Ständige Evaluierung der Fortschritte und gegebenenfalls Anpassung der Strategie aufgrund von Rückmeldungen und veränderten Bedingungen.
6. **Dokumentation und Wissenssicherung:** Aufzeichnung aller Beschlüsse und Entwicklungen sowie der gewonnenen Erkenntnisse, um sie für zukünftige Projekte nutzbar zu machen und als Basis für Verbesserungsprozesse zu dienen.

Mit dieser methodischen Herangehensweise soll das Verbundprojekt Schritt für Schritt in die Tat umgesetzt werden, wobei stets das Ziel der Wertschöpfung und die Gewährleistung einer nachhaltigen Durchführung im Vordergrund stehen. Die sukzessive Einbindung weiterer Akteure sollte mit Bedacht und zielgerichtet erfolgen, um das Ziel zur Umsetzung der Projekte nicht zu verwässern. Dafür könnte ein Mechanismus für einen strukturierten Ablauf der Einbindung weiterer Akteure konzipiert werden.

7 Unsere Handlungsempfehlungen

Die vorliegenden Ergebnisse der Machbarkeitsstudie verdeutlichen, dass Hagen ein langfristiges Nachfragezentrum für Wasserstoff darstellen wird. Die Nachfrage nach Wasserstoff wird somit entscheidender Ausgangspunkt für die Entwicklung einer regionalen Wasserstoffwirtschaft. Die Nachfrage wird das erforderliche Maß zur Wasserstoffbeschaffung – über lokale Erzeugung oder Import – determinieren und die Anforderungen an die Wasserstoffinfrastruktur innerhalb der Stadt definieren.

In diesem Kapitel werden Handlungsempfehlungen für die Weiterentwicklung der regionalen Projektansätze und die sukzessive Verknüpfung der Projekte zu einer regionalen Wasserstoffwirtschaft erarbeitet. Anhand einer Analyse des Status quo der übergeordneten Wasserstoffwirtschaft Ziel werden Empfehlungen formuliert, die die Potenziale des Wasserstoffeinsatzes in der Region unter Berücksichtigung der vorhandenen Vorteile voll ausschöpfen.

7.1 Zusammenfassung der Marktbedingungen und der Vorteile der Stadt Hagen

Um geeignete und zielführende Handlungsempfehlungen für die Stadt Hagen zu formulieren, ist es unabdingbar, die gegenwärtige Marktsituation in jedem der bewerteten Sektoren eingehend zu betrachten. Dies umfasst die Analyse der regulatorischen Rahmenbedingungen und des politischen Umfelds in den jeweiligen Bereichen, die Bewertung der Marktlage hinsichtlich Technologien und Brennstoffen sowie die Betrachtung der Förderlandschaft, die den Umstieg auf Wasserstofftechnologien ermöglicht.

Die Wettbewerbsvorteile Hagens spielen hierbei eine entscheidende Rolle, da sie genutzt werden können, um das maximale Potenzial in jedem Sektor auszuschöpfen. Es gilt, die Lücke zwischen der aktuellen Marktsituation und den in der Studie identifizierten theoretischen Potenzialen zu schließen, indem die spezifischen Vorteile Hagens gezielt eingesetzt werden.

Im Folgenden wird daher jeder Sektor detaillierter analysiert, wobei sowohl die Marktbedingungen als auch die Wettbewerbsvorteile Hagens beleuchtet werden, um ein umfassendes Bild des Status quo zu zeichnen.

1. (Güter-)Logistik und kommunale Unternehmen in der Mobilität

Im Bereich der Mobilität besteht aufgrund der geltenden politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen ein direkter Handlungsdruck. Dieser ergibt sich unter anderem aus dem Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz (SaubFahrzeugBeschG) für kommunale Unternehmen, das ÖPNV-Betreiber und andere kommunale Einrichtungen wie Entsorgungsbetriebe zu einer Umstellung auf saubere Technologien verpflichtet. Zusätzlich erhöht der indirekte Handlungsdruck durch die CO₂-Maut, insbesondere für die Logistikbranche, sowie die EU-Flottenverordnung für Fahrzeughersteller die Attraktivität sauberer Technologien. Der Markt für Brennstoffzellenbusse ist noch eingeschränkt und Nutzfahrzeuge mit Brennstoffzellen sind kaum verfügbar. Trotz geringer Tankstellen-Verfügbarkeit gibt es umfangreiche Fördermöglichkeiten, die eine signifikante Reduzierung der Kapitalkosten sowohl für Fahrzeuge als auch für die Infrastruktur ermöglichen. Hagens Stärke im Mobilitätssektor liegt in der hohen Dichte an Logistikunternehmen, die an der Umstellung auf Brennstoffzellentechnologie interessiert sind, sowie in der geringen Größe des Einzugsgebiets, die das Potenzial für Synergieeffekte bei der Nutzung einer Tankstelleninfrastruktur erhöht.

2. Industrie

Im Bereich der Großindustrie gibt es keinen direkten, aber einen signifikanten indirekten Handlungsdruck durch den Europäischen Emissionshandel und mögliche Vorgaben der RED III. Marktunsicherheiten bezüglich der Erdgasversorgung und Preisvolatilität, verbunden mit der Entwicklungsphase relevanter Technologien und der Konkretisierung des H₂-Kernnetzes, kennzeichnen den aktuellen Zustand. Fördermöglichkeiten wie Klimaschutzverträge und verschiedene Richtlinien bieten Unterstützung. Hagens Nähe zum













geplanten H₂-Kernnetz und die Präsenz förderberechtigter Industrieunternehmen sind hierbei wesentliche Vorteile.

In der Industrie für KMU besteht ähnlicher indirekter Handlungsdruck wie in der Großindustrie, jedoch mit dem signifikanten Problem, dass aktuell keine spezifischen Förderungen für diese Unternehmensgröße vorhanden sind. Die Nähe zum geplanten H₂-Kernnetz und das Interesse lokaler KMU an der Umstellung auf Wasserstoff sind jedoch positive Aspekte.

3. Dekarbonisierung des Wärmemarktes

Die Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes erzeugt direkten Handlungsdruck, insbesondere für die Fernwärmeversorgung, die dekarbonisiert werden muss. Die Verfügbarkeit von Wasserstoffheizungen und -turbinen ist begrenzt, jedoch bieten Fördermaßnahmen wie die des BAFA und der KfW finanzielle Anreize. Der große Anteil von Gas- und Ölheizungen, die in den kommenden Jahren ersetzt werden müssen, bietet ein erhebliches Potenzial für den Einsatz von Wasserstoff im Wärmesektor.

Die wesentlichen Aspekte des Status quo, eine Bewertung der gegenwärtigen Situation sowie eine Zusammenfassung der Wettbewerbsvorteile, die die Stadt Hagen in jedem Sektor bietet, werden in der nachfolgenden Abbildung 7-1 dargestellt.

	Ausgangssituation / Status quo	Vorteile der Region Hagen
Nutzung Verkehr	<p>Politik/Regulatorik: </p> <ul style="list-style-type: none"> Direkter Handlungsdruck: <ul style="list-style-type: none"> SaubFahrzeugBeschG (für ÖPNV-Betreiber) Indirekter Handlungsdruck: <ul style="list-style-type: none"> CO₂-Maut (u. a. für Logistik) EU-Flottenverordnung (für Fahrzeughersteller) <p>Markt: </p> <ul style="list-style-type: none"> BZ-Busse eingeschränkt verfügbar. BZ-Nutzfahrzeuge noch kaum verfügbar. Tankstellen-Verfügbarkeit. <p>Förderung: </p> <ul style="list-style-type: none"> NIP², KsNI³ etc. 	<ul style="list-style-type: none"> Hohe Dichte an Logistik-Unternehmen, die an der Umstellung auf Brennstoffzelle interessiert sind. Durch die geringe Größe des Einzugsgebiets erhöht sich das Potenzial für Synergieeffekte bei der Nutzung einer Tankstelleninfrastruktur.
Nutzung Groß-Industrie ¹	<p>Politik/Regulatorik: </p> <ul style="list-style-type: none"> Indirekter Handlungsdruck: <ul style="list-style-type: none"> Europäischer Emissionshandel (EU-ETS⁷) U. U. RED III (Vorgabe der Anteile von erneuerbarem H₂ an der eingesetzten H₂-Gesamtmenge) <p>Markt: </p> <ul style="list-style-type: none"> Versorgungsunsicherheit bzgl. Erdgas. Preisunsicherheit bzgl. Erdgas. Technologien in kleinem Maßstab erprobt, im Masseneinsatz noch nicht. H₂-Kernnetz wird konkretisiert. <p>Förderung: </p> <ul style="list-style-type: none"> Klimaschutzverträge, DDI⁴-Richtlinie, PCI⁵, IPCEI⁶ etc. 	<ul style="list-style-type: none"> Ansässige Industrieunternehmen, die für die Teilnahme an der Förderung im Rahmen der Klimaschutzverträge berechtigt sind. Durch die Umsetzung besteht die Möglichkeit eines Spill-over-Effekts auf andere Sektoren oder die KMU-Industrie. Nähe zum geplanten H₂-Kernnetz.
Nutzung KMU-Industrie ¹	<p>Politik/Regulatorik: </p> <ul style="list-style-type: none"> Indirekter Handlungsdruck: <ul style="list-style-type: none"> Deutscher Emissionshandel (nEHS⁸) U. U. RED III (Vorgabe der Anteile von erneuerbarem H₂ an der eingesetzten H₂-Gesamtmenge) <p>Markt: </p> <ul style="list-style-type: none"> Versorgungsunsicherheit bzgl. Erdgas. Preisunsicherheit bzgl. Erdgas. Technologien in kleinem Maßstab erprobt, im Masseneinsatz noch nicht. <p>Förderung: </p> <ul style="list-style-type: none"> Aktuell keine 	<ul style="list-style-type: none"> Ansässige Industrieunternehmen, die an der Umstellung auf Wasserstoff interessiert sind. Nähe zum geplanten H₂-Kernnetz.
Nutzung Wärme	<p>Politik/Regulatorik: </p> <ul style="list-style-type: none"> Direkter Handlungsdruck: <ul style="list-style-type: none"> Gebäudeenergiegesetz Indirekter Handlungsdruck: <ul style="list-style-type: none"> U. U. RED III <p>Markt: </p> <ul style="list-style-type: none"> Versorgungsunsicherheit bzgl. Erdgas. Preisunsicherheit bzgl. Erdgas. Technologien neu und teuer sowie begrenzt verfügbar. Wasserstoff ist nicht verfügbar; unklare Rolle von Verteilnetzen im Bereich Wasserstoff. <p>Förderung: </p> <ul style="list-style-type: none"> BAFA-Förderung von Endgeräten 	<ul style="list-style-type: none"> Nähe zum geplanten H₂-Kernnetz. Engagierter Netzbetreiber vor Ort, der aktiv ein H₂-Verteilnetz plant. Große Anzahl lokaler Industrieakteure zur Finanzierung der Infrastruktur durch Netzentgelte.

 Im Sinne des Aufbaus einer Wasserstoffwirtschaft **positiv** bewerteter Status quo

 Im Sinne des Aufbaus einer Wasserstoffwirtschaft **mittelmäßig** bewerteter Status quo

 Im Sinne des Aufbaus einer Wasserstoffwirtschaft **schwach** bewerteter Status quo

¹ Groß-Industrie bezeichnet Industrie-Unternehmen, die im EU ETS gelistet sind; KMU-Industrie bezeichnet Industrie-Unternehmen, die nicht im EU ETS gelistet sind.

² Förderprogramm Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie.

³ Förderprogramm Klimaschutzende Nutzfahrzeuge und Infrastruktur.

⁴ Dekarbonisierung der Industrie.

⁵ Projects of common interest.

⁶ Important Projects of Common European Interest.

⁷ Europäisches Emissionshandelssystem.

⁸ Nationales Emissionshandelssystem.

7.2 Übergeordnete Handlungsempfehlungen

Die übergeordneten Handlungsempfehlungen zielen darauf ab, die Potenziale der Region Hagen zu bündeln, durch die Hebung von Synergieeffekten zwischen Projektansätzen schneller in die Umsetzungsphase zu gelangen und die Sichtbarkeit der Aktivitäten über die Region hinaus zu erhöhen bzw. die Bedürfnisse auch auf politischer Bühne zu vertreten. Das folgende Schaubild vermittelt, wie diese drei Ziele in eine regionale Struktur überführt werden können und welche Ziele sich in den einzelnen Bestandteilen ergeben. Im Folgenden werden die drei wesentlichen Aspekte der Struktur erläutert.

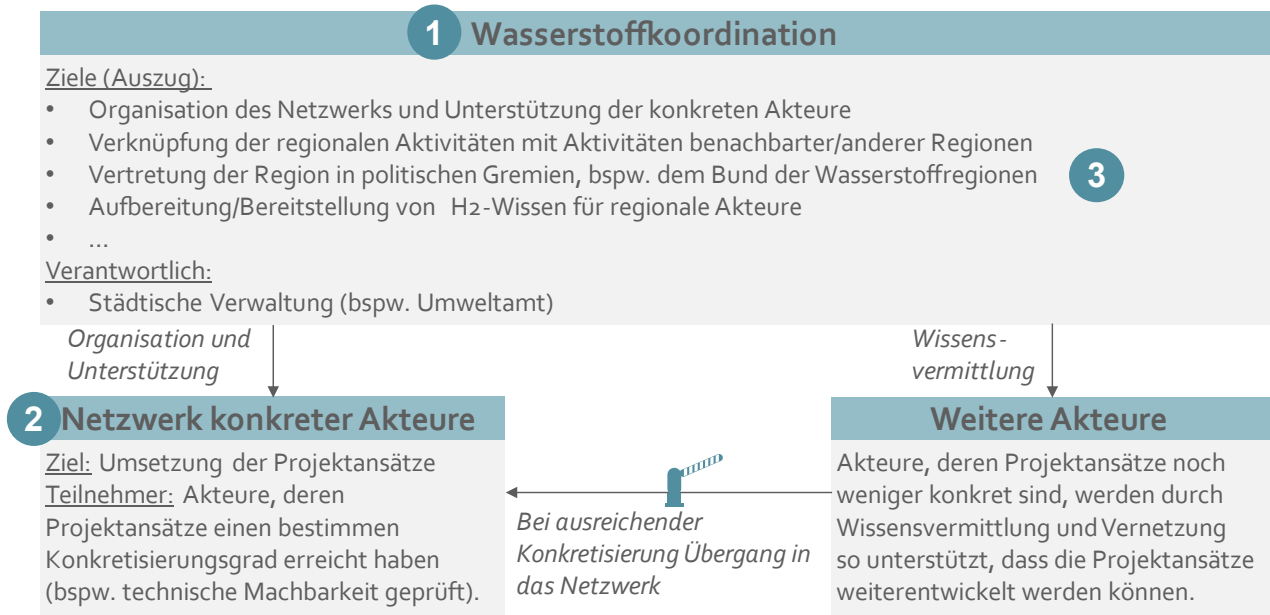


Abbildung 7-2: Schaubild für eine mögliche Strukturierung der Wasserstoffaktivitäten in Hagen

1 Einrichtung einer zentralen Koordinierungsstelle für Wasserstoff

Die Einrichtung einer zentralen Koordinierungsstelle für Wasserstoff in Hagen ist eine wesentliche Handlungsempfehlung, die darauf abzielt, die Vielzahl parallel laufender wasserstoffbezogener Projekte effektiv zu koordinieren und zu unterstützen. Dies gewährleistet, dass alle Aktivitäten und Bemühungen im Einklang mit den lokalen politischen und wirtschaftlichen Zielsetzungen stehen und somit den größtmöglichen Nutzen für die Region erzielen.

Die Notwendigkeit einer solchen zentralen Stelle ergibt sich aus der Vielfalt und Komplexität der derzeitigen Wasserstoffprojekte in Hagen, die von verschiedenen Tankstellenprojekten bis hin zu unabhängigen Beschaffungsinitiativen der Industrie reichen. Eine zentralisierte Koordinierungsstelle kann dazu beitragen, Synergien zu schaffen, Doppelarbeiten zu vermeiden und die Ressourcen effizient zu bündeln.

Die Hauptverantwortlichkeiten dieser Koordinierungsstelle umfassen:

- ▶ Bedarfsermittlung und Beratung: Erfassung und Analyse der Bedürfnisse aller regionalen Stakeholder im Hinblick auf Wasserstofftechnologien und -anwendungen.
- ▶ Netzwerkbildung und Stakeholder-Management: Förderung der Zusammenarbeit zwischen Industrie, Politik, Wissenschaft und anderen relevanten Akteuren, um gemeinsame Ziele zu identifizieren und zu verfolgen.
- ▶ Fördermittelberatung: Beratung zu nationalen und internationalen Fördermöglichkeiten, Unterstützung bei der Antragstellung und Optimierung der Chancen auf Fördermittel.

- ▶ **Projektunterstützung:** Operative Unterstützung von Wasserstoffprojekten, von der Konzeption bis zur Umsetzung, um eine effiziente Realisierung zu gewährleisten.
- ▶ **Wissens- und Informationsvermittlung:** Bereitstellung und Austausch von Fachwissen, neuesten Forschungsergebnissen und Best Practices im Bereich Wasserstoff.
- ▶ **Regionale und überregionale Vernetzung:** Aufbau und Pflege von Kontakten zu Wasserstoffinitiativen und -projekten in anderen Regionen, um Erfahrungen auszutauschen und Kooperationen zu fördern.

Insgesamt dient die Koordinierungsstelle als zentrale Schnittstelle, die sicherstellt, dass die Wasserstoffaktivitäten in Hagen aufeinander abgestimmt sind und sich synergistisch ergänzen, um die Entwicklung einer nachhaltigen und effizienten Wasserstoffwirtschaft in der Region zu beschleunigen.

2 Gründung eines regionalen Netzwerks

Die Einrichtung eines regionalen Wasserstoffnetzwerks in Hagen kann als Schlüsselstrategie zur Beschleunigung der Wasserstoffwirtschaft angesehen werden, insbesondere wenn man die hohe Motivation und das grundsätzliche Interesse lokaler Akteure an Wasserstofftechnologien berücksichtigt. Die Schaffung eines solchen Netzwerks würde nicht nur eine Plattform für Wissensaustausch und Kooperation bieten, sondern vor allem das Ziel haben, die konkreten Projektansätze der Region in die Umsetzung zu bringen.

Kurzfristig wird sich das Netzwerk auf den Verkehrssektor konzentrieren, da hier ein starker politischer Druck besteht, erneuerbare Energien zu integrieren. Zudem sind in diesem Bereich die Rahmenbedingungen für die Finanzierung durch bestehende Förderprogramme verhältnismäßig günstig. Das Netzwerk konzentriert sich auf den Wissenstransfer, um andere Akteure zu motivieren, ihre Flotten umzustellen, sowie auf die Abstimmung in Fragen wie Betankungsinfrastruktur, Wartungskonzepte und Fahrzeugbeschaffung. Die Implementierung einer bedarfsgerechten und zeitlich abgestimmten Betankungsinfrastruktur ist hierbei essenziell. Dies könnte durch die Zusammenarbeit mit bestehenden Netzwerken wie der Wasserstoffbrücke der HAGEN.WIRTSCHAFTSENTWICKLUNG erreicht werden, indem beispielsweise die geplanten Brennstoffzellen-LKWs in Hagen überwacht und entsprechende Tankstellen-Infrastrukturen entwickelt werden.

Mittelfristig bis langfristig sollte der Fokus des Netzwerks auf die Einbeziehung weiterer wichtiger Sektoren wie Industrie, Wärme und Stromerzeugung ausgeweitet werden.

3 Aktive Beteiligung am Bund der Wasserstoffregionen

Die Empfehlung, dem Bund der Wasserstoffregionen (BdWR) beizutreten, basiert auf der Notwendigkeit, die Interessen und Anliegen der regionalen Akteure in Hagen auf Bundesebene effektiv zu vertreten und in die nationale Wasserstoffstrategie zu integrieren.

Der BdWR dient als zentrale Plattform und Sprachrohr für Regionen und Verbände, die sich aktiv mit der Wasserstofftechnologie auseinandersetzen. Durch die Mitgliedschaft im BdWR kann Hagen sich eine starke Stimme in der öffentlichen und politischen Debatte sichern. Die Plattform bietet zudem die Möglichkeit, hochwertige Lösungen für Herausforderungen in der regionalen Wasserstoffwirtschaft zu entwickeln und die Effekte dieser Lösungen aufzuzeigen. Die Teilnahme im BdWR ermöglicht es Hagen, sich mit anderen (Ober-)Bürgermeister*innen und Landrät*innen aus verschiedenen Regionen auszutauschen und von deren Erfahrungen und Expertise zu profitieren. Zudem bietet die Plattform die Gelegenheit, eigene regionale Herausforderungen einzubringen und gemeinsame Lösungsansätze zu erarbeiten. Ein zentraler Aspekt des BdWR ist die Bündelung von Kompetenzen aus verschiedenen Regionen und Verbänden, was zu qualitativ hochwertiger Arbeit und einer verstärkten Kommunikation der erzielten Ergebnisse führt.

Dies wiederum erzeugt eine stärkere politische Gravitation um die beteiligten Regionen und ermöglicht es, die regionalen Interessen Hagens auf einer größeren Bühne zu präsentieren und zu vertreten.

Die aktive Teilnahme im BdWR ist somit ein wichtiger Schritt, um Hagens Position in der aufstrebenden Wasserstoffwirtschaft zu stärken und die städtischen Interessen auf nationaler Ebene wirksam zu vertreten.

Anhang

Abschnitt 3.1

Hersteller und verfügbare Modelle von BZ-Pkw

Hersteller	Modellname	Fahrzeugklasse	Reichweite [km]	Verfügbarkeit
Toyota	Mirai	Limousine	500	Serie
Toyota	Mirai 2	Limousine	650	Serie
Hyundai	Nexo	SUV	750	Serie
Daimler ⁷²	GLC F-Cell	SUV	480	Aktuell nicht verfügbar
Honda	Clarity 2016	Limousine	650	In Deutschland nicht verfügbar
BMW	iX5	SUV		Noch nicht käuflich erhältlich

Hersteller und verfügbare Modelle von leichten BZ-Nutzfahrzeugen

Hersteller	Modellname	Fahrzeugklasse	Druckstufe	Verfügbarkeit
Opel	Vivaro-e Hydrogen	Transporter	700 bar	Serie
Toyota	ë-Jumpy Hydrogen	Transporter	700 bar	Serie
Peugeot	e-Expert Hydrogen	Transporter	700 bar	Serie
HOLTHAUSEN	HyMax-75	Transporter	700 bar	Kleinserie
Renault	Kangoo/Master Hydrogen	Z.E. Transporter	700 bar	Kleinserie

Verfügbare Modelle von BZ-Lkw (von Herstellern)

Hersteller	Modell	Typ	zGG [t]	Verfügbarkeit
Hyundai	H2 Xcient	Motorwagen	36	Serie
Hyzon Motors	HyMax 250/450	Sattelzugmaschine	bis 58 (Neuseeland)	Serie (pay-per-use)
Mercedes Trucks	GenH2	Sattelzugmaschine	40	Zurzeit noch nicht verfügbar
Iveco	Tre	Sattelzugmaschine	bis 40	Zurzeit noch nicht verfügbar
MAN/Framo	FC 260/280	Sattelzugmaschine	26	Zurzeit noch nicht verfügbar

⁷² Wird teilweise bereits nicht mehr angeboten.

Paul Nutzfahrzeuge	PHP2 truck	Sattelzugmaschine	16 / 24	Serie
Quantron	Iveco Strator	Sattelzugmaschine	44	Serie
Quantron	QLI – FCEV		3,5 – 4,2	Serie
Weitere Hersteller in Entwicklung / vor Markteintritt (unvollständig): Faun, Scania, Toyota (nicht für europ. Markt), VDL				

Hersteller und verfügbare Modelle von BZ-Bussen

Hersteller	Typ	Gesamt (Sitzplatz/ Stehplatz)	Reichweite [km]	Verfügbarkeit
Caetano Bus	12-m-Solobus	ca. 85	400	Serie
Daimler/Evobus	12-m-Solobus	ca. 84	350	Serie
Daimler/Evobus	18-m-Gelenkbus	ca. 126	270	Serie
Iveco	-	-	-	In Entwicklung
Safra/Businova	12-m-Solobus	ca. 95 (25/70)	350	Serie
Skoda	18-m-Gelenkbus	-	-	In Entwicklung
Solaris	12-m-Solobus	ca. 98 (37/61)	390	Serie
Solaris	18-m-Gelenkbus	ca. 120	-	Zurzeit noch nicht verfügbar
Van Hool	12-m-Solobus	ca. 74 (31/43)	350	Serie

Hersteller und verfügbare Modelle von BZ-Kommunalfahrzeugen

Verwendungszweck	Chassis-Hersteller	Umrüster	Modell	Bestellbar ab
Abfallsammelfahrzeuge	Mercedes Trucks	Faun Kirchhoff Group	Bluepower	Serie
Kehrfahrzeug	Mercedes Trucks	Faun Kirchhoff Group	Bluepower	Serie
Abfallsammelfahrzeuge	DAF Trucks	E-Trucks Europe	Hydrogenmüllwagen	Serie
Abfallsammelfahrzeuge	Hyundai	Hyundai Motor Group	GM 500H2	Serie

Abschnitt 3.4

Annahmen zu theoretischen H₂-Potenzialanalyse im Verkehrssektor in Hagen

Annahmen zu Fahrleistungen (Quelle: BBHC)

	Fahrleistungen [km/a]	Verbrauch [kg _{H₂} / 100 km]
PKW	13.568	0,9
Leichte Nutzfahrzeuge (< 3,5 t _{ZGG} *)	123.614	1,3
Schwere Nutzfahrzeuge I (3,5 – 12 t _{ZGG})	40.402	3,6
Schwere Nutzfahrzeuge II (> 12 t _{ZGG})	54.856	7,8
Busse	53.204	11,4
Abfallsammelfahrzeuge (ASF)	15.643	9,4

Annahmen zur Durchdringung von BZ-Fahrzeugen

	Szenario Regulatorik			Szenario Klimaschutz		
	Anteil BZ-Fahrzeuge an den Neuzulassungen [%]			Anteil BZ-Fahrzeuge Gesamtbestand [%]		
	2025	2030	2050	2025	2030	2050
PKW	1	1	1	1	1	1
Leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	5	5	5	5	5	5
Schwere Nutzfahrzeuge I (3,5 – 12 t _{ZGG})	40	40	40	40	40	40
Schwere Nutzfahrzeuge II (> 12 t _{ZGG})	40	40	40	40	40	40
Busse	50	50	50	50	50	50
Abfallsammelfahrzeuge (ASF)	50	50	50	50	50	50

Annahmen zum Wasserstoffherzeugungspotenzial

Bestehende Anlagen

	Wind	PV	Wasser	Biomasse
Allgemeine Annahmen				
Anteil der Anlagen, die zur H ₂ -Erzeugung verfügbar sind:	10 %	10 %	10 %	10 %
Mindestanlagengröße zur Berücksichtigung in der Analyse:	100 kW _p			
Annahmen zu ausgeförderten Anlagen				
Restwirkungsgrad nach 20-jähriger Betriebszeit:	95 %	80 %	100 %	100 %
Volllaststunden ausgeförderte Anlagen:	1.600 h/a	873 h/a	4.500 h/a	6.000 h/a
Repowering *-Anteile:	35 %	0 %	0 %	0 %
Restlaufzeiten:	10 a	10 a	20 a	20 a
Annahmen zu bestehenden Anlagen				
Volllaststunden bestehender Anlagen:	2.225 h/a	873 h/a	4.500 h/a	6.000 h/a

Neue Anlagen

	Wind	PV	Wasser	Biomasse
Mindestanlagengröße zur Berücksichtigung in der Analyse:	100 kW _p			
Volllaststunden:	2.580 h/a	873 h/a	Keine Ausbau-ziele	6.000 h/a
Anteil der Anlagen, die zur H ₂ -Erzeugung verfügbar sind:	10 %	10 %		0 %

Anforderungskatalog und Bewertung für Elektrolyse-Standorte

Flächenverfügbarkeit

	Flächen- verfügbarkeit	Begründung
	Gut Mittel Wenig	
BVA Hagen-Kabel	Mittel	Am Standort des HKW stehen 1.800 m ² zur Verfügung. Durch weitere Abrisse könnten weitere Flächen verfügbar werden.
MVA Hagen	Wenig	An der MVA stehen 2.500 m ² zur Verfügung. Dies ist nicht ausreichend für die Errichtung eines Elektrolyseurs mit notwendiger BoP.
Hobräck	Gut	Ausreichend Fläche vorhanden.
Rafflenbeul	Gut	Ausreichend Fläche vorhanden.

Wasserverfügbarkeit

	Wasser- verfügbarkeit	Begründung
	Gut Wenig	
BVA Hagen-Kabel	Gut	Der Standort Hagen verfügt über ausreichend Wasservorkommen.
MVA Hagen	Gut	Der Standort Hagen verfügt über ausreichend Wasservorkommen.
Hobräck	Gut	Der Standort Hagen verfügt über ausreichend Wasservorkommen.
Rafflenbeul	Gut	Der Standort Hagen verfügt über ausreichend Wasservorkommen.

Genehmigungsfähigkeit

	Genehmigungs- fähigkeit	Begründung
	Gut Mittel Wenig	
BVA Hagen-Kabel	Gut	Das HKW-Gelände ist laut Flächennutzungsplan gewerblich genutzte Fläche. Durch die Einrichtung von Sonderflächen ist die Errichtung eines Elektrolyseurs realistisch.
MVA Hagen	Gut	Das Gelände der MVA ist laut Flächennutzungsplan gewerblich genutzte Fläche. Durch die Einrichtung von Sonderflächen ist die Errichtung eines Elektrolyseurs realistisch.
Hobräck	Mittel	Elektrolyseure können über einen Ausnahmetatbestand (§249a BauGB) im Außenbereich in einem direkten räumlichen Zusammenhang mit EE-Anlagen errichtet werden. Dafür müssen jedoch Zusatzanforderungen, bspw. an Fläche, Höhe oder Speichermenge, erfüllt werden. Dies ist bei Projekt Konkretisierung zu überprüfen.
Rafflenbeul	Mittel	Elektrolyseure können über einen Ausnahmetatbestand (§249a BauGB) im Außenbereich in einem direkten räumlichen Zusammenhang mit EE-Anlagen errichtet werden. Dafür müssen jedoch Zusatzanforderungen, bspw. an Fläche, Höhe oder Speichermenge, erfüllt werden. Dies ist bei Projekt Konkretisierung zu überprüfen.

Stromanschlusspotenzial

	Stromanschlusspotenzial	Begründung
	Gut Mittel Wenig	
BVA Hagen-Kabel	Gut	Durch die Aktivitäten des Kraftwerks sind die notwendigen Stromanschlüsse vorhanden.
MVA Hagen	Gut	Durch die Aktivitäten des Kraftwerks sind die notwendigen Stromanschlüsse vorhanden.
Hobräck	Mittel	Das Gelände ist wenig geeignet für die Einrichtung eines Mittelspannungsanschlusses. Daher ist bisher auch kein entsprechender Anschluss geplant.
Rafflenbeul	Gut	Um den Strom der WEA abzutransportieren, wird mindestens ein Mittelspannungsanschluss eingerichtet.

Potenzial Pipeline-Anbindung

	Potenzial Pipeline-Anbindung	Begründung
	Gut Mittel Wenig	
BVA Hagen-Kabel	Gut	Das HKW liegt in unmittelbarer Nähe zu der H ₂ -Pipeline, die die Industrieabnehmer des ZukunftH ₂ Ruhr-Konsortiums versorgen soll.
MVA Hagen	Wenig	Die MVA liegt in städtischer Bebauung und ist in keiner Nähe zu geplanten Pipelines. Ein Anschluss wäre mit hohen Anpassungsmaßnahmen verbunden.
Hobräck	Mittel	Das Gelände liegt weit vom geplanten Wasserstoff-Kernnetz entfernt. Dennoch gibt es Überlegungen über den Anschluss an eine Pipeline, die in unmittelbarer Nähe liegt und auf H ₂ umgestellt werden soll.
Rafflenbeul	Wenig	Das Gelände liegt weit von geplanten Pipelines entfernt. Der Anschluss müsste hohe Distanzen und verschiedene Infrastrukturen, bspw. Straßen, überwinden.

Potenzial Straßenanbindung

	Potenzial Straßenanbindung	Begründung
	Gut Mittel Wenig	
BVA Hagen-Kabel	Gut	Das HKW liegt in unmittelbarer Nähe zur Autobahn 1. Der schnelle Abtransport des Wasserstoffs wäre gewährleistet.
MVA Hagen	Mittel	Die MVA liegt in der Nähe zu Bundesstraße 54. Der städtische Charakter der Umgebung macht einen Trailer-Abtransport jedoch unattraktiv.
Hobräck	Mittel	Das Gelände ist für Trailer vergleichsweise schwierig zu erreichen, durchgehender Lkw-Verkehr dort ungewöhnlich. Zwar liegt die A45 sehr nah, eine unmittelbare Auffahrt gibt es jedoch nicht.
Rafflenbeul	Wenig	Das Gelände ist bisher wenig durch Straßen erschlossen, größere Straßeninfrastruktur ist weit entfernt. Auch perspektivisch scheint der Wasserstoff abtransport logistisch aufwendig.

Abschnitt 3.5

Zusammenfassender tabellarischer Überblick und Ableitungen

Instrument/ Gesetz	Risiko/ Chance	Auswirkung	Voraussetzung	Relevanz für Projekt	Ableitungen
BImSchG (§ 4)	Risiko	Genehmigungserfordernis für Elektrolyseur, Tankstelle und oberirdische Speicher	Herstellung des Wasserstoffs in „industriellem Umfang“; für Speicher ab Lagerkapazität von 3 t Wasserstoff	Ja, da Herstellung im industriellen Umfang bei kommerzieller Nutzung gegeben	Frühzeitige Einbindung der Genehmigungsbehörde
BauO NRW (§ 6o)	Risiko	Genehmigungserfordernis für Tankstelle und oberirdische Speicher	Lagerkapazität von weniger als 3 t Wasserstoff	Ja, sofern nicht bereits nach BImSchG genehmigungspflichtig	Frühzeitige Einbindung der Genehmigungsbehörde
BBergG (§ 7)	Risiko	Genehmigungserfordernis für unterirdische Speicher	Speicher zur unterirdischen behälterlosen Speicherung von Gasen	Ja, sofern unterirdischer Speicher	Frühzeitige Einbindung der Genehmigungsbehörde
BetrSichV (§ 18)	Risiko	Erlaubnispflicht für Tankstelle und Speicher	Ortsfeste Anlage für Betankung von Land-, Wasser- und Luftfahrzeugen mit Gefahrenstoffen (Explosivität)	Ja, sofern Lagerkapazität von unter 3 t Wasserstoff	Frühzeitige Einbindung der Genehmigungsbehörde
WHG (§§ 56, 57)	Risiko	Genehmigungserfordernis für Elektrolyseur und Tankstelle	Indirekteinleitung nach § 56 WHG oder Direkteinleitung nach § 57 WHG	Ja, nimmt nicht an Konzentrationswirkung teil	Frühzeitige Einbindung der wasserrechtlichen Behörde

Instrument/ Gesetz	Risiko/ Chance	Auswirkung	Voraussetzung	Relevanz für Projekt	Ableitungen
UVPG	Risiko	Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung	UVP-pflichtiges Vorhaben nach Anhang 1 des UVPG	Ja, abhängig von Lagerkapazität und Länge/Durchmesser der Rohrleitung außerhalb des Werksgeländes	Frühzeitige Einbindung der Genehmigungsbehörde
Außenbereich BauGB) (§ 35	Risiko	Planungsrechtliche Zulässigkeit	Privilegierung, sofern Voraussetzungen des § 249a BauGB erfüllt	Ja, sofern Errichtung im Außenbereich	Frühzeitige Einbindung der Genehmigungsbehörde; evtl. Aufstellung B-Plan
Innenbereich (§ 34 BauGB)	Risiko	Planungsrechtliche Zulässigkeit	Zulässigkeit von Elektrolyseuren im Gewerbegebiet unsicher	Ja, sofern Errichtung im Gewerbegebiet	Frühzeitige Einbindung der Genehmigungsbehörde; evtl. Aufstellung B-Plan
Außenbereich BauGB) (§ 35	Risiko	Planungsrechtliche Zulässigkeit	Tankstellen sind im Außenbereich nicht generell privilegiert; nur in Einzelfällen kommt Inanspruchnahme in Betracht (§ 35 Abs. 1 Nr. 4 o. § 35 Abs. 1 Nr. 3 Var. 2 BauGB	Ja, sofern kein privilegiertes Vorhaben, ist Aufstellung eines Bebauungsplans erforderlich	Frühzeitige Einbindung der Genehmigungsbehörde

Instrument/ Gesetz	Risiko/ Chance	Auswirkung	Voraussetzung	Relevanz für Projekt	Ableitungen
Innenbereich (§ 34 BauGB)	Chance	Planungsrechtliche Zulässigkeit	Tankstellen sind ohne Differenzierung nach der Kraftstoffart in Gewerbe-, Industrie-, Misch- und Dorfgebieten generell zulässig (§§ 8 Abs. 2 Nr. 3, § 9 Abs. 2 Nr. 2, § 6 Abs. 2 Nr. 7, § 5 Abs. 2 Nr. 8 BauNVO)	Ja, sofern Innenbereich oder Festsetzung entsprechender Gebietstypen im Bebauungsplan	Frühzeitige Einbindung der Genehmigungsbehörde
Störfall-VO	Risiko	Erfüllung der Grundpflichten und ggf. erweiterter Pflichten nach Störfall-VO Einhaltung des „angemessenen Sicherheitsabstandes“ (§ 3 Abs. 5d BImSchG)	Ab 5.000 kg Wasserstoff im Betriebsbereich Ab 50.000 kg Wasserstoff greifen zusätzlich die erweiterten Pflichten nach §§ 9 bis 12 der 12. BImSchV	Ja, sofern Mengenschwelle erreicht	Frühzeitige Einbindung der Genehmigungsbehörde
EnWG (§ 43 ff.)	Risiko	Genehmigungserfordernis für Wasserstoffleitung	Errichtung, Betrieb oder Änderung einer Gasversorgungsleitung mit einem Durchmesser von mehr als 300 Millimetern	Ja, sofern Leitung einen Durchmesser von mehr als 300 Millimetern aufweist	Frühzeitige Einbindung der Genehmigungsbehörde
NIP (Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie)	Chance	CAPEX-Förderung für Tankstelleninfrastruktur und Brennstoffzellenfahrzeuge	Art. 36, 36a, 56b, 65c und 41 AGVO	Ja	Es werden in regelmäßigen Abständen Förderaufrufe veröffentlicht

Instrument/ Gesetz	Risiko/ Chance	Auswirkung	Voraussetzung	Relevanz für Projekt	Ableitungen
THG-Quote (§ 37a BIm-SchG)	Chance	Mögliche Zusatzerlöse von 4 bis 10 € pro kg Wasserstoff für Tankstellenbetreiber	In den Verkehr bringen von erneuerbarem Wasserstoff nicht biogenen Ursprungs nach Vorgaben der Delegated Acts zu Art. 27 und 28 RED II	Ja, da Wasserstoff im Verkehrssektor genutzt werden soll	Es ist sicherzustellen, dass der Wasserstoff die Vorgaben der delegierten Rechtsakte erfüllt
CVD (Clean-Vehicles-Directive)	Chance	Beschaffungsquote u. a. für neue emissionsfreie Fahrzeuge (Brennstoffzelle o. batterieelektrisch): 10 % bis 2025 und 15 % bis 2030	Öffentliche Auftraggeber und einzelne Dienstleistungen privater Akteure (Post, Paketdienste, Stadtreinigung)	Ja, sofern betroffener Adressat und Auftrag (Verträge über Kauf, Leasing oder Anmietung von Straßenfahrzeugen, öffentliche Dienstleistungsaufträge / Dienstleistungsaufträge über Verkehrsdienste)	-
Klimaschutzverträge	Chance	Mögliche Zusatzerlöse von 50–200 € pro vermiedener Tonne CO ₂	Industrieunternehmen mit Niederlassung in Deutschland, präferiert aus der Stahl-, Zement-, Kalk- und Ammoniakinindustrie mit prozessbedingten Emissionen	Ja, da Wasserstoff im Industriesektor genutzt werden soll	-

Instrument/ Gesetz	Risiko/ Chance	Auswirkung	Voraussetzung	Relevanz für Projekt	Ableitungen
GEG	Chance	Anrechnung auf Verpflichtung, Heizungsanlagen mit mindestens 65%-Anteil aus erneuerbaren Energien zu betreiben	Grüner oder blauer Wasserstoff im Sinne des GEG	Ja, da Wasserstoff im Wärmesektor genutzt werden soll	Es ist sicherzustellen, dass der grüne Wasserstoff die Vorgaben der delegierten Rechtsakte erfüllt; blauer Wasserstoff muss den Kriterien der delegierten Verordnung (EU) 2021/2139 genügen

Impressum

Auftraggeber

Stadt Hagen | Umweltamt Rathausstraße 11, 58095 Hagen

Projektkoordination

Nicole Schulte, Christine Kuhlmann, Thomas Köhler Stadt Hagen, Umweltamt

Jörg Siegmann HAGEN.WIRTSCHAFTSENTWICKLUNG GmbH

Dr. Arndt Bohrer Mark-E Aktiengesellschaft

Autorinnen und Autoren

Kapitel 1-4 und 6-7

Shaun Pick, Nikolas Beneke, Dr. Hanno Butsch, Fabian Rottmann, David Siegler BBH Consulting AG

Lena Meier, Johannes Kuhn EMCEL GmbH

Jakub Glegola, Fabian Brandl umlaut energy GmbH

Kapitel 5

Dr. Julia-Lena Reineremann Fernuniversität Hagen

Dr. Esther Stahl, Kerstin Schwarze-Benning Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Dr. Özgür Yildiz ifok GmbH

Projektkommunikation

Melanie Peschel Tracemaker Strategie- und Kommunikationsberatung

Fördermittelgeber

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Fördermaßnahme

Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
(<https://www.hy.land/>)