



Abschlussbericht

H₂-Strategie Kreis Bergstraße

Auftraggeber

Kreis Bergstraße

Corinna Simeth | Abteilungsleiterin Grundsatz und Kreisentwicklung

Gräffstr. 5 | 64646 Heppenheim

Auftragnehmer

EMCEL GmbH

Marcel Corneille | Geschäftsführer

Am Wassermann 28 | 50829 Köln

Inhalt

1. Wasserstoff und Sektorenkopplung – Status Quo im Kreis Bergstraße	4
1.1. Wasserstoff und seine Bedeutung für den Kreis Bergstraße	5
1.2. Vorgehen im Rahmen der H ₂ -Strategie	5
1.3. Online-Umfrage und Akteurskreis	7
2. Potenzialanalyse zur Nutzung und Erzeugung von Wasserstoff im Kreis Bergstraße	12
2.1. Abnahmepotenzial im Kreis Bergstraße	12
2.2. Erzeugungspotenzial im Kreis Bergstraße	15
2.3. Bilanz der Wasserstoffnachfrage und -erzeugung	17
3. Mehrwert durch Wasserstoff im Kreis Bergstraße	18
3.1. Treibhausgasemissionseinsparung durch Wasserstoff	18
3.2. Regionale Wertschöpfung durch Wasserstoff	19
4. Wirtschaftlichkeit verschiedener Wasserstoffanwendungen im Kreis Bergstraße	22
4.1. Konkrete Erzeugungsprojekte im Kreis Bergstraße	22
4.2. Konkrete Nutzungsprojekte im Kreis Bergstraße	25
4.3. Konkrete Wissensprojekte im Kreis Bergstraße	35
5. Rechtliche Rahmenbedingungen für erneuerbaren Wasserstoff und die Treibhausgasminderungsquote	37
6. Wasserstoffroadmap und Handlungsempfehlungen für den Kreis Bergstraße	39
6.1. Rahmenbedingungen zur Umsetzung der Wasserstoffroadmap	40
6.2. Handlungsempfehlungen	41

7. Ausblick	44
A. Anhang	45
A.1. Abkürzungsverzeichnis	45
A.2. Abbildungsverzeichnis	46
A.3. Tabellenverzeichnis	48
A.4. Literaturverzeichnis	49
A.5. Projektsteckbriefe	50
A.6. Rechtliche Definition von Wasserstoff und aktuelle Wasserstoffzertifizierungen	59
A.7. Hintergrundinformationen zur Wasserstoffinfrastruktur	65

1. Wasserstoff und Sektorenkopplung – Status Quo im Kreis Bergstraße

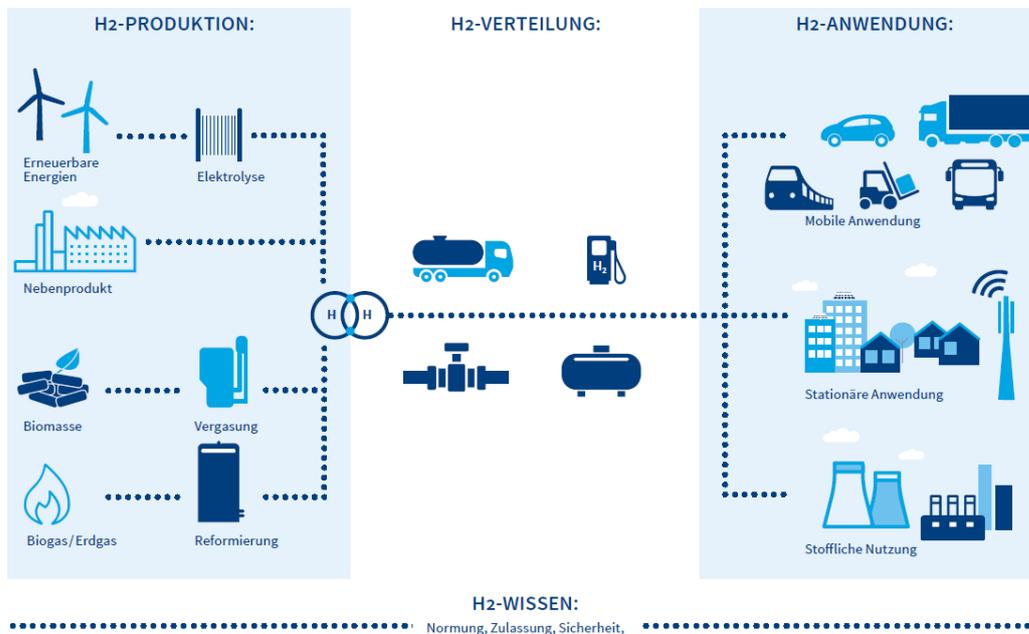


Abbildung 1-1 Wasserstoff und seine Wertschöpfungsstufen

Wasserstoff ist ein Schlüsselement der Energiewende. Die treibhausgasneutrale Wasserstofferzeugung auf der Grundlage von erneuerbaren Energien macht Wasserstoff für das Ziel Treibhausgasneutralität besonders interessant.¹ In Kombination mit den vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten spielt Wasserstoff im zukünftigen Energiesystem als Kopplungselement der Sektoren Verkehr, Industrie und Energie eine wesentliche Rolle. Erfahrungen mit Wasserstoff als Grundstoff in der Industrie oder als Treibstoff in der Raumfahrt existieren schon seit Jahrzehnten. Allerdings wird Wasserstoff bisher hauptsächlich mit Verfahren produziert, bei denen fossile Energieträger wie bspw. Erdgas als Ausgangsstoff dienen. Der Aufbau einer weltweiten Wasserstoffinfrastruktur

¹ Bei der Produktion der Stromerzeugungsanlagen (bspw. Windenergieanlagen) und der Elektrolyseure fallen weiterhin Treibhausgasemissionen an. Vor diesem Hintergrund wird der erneuerbar produzierte Wasserstoff als treibhausgasneutral bezeichnet.

wird zukünftig den Fokus auf andere Erzeugungstechnologien wie bspw. die Elektrolyse legen.

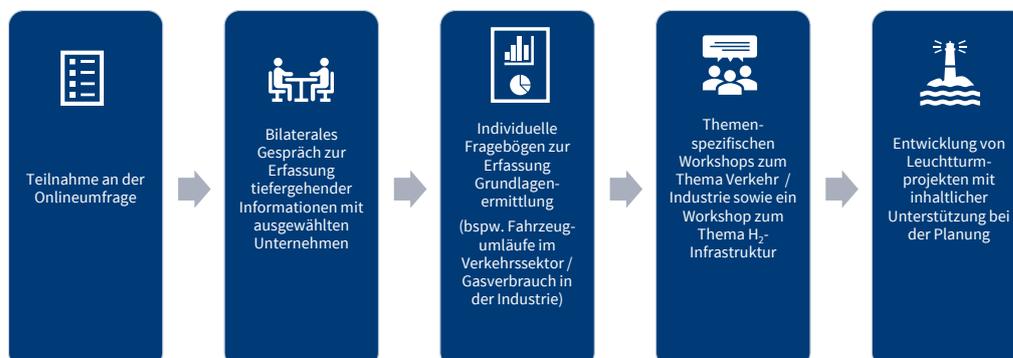
1.1. Wasserstoff und seine Bedeutung für den Kreis Bergstraße

Durch die Nutzung von Wasserstoff kann der Kreis Bergstraße nicht nur einen Beitrag zum Klimaschutz im Verkehrssektor, dank emissionsfreier Mobilität im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und in der Logistik, leisten, sondern auch im Industriesektor. Weiterhin kann die regionale Wertschöpfung durch Wasserstoff bspw. bei der Schaffung von Arbeitsplätzen durch Entwicklung und Produktion von Komponenten oder durch eine Kraftstoffproduktion für den Verkehrssektor vor Ort eine große Rolle spielen (vgl. Kapitel 3).

Bereits im Jahr 2021 hat der Kreis Bergstraße mit der Wasserstoffkonferenz den Grundstein für den Einstieg in erste Aktivitäten mit Wasserstoff gelegt. Eine Vielzahl von Akteuren aus unterschiedlichen Branchen hat sich im Anschluss an die Wasserstoffkonferenz in einem H₂-Netzwerk zusammengeschlossen. Nun wird durch die Entwicklung einer H₂-Strategie das Thema Wasserstoff im Kreis Bergstraße weiter vorangetrieben, um eine lokale Wasserstoffinfrastruktur aufzubauen und die Potenziale des Wasserstoffs für Wertschöpfung und Klimaschutz zu heben.

1.2. Vorgehen im Rahmen der H₂-Strategie

Für die Ausarbeitung einer H₂-Strategie ist die Einbindung der regionalen Akteure von großer Bedeutung. Aus diesem Grund wurden die Akteure von Beginn an in die Strategieentwicklung involviert (vgl. Abbildung 1-2). Als erster Schritt wurde eine Online-Umfrage durchgeführt, in der sowohl der aktuelle Wissensstand der Akteure als auch die Erwartung an die H₂-Strategie abgefragt wurden.

Abbildung 1-2 Vorgehen im Rahmen der H₂-Strategie

Auf Grundlage der Online-Umfrage wurden die Akteure mit ersten Projekt(-ideen) stärker in den Strategieaufbau eingebunden. Um eine zielgerichtete und bedürfnisorientierte Unterstützung dieser Akteure gewährleisten zu können, erfolgte im nächsten Schritt die Erhebung umfassender Informationen durch ein bilaterales Gespräch sowie durch einen auf die Akteure zugeschnittenen Fragebogen. In themenspezifischen Workshops wurden all jene Akteure mit ähnlichen Projektideen zusammengebracht und Herausforderungen und Lösungsansätze gemeinsam diskutiert. In den Workshops wurden außerdem relevante Bedarfe und Angebote für die erfolgreiche Implementierung von Wasserstoffprojekten durch die Akteure identifiziert und Verknüpfungen und Kooperationspotenziale zwischen Akteuren thematisiert (vgl. Abbildung 1-3). Beispielsweise wurden die Akteure dazu aufgefordert zu prüfen, welche Komponenten bereits bereitgestellt werden können und welche Rahmenbedingungen noch bereitgestellt werden müssen, um das eigene H₂-Projekt umzusetzen.



Abbildung 1-3 Verknüpfung von Akteuren in Anlehnung an die vorliegenden Rahmenbedingungen

Auf der Basis des ausgetauschten Wissens und neu gewonnener Erkenntnisse wurden abschließend Leuchtturmprojekte identifiziert und deren Weiterentwicklung mit den Akteuren projektiert.

1.3. Online-Umfrage und Akteurskreis

Um einen Überblick über die Aktivitäten im Bereich Wasserstoff zu erhalten und erste Projektideen zu identifizieren, diente die Online-Umfrage als Datengrundlage. Insgesamt 24 Unternehmen aus dem Wasserstoffnetzwerk haben an der Befragung teilgenommen. Im Folgenden werden einzelne Erkenntnisse aus der Online-Umfrage aufgegriffen.

Mit 64 % der Befragten fühlt sich bereits ein Großteil der Akteure im Kreis Bergstraße (sehr) gut rund um das Thema Wasserstoff informiert (vgl. Abbildung 1-4).

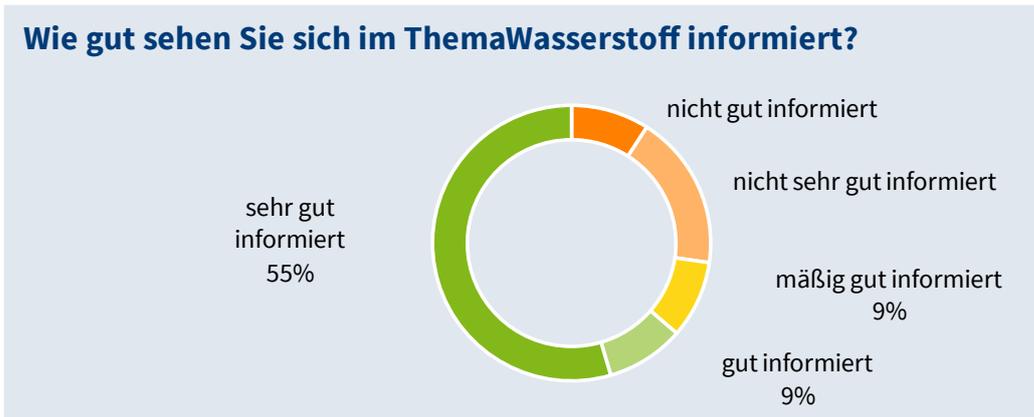


Abbildung 1-4 Wissensstand der Akteure im Kreis Bergstraße bezüglich Wasserstoff

Die Relevanz von Wasserstoff für die Region wird von den Akteuren hoch eingeschätzt, lediglich 16 % der Akteure sehen eine geringe bis gar keine Relevanz für Wasserstoff. Hinsichtlich des Potenzials für Wasserstoff im Kreis Bergstraße erkennen die Akteure ein hohes Entwicklungspotenzial. Lediglich 8 % sind der Meinung, dass der Kreis Bergstraße bereits (sehr) stark aufgestellt ist (vgl. Abbildung 1-5). Dieses Stimmungsbild deckt sich mit den Bestrebungen des Kreises, das Thema Wasserstoff durch die H₂-Strategie im Kreis Bergstraße weiter in den Fokus zu rücken.

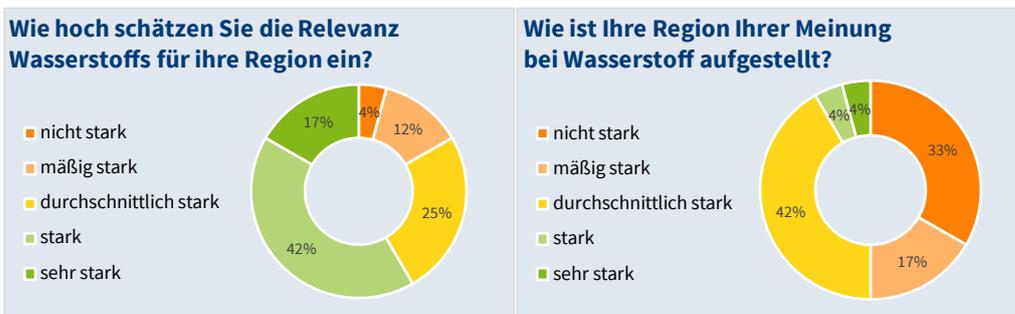


Abbildung 1-5 Einschätzung der Akteure in Bezug auf Wasserstoff im Kreis Bergstraße

Im Hinblick auf die verschiedenen Stufen der Wasserstoffprozesskette wird deutlich, dass alle Wertschöpfungsstufen von Wasserstoff in den Projekten und Projektideen bereits stark vertreten sind. Lediglich der Bereich Bildung ist im Akteurskreis, der an der Online-Umfrage teilgenommen hat, weniger häufig vertreten (vgl. Abbildung 1-6).

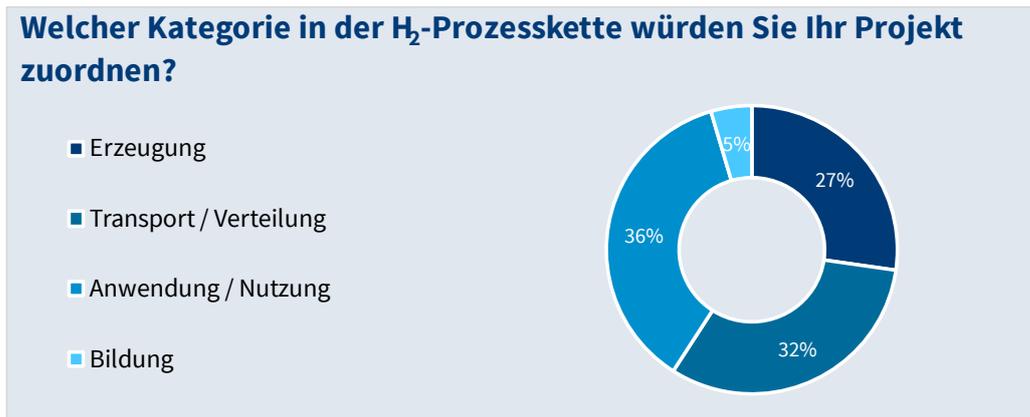


Abbildung 1-6 Prozentuale Aufteilung der Projekte auf die Wasserstoffwertschöpfungsketten

Hindernisse und Herausforderungen sehen die teilnehmenden Akteure insbesondere bei den Themen Wirtschaftlichkeit und Machbarkeit eines Business Case (vgl. Abbildung 1-7). Auch der fehlende regulatorische Rahmen und marktbezogene Aspekte, wie bspw. die Verfügbarkeit von Technologie und Wasserstoff, sind Faktoren, die von den Akteuren als Hürden gesehen werden. Beispielsweise ist im Verkehrssektor aktuell die Fahrzeugverfügbarkeit von Brennstoffzellen-Lkw mit über 400 km Reichweite zurzeit noch gering. Außerdem sind wegen der bisher ausbleibenden Skaleneffekte durch große Stückzahlen Brennstoffzellen-Fahrzeuge und H₂-Tankstellenanlagen heute noch verhältnismäßig teuer. Des Weiteren kann die Tankstellenverfügbarkeit ein Problem darstellen, da die Akteure teilweise keine großen Umwege für eine tägliche Betankungsmöglichkeit in Kauf nehmen können.

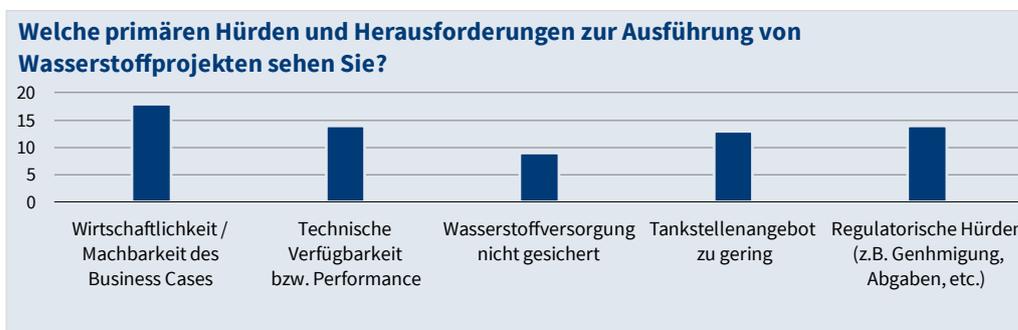


Abbildung 1-7 Hürden und Herausforderungen bei der Ausführung von Wasserstoffprojekten laut Online-Umfrage

Von der H₂-Strategie erhoffen sich die Akteure insbesondere Unterstützung bei der Weiterentwicklung der vorhandenen Projekte und Projektideen (vgl. Abbildung 1-8). Kooperationen – bspw. bei der Beschaffung von Fahrzeugen und bei der Nutzung von Wasserstoffinfrastruktur – sowie der Austausch und die Kontaktaufnahme zu weiteren Akteuren aus dem Marktumfeld Wasserstoff bilden weitere Bausteine, die im Rahmen der H₂-Strategie ermöglicht werden sollen.

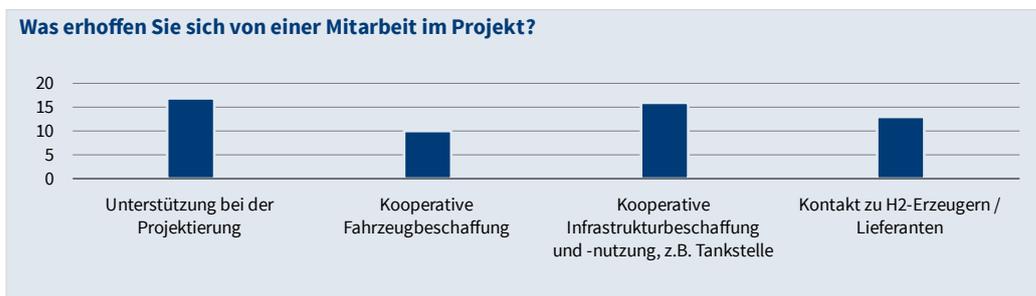


Abbildung 1-8 Unterstützungsbedarf und Interessenschwerpunkte der Teilnehmenden der Online-Umfrage

Die ausführliche Online-Umfrage erlaubt einen detaillierteren Einblick in den Kreis Bergstraße und die bereits laufenden H₂-Aktivitäten. Mit Hilfe der Online-Umfrage konnten die ausgewählten Akteure stärker in die Strategieentwicklung involviert werden. Eine Liste der Unternehmen, die an der Online-Umfrage teilgenommen haben, ist, nach Branchen unterteilt, nachfolgend aufgeführt.

Branche	Unternehmen
Entsorgung	Zweckverband Abfallwirtschaft Kreis Bergstraße
ÖPNV / Busunternehmen	Walter Müller Reise GmbH & Co. KG
	Verkehr und Tourismus Lampertheim Verwaltungsgesellschaft mbH
Logistik	Schmitt-Kühltransporte GmbH
	Wilhelm Schüssler Spedition GmbH
	Altnatura Verteilzentrum
Tankstelleninfrastruktur	H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG
Nahrungs- und Genuss-	Odenwald Quelle GmbH & Co. KG

mittel/Getränkeindustrie	Unilever Deutschland Produktions GmbH & Co. OHG
Gebäude	Aliaxis Deutschland GmbH
Baustoffe	Krieger Gruppe / Gebrüder Krieg AG
Energiegenossenschaft	Energiegenossenschaft Starkenburg eG
Energieversorger	ENERGIERIED GmbH & Co. KG
	EWR AG
	GGEW AG
	Winkler GmbH & Co. KG
Chemie	BASF Lampertheim GmbH
	Münch Chemie International GmbH
	Tyczka Industrie-Gase GmbH
	Prisman GmbH
Planungsbüro	Eberts Engineering GmbH & Co. KG
Unternehmen mit Geschäftsfeld H ₂	Air Liquide Deutschland GmbH
	AXPO
	Spir Star AG
Ansprechpartner*in Bereich H ₂	Metropolregion Rhein-Neckar
Weitere	Karsten Nolting

2. Potenzialanalyse zur Nutzung und Erzeugung von Wasserstoff im Kreis Bergstraße

Grundlage für eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft ist insbesondere die Nutzung und Erzeugung von treibhausgasarm hergestelltem Wasserstoff.² In diesem Kapitel werden die theoretischen Potenziale für die Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff im Kreis Bergstraße untersucht.

2.1. Abnahmepotenzial im Kreis Bergstraße

Grundsätzlich existieren zahlreiche Nutzungsmöglichkeiten für Wasserstoff in den Sektoren Industrie (inkl. stoffliche Nutzung), Verkehr und Gebäude (vgl. Abbildung 2-1).



Abbildung 2-1 Nutzungsmöglichkeiten von Wasserstoff untergliedert in verschiedene Sektoren nach [1]

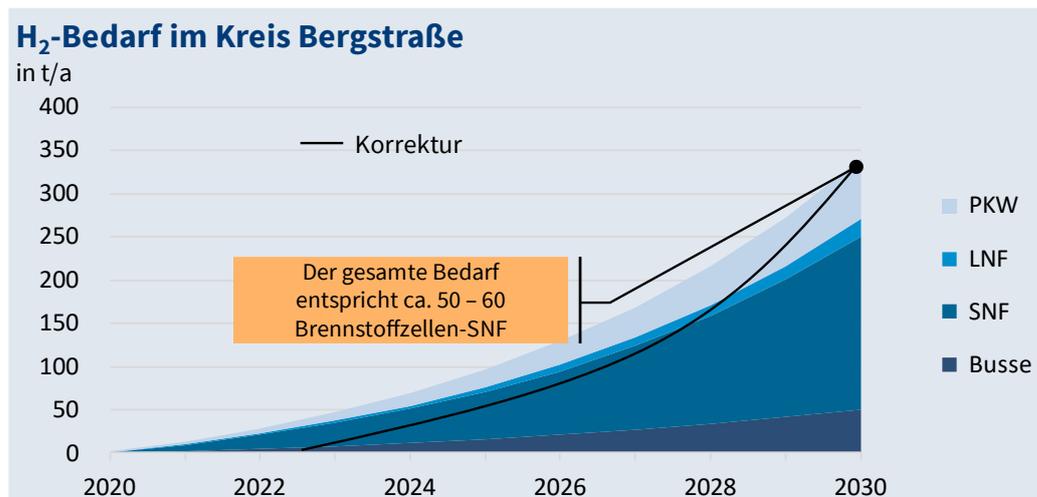
² Ein Exkurs über die verschiedenen Definitionen von grünem und erneuerbarem Wasserstoff folgt im Kapitel A.6

Im Kreis Bergstraße werden im Rahmen der theoretischen Potenzialanalyse der straßengebundene Verkehr und die Erzeugung von Hochtemperaturprozesswärme im Industriesektor berücksichtigt.

Mobilität

Bis 2030 ergibt sich im straßengebundenen Verkehr im Kreis Bergstraße ein theoretischer Wasserstoffbedarf von 340 t H₂ (vgl. Abbildung 2-2). Dieser Wasserstoffbedarf entspricht ca. 50–60 schweren Nutzfahrzeugen (SNF), also Lastkraftwagen (Lkw), Bussen und Abfallsammelfahrzeugen. Abbildung 2-2 zeigt den größten Bedarf an Wasserstoff für diese Fahrzeuge. Dies hängt insbesondere mit der hohen Nutzlast der Fahrzeuge und den hohen erforderlichen Reichweiten zusammen. Auch im Personenkraftwagensegment steigt perspektivisch der Wasserstoffbedarf. Dies ist auf die hohe Anzahl von Fahrzeugen zurückzuführen: der Wasserstoffbedarf pro Fahrzeug ist im Bereich von Personenkraftwagen (Pkw) und leichten Nutzfahrzeugen (LNF) deutlich geringer als bei schweren Nutzfahrzeugen. Weiterhin ist in Abbildung 2-2 eine Anpassung des theoretischen Wasserstoffbedarfs dargestellt (durchgezogene Linie), die in Anlehnung an aktuelle Entwicklungen der H₂-Tankstelleninfrastruktur sowie Markverfügbarkeiten erstellt wurde. Diese letztgenannten Faktoren führen in den ersten Jahren des Betrachtungszeitraums zu geringeren Wasserstoffbedarfen als von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (DENA) erwartet.³

³ Abweichungen gegenüber anderen Potenzialanalysen sind auf den Ansatz und die Datengrundlage zurückzuführen. Beispielsweise werden in der Potenzialanalyse der Metropolregion Rhein-Neckar Fahrzeuge unterschiedlich kategorisiert. So werden Müllfahrzeuge in der Potenzialstudie der MRN getrennt ausgewiesen und anhand der Bevölkerungsentwicklung und dem entsprechenden Müllaufkommen berechnet. Für Busse wird anhand der heutigen Antriebsaufteilung in den Städten Mannheim, Heidelberg und Ludwigshafen ein Szenario für alle Landkreise in der MRN erstellt und berechnet. Der berechnete Verbrauch im Lkw-Verkehr hängt von dem gesetzlichen Rahmen (z.B. Verbrennerverbot 2035) und den Neuzulassungen sowie einer Aufteilung von 60 % FCEV und 40 % BEV ab. Er unterscheidet sich in einem früheren Anstieg und einer flacheren Kurve von der hier dargestellten H₂-Strategie.

Abbildung 2-2 H₂-Nutzungspotenzial im Verkehrssektor nach [2] [3]

Industrie

Der Einsatz von Wasserstoff in der Industrie ist im Kreis Bergstraße insbesondere für Hochtemperaturprozesse relevant. Hochtemperaturprozesse kommen unter anderem in der Herstellung von Papier, Pappe und Waren, chemischen Erzeugnissen, Glaswaren und Keramik, bei der Metallerzeugung und -bearbeitung sowie der Herstellung von Metallerzeugnissen vor. Die in diesen Wirtschaftszweigen (WZ) benötigten Temperaturen von über 500 °C lassen sich nur durch Biogas, H₂ oder andere synthetische Gase erreichen.

Die durchgeführte Potenzialanalyse zum Wasserstoffbedarf betrachtet die theoretischen Potenziale für die Jahre 2030, 2040 und 2045 und bildet damit die langfristige Entwicklung der Prozesswärmeerzeugung im Kreis Bergstraße ab (vgl. Abbildung 2-3). Die Potenzialanalyse wird Top-Down auf der Grundlage von Daten aus dem DemandRegio (Forschungsprojekt zur Harmonisierung und Entwicklung von Verfahren zur regionalen und zeitlichen Auflösung von Energienachfragen) durchgeführt und basiert auf einem studienbasierten H₂-Hochlauf. Dieser Hochlauf sollte mit einem Bottom-Up-Ansatz verifiziert werden.⁴

⁴ Die Potenzialanalyse für die Prozesswärmeerzeugung in der Industrie wird über ein Top-Down-Verfahren in Anlehnung an den statistisch ausgewiesenen Gasverbrauch ohne zukünftige Produktionsentwicklung durchgeführt.

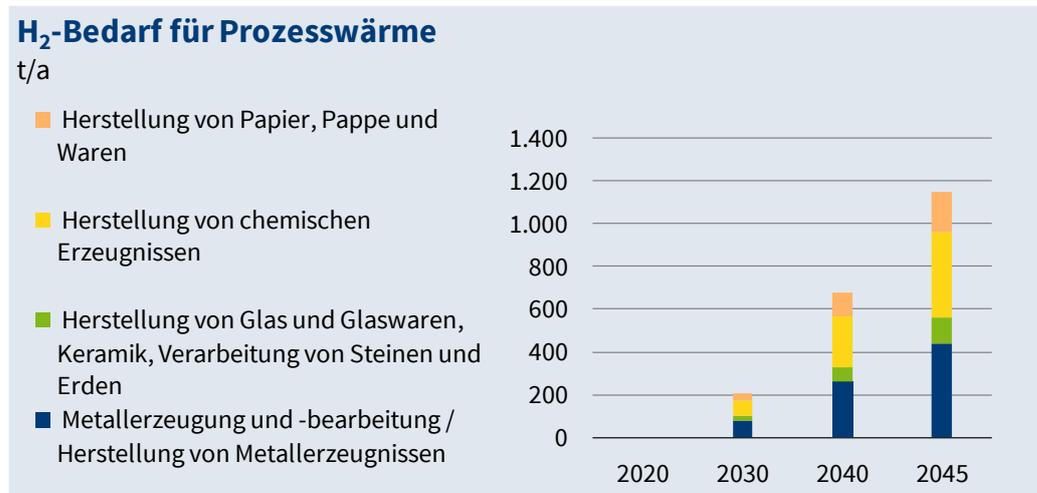


Abbildung 2-3 H₂-Nutzungspotenzial zur Erzeugung von Hochtemperaturprozesswärme⁵ nach [3], [4], [5]

Die Analyse ergibt bis 2030 einen theoretischen Wasserstoffbedarf von jährlich 200 t, bis 2045 entsteht demnach ein jährlicher Bedarf von ca. 1.150 t Wasserstoff. Der größte H₂-Bedarf wird hierbei in den Wirtschaftszweigen Metallerzeugung und -bearbeitung sowie für die Herstellung von Metallerzeugnissen ermittelt.

2.2. Erzeugungspotenzial im Kreis Bergstraße

Mögliche Erzeugungspfade für grünen Wasserstoff sind Windkraft, Photovoltaik (PV) und Wasserkraft als Stromquellen für die Elektrolyse, hinzu kommt die Gewinnung von Wasserstoff aus Biomasse (vgl. Abbildung 2-4). Für eine aussagekräftige Analyse werden die langfristigen theoretischen Erzeugungspotenziale für Wasserstoff für das Stichjahr 2030 ermittelt. Im Rahmen der Potenzialanalyse werden aktuelle Bestandsanlagen, Anlagen, die

Unterschiede zu anderen Potenzialanalysen (bspw. der MRN) können aufgrund eines anderen zugrunde gelegten Temperaturniveaus für den Wasserstoffeinsatz (hier bspw. 500 °C) oder angesichts weiterer synthetischer Gase/Biogase entstehen.

Es wurden keine Prognosen von Unternehmen in die theoretische Potenzialanalyse mit aufgenommen.

⁵ Unter der Annahme, dass 75 % des Gasbedarfs in der Industrie für die Prozesswärme aufgewandt und die gesamte Hochtemperaturprozesswärme durch H₂ bereitgestellt wird.

aus der Förderung des EEG Erneuerbare-Energien-Gesetzes („ausgeförderte Anlagen“) fallen, sowie der Neubau von Anlagen berücksichtigt. Als weitere Kategorie wird Strom aus erneuerbaren Energien betrachtet, der aufgrund von Überlastung des Netzes abgeregelt wurde.



Abbildung 2-4 H₂-Erzeugungspotenzial im Kreis Bergstraße nach [6], [7]

Für das Jahr 2030 zeigt die Analyse ein theoretisches Wasserstoffproduktionspotenzial von ca. 1.280 t Wasserstoff aus erneuerbaren Energien und Biomasse. Der größte Anteil entfällt hierbei auf die Erzeugung durch PV-Neuanlagen in Kombination mit einer Elektrolyseanlage. Das zweitgrößte Potenzial bildet der Betrieb einer Elektrolyse in Kombination mit einer Windenergieanlage.

Die Gewinnung von Wasserstoff aus Biomasse oder abgeregeltem Strom bietet hingegen nur ein geringes theoretisches Potenzial und ist daher zu vernachlässigen. Des Weiteren birgt die Produktion von Wasserstoff aus ausgeförderten Anlagen ein geringes Potenzial, da bis zum Jahr 2030 nur wenige Anlagen aus der EEG-Förderung fallen werden.⁶

⁶ Die Ermittlung der Neuanlagen für die Erzeugung erneuerbarer Energien im Kreis Bergstraße basiert auf den im Erneuerbare-Energien-Gesetz 2023 angestrebten Ausbauzielen für Deutschland. Die Daten für die Bestandsanlagen und ausgeförderten Anlagen entstammen dem Marktstammdatenregister.

2.3. Bilanz der Wasserstoffnachfrage und -erzeugung

Wird das theoretische Nutzungspotenzial dem theoretischen Erzeugungspotenzial im Kreis Bergstraße gegenübergestellt, kann das theoretische Nutzungspotenzial im Verkehr und in der Industrie im Jahr 2030 gedeckt werden. Der Kreis Bergstraße kann sich somit im Jahr 2030 theoretisch selbst mit Wasserstoff versorgen (vgl. Abbildung 2-5). Die theoretische Wasserstoffnachfrage im Jahr 2045 ist um den Faktor 12 höher als die Wasserstoffnachfrage im Jahr 2030. Insbesondere langfristig ist daher auch eine Anbindung an eine Wasserstoffpipeline für einen Import von Wasserstoff sinnvoll.



Abbildung 2-5 H₂-Erzeugung und -Nutzung im Kreis Bergstraße

3. Mehrwert durch Wasserstoff im Kreis Bergstraße

Grundsätzlich bietet Wasserstoff einen Nutzen im Bereich des Klimaschutzes sowie Potenziale für die regionale Wertschöpfung. Im Folgenden wird der Mehrwert von Wasserstoff für den Kreis Bergstraße im Hinblick auf diese Aspekte betrachtet.

3.1. Treibhausgasemissionseinsparung durch Wasserstoff

Wasserstoff ermöglicht aufgrund vielseitiger Einsatzmöglichkeiten Treibhausgasemissionseinsparungen in unterschiedlichen Sektoren. So können bspw. im Verkehrssektor durch die Substitution von Benzin und Diesel im Jahr 2030 ca. 12.500 t Kohlenstoffdioxid eingespart werden (vgl. Abbildung 3-1). Bis zum Jahr 2030 liegen die Gesamteinsparungen von Kohlenstoffdioxid bei 42.000 t. Neben den Treibhausgasemissionen bietet die Elektromobilität bis 2030 zusätzlich Stickoxidgesamteinsparungen von ca. 100 t und Feinstaubgesamteinsparungen von ca. 1 t. Zusätzlich werden dank der reduzierten Lärmimmissionen insbesondere städtisch geprägte Gebiete lebenswerter.

Das theoretische Potenzial im Industriesektor durch die Substitution von Erdgas zur Erzeugung von Hochtemperaturprozesswärme durch erneuerbaren Wasserstoff bis 2030 liegt bei ca. 7.000 t Kohlenstoffdioxid.

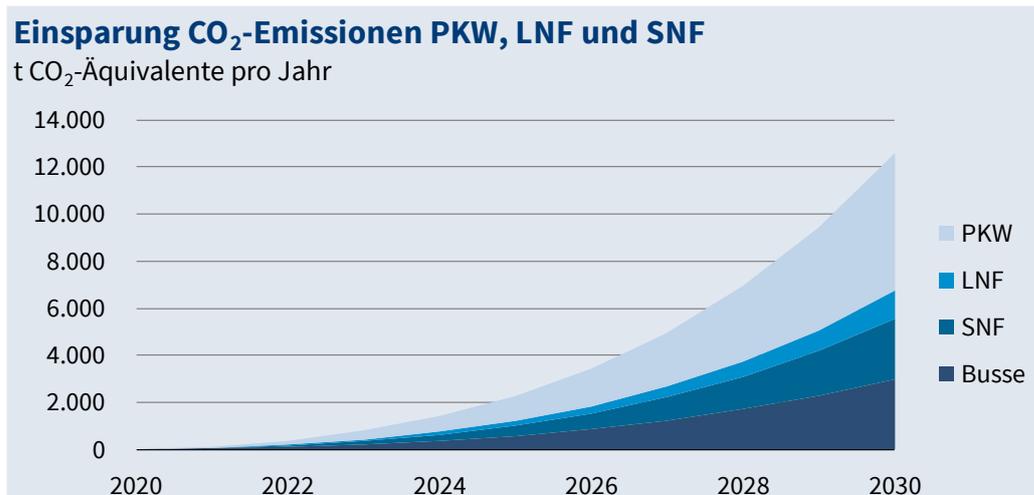


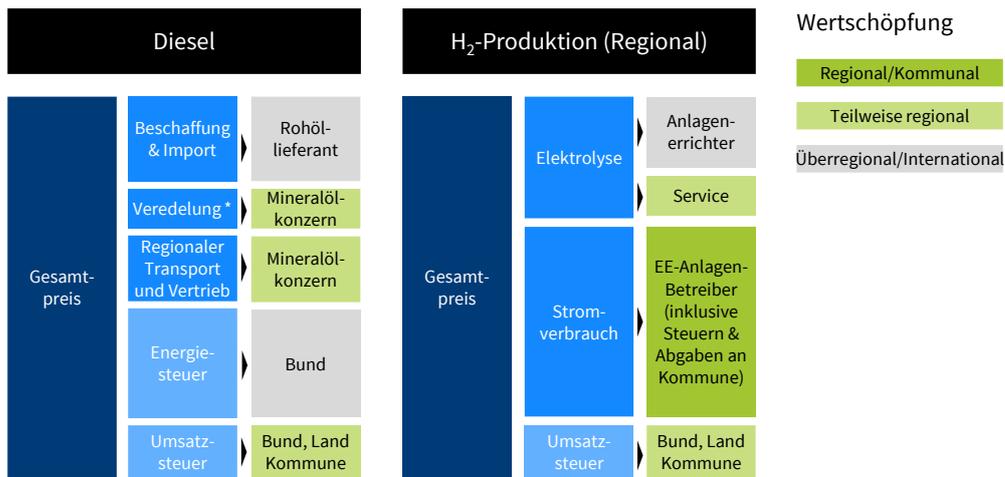
Abbildung 3-1 Treibhausgasemissionen mit Blick auf das theoretische H₂-Nutzungspotenzial im Verkehrssektor nach [2], [3], [8]

Durch die konkrete Umsetzung der Projektideen im Kreis Bergstraße können im Verkehrssektor im Jahr 2025 ca. 645 t Kohlenstoffdioxid eingespart werden.

3.2. Regionale Wertschöpfung durch Wasserstoff

Die H₂-Erzeugung kann große Potenziale für die regionale Wertschöpfung bergen. Durch die Nutzung fossiler Kraftstoffe fließt ein Großteil der Wertschöpfung aus der Region ab, wenn keine Unternehmen aus der Wertschöpfungskette für Gas- oder Mineralölprodukte in der Region ansässig sind. Wird Wasserstoff mit Energie aus dem Kreis Bergstraße produziert und bspw. im Verkehrssektor eingesetzt, verbleibt ein großer Teil der Wertschöpfung bei den Akteuren aus der Region.

Abbildung 3-2 stellt beispielhaft die Wertschöpfungsanteile von importiertem Diesel und – mit lokaler Energie erzeugtem – Wasserstoff gegenüber. Die grün markierten Felder zeigen, welche regionalen Akteure direkt oder indirekt von der H₂-Erzeugung profitieren können. In Abhängigkeit von der Energiequelle für die H₂-Herstellung kann somit ein Teil der Kraftstoffausgaben in der Region verbleiben.



* abhängig vom Standort der Raffinerie – meist Überregional/International

Abbildung 3-2 Regionale Wertschöpfung in der Kraftstoffherstellung

Entlang der gesamten Kette von Wasserstoffverteilung, Wasserstoffspeicherung und Wasserstoffnutzung ist ein Potenzial für weitere Wertschöpfungseffekte vorhanden. Durch Komponentenhersteller, Systemintegratoren oder Dienstleister, die Standorte in der Region haben, können zusätzliche Wertschöpfung und Arbeitsplätze entstehen (vgl. Abbildung 3-3).

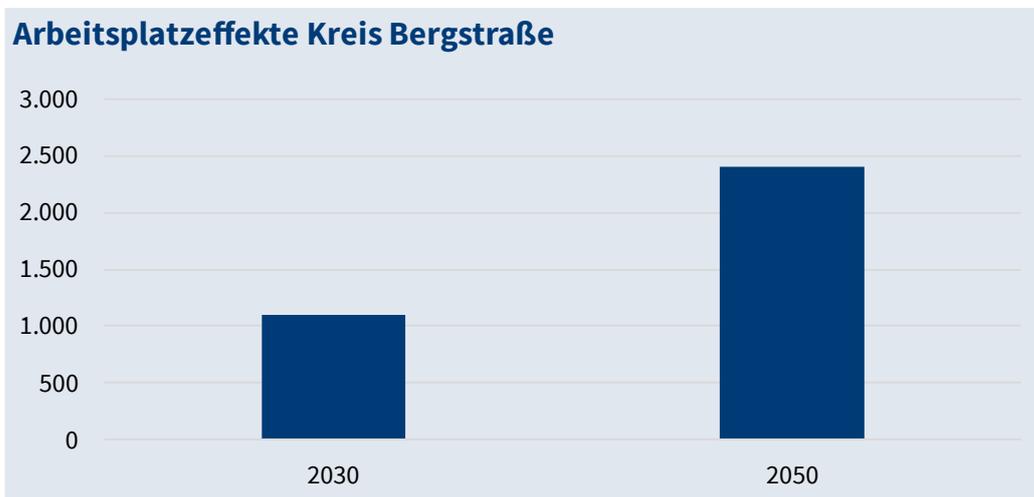


Abbildung 3-3 Anzahl neuer Arbeitsplätze im Kreis Bergstraße

Das Potenzial für neue Arbeitsplätze durch die Ansiedlung einer Brennstoffzellen- und Elektrolysefertigung sowie einer sektorenübergreifenden Wasserstoffwirtschaft liegt im Kreis Bergstraße bis zum Jahr 2030 bei 1.100 Arbeitsplätzen und bis 2050 bei 2.400 Arbeitsplätzen. Diese Arbeitsplätze entstehen laut Analyse im Wesentlichen in den Wirtschaftszweigen *Produzierendes Gewerbe* und *Handel, Gastgewerbe* und *Verkehr*.

4. Wirtschaftlichkeit verschiedener Wasserstoffanwendungen im Kreis Bergstraße

Je nach Anwendungsbereich kann Wasserstoff zu unterschiedlichen Preisen verkauft werden. Im Verkehrsbereich liegen die sogenannten Zielkosten (aktuelle Konkurrenz: Diesel, Benzin) höher als bei Wasserstoff, der in der Industrie eingesetzt wird (aktuelle Konkurrenz: Erdgas). Wird grüner Wasserstoff per Trailer angeliefert, liegt der aktuelle Marktpreis über den sogenannten Zielkosten. Der Preis von Wasserstoff an Tankstellen der H₂ MOBILITY ist in Abbildung 4-1 dargestellt.



Abbildung 4-1 Markt- und Zielpreise für Wasserstoff

Im Rahmen der Entwicklung der Projekte(-ideen) wurde neben weiteren Aspekten vor allem die Wirtschaftlichkeit betrachtet.

4.1. Konkrete Erzeugungsprojekte im Kreis Bergstraße

Für mehrere potenzielle Erzeugungsprojekte im Kreis Bergstraße wurde die Produktion von Wasserstoff per Elektrolyse unter anderem mit Strom aus Photovoltaik untersucht. In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit dieser Projekte

spielen insbesondere die Strombezugskosten (vgl. Abbildung 4-2) und die Auslastung der Elektrolyse eine wichtige Rolle (vgl. Abbildung 4-3).

Die Wasserstoffgestehungskosten werden maßgeblich durch die Strombezugskosten beeinflusst. Abbildung 4-2 zeigt, dass die Stromgestehungskosten bei einer entsprechenden Auslastung der Anlage den größten Kostenbestandteil ausmachen. Für eine langfristig wettbewerbsfähige H₂-Erzeugung liegen die Strombezugspreise optimalerweise unter 10 ct/kWh. Somit bietet sich auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten der Strombezug von erneuerbaren Energien an, deren Stromgestehungskosten in dieser Größenordnung liegen.

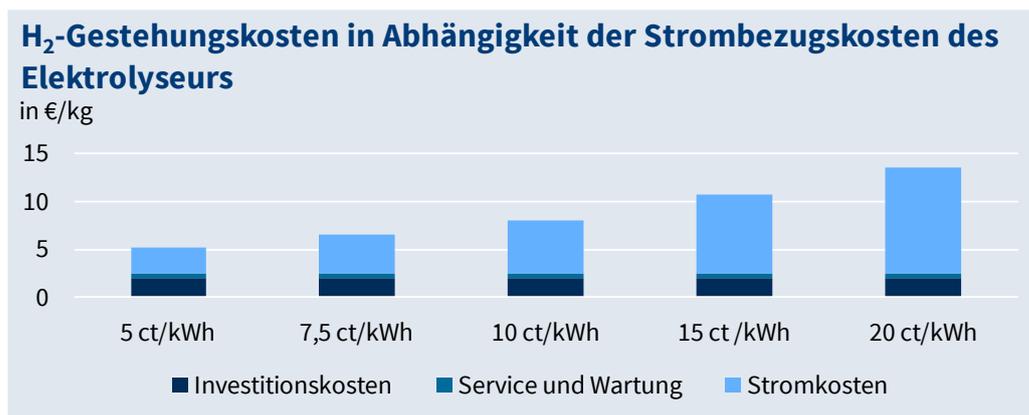


Abbildung 4-2 Wasserstoffgestehungskosten in Abhängigkeit von den Strombezugskosten des Elektrolyseurs

Weiterhin ist die Auslastung eines Elektrolyseurs für die Wirtschaftlichkeit von großer Bedeutung. Dies betrifft insbesondere die Anlagenkombination aus Photovoltaik und Elektrolyse, da die Volllaststunden einer PV-Anlage durch die begrenzte Anzahl an Sonnenstunden pro Tag limitiert sind. Für eine wettbewerbsfähige H₂-Erzeugung und eine entsprechende Auslastung des Elektrolyseurs ist die installierte Erzeugungsleistung der Erneuerbare-Energien-Anlagen (bspw. PV) optimalerweise um ein Vielfaches größer als die installierte Elektrolyseleistung. Vor allem die Nutzung von Windenergieanlagen zur H₂-Produktion ist aufgrund des höheren Verhältnisses der Volllaststunden vorteilhafter als bei Photovoltaik, da Wind

grundsätzlich häufiger (bspw. auch nachts) zur Verfügung steht. Vor diesem Hintergrund kann ein strategischer Windausbau in Kombination mit einer H₂-Produktionsanlage sinnvoll sein.

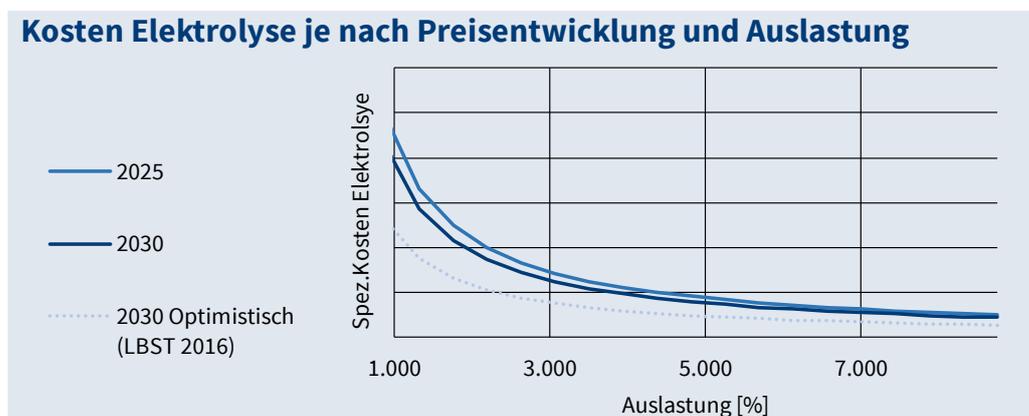


Abbildung 4-3 Kosten der Elektrolyse je nach Preisentwicklung und Auslastung

Neben den Projekten und Projektideen für die Wasserstoffproduktion mit Strom aus erneuerbaren Energien besteht durch das H₂ Hub auf der Friesenheimer Insel in Mannheim in geringer Distanz eine weitere Wasserstoffquelle, die eine hohe Redundanz für Wasserstoff im Kreis Bergstraße ermöglicht. Weitere Projekte in der Metropolregion Rhein-Neckar können ebenfalls als Kooperationspartner dienen.

In Tabelle 4-1 sind verschiedene Unternehmen gelistet, die im Rahmen der H₂-Strategie eine Analyse der Rahmenbedingungen im Hinblick auf eine Wasserstoffproduktion erhalten haben. Weitere Informationen zu dem aktuell öffentlichen Projektstand sind in den Steckbriefen und den Absichtserklärungen im Anhang zu finden.

Tabelle 4-1 Mögliche Erzeugungsprojekte im Kreis Bergstraße

Mögliche Erzeugungsprojekte im Kreis Bergstraße			
Nr.	Maßnahme	Akteur	Steckbrief
1	Elektrolyse mit EE-Strom	Eberts Engineering GmbH & Co. KG	A.5.1
2	Elektrolyse mit PV	EWR AG	A.5.2
3	Elektrolyse mit lokaler EE-Erzeugung	GGEW AG	A.5.3
5	H2 Hub Friesenheimer Insel	Air Liquide / Metropolregion Rhein-Neckar	A.5.4 / A.5.15

4.2. Konkrete Nutzungsprojekte im Kreis Bergstraße

Im Bereich der Wasserstoffnutzung wurden Akteure sowohl aus dem Bereich der Mobilität als auch aus der Industrie in das Projekt involviert.

Mobilität

Im Bereich Mobilität wurden unter anderem Liniennetzanalysen für Verkehrsunternehmen durchgeführt. Für die Dekarbonisierung der Nutzfahrzeugflotten sind neben Brennstoffzellen-Fahrzeugen auch batterieelektrische Fahrzeuge denkbar. In Anlehnung an die Rahmenbedingungen vor Ort – insbesondere die Längen der Streckenumläufe, aber auch unter Berücksichtigung von lokalen Begebenheiten wie der Topografie – wurden die verschiedenen Technologien (Batteriebus mit Depotladung inkl. einer nicht-elektrischen Zusatzheizung (NEZH) und Brennstoffzelle) analysiert und bewertet.

Grundsätzlich haben Brennstoffzellen-Fahrzeuge in Bezug auf die Reichweite Vorteile gegenüber batterieelektrischen Fahrzeugen (vgl. Abbildung 4-4). Zusätzlich weisen die Antriebstechnologien Unterschiede im Hinblick auf ihre Flexibilität auf. Beispielsweise kann ein Fahrzeug mit einer

Gelegenheitsladung nur auf Strecken eingesetzt werden, auf der die entsprechende Infrastruktur vorhanden ist. Fahrzeuge, die über eine Depotladung geladen werden, haben eine höhere Flexibilität als Gelegenheitslader. Allerdings bieten diese durch ihre geringere Reichweite auch eine geringere Flexibilität als Brennstoffzellen-Fahrzeuge.

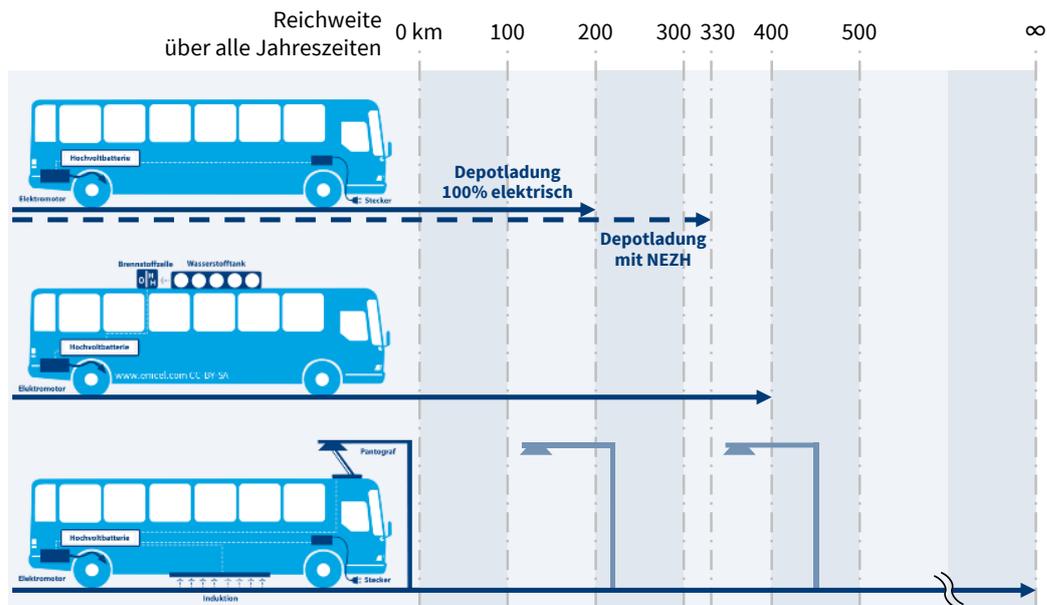


Abbildung 4-4 Übersicht alternativer Antriebe und Reichweiten der jeweiligen Technologie⁷

Wird eine gewisse Umlauflänge überschritten, sind bei einer Depotladung unter Umständen Zusatzbusse notwendig, damit die Streckenumläufe entsprechend befahren werden können. Dies kann sich stark in den Mehrkosten gegenüber der Dieselseltechnologie abzeichnen (vgl. Abbildung 4-5).

⁷ Die dargestellten Reichweiten sind über alle Jahreszeiten gewährleistet.

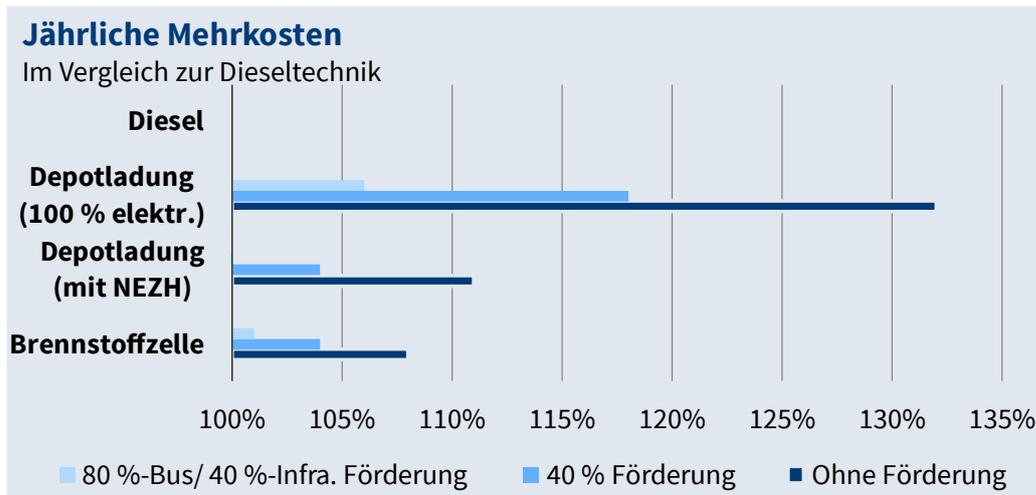


Abbildung 4-5 Jährliche Mehrkosten im Vergleich zur Dieselsechnik bei einer Umstellung auf alternative Antriebe

Zu den kurzfristigen Potenzialen im Verkehrssektor, die sich im Wesentlichen auf den straßengebundenen Verkehr beziehen, existiert weiter auch ein Umstellungspotenzial im schienengebundenen Verkehr sowie in der Schifffahrt, das langfristig ebenfalls mit Wasserstoff gehoben werden kann. Erste Projekte im Bereich Schifffahrt mit Wasserstoff wurden bereits angestoßen (bspw. RH2INE). Allerdings sind auch hier noch weitere technologische Fortschritte und der Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur für eine breite Ausrollung erforderlich.

In Tabelle 4-2 sind verschiedene Unternehmen gelistet, die im Rahmen der H₂-Strategie eine Analyse der Rahmenbedingungen im Hinblick auf eine Wasserstoffnutzung erhalten haben. Weitere Informationen sind in den Steckbriefen im Anhang zu finden.

Tabelle 4-2 Mögliche Nutzungsprojekte im Verkehrssektor Kreis Bergstraße

Mögliche Nutzungsprojekte im Kreis Bergstraße			
Nr.	Maßnahme	Akteur	Steckbrief
1	Brennstoffzellen-Busse	Verkehrsverbund Rhein-Neckar (VRN) GmbH / Walter Müller Reise GmbH & Co. KG	A.5.5 / A.5.6
3	Brennstoffzellen-ASF	Zweckverband Abfallwirtschaft Kreis Bergstraße	A.5.7
4	Brennstoffzellen-Lkw	Schüssler Spedition	A.5.8
5	Brennstoffzellen-LNF	Spir Star AG	A.5.9
6	Brennstoffzellen-Schiffe	Gebrüder Krieger AG	A.5.10

H₂-Tankstelle

Grundlage für den Betrieb von Brennstoffzellen-Fahrzeugen ist eine H₂-Tankstelle. Aktuell befinden sich in Kreisnähe zwei H₂-Tankstellen, die jedoch lediglich für eine Betankung mit einem Druckniveau von 700 bar ausgelegt sind. Diese H₂-Tankstellen wurden für Pkw errichtet und sind für aktuell am Markt verfügbare Brennstoffzellen-Busse und für die meisten schweren Nutzfahrzeuge nicht nutzbar. Zusätzlich haben kommunale Flotten wie bspw. Brennstoffzellen-Busse im ÖPNV im Betriebsablauf keine Zeit, um große Distanzen zur Betankung der Fahrzeuge zurückzulegen.

Im Kreis Bergstraße wird kurzfristig ein hoher Bedarf an Wasserstoff im Verkehrssektor benötigt, unter anderem im ÖPNV mit Blick auf die Ausschreibung von zehn Brennstoffzellen-Bussen durch den Verkehrsverbund Rhein-Neckar (VRN) GmbH. Mit dem Zweckverband Abfallwirtschaft Kreis Bergstraße (ZAKB) plant eine weitere kommunale Flotte mittel- bis langfristig die Umstellung des Fuhrparks auf Brennstoffzellen-Fahrzeuge (vgl. Tabelle 4-2). Die Errichtung einer H₂-Tankstelle für Nutzfahrzeuge im Kreis ist daher zwingend erforderlich. Im Rahmen der H₂-Strategie wurden verschiedene

Standorte für die Errichtung einer H₂-Tankstelle berücksichtigt. Wesentliche Kriterien für die Standortauswahl sind in Tabelle 4-3 dargestellt.

Tabelle 4-3 Bewertungskriterien für H₂-Tankstellenstandorte

Bewertungskriterium	Standort 1	Standort 2
Platzverhältnisse		
Flächeneigentümer		
Erweiterungsmöglichkeit		
Zufahrt für H ₂ -Anlieferung per Trailer		
Tankstellenzugänglichkeit für Abnehmer		
Mögliche / prädestinierte Abnehmer		
Genehmigungsrechtliche Bedingungen		

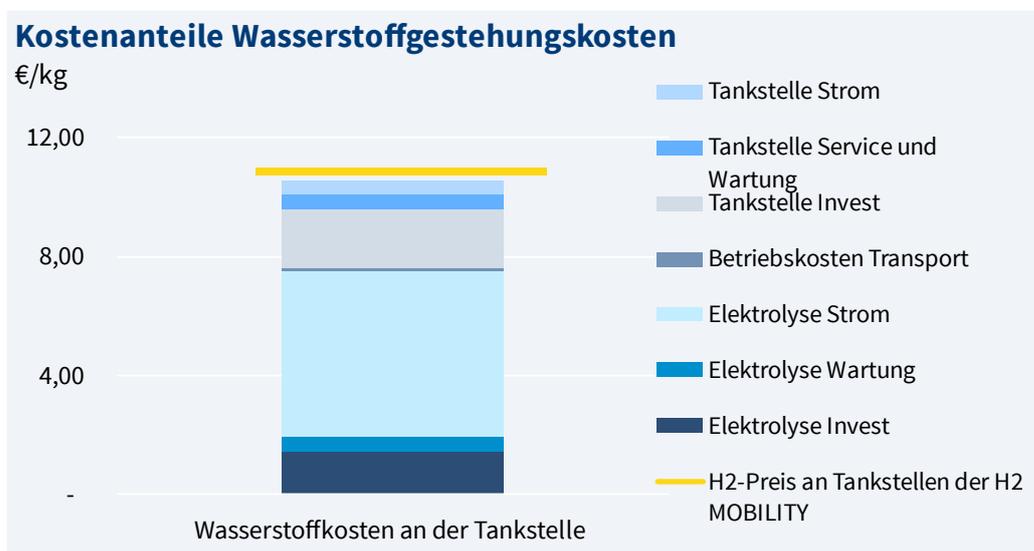
Die gemeinschaftliche Nutzung einer H₂-Tankstelle stellt laut durchgeführter Online-Umfrage aus Sicht der Akteure eine wesentliche Kooperationsmöglichkeit dar. Erste Standorte und Projektideen, die im Rahmen von Workshops angeführt wurden, sind in Abbildung 4-6 dargestellt.



Abbildung 4-6 Ideen und Planungen für H₂-Tankstellen im Kreis Bergstraße

Die Wasserstoffkosten an der H₂-Tankstelle setzen sich aus den Produktionskosten durch die Elektrolyse, den Transportkosten sowie den Kosten der H₂-Tankstelle zusammen. Der Hauptkostenbestandteil kommt

durch die Wasserstoffherzeugung zustande. Neben den großen Einflussfaktoren wie dem Strompreis und der Auslastung (vgl. Kapitel 4.1) spielen unter anderem auch technologische Faktoren wie bspw. der Wirkungsgrad von Elektrolyseuren, aktuelle Marktentwicklungen und Skaleneffekte in Bezug auf die Investitionskosten und die aktuelle Förderlandschaft sowie weitere politisch gesetzte Anreize eine große Rolle. Der Preis für Wasserstoff an den öffentlich zugänglichen Tankstellen ist auf einen Wert von 10,80 € je kg (zuzüglich Mehrwertsteuer) festgelegt worden. Dieser Preis ist aufgrund der geringen Auslastung und dem geringen Durchsatz an vielen H₂-Tankstellen zum jetzigen Zeitpunkt für den Betrieb der Tankstelle in der Regel nicht kostendeckend. Mit Hilfe der Treibhausgasminderungsquote wurde ein neuer finanzieller Anreiz geschaffen, der den Business Case für H₂-Tankstellen deutlich verbessert (vgl. Abbildung 4-7).

Abbildung 4-7 Wasserstoffkosten an der H₂-Tankstelle

Betriebsmodelle für Wasserstoffinfrastruktur

Es existieren verschiedene Betriebsmodelle für die Nutzung von Wasserstoffinfrastruktur. Die Entscheidung für eines der Betriebsmodelle

sollte sich nach dem definierten Nutzen richten. Die Kernfrage ist, ob der Bedarf einer H₂-Tankstelle besteht oder ob Wasserstoff benötigt wird.

Es lassen sich drei wesentliche Modelle unterscheiden. Die Unterschiede in den Modellen liegen in den Aspekten der Planung, des Baus und des Betriebs mit verschiedenen Vor- und Nachteilen.

- 1) Bau einer Tankstelle in Eigenregie: Bei diesem Konzept ist der Nutzer in sämtlichen 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) Bei dem Bau einer Tankstelle nach dem Betreibermodell definiert der Nutzer einen Wasserstoffbedarf (Menge und Zeitraum) der Betankung. Der Tankstellenbetreiber kümmert sich sowohl um die notwendige Detailplanung und als auch um den Bau und Betrieb der H₂-Tankstelle und ist Eigentümer der H₂-Tankstelle (ggf. förderrelevant). Der Nutzer hat somit einen sehr geringen Organisationsaufwand. Dieses Modell ist für Nutzer interessant, die lediglich eine geregelte Wasserstoffmenge benötigen.
- 3) Der Bau einer Tankstelle durch einen Generalunternehmer ist eine Zwischenstufe der Modelle 1 und 2. Der Nutzer beauftragt einen Generalunternehmer, der die vollständige Abwicklung von Planung und Errichtung der Tankstelle übernimmt. Der Nutzer übernimmt anschließend die fertige H₂-Tankstelle und betreibt diese in Eigenregie. Der Nutzer kann so besondere Wünsche beim Bau der

H₂-Tankstelle einfließen lassen und ist beim Betrieb freier in der Wahl der Wasserstofflieferanten, hat aber einen geringeren Organisationsaufwand als bei einem Bau in Eigenregie. Dieses Modell ist für Nutzer mit eigenem Betriebsgelände interessant und für solche, die die Wasserstofflieferung wettbewerblich vergeben wollen.

Insbesondere Verkehrsbetriebe und Unternehmen mit großen Fahrzeugflotten betreiben häufig eine H₂-Tankstelle auf dem eigenen Betriebsgelände. Grund für die Entscheidung für eine eigene Betriebshoftankstelle sind dabei in der Regel die internen Betriebsabläufe und die Kosten. Dies ist auch auf bestehende und zukünftige Brennstoffzellen-Fahrzeugflotten übertragbar.

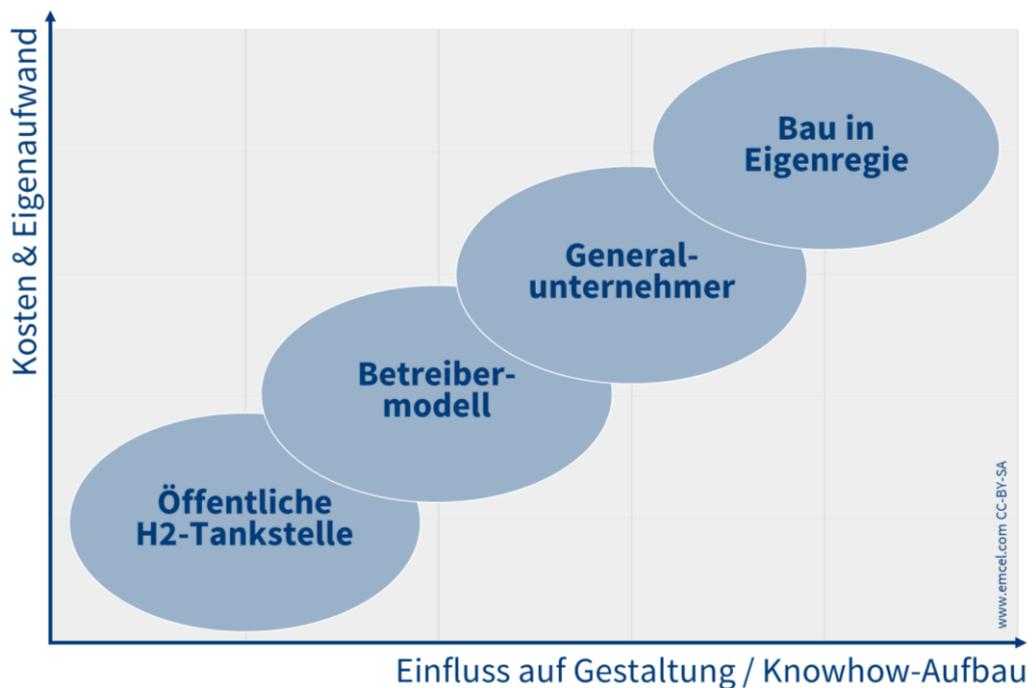


Abbildung 4-8 Überblick über Betreibermodelle für Wasserstoffinfrastruktur

In Tabelle 4-4 sind verschiedene Unternehmen gelistet, die im Rahmen der H₂-Strategie die Errichtung einer H₂-Tankstelle im Kreis Bergstraße planen. Weitere Informationen sind in den Steckbriefen im Anhang zu finden.

Tabelle 4-4 Mögliche Tankstellenprojekte im Kreis Bergstraße

Mögliche Tankstellenprojekte im Kreis Bergstraße			
Nr.	Maßnahme	Akteur	Steckbrief
7	H ₂ -Tankstelle	Eberts Engineering GmbH & Co. KG	A.5.1
8	H ₂ -Tankstelle	H2 MOBILITY /Walter Müller Reise GmbH & Co. KG	A.5.11

Industrie

Wasserstoff kann in der Industrie Erdgas als Energieträger bspw. zur Wärmeerzeugung ersetzen. Bei der Substitution von Erdgas durch Wasserstoff werden die entsprechenden Wasserstoffbedarfe in der Regel in Volumenprozent (Vol.-%) anstatt in Kilogramm wie bspw. im Verkehrssektor angegeben. Wichtig zu berücksichtigen ist vor diesem Hintergrund, dass die substituierte Energiemenge und die Einsparung an Kohlenstoffdioxidemissionen bei Wasserstoff in Vol.-% nicht der prozentualen Energiemenge und somit auch nicht der prozentualen Einsparung an Kohlenstoffdioxid und an Erdgas entspricht (vgl. Abbildung 4-9). Dies ist auf die geringere volumetrische Energiedichte von Wasserstoff im Vergleich zu Erdgas zurückzuführen.

Da Erdgas aktuell kostengünstiger ist als Wasserstoff, entstehen bei der Substitution von Erdgas durch Wasserstoff in Abhängigkeit vom erzielbaren Wasserstoffpreis unterschiedliche Mehrkosten. Unter der Annahme, dass Betriebsmehrkosten von bis zu 20 % getragen werden können und ein Erdgaspreis von 160 €/MWh zur Verfügung steht, werden beispielhaft verschiedene Szenarien betrachtet. So müsste etwa für eine 100%ige Umstellung der Wasserstoff für ca. 6,5 €/kg verfügbar sein. Für eine Umstellung von 50 Vol.-% müsste Wasserstoff zu ca. 10,3 €/kg verfügbar sein, um bei Betriebsmehrkosten von bis zu 20 % zu bleiben (vgl. Abbildung 4-9). Für eine vollständige Umstellung auf Wasserstoff ohne Betriebsmehrkosten wäre ein Wasserstoffpreis von ca. 5 €/kg erforderlich.

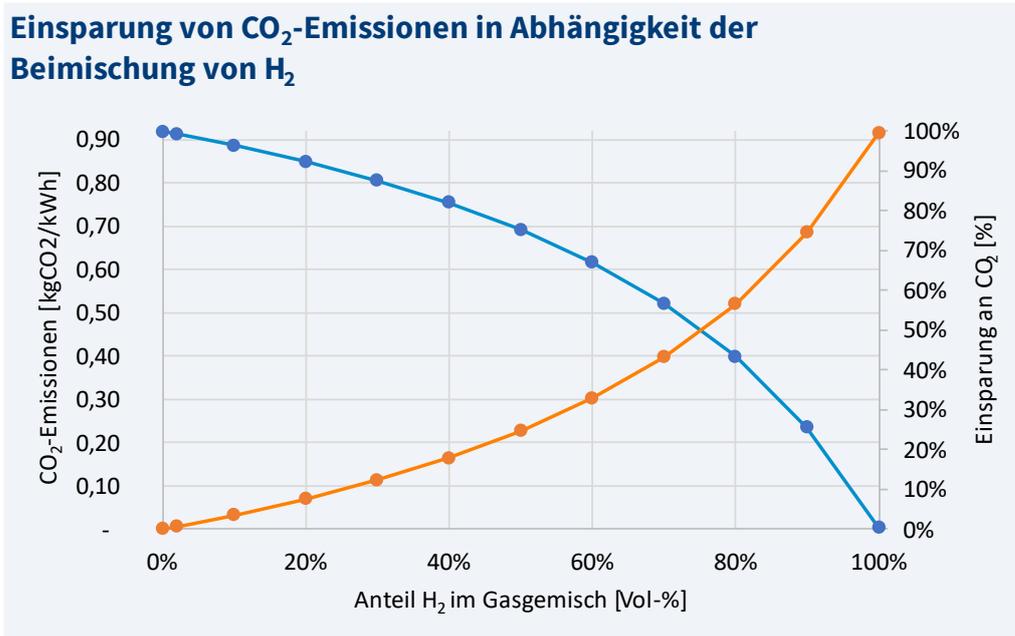


Abbildung 4-9 Einsparung von CO₂-Emissionen in Abhängigkeit von der H₂-Beimischung

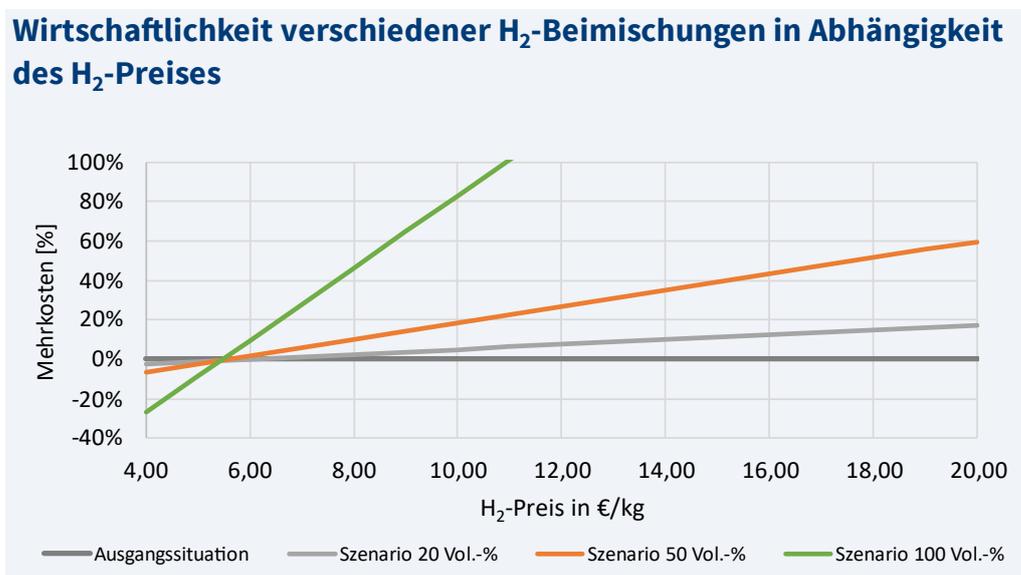


Abbildung 4-10 Wirtschaftlichkeit für verschiedene Szenarien als H₂-Beimischung

Wie in Abbildung 4-10 dargestellt, sind insbesondere im Industriebereich geringe Wasserstoffkosten notwendig. Weiterhin sind die Wasserstoffbedarfe im Industriebereich in der Regel so hoch, dass die Belieferung von Industrieprozessen meist nur auf Grundlage einer leitungsgebundenen Infrastruktur möglich ist. Mit den Versorgern ENERGIERIED und terranets bw

planen im Rahmen der Strategie zwei Akteure eine Umstellung von leitungsgebundener Infrastruktur im Kreis Bergstraße. Die BASF Lampertheim GmbH beschäftigt sich mit der Projektidee zur stofflichen und potenziell energetischen Nutzung von H₂ als CO₂-arme Alternative zu Erdgas.

Tabelle 4-5 Mögliche Nutzungsprojekte im Kreis Bergstraße

Mögliche Nutzungsprojekte im Kreis Bergstraße			
Nr.	Maßnahme	Akteur	Steckbrief
1	(Teil-)Umstellung des Erdgasnetzes auf bis zu 100% H ₂	ENERGIERIED GmbH & Co. KG	A.5.12
2	Transportnetzumstellung	terrane t s bw	A.5.13
3	Projektidee zur stofflichen und potenziell energetischen Nutzung von H ₂ als CO ₂ -arme Alternative	BASF Lampertheim GmbH	A.5.14

4.3. Konkrete Wissensprojekte im Kreis Bergstraße

Der Kreis Bergstraße engagiert sich neben der Erstellung der H₂-Strategie und dem darin bereitgestellten Wissen auch für die Weiterführung des Netzwerks. Mit dem Netzwerk werden insbesondere eine Kooperationsförderung und eine Vernetzung der regionalen Branchen angestrebt. Es sollen Fachinformationen und Informationen für Fördertöpfe bereitgestellt werden. Weiterhin soll die Vernetzung durch die Vermittlung von Kontaktdaten sowie durch regelmäßige Treffen vorangetrieben und eventuell vorhandene Sorgen und Nöte im Blick behalten werden.

Zusätzlich wird explizit eine Vermittlung von Wissen und Fortbildungen im Bereich Wasserstoff angestrebt. Dies bezieht sich insbesondere auf die Berufsbildung. Hierfür wurde ein Antrag beim Innovationswettbewerb INVITE des Bundesministeriums für Bildung und Forschung eingereicht, welcher die innovativen digitalen Entwicklungen für die berufsbezogene Weiterbildung

fördert, um Standards für einen kohärenten digitalen Weiterbildungsraum zu schaffen.

Tabelle 4-6 Mögliche Projekte im Bereich Wasserstoffwissen im Kreis Bergstraße

Mögliche Wissensprojekte im Kreis Bergstraße			
Nr.	Maßnahme	Akteur	Steckbrief
1	H ₂ -Strategie	Kreis Bergstraße	A.5.16
2	Wasserstoffnetzwerk	Kreis Bergstraße	A.5.17
3	Wasserstoffwissensvermittlung	Kreis Bergstraße	A.5.18

5. Rechtliche Rahmenbedingungen für erneuerbaren Wasserstoff und die Treibhausgasminderungsquote

Eine politische Maßnahme, die den Hochlauf von Wasserstoff im Verkehrssektor beschleunigen soll, stellt die sogenannte Treibhausgasminderungsquote dar. Inverkehrbringer von Kraftstoffen sind verpflichtet, die THG-Emissionen ihrer Kraftstoffe zu reduzieren. Diese angestrebten Treibhausgaseinsparungen werden in Quoten zusammengefasst. Die Quote wurden von der Europäischen Kommission bis zum Jahr 2030 von 6 auf 25 % erhöht. Werden die Quoten nicht eingehalten, sind Strafzahlungen zu leisten. Eine Quote kann jedoch auch durch Dritte übererfüllt und verkauft werden. Dieses System ermöglicht es, Erlöse für Wasserstoff zu erzielen, der an H₂-Tankstellen verkauft wird.

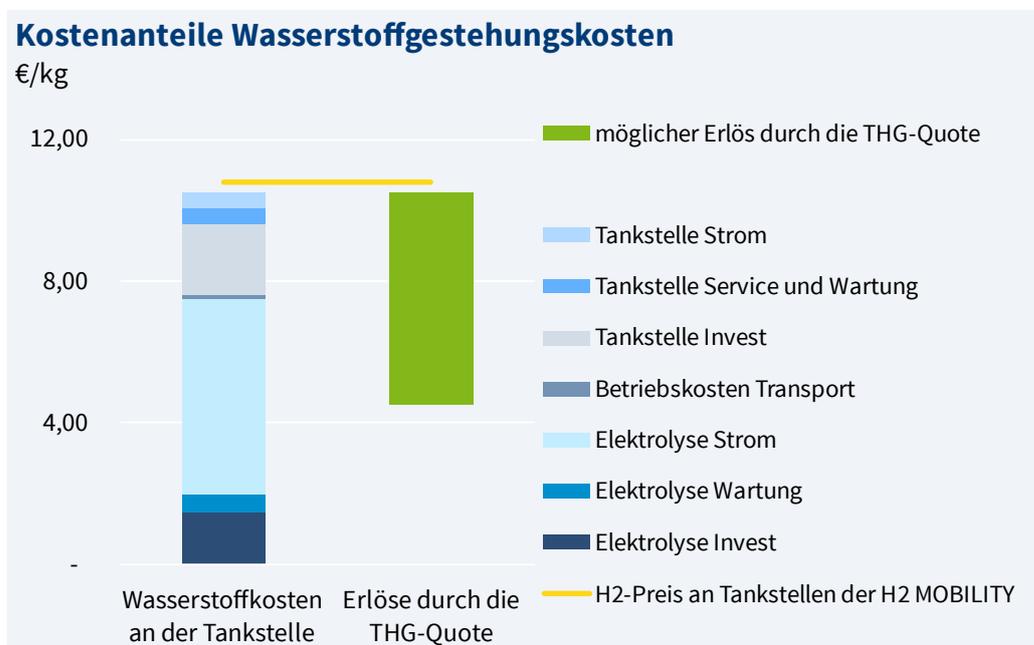
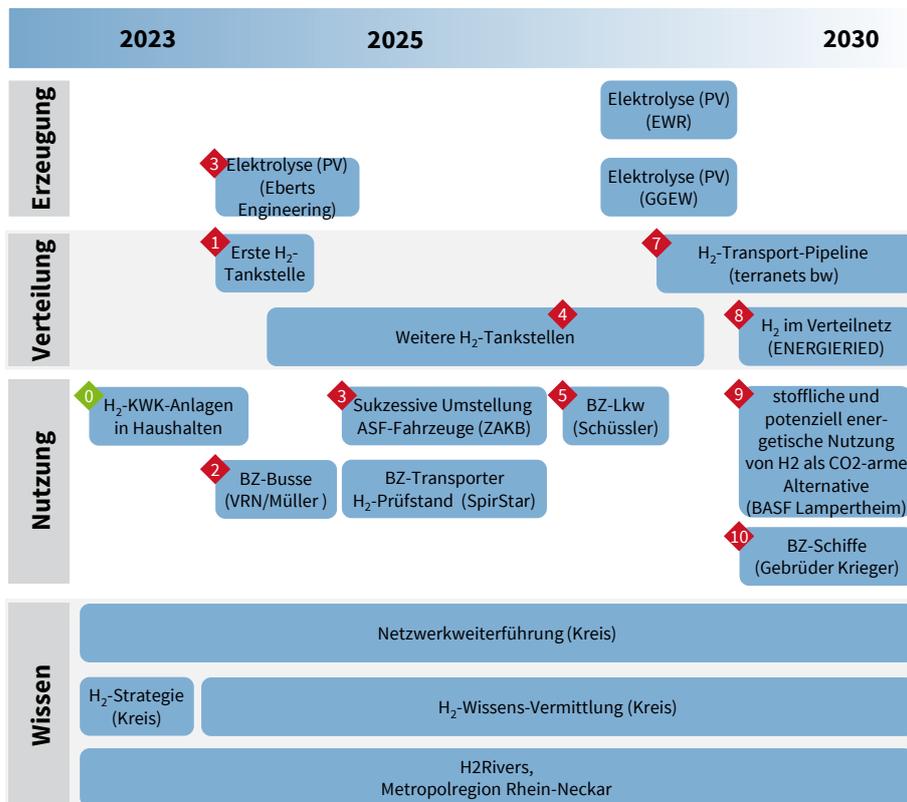


Abbildung 5-1 Wasserstoffkosten an der Tankstelle und Einfluss der THG-Minderungsquote

Je nach Akteur liegt die aktuelle Abschätzung des möglichen Erlöses zwischen 4 bis 10 €/kg. EMCEL schätzt aktuell einen maximalen Erlös von ca. 6 €/kg. Aktuell wird der Quotenhandel mit Wasserstoff noch nicht standardmäßig praktiziert (wie bspw. bei E-Bussen). Daher ist schwer abzuschätzen, bei welchem Preisniveau sich der Erlös einpendeln wird. Die finale Definition der Anforderungen an erneuerbaren Wasserstoff auf EU-Ebene wurde am 20.06.2023 im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht (vgl. Kapitel A.6.2).

6. Wasserstoffroadmap und Handlungsempfehlungen für den Kreis Bergstraße

In einem gemeinsamen Workshop mit relevanten Stakeholdern wurde gemeinsam eine Roadmap entwickelt, die in Anlehnung an konkrete Projekte und Projektideen entstanden ist.



Meilensteine

- 0 Inbetriebnahme der ersten H₂-KWK-Anlage
- 6 Nutzung eines BZ-Lkw in der Logistik
- 1 Inbetriebnahme der ersten H₂-Tankstelle
- 7 Anbindung an eine H₂-Transport-Pipeline
- 2 Einführung der ersten BZ-Busse
- 8 Pilotprojekt von 100 % H₂ im Verteilnetz
- 3 Erste Inbetriebnahme eines Elektrolyseurs
- 9 Stoffliche und potenziell energetische Nutzung von H₂ als CO₂-arme Alternative
- 4 Einführung des ersten BZ-ASF
- 10 Erste BZ-Schiffe auf dem Neckar
- 5 Flächendeckende H₂-Tankstelleninfrastruktur

Abbildung 6-1 Wasserstoffroadmap für den Kreis Bergstraße

Gemeinsam wurden verschiedene Meilensteine für den Kreis Bergstraße definiert und zu welchem Zeitpunkt diese erreicht werden sollen. Zusätzlich wurden im Rahmen des Workshops notwendige Rahmenbedingungen identifiziert und verschiedene Handlungsempfehlungen erarbeitet, auf die in den folgenden Kapiteln näher eingegangen wird.

Weitere Informationen zu den Projekten aus der Roadmap (vgl. Abbildung 6-1) sind in Steckbriefen im Anhang vorhanden. Die Roadmap stellt ein lebendes Dokument dar, das regelmäßig überprüft und an den aktuellen Stand angepasst werden muss. Der Kreis Bergstraße unterstützt die Umsetzung dieser Roadmap.

6.1. Rahmenbedingungen zur Umsetzung der Wasserstoffroadmap

Für eine erfolgreiche Umsetzung der Wasserstoffroadmap sind verschiedene Rahmenbedingungen erforderlich, die weder vom Kreis Bergstraße noch von den Akteuren direkt beeinflusst werden können. Adressaten für diese übergeordneten Rahmenbedingungen stellen bspw. die Europäische Union oder die Bundesregierung dar.

Elementare Voraussetzung für einen erfolgreichen Hochlauf der Wasserstoffinfrastruktur ist eine entsprechende Regulatorik auf EU- und Bundesebene. Hierbei spielt insbesondere das Thema Planungssicherheit eine große Rolle. So wäre bspw. eine nationale Strategie, die eine stringente Sektorenkopplung verfolgt und langfristige Planungssicherheit gewährleistet, von hoher Relevanz. Dabei wird eine sektorenübergreifende Top-Down-Unterstützung für Projekte gewünscht. Beispielhaft zu nennen ist, dass Förderungen durch einfachere Beantragung und schnellere Bewilligung planbarer gemacht werden sollten.

Auch bezogen auf den regulatorischen Rahmen sind wichtige Aspekte noch zu definieren: So ist bspw. die finale Rechtsprechung des delegierten Rechtsakts

in Ergänzung zur Renewable Energy Directive (RED II/ RED III) erst Mitte Juni 2023 erfolgt – eine Umsetzung in nationales Recht steht noch aus. Akteure im Kreis Bergstraße wünschen sich zudem eine größere Offenheit für die Farben von Wasserstoff beim Hochlauf der Wasserstoffinfrastruktur. Diesem Wunsch wurde durch die Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie nachgekommen. Klare Zielsetzung muss langfristig jedoch der Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff sein. Auch beim leitungsgebundenen Transport von Wasserstoff steht aktuell die Regulierung einer integrierten Netzplanung für Erdgas und Wasserstoff aus. Beispielsweise ist aktuell unklar, wer in Zukunft Wasserstoffnetze betreiben darf.

Ein weiterer externer Aspekt ist die rechtzeitige Verfügbarkeit der Technologie und die Etablierung eines Marktes für die entsprechenden Technologien und für grünen Wasserstoff. Nur so können Wasserstoffprojekte erfolgreich und nachhaltig umgesetzt werden.

6.2. Handlungsempfehlungen

Zusätzlich werden verschiedene Handlungsempfehlungen sowohl für den Kreis Bergstraße als auch für die Akteure im Kreis erarbeitet, die die Wasserstoffroadmap flankieren.

Handlungsempfehlungen der Akteure für den Kreis Bergstraße

1. Weiterführung des Netzwerks

Eine wichtige Handlungsempfehlung für den Kreis Bergstraße ist die Weiterführung des Netzwerks zur Verknüpfung der Akteure. So können die Bedarfe und Erzeugungspotenziale regional abgestimmt und dem Henne-Ei-Problem begegnet werden. Im Rahmen des Roadmap-Workshops hat sich der Kreis bereits zu diesem Schritt bekannt.

2. Aufbau einer zielgerichteten Informationsstruktur

Durch die Bereitstellung von Informationen (bspw. durch die Veröffentlichung auf der Homepage des Kreises) und eine zielgruppengerechte Öffentlichkeitsarbeit kann das Thema Wasserstoff durch den Kreis Bergstraße weiter vorangetrieben werden. Ziel der Öffentlichkeitsarbeit ist unter anderem ein geschlossenes politisches Meinungsbild, welches langfristige Planungssicherheit für regionale Unternehmen ermöglicht.

3. Beschleunigung von Genehmigungsverfahren (Erneuerbare Energien und Wasserstoff)

Um Genehmigungsverfahren sowohl für erneuerbare Energien als auch für Wasserstoffinfrastruktur zu beschleunigen, sollte relevantes Know-how in der Kommunalverwaltung verankert werden. Dies betrifft in erster Linie die Vorbereitung von Genehmigungsprozessen, bspw. durch Schulungen, Handlungshilfen (z.B. Leitfadenerstellung auf Kreis- oder Landesebene) und Best-Practice-Beispiele. Zu diesem Aspekt gehört auch die entsprechende Kenntnis oder ein aktives Engagement bezüglich der Regelwerksarbeit im Bereich Wasserstoff.

4. Bereitstellung von Grundstücken für strategisch wichtige Wasserstoffinfrastruktur durch den Kreis Bergstraße

Wesentlich für einen regionalen Hochlauf der Wasserstoffinfrastruktur ist die Bereitstellung von geeigneten Grundstücken für Erzeugungsanlagen, Speicher und H₂-Tankstellen. Hier kann der Kreis durch eine vorausschauende Regionalplanung den Aufbau von Wasserstoffinfrastruktur unterstützen.

Handlungsempfehlungen für die Akteure im Kreis Bergstraße

Für eine erfolgreiche Umsetzung der Wasserstoffroadmap sollten die entstandenen Anknüpfungspunkte und Kooperationen zwischen den Akteuren weiter vertieft werden. Hierfür ergeben sich insbesondere die folgenden Synergien:

1. Beschaffungsiniciativen

Durch einen Zusammenschluss bspw. bei der Beschaffung von Fahrzeugen kann eine bessere Verhandlungsposition gegenüber den Fahrzeugherstellern und somit bessere Konditionen für die gemeinsame Beschaffung erreicht werden.

2. Gemeinsame Nutzung von H₂-Tankstellen und Werkstätten

Durch eine gemeinschaftliche Realisierung und Nutzung von H₂-Tankstellen und H₂-Werkstätten kann Planungssicherheit geschaffen und das Risiko für einzelne Akteure reduziert werden. Dies ermöglicht einen niederschweligen Einstieg in die neue Technologie.

3. Aus- und Weiterbildungsangebote für Wasserstofftechnologien

Mit geeigneten Partnern (bspw. der Industrie- und Handelskammer, den Handwerkskammern/Innungen, Werkstätten, Hochschulen etc.) sollten Bildungsangebote entwickelt werden, um frühzeitig die Fachkräfte von morgen auszubilden. Die Fachkräfteentwicklung ist auch im Sinne der regionalen Wertschöpfung zu verfolgen.

7. Ausblick

Der Kreis Bergstraße hat durch das entstandene Netzwerk, die geplanten Kooperationen zwischen den Akteuren und mit der entwickelten Roadmap gute Voraussetzungen, Wasserstoffprojekte erfolgreich umzusetzen.



Abbildung 7-1 Rahmenbedingungen für Wasserstoffprojekte im Kreis Bergstraße

Erste gemeinschaftliche Projekte, wie bspw. eine H₂-Tankstelle, die von Brennstoffzellen-Fahrzeugen verschiedener Unternehmen genutzt werden kann, wurden durch die Strategie bereits angestoßen. Zudem konnte die Vernetzung zwischen den Akteuren weiter vorangetrieben werden. Dadurch wurde die Grundlage für weitere Kooperationen – etwa im Bereich der Wasserstoffherzeugung, der Fahrzeugbeschaffung oder der Werkstattnutzung – gelegt.

Durch ein gemeinschaftliches Vorgehen im Sinne dieser Strategie kann grüner Wasserstoff den Umwelt- und Klimaschutz sowie die regionale Wertschöpfung im Kreis Bergstraße nachhaltig voranbringen.

A. Anhang

A.1. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	
CO₂	Kohlenstoffdioxid
DVWG	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEV	Erneuerbare-Energien-Verordnung
H₂	Wasserstoff
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
LKW	Lastkraftwagen
LNF	leichte Nutzfahrzeuge
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carrier
LOI	letter of intention
MRN	Metropolregion Rhein-Neckar
NO_x	Stickoxide
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PEM	Polymer Electrolyte Membrane
Pkw	Personenkraftwagen
PM10	Feinstaub 10 µm
PPA	Power Purchase Agreement
PV	Photovoltaik
SNF	schwere Nutzfahrzeuge
TCO	Total Cost of Ownership
THG	Treibhausgase
TRL	Technologiereifegrad
UEG	Untere Explosionsgrenze

A.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1	Wasserstoff und seiner Wertschöpfungsstufen	4
Abbildung 1-2	Vorgehen im Rahmen der H ₂ -Strategie	6
Abbildung 1-3	Verknüpfung von Akteuren in Anlehnung an die vorliegenden Rahmenbedingungen	7
Abbildung 1-4	Wissensstand der Akteure im Kreis Bergstraße bezüglich Wasserstoff	8
Abbildung 1-5	Einschätzung der Akteure in Bezug auf Wasserstoff im Kreis Bergstraße	8
Abbildung 1-6	Prozentuale Aufteilung der Projekte auf die Wasserstoffwertschöpfungsketten	9
Abbildung 1-7	Hürden und Herausforderungen bei der Ausführung von Wasserstoffprojekten laut Online-Umfrage	9
Abbildung 1-8	Unterstützungsbedarf und Interessenschwerpunkte der Teilnehmenden der Online-Umfrage	10
Abbildung 2-1	Nutzungsmöglichkeiten von Wasserstoff untergliedert in verschiedene Sektoren nach [1]	12
Abbildung 2-2	H ₂ -Nutzungspotenzial im Verkehrssektor nach [2] [3]	14
Abbildung 2-3	H ₂ -Nutzungspotenzial zur Erzeugung von Hochtemperaturprozesswärme nach [3], [4], [5]	15
Abbildung 2-4	H ₂ -Erzeugungspotenzial im Kreis Bergstraße nach [6], [7]	16
Abbildung 2-5	H ₂ -Erzeugung und -Nutzung im Kreis Bergstraße	17
Abbildung 3-1	Treibhausgasemissionen durch das theoretische H ₂ -Nutzungspotenzial im Verkehrssektor nach [2], [3], [8]	19
Abbildung 3-2	Regionale Wertschöpfung in der Kraftstoffherstellung	20
Abbildung 3-3	Anzahl neuer Arbeitsplätze im Kreis Bergstraße	20
Abbildung 4-1	Markt- und Zielpreise für Wasserstoff	22

Abbildung 4-2	Wasserstoffgestehungskosten in Abhängigkeit der Strombezugskosten des Elektrolyseurs	23
Abbildung 4-3	Kosten der Elektrolyse je nach Preisentwicklung und Auslastung	24
Abbildung 4-4	Übersicht alternativer Antriebe und Reichweiten der jeweiligen Technologie	26
Abbildung 4-5	Jährliche Mehrkosten im Vergleich zur Dieseltechnik bei einer Umstellung auf alternative Antriebe	27
Abbildung 4-6	Ideen und Planungen für H ₂ -Tankstellen im Kreis Bergstraße	29
Abbildung 4-7	Wasserstoffkosten an der H ₂ -Tankstelle	30
Abbildung 4-8	Überblick über Betreibermodelle für Wasserstoffinfrastruktur	32
Abbildung 4-9	Einsparung von CO ₂ -Emissionen in Abhängigkeit der Beimischung von Wasserstoff	34
Abbildung 4-10	Wirtschaftlichkeit für verschiedene Szenarien als Wasserstoffbeimischung	34
Abbildung 5-1	Wasserstoffkosten an der Tankstelle und Einfluss der THG-Minderungsquote	37
Abbildung 6-1	Wasserstoffroadmap für den Kreis Bergstraße	39
Abbildung 7-1	Rahmenbedingungen für Wasserstoffprojekte im Kreis Bergstraße	44
Abbildung A-1	Erneuerbarer Wasserstoff nach EU-Recht	60
Abbildung A-2	Nebenprodukt Sauerstoff im Kreis Bergstraße	65
Abbildung A-3	Verschiedene Transportformen von Wasserstoff per Trailer, in Anlehnung an Shell Wasserstoffstudie	67
Abbildung A-4	Übersicht über Speicherformen von Wasserstoff	68
Abbildung A-5	Größenklassen für Wasserstofftankstellen	69

A.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1	Mögliche Akteure mit Erzeugungsprojekten im Kreis Bergstraße	25
Tabelle 4-2	Mögliche Nutzungsprojekte im Verkehrssektor Kreis Bergstraße	28
Tabelle 4-3	Bewertungskriterien für H ₂ -Tankstellenstandorte	29
Tabelle 4-4	Mögliche Tankstellenprojekte im Kreis Bergstraße	33
Tabelle 4-5	Mögliche Nutzungsprojekte im Kreis Bergstraße	35
Tabelle 4-6	Mögliche Projekte im Bereich Wasserstoffwissen im Kreis Bergstraße	36
Tabelle A-1	Übersicht über verschiedene Transportarten für Wasserstoff	68

A.4. Literaturverzeichnis

- [1] Hydrogen Council, „Path to hydrogen competitiveness - A cost perspective“. 2020.
- [2] „Kraftfahrtbundesamt“.
https://www.kba.de/DE/Home/home_node.html
- [3] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität“. 2021. [Online]. Verfügbar unter:
https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf
- [4] Detlef Stolten *u. a.*, „Neue Ziele auf alten Wegen? Strategien für eine treibhausgasneutrale Energieversorgung bis zum Jahr 2045“.
- [5] FfE München, „DemandRegio“. <https://www.ffe.de/>
- [6] Bundesnetzagentur, „Marktstammdatenregister“.
<https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR>
- [7] *Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2023)*.
- [8] Infrac, „Handbook Emission Factors for Road Transport“.
- [9] J. Adolf *u. a.*, „Shell Wasserstoff-Studie: Energie der Zukunft? Nachhaltige Mobilität durch Brennstoffzelle und H₂“, Shell Deutschland, Hamburg, 2017.
- [10] M. E. Reuß, „Techno-ökonomische Analyse alternativer Wasserstoffinfrastruktur“, Forschungszentrum Jülich, 2019.
- [11] A. Menn, „Weltmarktführer Innovation Day: Das Öl für die Wasserstoff-Welt“, *WirtschaftsWoche*, 9. September 2020.
<https://www.wiwo.de/unternehmen/industrie/weltmarktfuehrer-innovation-day-das-oel-fuer-die-wasserstoff-welt/26170746.html>
- [12] M. Beckmann und C. Pieper, „Technologie-Reifegrad von technischen Prozessen der ‚Energiewende‘: Ergebnisse einer Studie des wissenschaftlichen Beirates des VGB“, VGB PowerTech, V3. [Online]. Verfügbar unter:
https://www.vgb.org/vgbmultimedia/V3_Beckmann_Abstract_final-p-14212.pdf
- [13] Bauanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Hrsg., „TRGS 721 Gefährliche explosionsfähige Gemische - Beurteilung der Explosionsgefährdung“. 2020.
- [14] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Hrsg., „DGUV Regel 109-009 Fahrzeuginstandhaltung“. 2000.

A.5. Projektsteckbriefe

A.5.1. Steckbrief Eberts Engineering GmbH & Co. KG

H₂-Elektrolyse und H₂-Tankstelle im Kreis Bergstraße Eberts Engineering GmbH & Co. KG



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung 🔍 Umsetzung ↗		Status	Unternehmen Eberts Engineering GmbH & Co. KG
Kurzbeschreibung Aufbau und Betrieb einer Produktionsanlage für grünen Wasserstoff mittels Elektrolyse. Tankanlage zur Abgabe des produzierten Wasserstoffs mit einem Druckniveau von 350 bar sowie 700 bar.			
Technische Daten & Investitionskosten <ul style="list-style-type: none"> Wasserstoffelektrolyse mit 5 MW Nennleistung Vertankungskapazität von täglich maximal 2.160 kg Projektvolumen ca. 20. Mio. € 		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> Die Inbetriebnahme der Tankstelle soll möglichst im Dezember 2024 erfolgen. Der VRN unterstützt das Projekt als erster Ankerkunde 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt? <ul style="list-style-type: none"> Bezuschussung der Projektkosten über öffentliche Förderung Behördliche Genehmigung / Stromlieferverträge für zertifizierten Grünstrom / Trinkwasser/ Netzanschluss 		Welches sind die nächsten Schritte? <ul style="list-style-type: none"> Finalisierung und Einreichung der Förderanträge Vorbereitung der Genehmigungsverfahren 	

www.emcel.com

A.5.2. Steckbrief EWR AG

Projektidee Elektrolyseur EWR AG



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung 🔍 Umsetzung ↗		Status	Unternehmen EWR AG
Kurzbeschreibung Errichtung einer PEM-Elektrolyseanlage für die Erzeugung von grünem Wasserstoff zur Belieferung der umliegenden Industrieunternehmen. Kontinuierliche Marktbeobachtung der H ₂ -Bedarfe im Mobilitätssektor für die Errichtung einer möglichen H ₂ -Tankstelle.			
Technische Daten & Investitionskosten <ul style="list-style-type: none"> PEM-Elektrolyseur: 2,5 – 10 MW Investitionskosten: 5 – 15 Mio. € 		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> Zeitraum ab 2025 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt? <ul style="list-style-type: none"> Förderung Weitere Zusage für Abnahmemenge 		Welches sind die nächsten Schritte? <ul style="list-style-type: none"> Weitere Beobachtung der Förderlandschaft / Prüfung von Transport Gespräche mit potenziellen Abnehmern vertiefen Mögliche Szenarien ausarbeiten 	

www.emcel.com

A.5.3. Steckbrief GGEW AG

Projektidee Elektrolyseur GGEW



Kategorie		Status		Unternehmen
Erzeugung	Verteilung	Nutzung	Bildung	GGEW AG
<p>Kurzbeschreibung</p> <p>Mittelfristig: Errichtung und Betrieb einer PEM-Elektrolyseanlage in Kombination mit lokaler EE-Erzeugung Langfristig: Verteilung von H₂ durch Ertüchtigung der bestehenden Gasinfrastruktur</p>				
<p>Technische Daten & Investitionskosten</p> <ul style="list-style-type: none"> PEM-Elektrolyseur: 1 – 5 MW 		<p>Kooperationspartner und Realisierungszeitraum</p> <ul style="list-style-type: none"> Gesucht: EE-Flächen und H₂-Abnehmer Realisierungszeitraum: ab 2025 		
<p>Was wird neben Projektpartnern benötigt?</p> <ul style="list-style-type: none"> Genehmigungen für EE-Projekte und Elektrolyseure Planbarer H₂-Absatz 		<p>Welches sind die nächsten Schritte?</p> <ul style="list-style-type: none"> Entwicklung neuer PV-Projekte mit der Option zur H₂-Erzeugung 		

www.emcel.com

A.5.4. Steckbrief Air Liquide

H₂-Projekte im Kreis Bergstraße Steckbrief Air Liquide



Kategorie		Status		Unternehmen
Erzeugung	Verteilung	Nutzung	Bildung	Air Liquide
<p>Kurzbeschreibung</p> <p>Wir bauen aktuell auf der Friesenheimer Insel in Mannheim ein neues automatisiertes Abfüllzentrum für Wasserstoff. - Es ist nicht direkt im Kreis Bergstraße, aber in der direkten Umgebung. Von hier aus könnten Firmen mit Wasserstoff beliefert werden. - Air Liquide ist darüber hinaus Hersteller von Wasserstoff-Tankstellen und bietet für die verschiedenen Anforderungen spezifische und modulare Tankstellen an (insbesondere für H₂-Busse)</p>				
<p>Technische Daten & Investitionskosten</p> <ul style="list-style-type: none"> n.a. 		<p>Kooperationspartner und Realisierungszeitraum</p> <ul style="list-style-type: none"> n.a. 		
<p>Was wird neben Projektpartnern benötigt?</p> <ul style="list-style-type: none"> Abnehmer für Wasserstoff Interessenten für H₂-Tankstellen 		<p>Welches sind die nächsten Schritte?</p> <ul style="list-style-type: none"> Inbetriebnahme des Abfüllzentrums im Mai 2023 		

www.emcel.com

A.5.5. Steckbrief Verkehrsverbund Rhein-Neckar (VRN) GmbH

Projektidee BZ-Busse

Verkehrsverbund Rhein-Neckar GmbH



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung 🔍 → Umsetzung ↗		Status	Unternehmen Verkehrsverbund Rhein-Neckar GmbH
Kurzbeschreibung Einsatz von 10 Brennstoffzellenbussen im Linienbündel Odenwald Mitte, perspektivisch können auch in weiteren Linienbündeln mit der Neuvergabe Brennstoffzellebusse ausgeschrieben werden.			
Technische Daten & Investitionskosten <ul style="list-style-type: none"> Für den Betrieb der zehn Brennstoffzellenbusse im Linienbündel Odenwald Mitte würden voraussichtlich ca. 215 kg Wasserstoff pro Tag benötigt 		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> Einsatz der Brennstoffzellenbusse ab Dezember 2024 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt? <ul style="list-style-type: none"> Förderung wurde bereits bewilligt 		Welches sind die nächsten Schritte?	

www.emcel.com

A.5.6. Steckbrief Walter Müller Reise GmbH & Co. KG

Projektidee BZ-Busse

Walter Müller Reise GmbH & Co. KG



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung 🔍 → Umsetzung ↗		Status	Unternehmen Walter Müller Reise GmbH & Co. KG
Kurzbeschreibung Einsatz von Brennstoffzellenbussen sowie Errichtung einer H ₂ -Tankstelle			
Technische Daten & Investitionskosten <ul style="list-style-type: none"> Voraussichtliche Wasserstoffmenge hängt von der Ausschreibung des ÖPNV im Kreis zusammen 		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> voraussichtliche Zeitplanung 2024 - 2025 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt? <ul style="list-style-type: none"> Förderung 		Welches sind die nächsten Schritte?	

www.emcel.com

A.5.7. Steckbrief Zweckverband Abfallwirtschaft Kreis Bergstraße

Projektidee: BZ-Abfallsammelfahrzeuge im Kreis Bergstraße ZAKB



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung 🔍 → Umsetzung ↗		Status Planung 🔍	Unternehmen ZAKB
Kurzbeschreibung Sukzessive Umstellung der Fahrzeugflotte (Abfallsammelfahrzeuge) auf den Betrieb mit alternativen Antrieben. Zunächst soll ein Brennstoffzellen-Fahrzeug angeschafft werden, bei bestehender Förderung. Aktuelle Herausforderung - Förderantrag und Tankstelle			
Technische Daten & Investitionskosten <ul style="list-style-type: none"> BZ-Lkw: ~ 1.250.000 € (Investitionsmehrausgaben für ZAKB ca. 250.000 €) 		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> Hersteller von BZ-Fahrzeugen Zeitraum bis 2025 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt? <ul style="list-style-type: none"> Tankstelle Werkstatt 		Welches sind die nächsten Schritte? <ul style="list-style-type: none"> Vergabe und Beschaffung von BZ-Fahrzeug 	

www.emcel.com

A.5.8. Steckbrief Wilhelm Schüssler Spedition GmbH

Projektidee: BZ-Lkw im Kreis Bergstraße Schüssler Spedition



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung 🔍 → Umsetzung ↗		Status Planung 🔍	Unternehmen Schüssler Spedition
Kurzbeschreibung Einsatz von wasserstoffbetriebenen Lkw im Regionalverkehr			
Technische Daten & Investitionskosten		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> H₂-Tankstelle Zeitraum ab 2026/2027 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt? <ul style="list-style-type: none"> Beratung zur wirtschaftlichen Realisierung Werkstatt 		Welches sind die nächsten Schritte? <ul style="list-style-type: none"> Kostenprüfung 	

www.emcel.com

A.5.9. Steckbrief Spir Star AG

BZ-Fahrzeuge im Kreis Bergstraße SPIR STAR



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung 🔍 → Umsetzung ↗		Status	Unternehmen SPIR STAR
Kurzbeschreibung Betrieb von bis zu zwei BZ-Firmenfahrzeugen (Pkw und Transporter) Errichtung eines H ₂ -Prüfstands			
Technische Daten & Investitionskosten <ul style="list-style-type: none"> • Ca. 5.000 km/a 		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> • H₂-Tankstellen • Hersteller von BZ-Fahrzeugen • Zeitraum: 2025 – 2027 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt? <ul style="list-style-type: none"> • Tankstelle • Förderung 		Welches sind die nächsten Schritte?	

www.emcel.com

A.5.10. Steckbrief Gebrüder Krieger KG

Projektidee: BZ-Schiffe Gebrüder Krieger KG



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung 🔍 → Umsetzung ↗		Status	Unternehmen Gebrüder Krieger KG
Kurzbeschreibung Einsatz von Wasserstoff als Ersatz zu Dieselmotor, für Gütermotorschiff und Lkw, Energiequelle für Stromerzeugung in Bereichen, wo Wasser gefährlich werden kann (Bagger-Schiff) – aktuelle Versorgung über Diesel oder Landstrom (Schwimmkabel)			
Technische Daten & Investitionskosten <ul style="list-style-type: none"> • 10 Frachtschiffe • 3 Kipperfahrzeug • 20 Fahrmischer 		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> • EMCEL / Kreis Bergstraße • Zeitraum: noch nicht festgelegt 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt? <ul style="list-style-type: none"> • Verfügbarkeit der Komponenten / Fahrzeuge für die Bauindustrie • Tankstelleninfrastruktur 		Welches sind die nächsten Schritte? <ul style="list-style-type: none"> • Prüfen der technischen Machbarkeit (Bagger-)Schiff 	

www.emcel.com

A.5.11. Steckbrief H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG

H₂-Tankstelle im Kreis Bergstraße H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung 🔍 → Umsetzung ↗		Status Planung 🔍	Unternehmen H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG
Kurzbeschreibung Bau und Betrieb einer H2-Tankstelle im Kreis Bergstraße zur Ergänzung der bestehenden und in Planung befindlichen H2-Tankstellen der Region Rhein-Neckar. Neben den bestehenden Tankstellen in Weiterstadt, Hirschberg und Heidelberg, befinden sich zwei Standorte in der Umsetzung (Mannheim Zentrum und Heidelberg Wieblingen), sowie min. zwei Standorte in & um Ludwigshafen in der Planung.			
Technische Daten & Investitionskosten <ul style="list-style-type: none"> Maximale Kapazität von 1.000 – 2.000 kg/d Investitionskosten: ca. 7 – 9 Mio. € 		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> VRN - Verkehrsverbund Rhein-Neckar Zeitraum: Q3 2023 – Q1 2025 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt? <ul style="list-style-type: none"> Grüner H₂ H₂-Nachfrage 		Welches sind die nächsten Schritte? <ul style="list-style-type: none"> Grundstücksfindung & Planung H₂-Nachfrageabsicherung 	

www.emcel.com

A.5.12. Steckbrief ENERGIERIED GmbH & Co. KG

(Teil-)Umstellung des Erdgasnetzes auf bis zu 100 % H₂ ENERGIERIED



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung 🔍 → Umsetzung ↗		Status Planung 🔍	Unternehmen ENERGIERIED
Kurzbeschreibung Nutzung (von Teilen) des vorhandenen Erdgasnetzes zur Verteilung von x – 100% H2 in den Ortschaften Bürstadt + Lampertheim inkl. Ortsteile Aktuelle Herausforderungen: - Umstellung von Teilen des Erdgasnetzes vermutlich nicht realisierbar aufgrund der vorhandenen Brennwertgeräte beim Endkunde (ab ≥ 20 Vol.-%)			
Technische Daten & Investitionskosten <ul style="list-style-type: none"> 210 km Erdgasnetz Übergabestation „Heide“ vorhanden → Umbau 100.000 – 300.000 € 		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> ab 2030 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt? <ul style="list-style-type: none"> Förderung 		Welches sind die nächsten Schritte?	

www.emcel.com

A.5.13. Steckbrief terranets bw

Projekt: H₂-Pipeline Flow terranets bw GmbH



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung → Umsetzung		Status Planung Umsetzung	Unternehmen terranets bw GmbH
Kurzbeschreibung <ul style="list-style-type: none"> H₂-Pipelineprojekt <i>Flow - making hydrogen happen</i> Drei Schritte zur Umsetzung in Deutschland geplant: ab 2025 Mecklenburg-Vorpommern bis Thüringen, 2028 bis nach Hessen und Rheinland-Pfalz, ab 2030 bis Baden-Württemberg und Bayern Anknüpfungsoptionen an europäische Nachbarländer: Dänemark, Polen, Tschechien, Frankreich, Österreich 			
Technische Daten & Investitionskosten <ul style="list-style-type: none"> Rund 1.100 km (maßgeblich Umstellung von Bestandsleitungen) Einspeisekapazität von bis zu 20 GW 		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> Kooperation zwischen GASCADE, ONTRAS, terranets bw Assoziierte Partner aus Industrie, Netz- und Speicherbetrieb, Energieversorgung, H₂-Erzeugung 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt? <ul style="list-style-type: none"> Gesetzliche Festlegung zu Finanzierungsmodell und Betreiberform Bedarfsumstellung der Kunden von Methan auf H₂ und klimaneutrale Gase 		Welches sind die nächsten Schritte? <ul style="list-style-type: none"> Bescheid über den PCI-Status von der europäischen Kommission bis Ende 2023 	

www.emcel.com

A.5.14. Steckbrief BASF Lampertheim GmbH

Projektidee für stoffliche und potenziell energetische Nutzung von H₂ als CO₂-arme Alternative BASF Lampertheim GmbH



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung → Umsetzung		Status Planung Umsetzung	Unternehmen BASF Lampertheim GmbH
Kurzbeschreibung <p>BASF ist in Deutschland einer der größten Wasserstoffherzeuger und -verbraucher. BASF nutzt den Wasserstoff derzeit nahezu ausschließlich stofflich. Daher wird zukünftig die schrittweise Substitution von „grauem“ durch emissionsfreien Wasserstoff bei der Herstellung CO₂-reduzierter Chemieprodukte eine zentrale Rolle spielen. Daneben wird der energetischen Nutzung potenziell eine Bedeutung zukommen.</p> <p>Die Projektidee am BASF Standort Lampertheim umfasst die Nutzung von CO₂-armen Wasserstoff einerseits für unsere Verfahren zur stofflichen Nutzung, sowie andererseits für die teil- oder ganzheitliche Umstellung unseres Energiemixes von Erdgas auf H₂ mit dem Ziel die Versorgung des Standorts auf CO₂ freie Technologien umzustellen.</p>			
Technische Daten & Investitionskosten <ul style="list-style-type: none"> Investitionskosten abhängig von Art der Anbindung und Umrüstung der Prozesswärmeerzeuger bis maximal zur 100% H₂ Technologie 		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> 100% H₂-Technologie zur Wärmeerzeugung ist derzeit herstellereitig in der Entwicklungsphase Verteilnetzbetreiber bzw. Fernleitungsnetzbetreiber 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt? <ul style="list-style-type: none"> Technologieoffenheit für den Hochlauf der H₂-Wirtschaft Zuverlässige, langfristige & CO₂-arme H₂-Quellen, sowie H₂-Infrastruktur gekoppelt an ein wettbewerbsfähiges Preisniveau H₂-ready Technologie für die Prozesswärmeerzeuger im Energiemix 		Welches sind die nächsten Schritte? <ul style="list-style-type: none"> Evaluierung von Umsetzbarkeit, Effizienz, Wirtschaftlichkeit und ökonomischer Rahmenbedingungen sowie potenzieller Alternativen 	

www.emcel.com

Internal

A.5.15. Steckbrief Metropolregion Rhein-Neckar

H₂Rivers & H₂Rhein-Neckar

Metropolregion Rhein-Neckar und mittlerer Neckarraum



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung <input type="text"/> Umsetzung <input type="button" value="↗"/>		Status	Unternehmen Metropolregion Rhein-Neckar GmbH
Kurzbeschreibung H ₂ -Erzeugung: Nebenprodukt der Industrie und dezentral über Elektrolyse H ₂ -Verteilung: Abfüllzentrum „H2 Hub“ und 5 Tankstellen Nutzung: Fahrzeuge 3 Abfallsammelfahrzeuge / 62 BZ-Busse / > 109 Pkw, 5 leichte Nutzfahrzeuge, 2 Straßendienstfahrzeuge			
Technische Daten & Investitionskosten <ul style="list-style-type: none"> ~ 96 Mio. € 		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> Städte Lu, Ma, HD / H2 MOBILITY / Kazenmaier / Landkreis Esslingen / SSB / Stadtwerke Waiblingen / GP Joule / rnv / AL / BASF / emobil BW Zeitraum: Mitte 2023 – Mitte 2024 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt?		Welches sind die nächsten Schritte? <ul style="list-style-type: none"> H2 Hub Sommer 2023 Baubeginn Tankstellen Herbst 2023 	

www.emcel.com

A.5.16. Steckbrief Kreis Bergstraße - H₂-Strategie

H₂-Strategie für den Kreis Bergstraße

Kreis Bergstraße



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung <input type="text"/> Umsetzung <input type="button" value="↗"/>		Status	Unternehmen Kreis Bergstraße
Kurzbeschreibung Strategieerstellung			
Technische Daten & Investitionskosten <ul style="list-style-type: none"> Entwicklung eines Umsetzungskonzeptes Erstellung eines Abschlussberichts 		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> Lokale Unternehmen mit H₂-Projektansätzen Bis Ende Q1/2023 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt?		Welches sind die nächsten Schritte? <ul style="list-style-type: none"> Fertigstellung der Strategie Ergebnispräsentation 	

www.emcel.com

A.5.17. Steckbrief Kreis Bergstraße – Wasserstoffnetzwerk

H₂-Netzwerk im Kreis Bergstraße Kreis Bergstraße



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung → Umsetzung		Status	Unternehmen Kreis Bergstraße
Kurzbeschreibung Notwendige Schritte im Bereich der H ₂ -Bildung forcieren → Tankstelle Kooperationsförderung / Vernetzung der regionalen Branche / Vermittlung von Kontakten / Treffen & Stammtisch Fachinformationen bereitstellen / Fördertöpfe Sorgen und Nöte im Blick haben			
Technische Daten & Investitionskosten		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> • Laufend seit 2021 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt?		Welches sind die nächsten Schritte? <ul style="list-style-type: none"> • Sammeln von Informationen im Bereich Bildung • Netzwerk formieren (mit Hilfe von Akteuren) 	

www.emcel.com

A.5.18. Steckbrief Kreis Bergstraße – Vermittlung von Wasserstoffwissen

H₂-Wissensvermittlung im Kreis Bergstraße Kreis Bergstraße



Kategorie Erzeugung → Verteilung → Nutzung → Bildung → Planung → Umsetzung		Status	Unternehmen Kreis Bergstraße
Kurzbeschreibung Wissensvermittlung / Fortbildung im Bereich Wasserstoff / Berufsbildung Antrag INVITE beim Bund			
Technische Daten & Investitionskosten		Kooperationspartner und Realisierungszeitraum <ul style="list-style-type: none"> • Laufend seit 2021 	
Was wird neben Projektpartnern benötigt?		Welches sind die nächsten Schritte? <ul style="list-style-type: none"> • Antragsstellung • Bedarfsermittlung 	

www.emcel.com

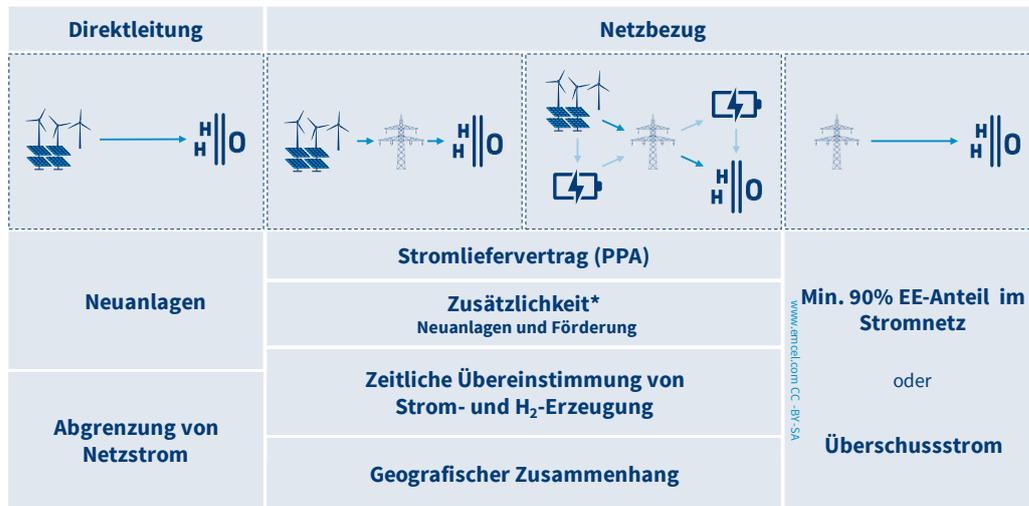
A.6. Rechtliche Definition von Wasserstoff und aktuelle Wasserstoffzertifizierungen

Grundsätzlich existieren verschiedene Herstellungsverfahren zur H₂-Erzeugung. Je nach Herstellungsverfahren und dessen spezifischen Umweltwirkungen werden dem erzeugten Wasserstoff Attribute („Farben“) zugeordnet. Stammt der Strom für die Elektrolyse aus erneuerbaren Energien, wird der erzeugte Wasserstoff standardmäßig als „grüner Wasserstoff“ bezeichnet. [14]

A.6.1. „Grüner Wasserstoff“ nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) / der Erneuerbare-Energien-Verordnung (EEV)

Heute besteht nur eine eindeutige rechtliche Vorgabe, wie grüner Wasserstoff definiert ist. Nach § 12i Erneuerbare-Energien-Verordnung (EEV) wird grüner Wasserstoff ausschließlich elektrochemisch durch Elektrolyse erzeugt. Weiterhin muss der genutzte Strom aus erneuerbaren Energien nach § 3 Nr. 21 des EEG 2021 stammen, was Wind-, Solarenergie-, Geothermie-, Wasserkraft- sowie Biomasse einschließlich Biogasanlagen umfasst. Mindestens 80 % des eingesetzten Stromes ist aus EE-Anlagen mit Betriebsstandort in Deutschland zu beziehen. Für den bezogenen Strom dürfen keine weiteren Förderungen bspw. nach EEG, EEV oder Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) in Anspruch genommen werden. Sind diese Vorgaben erfüllt, handelt es sich um grünen Wasserstoff nach EEG-Definition. Die Betriebszeit des Elektrolyseurs ist auf 5.000 Vollbenutzungsstunden jährlich begrenzt, um den Einsatz einer netzdienlichen, flexiblen Fahrweise zu fördern. Für die darüberhinausgehende Produktion kann der erzeugte Wasserstoff nicht mehr als „grün“ klassifiziert werden.

A.6.2. „Erneuerbarer Wasserstoff“ nach EU-Recht



* Elektrolyseure mit Inbetriebnahme bis 31.12.2027 sind bis einschl. 31.12.2037 davon befreit

Abbildung A-1 Erneuerbarer Wasserstoff nach EU-Recht

Erneuerbarer Wasserstoff muss aus erneuerbaren Energiequellen nicht biogenen Ursprungs erzeugt werden. Diese und weitere Anforderungen an die Herstellung von erneuerbarem Wasserstoff im Verkehrssektor veröffentlichte die Europäische Kommission am 10.02.2023 in einer delegierten Verordnung. Am 20.06.2023 erschien die Verordnung im Amtsblatt der Europäischen Union, wodurch sie rechtskräftig wurde. Die EU knüpft die Erzeugung dabei an enge Kriterien, die nach einer Übergangsphase gelten sollen. Die Definition der EU wird wichtige Auswirkungen auf den THG-Quotenhandel haben und möglicherweise richtungsweisend für die Anforderungen im Energie- und Wärmesektor sein.

Delegierte Verordnung

Die delegierte Verordnung ergänzt die Erneuerbare-Energien-Richtlinie 2018/2001 (RED II). Ihr Ziel ist es, den Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor auf 14 % zu erhöhen. Erneuerbarer Wasserstoff ist dafür ein wichtiger Bestandteil. Am 10. Februar 2023 veröffentlichte die EU-Kommission die Verordnung, welche dem Europäischen Parlament und dem

Europäischen Rat für einen Zeitraum von vier Monaten zur Prüfung vorlag. Nach Verstreichen der Frist für das Vetorecht am 10.06.2023 erschien die Verordnung am 20.06.2023 im Amtsblatt der Europäischen Union, wodurch sie 20 Tage nach der Veröffentlichung automatisch in Kraft trat.

Erneuerbarer Wasserstoff und Kriterien für seine Herstellung

Die EU sieht für die Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff enge Kriterien vor. Der erneuerbare Wasserstoff kann demnach entweder über eine Direktleitung zwischen Strom- und Wasserstofferzeugungsanlage oder durch einen Strombezug über das Netz hergestellt werden.

Stromerzeugungsanlagen mit einer direkten Leitung zum Elektrolyseur müssen bspw. über ein Smart-Metering-System nachweisen, dass ausschließlich Strom aus der Anlage in die Elektrolyse fließt. Um zu verhindern, dass bereits bestehende EE-Anlagen für die Herstellung von grünem Wasserstoff verwendet werden und der erneuerbare Anteil im Strommix somit absinkt, dürfen nur Neuanlagen für die Stromerzeugung verwendet werden. Die Inbetriebnahme der EE-Anlage darf maximal 36 Monate vor der Elektrolyseanlage liegen. So sollen die Kapazitäten der erneuerbaren Stromerzeugung mit denen der Erzeugung von grünem Wasserstoff gleichermaßen ansteigen.

Beim Strombezug für die Elektrolyse über das Netz müssen Stromlieferverträge (Power Purchase Agreements, PPAs) über die bezogene Strommenge mit Betreibern von EE-Anlagen geschlossen werden. Das Kriterium der Zusätzlichkeit setzt voraus, dass es sich bei den EE-Anlagen ebenfalls um Neuanlagen handelt, welche maximal 36 Monate vor dem Elektrolyseur in Betrieb gegangen sind. Zudem dürfen die EE-Anlagen keine Betriebs- oder Investitionsförderung erhalten bzw. erhalten haben, um eventuelle Doppelförderungen von Strom und Wasserstoff zu vermeiden. Nach einer umfassenden, kostenintensiven Repowering-Maßnahme der EE-

Anlage gilt die Anlage im Sinne der delegierten Verordnung als neue Anlage. Erhaltene Förderungen vor dem Repowering gelten somit nicht mehr als Ausschlusskriterium der Definition für erneuerbaren Strom, und auch der Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Anlage wird neu datiert.

Die EU sieht eine Übergangsphase für die Kriterien der Zusätzlichkeit vor. Elektrolyseanlagen, welche vor dem 01.01.2028 in Betrieb genommen werden, sind bis einschließlich 31.01.2037 von der Zusätzlichkeit befreit. In dieser Zeit dürfen also auch ausgeforderte Bestandsanlagen Strom für die Erzeugung erneuerbaren Wasserstoffs liefern.

Um sicherzustellen, dass die erneuerbare Stromproduktion zeitlich und bilanziell mit dem Netzbezug des Elektrolyseurs übereinstimmt, muss die Stromerzeugung der PPA-EE-Anlage in derselben Stunde wie die Wasserstoffproduktion erfolgen. Dies besagt das Kriterium der Gleichzeitigkeit. Eine Zwischenspeicherung ist möglich, wenn gewährleistet werden kann, dass der erneuerbar erzeugte Strom innerhalb einer Stunde in einem Batteriespeicher gespeichert wurde. In Stunden niedriger Strompreise (Day-Ahead-Strompreis unter 20 € pro MWh) gilt die Gleichzeitigkeit immer als erfüllt, da davon auszugehen ist, dass keine fossilen Energieträger an der Stromproduktion beteiligt sind.

Bei der Gleichzeitigkeit sieht die Verordnung ebenfalls eine Übergangsphase vor, unabhängig vom Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Power-to-Gas-Anlage. Bis zum 31.12.2029 gilt das Kriterium der Gleichzeitigkeit erfüllt, wenn der Strom im selben Kalendermonat erzeugt und durch die Elektrolyse verbraucht bzw. in einem Batteriespeicher zwischengespeichert wird.

PPA-EE-Anlage und Elektrolyseur müssen auch einen geografischen Zusammenhang aufweisen, was aber nicht bedeutet, dass beide Anlagen in unmittelbarer Nähe zueinander liegen müssen. Relevant ist in diesem Fall, dass beide Anlagen in derselben Gebotszone für Strompreise (Deutschland und Luxemburg bilden eine Gebotszone), die EE-Anlage in einer benachbarten Gebotszone mit einem höheren Day-Ahead-Strompreis in der

jeweiligen Stunde oder die EE-Anlage in einer verbundenen Off-Shore-Gebotszone liegt.

Ab einem Wert von über 90 % der Nettostromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahresdurchschnitt kann ohne ein PPA und die Erfüllung der Kriterien der Zusätzlichkeit, Gleichzeitigkeit und Geografie Strom aus dem Netz für die Produktion von erneuerbarem Wasserstoff entnommen werden.

Ausblick und zukünftige Auswirkungen der neuen Definition

Aus der verwendeten Bezeichnung des „erneuerbaren“ Wasserstoffs geht hervor, dass die Farbeinteilung von Wasserstoff und die Bezeichnung des „grünen“ Wasserstoffs auf europäischer Ebene in Zukunft an Bedeutung verlieren wird. Welche Rolle die Verordnung für andere Sektoren wie den Wärmesektor spielt und welche Bedeutung die Kriterien für den THG-Quotenhandel haben, ist noch ungewiss. Stimmen aus der Wirtschaft begrüßen die Tatsache, dass die delegierte Verordnung nun regulatorische Sicherheit für die Definition von erneuerbarem Wasserstoff gibt und damit geplante Projekte und Investitionen in die Wasserstoffwirtschaft umgesetzt werden können. Als positiv wird die Tatsache aufgenommen, dass es eine Übergangsphase für die Kriterien Zusätzlichkeit und Gleichzeitigkeit gibt. Dahingegen kritisch wird gesehen, dass es nach der Übergangsphase für die Gleichzeitigkeit von der zeitlichen Periode des Kalendermonats direkt zur Stundenperiode übergeht, ohne dass es einen Zwischenschritt etwa einer Tagesperiode geben soll.

A.6.3. Wasserstoff-Zertifizierungssysteme

Neben den beschriebenen Definitionen von „grünem“ beziehungsweise „erneuerbarem“ Wasserstoff gibt es verschiedene Zertifizierungssysteme, die den Handel mit Wasserstoff vereinfachen sollen. Die Zertifizierungssysteme werden noch nicht flächendeckend genutzt, können aber bereits eingesetzt werden. Das EU-weite Zertifizierungssystem CertifHy wurde von einem

Konsortium unterschiedlicher Interessensvertreter entwickelt. Es bietet die Möglichkeit, „Green Hydrogen“ EU-weit zertifizieren zu lassen. Anforderungen an den Wasserstoff sind die Produktion mit Hilfe von erneuerbaren Energien nach RED II und ein THG-Ausstoß, der mindestens 60 % geringer ist als der des Referenzprozesses der Dampfreformierung. Weiterhin kann „Low Carbon Hydrogen“ zertifiziert werden, für den die gleichen Emissionsminderungswerte gelten, der sich aber auch mit Hilfe nicht-erneuerbarer Energien unter Verwendung von Carbon-Capture-and-Storage-(CCS-)Maßnahmen erzeugen lässt [15]. In Deutschland kann Wasserstoff auch über den TÜV Süd zertifiziert werden. Hierbei besteht die Kategorie „GreenHydrogen“ für Wasserstoff, der aus erneuerbaren Energien und/oder Abfall bzw. Reststoffen erzeugt wird und den Anforderungen des TÜV Süd-Standards CMS 70, Vers. 11/2021, entspricht. Für „GreenHydrogen“ werden die THG-Emissionen in der Herstellung von Gewinnung und Verarbeitung der Rohstoffe bis zum fertigen Produkt betrachtet. „GreenHydrogen“ nach TÜV Süd erfüllt ebenfalls die „Green Hydrogen“-Anforderungen nach CertifHy. Zusätzlich besteht die Zertifizierung als „GreenHydrogen+“, wobei strengere Anforderungen hinsichtlich der Erzeugungsanlage der erneuerbaren Energien bestehen und die Bilanzgrenzen um eine mögliche Konversion des H₂ und den Transport zum Abnehmer erweitert werden. [16]

A.7. Hintergrundinformationen zur Wasserstoffinfrastruktur

A.7.1. Nutzung der Nebenprodukte Sauerstoff und Wärme

Durch die Nutzung von Nebenprodukten kann die Wirtschaftlichkeit von Elektrolyseanlagen erhöht werden, da sich so zusätzliche Ertragsmöglichkeiten ergeben. Der finanzielle Mehrwert durch den Verkauf der Nebenprodukte ist hierbei stark von den vorliegenden Rahmenbedingungen abhängig.

Potenziale der Sauerstoffnutzung

Neben Wasserstoff wird durch die Elektrolyse auch Sauerstoff und Abwärme produziert. Das Verhältnis der Produktion von Wasserstoff zu Sauerstoff O₂ bezogen auf den Volumenstrom beträgt 2:1.



Abbildung A-2 Nebenprodukt Sauerstoff im Kreis Bergstraße

Potenziale der Abwärmeauskopplung

Wird ein Elektrolyseur im Nennlastbetrieb geführt, so ist mit einer Abwärme von durchschnittlich 1 kWh_{th} pro erzeugtem Normkubikmeter Wasserstoff zu rechnen. Das Kühlmittel hat hierbei am Ausgang ein Temperaturniveau von ca. 60–70 °C. Unter der Annahme eines linearen Zusammenhangs der gefahrenen Lastpunkte ergibt sich hieraus für einen 1-MW-Elektrolyseur eine Wärmeleistung von 130 kWh_{th} in Teillast (durchschnittlich 60 % der Nennlast).

Nutzungspotenziale dieser ausgekoppelten Abwärme bieten insbesondere betriebsinterne Anwendungsfelder. Die räumliche Nähe stellt hierbei einen erheblichen Vorteil dar. Sowohl die Kosten für lange Verteilstrecken als auch die auftretenden Wärmeverluste lassen sich durch eine „direkte“ Nutzung der Abwärme minimieren.

So ist bspw. eine Frischluftherwärmung mittels Gaserhitzer ein denkbare Anwendungsgebiet. Aber auch eine Heizungsunterstützung durch Wassererwärmungen stellt ein signifikantes Abnahmepotenzial dar. Insbesondere für modernere Heizungsanlagen, die mit geringen Vorlauftemperaturen arbeiten, erschließen sich hervorragende Möglichkeiten. Bietet die lokale Infrastruktur einen Anschluss an ein Niedertemperaturnetz, besteht außerdem die Möglichkeit zur Einspeisung der Abwärme. Hierdurch ließe sich unter anderem ein Nutzen für installierte Wärmepumpen realisieren.

A.7.2. Wasserstofftransport

Heute wird Wasserstoff standardmäßig per Lkw transportiert, vereinzelt kommt auch ein Transport per Pipeline zum Einsatz. Typischerweise handelt es sich bei einem Transport per Lkw um gasförmigen Wasserstoff, der in Druckbehältern gespeichert wird. Abhängig vom Druckniveau können zwischen 200 und 1.000 kg gasförmiger Wasserstoff pro Lkw transportiert werden. [2] Auch der Transport von flüssigem Wasserstoff kann per Lkw erfolgen. Eine Anlieferung von gasförmigem Wasserstoff per Pipeline erfolgt typischerweise auf einem Druckniveau von 20 bis 100 bar.

Perspektivisch bietet der Transport von gasförmigem Wasserstoff per Pipeline ein hohes Potenzial. Die hohen Investitionskosten für die Infrastruktur können auf große Transportkapazitäten umgelegt werden: Bei einer hohen Transportmenge kann die Verteilung von gasförmigem Wasserstoff per Pipeline wirtschaftlich sein. Eine weitere Transportmöglichkeit stellt in einer Flüssigkeit gebundener Wasserstoff dar, sogenannte Liquid Organic Hydrogen

Carrier (LOHC). Diese befinden sich aktuell in der Entwicklungsphase und werden langfristig vor allem im Langstreckentransport eine Rolle spielen. [10]



Abbildung A-3 Verschiedene Transportformen von Wasserstoff per Trailer, in Anlehnung an die Shell Wasserstoffstudie [9]

Eine Gesamtübersicht inklusive der Vor- und Nachteile der möglichen Transportformen ist in Tabelle A-1 dargestellt. Der Technologie-Reifegrad (Technology-Readiness-Level, TRL) ermöglicht mit Hilfe einer Skala die Bewertung des Entwicklungsstandes der einzelnen Technologien. Die Skala reicht von 1 (Beobachtung und Beschreibung des Funktionsprinzips) bis 9 (Qualifiziertes System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes). [11]

Mittel- und langfristig gesehen wird sich die Verteilinfrastruktur von Wasserstoff zu einem flächendeckenden Netz entwickeln. Künftig ist auch die Umstellung des vorhandenen Erdgasnetzes auf Wasserstoff denkbar. Hierdurch können im Infrastrukturausbau hohe Kostenreduktionen entstehen.

Tabelle A-1 Übersicht über verschiedene Transportarten für Wasserstoff

Methoden	Fakten	Vorteile	Nachteile	TRL
Gasförmiger H ₂ per Lkw / Schiene [9]	<ul style="list-style-type: none"> - Flaschenbündel oder Container-Lösung - Transport bei einem Druck von 200 bar bis 500 bar - Kapazität bis 1.000 kg pro 40 ft-Container (500 bar) 	<ul style="list-style-type: none"> - Wirtschaftlicher Transport bei kurzen und mittleren Entfernungen bei relativ geringen Mengen 	<ul style="list-style-type: none"> - im Vergleich niedrige Kapazität (hohe Lieferhäufigkeit) - im Vergleich großer Platzbedarf (erforderliche Abstellfläche) 	TRL: 9
Gasförmiger H ₂ per Pipeline	<ul style="list-style-type: none"> - Transport bei 20-100 bar - Kapazität abhängig von Druckniveau und Durchmesser der Pipeline 	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Wirtschaftlichkeit bei hohen Lieferraten - hohe Transportkapazitäten 	<ul style="list-style-type: none"> - verhältnismäßig hohe Investitionen - hoher Genehmigungsaufwand 	TRL: 9
Flüssiger H ₂ per Lkw / Schiene (LH ₂) [9]	<ul style="list-style-type: none"> - Transport bei -253°C - Kapazität bis 3.500 kg pro 40 ft-Container 	<ul style="list-style-type: none"> - Wirtschaftlicher Transport bei mittleren und großen Entfernungen 	<ul style="list-style-type: none"> - im Vergleich hoher Energiebedarf (für die H₂ Verflüssigung) - geringe H₂-Verluste durch Wärmeeintrag (Boil-Off) 	TRL: 9
H ₂ gebunden in flüssigem Trägerstoff [10], [11], [12]	<ul style="list-style-type: none"> - Transport bei Normaldruck und -temperatur - Kapazität bis ca. 1.700 kg pro 40 ft-Container 	<ul style="list-style-type: none"> - schwer brennbar - bestehende Infrastruktur kann genutzt werden (Handhabung wie Diesel) 	<ul style="list-style-type: none"> - Energieverluste bei der Ein- und Ausspeicherung 	TRL: 4 – 6

A.7.3. Speicher

Speicherform	Volumetrische Energiedichte	Speicher- und Umwandlungsverluste	Speicherkapazitäten	Potenzielle Einsatzgebiete
Gasdrucktank	○	+	-	Kleinskalige Speicherung, z.B. in der Mobilität
Flüssigtank	+	-	○	Stationäre Speicherung, Transport per Trailer und Schiff, zukünftig LKW
Pipelines	-	+	+	Heute Industriecenter, perspektivisch Transport- und Verteilnetze
Salzkavernen	-	+	+	Großskalige, saisonale Speicherung

Abbildung A-4 Übersicht über Speicherformen von Wasserstoff

Heute existieren standardmäßig eingesetzte Speichermöglichkeiten, wie Druckgasspeicher auf verschiedenen Druckniveaus oder Flüssigtanks, die bereits standortunabhängig eingesetzt werden. Die Speicherung von gasförmigem Wasserstoff kann auf verschiedenen Druckniveaus (typischerweise 30 bar, 400 bar, 900 bar) erfolgen. Dies ist maßgeblich von dem zur Verfügung stehenden Platz abhängig. Eine Erhöhung des Drucks führt zu einer höheren volumetrischen Speicherdichte, das heißt, es kann mehr Wasserstoff mit geringerem Platzbedarf gespeichert werden. Wird flüssiger Wasserstoff angeliefert, wird dieser typischerweise in Flüssigtanks gespeichert. Aufgrund der hohen 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. Zusätzlich kann Wasserstoff auch gasförmig in einer Pipeline zwischengespeichert werden. Insbesondere in Industrieclustern sind H₂-Verteilnetzstrukturen bereits seit Jahrzehnten im Einsatz. Eine großskalige und saisonale Speicherung ist im gasförmigen Zustand in Salzkavernen möglich. Diese Speicherform hat im Kreis Bergstraße kein Potenzial, da besondere Standortfaktoren vorliegen müssen.

A.7.4. H₂-Tankstellen

Größe	S	M	L	XXL
Maximaler H₂-Durchsatz/Tag	200 kg	500 kg	1.000 kg	4.000 kg
Fahrzeugklasse	Pkw, LNF	(Pkw, LNF, Busse), MNF	(Pkw, LNF, Busse), MNF, SNF	MNF, SNF, (Pkw, LNF, Busse)
Durchschnitt. H₂-Durchsatz/Tag	150 kg	350 kg	700 kg	2.500 kg
Jährliche Nachfrage	1 – 10 t	> 100 t	> 500 t	> 900 t
Zapfpistolen	1	2	2 – 3	2 – 4
Platzbedarf	80 – 250 m ²	200 – 350 m ²	250 – 800 m ²	Abhängig von H ₂ -Tech

Abbildung A-5 Größenklassen für H₂-Tankstellen

A.7.5. Werkstattkonzept

Brennstoffzellen-Fahrzeuge erhalten ihre Zulassung nach europäischen bzw. internationalen Richtlinien. Die Bestätigung wird hierbei durch den Hersteller gegeben und garantiert, bei Unversehrtheit des Fahrzeuges, dessen technische Dichtheit.

Grundsätzlich ist im Umgang mit Wasserstoff und wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen immer die Entstehung einer gefährlichen, explosionsfähigen Atmosphäre zu vermeiden. Angelehnt an diesen Grundsatz ergibt sich die allgemeine Vorgehensweise, ausschließlich technisch dichte Brennstoffzellen-Fahrzeuge in die Werkstatt einzufahren. Besteht aufgrund von Kollision, Feuer, Manipulation, Fehlermeldungen o.ä. Zweifel an der Dichtheit, so ist diese unter Berücksichtigung der Herstellerangaben außerhalb der Werkstatt zu prüfen und entsprechend zu bearbeiten.

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, welche je nach Anwendungsfall zu prüfen und auszuarbeiten sind.

Arbeiten am Fahrzeug

Sind Arbeiten an einem Brennstoffzellen-Fahrzeug durchzuführen, so ist es nicht grundsätzlich notwendig, die Tätigkeiten in einer Hochvolt- bzw. Wasserstoffwerkstatt durchzuführen. Konventionelle Arbeiten an Brennstoffzellen-Fahrzeugen, wie mechanische Arbeiten, Arbeiten am 24-V-System etc., können zunächst in entsprechenden gängigen Werkstätten vorgenommen werden. Arbeiten am Brennstoffzellen-System und/oder am Wasserstofftanksystem, inklusive der Mittel- und Hochdruckleitungen, sowie der Betrieb des Brennstoffzellen-Systems, 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 [13]. Entsprechende Maßnahmen hierfür sind im Werkstattkonzept beschrieben und in der Praxis einzuhalten.

Werkstatt und Depotertüchtigung

Werkstätten für die Wartung und Instandhaltung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen bedürfen zunächst keinerlei Ertüchtigungen. Grundsätzlich muss jedoch jede Werkstatt, die diesen Zwecken dient, mit einer Lüftung ausgestattet sein, welche eine dreifache Luftwechselrate gewährleistet [14].

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.

Besteht die Gefahr des Austritts großer Mengen an Wasserstoff, 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 / Gasanlagenprüfungen Schulung (GAP-/GSP-Schulung) nötig, sobald die Gefahr des Austritts geringer und großer Mengen Wasserstoff besteht.