

Eine Wasserstoff-Strategie für das Saarland

„Saarland 2030 – auf dem Weg zum Wasserstoffland“

Strategie erarbeitet im Rahmen der HyExpert-Modellregion Saarland

Mit Unterstützung durch:

Reiner Lemoine Institut, consulting4drive & iav automotive engineering



Mit Unterstützung durch

IAV GmbH	Reiner Lemoine Institut gGmbH	consulting4drive GmbH
Rockwellstr. 16	Rudower Chaussee 12 D	Hallerstraße 6
38518 Gifhorn	12489 Berlin	10587 Berlin

Kontakt

Dr.-Ing. Michael Nöding	Carolin Daam, M.Sc.	Marcus Lassowski, M.Sc.
michael.noeding@iav.de	carolin.daam@rl-institut.de	m.lassowski@consulting4drive.com
+49 172-6939661	+49 30-1208 434 86	+49 173-6020085

Auftraggeber

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Energie und Verkehr
Franz-Josef-Röder-Straße 17
66119 Saarbrücken

Ansprechpartner

Nicola Sacca, Klimaschutzkoordinator der Landesregierung
n.sacca@wirtschaft.saarland.de
+49 681-501 2287

Inhaltsverzeichnis

1	Methodische Herangehensweise H ₂ -Strategieentwicklung Saarland.....	4
2	Vision und Leitbild	5
3	Ziele.....	7
4	Handlungsfelder	8
5	Umsetzungsmaßnahmen und Roadmap.....	9
5.1	Erzeugung	9
	Ableitung kurzfristiger Maßnahmen.....	9
	Ableitung mittelfristiger Maßnahmen.....	9
	Ableitung langfristiger Maßnahmen.....	10
	Ökonomische und ökologische Kennwerte	10
	Roadmap.....	11
5.2	Infrastruktur	12
	Ableitung kurzfristiger Maßnahmen.....	12
	Ableitung mittelfristiger Maßnahmen.....	13
	Ableitung langfristiger Maßnahmen.....	13
	Ökonomische und ökologische Kennwerte	13
	Roadmap.....	14
5.3	Nachfrage: Industrie	15
	Ableitung kurzfristiger Maßnahmen.....	15
	Ableitung mittelfristiger Maßnahmen.....	15
	Ableitung langfristiger Maßnahmen.....	16
	Ökonomische und ökologische Kennwerte	16
	Roadmap.....	16
5.4	Nachfrage Industrie: Schwerpunkt Automobilindustrie.....	17
	Ableitung kurzfristiger Maßnahmen.....	17
	Ableitung mittelfristiger Maßnahmen.....	17
	Ableitung langfristiger Maßnahmen.....	17
	Roadmap.....	18
5.5	Nachfrage: Mobilität	19
	Ableitung kurzfristiger Maßnahmen.....	19
	Ableitung mittelfristiger Maßnahmen.....	19
	Ableitung langfristiger Maßnahmen.....	20
	Ökonomische und ökologische Kennwerte	20
	Roadmap.....	21
5.6	Nachfrage: Kraft-Wärme-Kopplung	22
	Ableitung kurzfristiger Maßnahmen.....	22

Ableitung mittelfristiger Maßnahmen.....	22
Ableitung langfristiger Maßnahmen.....	23
Ökonomische und ökologische Kennwerte	23
Roadmap.....	24
6 Das Wasserstoff-Wertschöpfungsnetzwerk im Saarland	25

Das vorliegende Dokument ist ein Teilergebnis der Machbarkeitsstudie „H2Modellregion Saarland“, welche im Rahmen der HyLand Regionenförderung des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP2) mit insgesamt 271.744 Euro durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur gefördert wurde.

Die Förderrichtlinie wird von der NOW GmbH koordiniert und durch den Projektträger Jülich (PtJ) umgesetzt.

1 Methodische Herangehensweise H₂-Strategieentwicklung Saarland

Eine Wasserstoffstrategie für das Saarland zu entwickeln bedeutet, den besten Weg zu finden vom „Ist-Zustand“ hin zur Verwirklichung der strategischen Ziele. Für das Saarland ergeben sich zwei langfristige Phasen, die in kleinere Abschnitte aufgeteilt werden und in Abbildung 1 dargestellt sind.



Abbildung 1: Übersicht der Vorgehensweise

In der **ersten Phase** erfolgten die detaillierte Analyse der aktuellen Situation und die Bestimmung des inhaltlichen Standortes. Die erste Phase wurde durch das HyExpert-Projekt umgesetzt. Wichtige Schwerpunkte bildeten die Konsolidierung des Wissens und die Zusammenführung der relevanten Stakeholder.

Die **zweite Phase** folgt einem in Abbildung 2 pyramidenförmig dargestellten deduktiven Aufbau. Ausgangspunkt ist eine klare, verständliche und möglichst konkrete Vision mit Leitbild, siehe hierzu Abschnitt 2. Die Vision wird in Abschnitt 0 weiterentwickelt zu konkreten strategischen Zielen für drei unterschiedliche Zeithorizonte. Die Ziele münden in konkreten Handlungsfeldern. Die Herleitung erfolgt in Abschnitt 0. Im Anschluss daran werden in Abschnitt 5 wirksame sowie realistische Maßnahmen abgeleitet und diese den zuvor eingeführten Zeiträumen zugeordnet.

Wichtige Ankerpunkte in der Strategieerstellung sind eine offene Kommunikation und Transparenz gegenüber Stakeholdern aus Politik, Verbänden, Verkehrsträgern sowie der Industrie. Es wurde ein partizipativer Prozess gelebt, indem die jeweiligen Zwischenstände den genannten Gruppen vorgestellt und, falls erforderlich, gemeinsam weiterentwickelt wurden.

Die vorliegende Wasserstoffstrategie ist das Ergebnis der Aktivitäten im Rahmen des HyExpert-Projekts. Sie wird auch zukünftig angepasst an die weiteren Entwicklungen und lebt von der Mitarbeit der Akteure in der H₂-Modellregion. Insofern können weiterhin konkrete Vorschläge sowie Ideen an das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Energie und Verkehr herangetragen werden. Diese werden auf dem Boden der bisherigen Erkenntnisse gewürdigt und, soweit realistisch umsetzbar, integriert.

2 Vision und Leitbild

In umfangreichen Workshops wurden die gemeinsame Vision und das Leitbild für die Wasserstoffstrategie im Saarland abgeleitet. Dafür wurde zunächst die Motivation unter Berücksichtigung der Traditionen und Wurzeln des Saarlands herausgearbeitet.

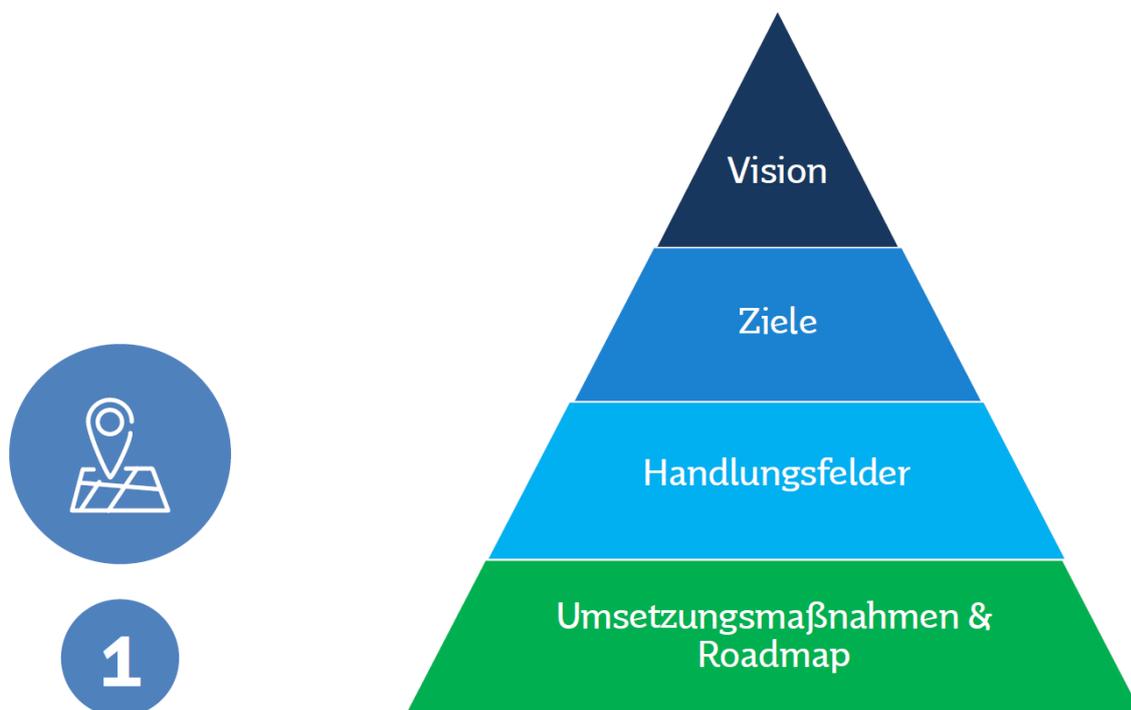


Abbildung 2: Zusammensetzung der einzelnen Bausteine für die Strategieentwicklung

Die Motivation resultiert aus der Tradition und den Wurzeln des Saarlands:

- Traditionelle Industrien stellen aktuell einen großen Anteil der Arbeitsplätze für die saarländische Bevölkerung bereit.
- Das Saarland ist ein „Land der Schaffer“. Die Bevölkerung ist es gewohnt die Ärmel hochzukrempeln. Dabei sind die Saarländer:innen technologieoffen, tüchtig und technisch versiert. Sie sind daran interessiert ihre Produkte und Dienstleistungen für viele Teile der Welt anzubieten (Exportorientierung).
- Arbeitende im Saarland sind in der Lage komplexe Produkte zu entwickeln und zu fertigen. Diese Fähigkeit hilft die bevorstehende Transformation umzusetzen und ähnliche komplexe Produkte wie Brennstoffzellen und H₂-Verbrennungsmotoren zu entwickeln und herzustellen.
- Viele Qualifikationen für die Entwicklung und Produktion von Komponenten für Wasserstoffanwendungen sind bereits vorhanden bzw. werden gerade entwickelt.
- Der Transformationsprozess ist längst gestartet; erste Erfolge können bereits verbucht werden. Konkrete Beispiele sind die Entwicklungsaktivitäten von Bosch in Richtung mobiler und stationärer Brennstoffzellen sowie die Zusammenarbeit von ZEMA und diversen Unternehmen in Forschungsaktivitäten zur Komponentenentwicklung (Hydac, MHA Zentgraf, Schaeffler, Innocise, Actemium und weitere).

Abgeleitet von der Motivation werden die folgenden Aufgaben definiert:

- Die Schaffung von sinnvollen Rahmenbedingungen/ Verordnungen/ Richtlinien zur Realisierung der Wasserstoffgesellschaft im Saarland wird fokussiert und vorrangig von politischer Seite bearbeitet. Dazu pflegt das Saarland eine eng verzahnte Anbindung sowohl über den Bundesrat in die bundesdeutsche als auch in die europäische Politik hinein.
- Das Saarland ermöglicht den etablierten Industrien und Startups den Zugriff zu Informationen und zu Fördermöglichkeiten im Bereich Wasserstoff.

Schließlich können die folgenden Vorteile und Chancen identifiziert werden:

- ÖPNV, LKW- und Nutzfahrzeuganwendungen bieten – so zeigen es die Erfahrungen in Deutschland und Europa – eine vielversprechende Grundlage, um die Wasserstoffwirtschaft in der Region voranzutreiben. In diesen Anwendungsfällen werden vielfach Vorteile gegenüber batterieelektrischen Lösungen erreicht. Aufgrund einer zu erreichenden Wirtschaftlichkeit kann bereits zeitnah ein substanzieller H₂-Bedarf im Saarland entstehen.
- Positive Beispiele und Best Practices in der Ausbildung im Bereich Wasserstoff sorgen für einen positiven Wandel in den Unternehmen. Es wird nicht mehr alleinig der Top-Down-Ansatz gelebt, viele Talente tragen die Kompetenzen in die Unternehmen und sorgen für einen bereichernden Bottom-Up-Ansatz.

Im Ergebnis wird die folgende Vision formuliert:



Vision

2

In der Industrie, im Energie- und im Mobilitätssektor wird das Saarland bis 2030 mit Wasserstoff seine CO₂-Emissionen deutlich verringern.

Neue Geschäftsmodelle ermöglichen die industrielle und mobile Transformation des Saarlandes als weiterhin wettbewerbsfähiger Produktionsstandort unter Erhalt bestehender und Schaffung neuer Arbeitsplätze.

Zentraler Bestandteil ist die grenzüberschreitende Zusammenarbeit.

3 4 5

Abbildung 3 Vision der Strategie

3 Ziele

Basierend auf dieser Vision werden strategische Ziele abgeleitet. Sie werden den Zeithorizonten *Kurzfristig (bis Ende 2023)*, *Mittelfristig (bis Ende 2026)* und *Langfristig (bis 2030 und Ausblick)* zugeteilt.

Kurzfristig zu erreichende Ziele sind:

- Bewertung weiterer Erzeugungsmöglichkeiten für grünen Wasserstoff
- Sicherstellung der Betankung von LKWs und Bussen
- Pilotprojekte zum Einsatz von KWK-Anlagen
- Steigerung der Nachfrage und Intensivierung der Öffentlichkeitsarbeit
- Erhöhung der Akzeptanz für die Notwendigkeit der Transformation in der breiten Bevölkerung
- Verstärkung des Vorbildcharakters der Landesregierung für den Einsatz von Wasserstoff
- Stärkung der Aus- und Weiterbildung im Bereich Wasserstoff
- Stärkung der Forschungsaktivitäten (Bearbeitung aktueller Forschungsanträge, Forschungscampus)
- Intensivierung des Kontakts nach Grand Est, Luxemburg, Rheinland-Pfalz und Belgien

Mittelfristig zu erreichende Ziele sind:

- Großindustrielle Produktion von grünem Wasserstoff im mehrstelligen Megawattbereich
- Reduktion der CO₂-Emissionen bei LKW und ÖPNV
- Kostengünstige Versorgung der Stahlindustrie mit grünem Wasserstoff
- Erhöhung der Sektorenkopplung in der Industrie
- Etablierung einer Tankstelleninfrastruktur in Grenznähe
- Erhöhung des Wertschöpfungsanteils im Wasserstoffbereich
- Etablierung und Verzahnung von Wasserstoff-StartUps / KMUs
- Stärkung der Universitäten / Hochschulen im Kontext Wasserstoff in der Automobilindustrie

Langfristig zu erreichende Ziele sind:

- Anbindung des Saarlands an den European Hydrogen Backbone
- Sicherstellung einer ökonomisch tragfähigen Versorgung zukünftiger Anwendungsfälle
- Befähigung von ÖPNV und Flottenbetreiber zur Umsetzung der Clean Vehicles Directive
- Versorgung des Industriegebiets Homburg mit grünem Wasserstoff
- Etablierung von Wasserstoff bei KWK-Anlagen
- Einsatz von Wasserstoff in der Binnenschifffahrt

4 Handlungsfelder

Die strategischen Ziele können den inhaltlichen Kategorien Erzeugung, Infrastruktur und Nachfrage zugeordnet werden. Sie bilden die Handlungsfelder, aus denen im folgenden Abschnitt konkrete Umsetzungsmaßnahmen abgeleitet werden. Sie sind dargestellt in Abbildung 4.

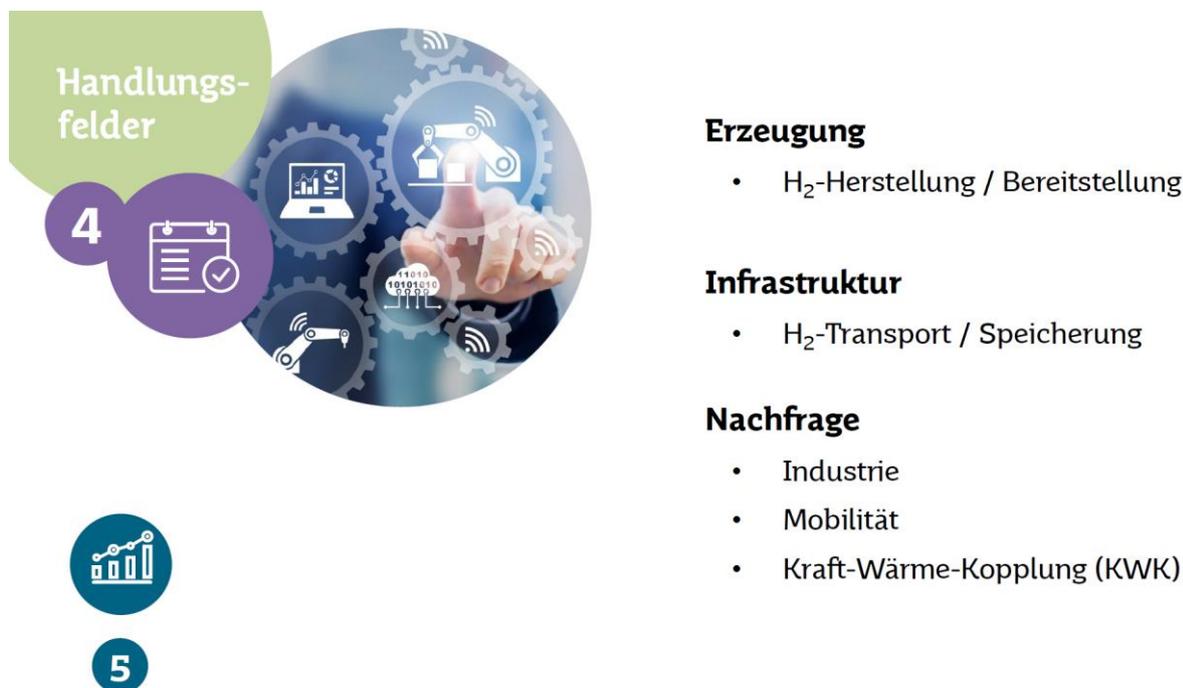


Abbildung 4: Aus den strategischen Zielen abgeleitete Handlungsfelder

Wie in dieser Abbildung ersichtlich, wird das Handlungsfeld Nachfrage aufgeteilt in die Bereiche *Industrie* mit dem besonderen Schwerpunkt *Automobilindustrie*, *Mobilität* und *Wärme*. Die Herauslösung des Automobilbereiches unterstreicht dessen besondere Bedeutung für das Saarland. Der Bereich Industrie ist stark geprägt von der Stahlindustrie. Zusammen sind im Saarland ungefähr 64.000 Beschäftigte direkt bzw. indirekt in diesen Bereichen tätig. Dem Bereich Industrie werden auch die zahlreichen Forschungsaktivitäten zugeordnet.

Das Handlungsfeld *Mobilität* umfasst sowohl den ÖPNV, LKW als auch PKW. Da diese aufgrund des hohen Gewichts und der hohen Anforderungen an die Reichweite prädestiniert für die Wasserstofftechnologie sind, werden schwerpunktmäßig die Fahrzeuge der beiden erstgenannten Kategorien untersucht.

Auch im Bereich der Wärmeanwendungen in Gebäuden gibt es einige Aktivitäten im Saarland. Im Rahmen des HyExpert-Projekts werden schwerpunktmäßig Anwendungen im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung betrachtet. Konkret wird der Einsatz von Brennstoffzellen sowie Verbrennungskraftmaschinen untersucht, um aus grünem Wasserstoff sowohl Elektrizität als auch Wärmeenergie zu gewinnen. Brennstoffzellen weisen einen besonders hohen Strom zu Wärme Quotienten auf. Somit können diese KWK-Anlagen insbesondere auch stromgeführt arbeiten und systemdienliche Aufgaben im Stromnetz wahrnehmen. Durch diesen Zusatznutzen haben sie deutliche Vorteile gegenüber reinen Wasserstoff-Wärmeanwendungen, die aus Effizienzgründen in der Strategie zumindest kurz- und mittelfristig keine Rolle spielen werden. Ob sie langfristig eine Chance haben werden, hängt maßgeblich davon ab, wann und in welchen Mengen grüner Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Preisen angeboten wird. Eine entscheidende Rolle zur Preisentwicklung wird die zunehmende CO₂-Besteuerung von Erdgas einnehmen.

5 Umsetzungsmaßnahmen und Roadmap

Um für die in Abschnitt 3 eingeführten Handlungsfelder die in Abschnitt 4 dargelegten strategischen Ziele zu erreichen, werden konkrete Maßnahmen entwickelt. Die Maßnahmen werden den bereits zuvor eingeführten Zeitfenstern *Kurzfristig (bis Ende 2023)*, *Mittelfristig (bis Ende 2026)* und *Langfristig (bis 2030 und Ausblick)* zugeordnet. Die Maßnahmen werden nach ökonomischen und ökologischen Maßstäben bewertet.

5.1 Erzeugung

Ableitung kurzfristiger Maßnahmen

Bei der kurzfristigen Bereitstellung von Wasserstoff nimmt insbesondere die lokale und dezentrale Produktion durch Elektrolyse eine zentrale Rolle ein. Beispiele hierfür sind die zum Teil in Planung befindlichen Elektrolyseure der Firma Bosch (150 kW), der Stadtwerke Homburg (vermutlich 2 MW) und der Saarbahn (vermutlich 2 MW) sowie der Kreisverkehrsbetriebe Saarlouis (KVS) mit einer vergleichbaren Leistungsgröße.

Neben der Elektrolyse werden zwei weitere Erzeugungsmöglichkeiten betrachtet. In beiden Ansätzen fällt der Wasserstoff als Nebenprodukt an. In der Stahlindustrie wird der im Koksgas enthaltene Wasserstoff in den Hochofenprozess zurückgeführt und somit vollständig genutzt. Eine weitere Erzeugungsoption stellt das Unternehmen Pyrum bereit. Über ein Thermolyseverfahren werden das in der chemischen Industrie als Grundrohstoff benötigte Pyrolyseöl sowie reines Carbon (Ruß) gewonnen. Bei diesem Prozess entsteht ein Abgas, welches bis zu 30 Vol.-% Wasserstoff enthält. Zur Verwendung in der Mobilität werden jedoch höhere Reinheitsgrade sowie höhere Drücke benötigt. Daher wird derzeit geprüft, wie die Wasserstoffaufbereitung in einem speziell mit Heizschlangen und einem elektrischen Feld ausgestatteten Container sowie einer Verdichterkombination durchgeführt werden kann.

Eine detaillierte Kostenbewertung steht noch aus; erste Schätzungen zeigen, dass der aufbereitete Wasserstoff an angeschlossenen Tankstellen für ungefähr 5 bis 6 €/kg bereitgestellt werden könnte. Dieser Ansatz der dezentralen Versorgung soll im Raum Saarlouis-Dillingen in relativer Nähe zur Produktion von Pyrum ab Ende 2022 erstmals erprobt werden.

Ableitung mittelfristiger Maßnahmen

Um die industriellen Bedarfe an Wasserstoff zu decken, sind mittelfristig Großelektrolyseure mit einer elektrischen Eingangsleistung von über 10 MW erforderlich. Eine entsprechende Anlage ist der von STEAG und Siemens bereits in Planung befindliche Hydro Hub in Völklingen-Fenne. Die elektrische Eingangsleistung von 35 MW ermöglicht eine Produktion von bis zu 680 kg/h. Der Wasserstoff ist überwiegend für die Verwendung in der Stahlindustrie eingeplant. Auch aufgrund der engen Zusammenarbeit mit Frankreich wird dieses Vorhaben als sogenanntes IPCEI-Projekt (*Important Projects of Common European Interest*) gefördert.

Denn Ende Mai 2021 hatte das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie in dem Interessenbekundungsverfahren für die Förderung grenzüberschreitender IPCEI-Wasserstoffverbundprojekte die saarländischen Teilvorhaben „Leitungsinfrastruktur CREOS / GRTgaz“, „Elektrolyseur STEAG / Siemens“ sowie „H2SYNgas Stahl-Holding-Saar“ für das weitere Antragsverfahren ausgewählt. Das Konsortium will in der Großregion aufzeigen, wie sich durch die geschickte Verknüpfung unterschiedlicher Wasserstoffprojekte eine grenzüberschreitende Wasserstoffwirtschaft etablieren kann, von der alle Wertschöpfungsstufen gleichermaßen und zeitgleich profitieren.

Im IPCEI-Verfahren folgt nun zunächst die Einbindung der französischen Partnerprojekte im so genannten „Matchmaking-Prozess“. Die Förderung der IPCEI-Vorhaben bedarf im Weiteren der inhaltlichen und beihilferechtlichen Bestätigung durch die EU-Kommission. Nach der finalen beihilferechtlichen Notifizierung der Wasserstoffverbundvorhaben können die Förderbescheide des Bundes ausgestellt werden. Vorlaufend wird der Bund eine Verwaltungsvereinbarung mit den Ländern abschließen.

Mit einem steigenden Wasserstoffbedarf wird neben der lokalen Erzeugung auch der Import von Wasserstoff eine zentrale Rolle spielen. Kooperationen mit Frankreich (St. Avold, Carling im benachbarten Lothringen) und Luxemburg, die ebenfalls im Rahmen der IPCEI-Projekte ab 2025 gestartet werden, erweitern die Versorgungsinfrastruktur. Die Kooperationen dokumentieren als europäische Leuchtturmprojekte die grenzüberschreitende Wertschöpfung.

Ableitung langfristiger Maßnahmen

Bei Anwendungen mit hohen Bedarfen wird langfristig grundsätzlich ein leitungsgebundener Anschluss angestrebt. Falls dies, bspw. aus ökonomischen oder geografischen Gründen, nicht möglich ist, wird weiterhin der Ansatz einer dezentralen und regionalen Erzeugung verfolgt. In weiteren Anwendungsfällen kann auch langfristig die Versorgung per Trailer vorteilhaft sein. Dies gilt beispielsweise dann, wenn kein grüner Strom zu wirtschaftlich vertretbaren Preisen bezogen werden kann. Auch in dem Jahr 2030 kann eine Anlieferung per Trailer als Überbrückung dienen, bis die entsprechenden Standorte per Leitung angebunden werden.

Da langfristige Maßnahmen einen entsprechenden Planungshorizont voraussetzen, unterstützt die Landesregierung Unternehmen in Prozessen der Genehmigung und Zertifizierung mit dem Ziel einer wirtschaftlich rentablen Wasserstoffversorgung. Die Unternehmen sollen bei der Planung entsprechender Aktivitäten umfassend begleitet und unterstützt werden. Durch einen engen Austausch können Unternehmen zukünftig von den Erfahrungen der Landesregierung und derjenigen Einrichtungen bzw. Unternehmen profitieren, welche bereits sehr früh - und beispielsweise im Rahmen von HyExpert-Erfahrungen im Bereich Wasserstoff sammeln konnten.

Ökonomische und ökologische Kennwerte

Die nachfolgenden Werte in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dienen als Grundlage für die Ermittlung der Treibhausgasemissionen (THG) für die Maßnahmen in den verschiedenen Handlungsfeldern. Aus dem THG-Emissionsfaktor¹ sowie dem (unteren) Heizwert lassen sich die CO₂-Äquivalente der gesamten Wirkungskette bestimmen.

Auffällig sind hier die Emissionen des grünen Wasserstoffs. Obwohl dieser lokal emissionsfrei ist, werden bei der Erzeugung etwa 1,1 kg CO_{2,äq}/kg H₂ entlang der Wirkungskette ausgestoßen. Diese Emissionen stammen nicht von CO₂, sondern durch die Entstehung von NO_x, welches als CO₂-Äquivalent in die Gesamtemissionen eingeht.

Wie auch grüner Wasserstoff ist grauer Wasserstoff lokal emissionsfrei. Durch die Herstellung aus Erdgas sind die Emissionen entlang der Wirkungskette allerdings vergleichsweise hoch. Aufgrund der längeren Erzeugungskette ist der THG-Emissionsfaktor von grauem Wasserstoff sogar höher (0,375 kg CO₂/kWh) als von reinem Erdgas (0,249 kg CO₂/kWh).

Kraftstoff	THG-Emissionsfaktor	(unterer) Heizwert	CO _{2,äq} gesamte Wirkungskette
Grüner H₂	0,03276 kg CO ₂ /kWh	33,3 kWh/kg H ₂	1,092 kg CO ₂ /kg H ₂
Grauer H₂	0,37548 kg CO ₂ /kWh	33,3 kWh/kg H ₂	12,52 kg CO ₂ /kg H ₂
Erdgas	0,24948 kg CO ₂ /kWh	13,3 kWh/kg CH ₄	3,12 kg CO ₂ /kg CH ₄
Diesel	0,34236 kg CO ₂ /kWh	9,9 kWh/l Diesel	3,3 kg CO ₂ /l Diesel

¹ RICHTLINIE (EU) 2015/652 DES RATES vom 20. April 2015, Festlegung von Berechnungsverfahren und Berichterstattungspflichten gemäß der Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlaments, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0652>

Tabelle 1: Übersicht der CO₂-Emissionen von Wasserstoff, Erdgas und Diesel

Zur Bestimmung der Emissionsersparnisse der oben genannten Maßnahmen werden beispielhaft die Daten eines 1 MW-Elektrolyseurs sowie des geplanten Hydro Hubs dargestellt. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

sind die H₂-Produktionsmengen pro Stunde, pro Jahr und für zehn Jahre inklusive der daraus resultierenden Emissionen aufgelistet.

- Ein 1 MW-Elektrolyseur kann pro Jahr etwa 124 t grünen Wasserstoff produzieren. Das verursacht jährlich etwa 135 t CO_{2,äq}.
- Dieselbe Menge grauer Wasserstoff verursacht demgegenüber etwa 1.546 t CO_{2,äq}. Demnach lassen sich durch die Verwendung von grünem Wasserstoff etwa 91% an Emissionen einsparen.
- Hochskaliert auf den geplanten Hydro Hub können pro Jahr über 50.000 t CO_{2,äq} eingespart werden, falls grüner statt grauer Wasserstoff erzeugt wird. Dies wird ermöglicht durch den Bezug von entsprechendem regenerativ produzierten Strom.

Roadmap

Die Roadmap für die Erzeugung ist dargestellt in Abbildung 5.



Abbildung 5: Roadmap für Handlungsfeld *Erzeugung*

5.2 Infrastruktur

Ableitung kurzfristiger Maßnahmen

Ein sehr wichtiges kurzfristiges Ziel ist die Sicherstellung bereits vorhandener bzw. zeitnah entstehender Bedarfe. Derzeit wird der Bedarf an industriellem Wasserstoff in Homburg durch die Belieferung mit Trailern abgedeckt. Die Bedarfe der Fa. Bosch sollen ab Ende 2021 über einen eigenen 150 kW Elektrolyseur am Standort gedeckt werden. Mittelfristig wird eine Ringleitung im Industriegebiet Ost von Homburg mit einer Versorgung aus einem 2 MW-Elektrolyseur angestrebt. Langfristig soll eine Leitungsanbindung über eine neue Trasse an die sog. MEGAL-Leitung und damit an das entstehende European Hydrogene Backbone entlang der Rhein-schiene erfolgen.

Auch zur Abdeckung an weiteren Standorten wird eine Belieferung per Trailer zumindest so lange empfohlen, bis die Bedarfe ausreichend hoch sind, um alternative Versorgungsmöglichkeiten kostengünstiger zu etablieren. Konkret kann dies für Pilot-Anwendungen im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung zutreffen sowie im Zusammenhang mit Forschungsaktivitäten – beispielsweise an dem geplanten Forschungscampus Saarlouis oder für Aktivitäten des ZEMA.

In weiteren Anwendungen wird bereits kurzfristig von einer erhöhten Nachfrage ausgegangen. Hervorzuheben sind die Aktivitäten der Saarbahn. Geplant ist die Beschaffung von zunächst ca. 20 Brennstoffzellenbussen. Eine kostengünstige Abdeckung von zumindest Teilbedarfen ist möglich durch einen dezentral und Vor-Ort installierten Elektrolyseur mit einer elektrischen Eingangsleistung von beispielsweise 2 MW.

Weitere konkrete Ziele und Maßnahmen betreffen die Tankstellen-Infrastruktur. Mobilitätsanwendungen mit geringer Nachfrage können durch mobile Tankstellen bedient werden. Als nachteilig hat sich herausgestellt, dass jeder Ortwechsel eine weitere genehmigungsrechtliche Prüfung erfordert. Der Einsatz mobiler Tankstellen scheint in zwei Szenarien vielversprechend. Falls der Ortswechsel sehr regelmäßig und beispielsweise innerhalb des Standorts eines Unternehmens erfolgt, kann der Aufwand zur Prüfung ggf. reduziert werden. Das zweite Szenario basiert darauf, dass nur sehr wenige Ortswechsel erfolgen. Konkret könnten im Saarland zwei bis drei mobile Tankstellen an Orten mit zunächst geringen Wasserstoffbedarfen eingesetzt werden. Sobald die Bedarfe steigen, können diese durch stationäre und entsprechend dimensionierte Tankstellen ersetzt werden. Die mobilen Tankstellen werden anschließend erneut an alternativen Standorten mit weiterhin geringen Wasserstoffbedarfen eingesetzt. Aufgrund der aktuell geringen Nachfrage an einer mobilen Tankstelle sowie den kürzlich (August 2021) veröffentlichten Förderprogrammen des Bundes zum Aufbau eigener Versorgungsstrukturen, wird der Einsatz von mobilen Tankstellenlösungen jedoch zunächst nicht weiterverfolgt.

Des Weiteren ist eine intensivierete Abstimmung mit Rheinland-Pfalz und Luxemburg zum sinnvollen, bedarfsorientierten Ausbau eines Tankstellennetzes, mit Schwerpunkt einer Ost-West-Achse, vorgesehen. Neben der bereits vorhandenen Tankstelle in Gersweiler – hier ist die Erweiterung um eine 350 bar Tanksäule für LKW und Busse angedacht – werden insbesondere Tankstellen am Betriebshof der Saarbahn in Saarbrücken, bei der KVS in Saarlouis bzw. Dillingen und in Homburg bereits im Detail konzipiert. Eine stimmige Tankstelleninfrastruktur könnte mittelfristig über eine mögliche HyPerformer-Förderung umgesetzt werden.

Neben der Abdeckung bereits vorhandener bzw. fest eingeplanter Bedarfe besteht ein weiteres Ziel darin zukünftige Bedarfe anzukurbeln. Bereits zu Beginn 2021 wurden öffentlichkeitswirksam Brennstoffzellen-Busse bei der Saarbahn getestet. Zusätzlich wurden Brennstoffzellen-Busse zum Transport der Besucher des Wasserstoffkongresses im September 2021 eingesetzt. Die Erfahrungen in HyExpert, insbesondere bei den Veranstaltungen zum Auftakt, zur Zwischenbilanz und bei der Vorstellung der Strategie, belegen die Bedeutung des Austauschs mit dem Fachpublikum. Daher sollten diese Aktivitäten zeitnah ausgebaut und beispielsweise durch „Wasserstofftage“ sowie Podiumsdiskussionen ergänzt werden. Flankiert werden die Aktivitäten durch Erweiterungen des Online Marketings.

Ableitung mittelfristiger Maßnahmen

Das ganz wesentliche mittelfristige Ziel ist die Umsetzung des IPCEI Projekts *MoSaHyc²* zur grenzüberschreitenden Wasserstoffinitiative der Großregion. Bis zum Jahr 2026 sind unterschiedliche Verbraucher angeschlossen an Leitungen für den Transport reinen Wasserstoffs. Gespeist wird diese Infrastruktur durch den zeitgleich in Betrieb gehenden Hydro Hub am Standort des ehemaligen Kraftwerks Fenne sowie durch Produktionsanlagen von teilweise über 100 MW in St. Avold und Carling entlang der Transporttrasse.

Konkret angebunden werden in östlicher Richtung die Tankstelle Gersweiler sowie der Betriebs- hof der Saarbahn. In westlicher Richtung erfolgt die Inbetriebnahme von Leitungen nach Bouzonville und schließlich, auf einer neu zu bauenden Trasse, bis zur Dillinger Hütte. Ein Teil der Strecke (ca. 70 km von 100 km) kann durch die Umstellung von Erdgasleitungen überbrückt werden. Diese Maßnahmen bilden die Grundlage dafür, dass das Saarland zwischen 2030 und 2035 an den European Hydrogen Backbone, also das europäische Wasserstoffnetz, angebunden wird.

Weitere mögliche Aktivitäten bis zum Jahr 2026 umfassen z.B. die Etablierung einer Tankstelleninfrastruktur in Grenznähe. Herkömmliche Tankstellen sind aufgrund der gegenüber dem Ausland höheren Besteuerung nicht wettbewerbsfähig. Erwartet wird, dass dieser Kostennachteil zukünftig bei Wasserstoff entfällt und vorteilhaft gelegene Standorte im Saarland an Attraktivität gewinnen.

Ableitung langfristiger Maßnahmen

Über den Zeitraum 2030 hinaus wird die Erweiterung der Wasserstoff-Leitungen angestrebt. Ein konkreter Wasserstoffnetzentwicklungsplan liegt noch nicht vor; er wird mittelfristig und bedarfsorientiert entwickelt. Vielversprechend scheint der Ausbau eines Leitungsnetzes zu dem Industriegebiet nach Homburg. Neben der zukünftigen Tankstelle könnten somit zahlreiche Industriepartner mit kostengünstigem Wasserstoff versorgt werden.

Weitere Projektideen beziehen sich auf den Neubau von kleineren Ortsverteilungsstrukturen. Anwendungsfälle könnten der Ausbau des Nahwärmenetzes sein oder beispielsweise die Versorgung der Stadtwerken Saarlouis oder des dortigen ÖPNV. Weitere langfristigen Ziele umfassen den Ausbau einer Tankstelleninfrastruktur für die Binnenschifffahrt, bspw. auf der Mosel bzw. der Saar. Durch den aus der Kraftwerksstilllegung resultierenden Rückgang der Transporte wird eine Umsetzung bis 2030 skeptisch gesehen; für die Schifffahrt ist Wasserstoff jedoch eine erfolversprechende Alternative zur Dekarbonisierung.

Ökonomische und ökologische Kennwerte

Im Abschlussbericht ist eine ausführliche Schätzung der Kosten dargelegt für die Verbindungsleitung des Hydro Hub mit der Tankstelle in Gersweiler sowie für die potentielle Verlängerung zur Saarbahn. Basierend auf Kostenabschätzungen und Prognosen für die transportierten Wasserstoffmengen verursacht die Aufbereitung und der Transport vom Hydro Hub zur Tankstelle in Gersweiler Kosten i.H.v. 2,20 Euro pro Kilogramm. Aufgrund der wesentlich höheren Auslastung der Leitung führt die Anbindung der Saarbahn zu einem Absinken der Kosten für den Leitungstransport, sodass für die Aufbereitung und den Transport in Summe ca. 1,80 Euro pro Kilogramm anfallen.

Durch den Bau der Leitungen entfällt die Notwendigkeit den Wasserstoff per Trailer zu transportieren. Moderne Trailer transportieren bis zu 500 kg Wasserstoff. Sie werden mit Diesellagregaten betrieben und stoßen ungefähr 115 kg CO₂ pro 100 km Fahrstrecke aus. Sind die Leitungen erst einmal gelegt, reduzieren sie den CO₂-Ausstoß somit signifikant. Die konkreten

² https://www.creos-net.de/aktuelles/aktuelles/aktuelles/aktuelles?tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontrol-ler%5D=News&tx_news_pi1%5Bnews%5D=38&cHash=e08cef6456adad5e30df06b43cd46997

jährlichen Einsparungen sind 0,8 t für die Versorgung der Tankstelle in Gersweiler sowie 5,5 t für die Anbindung der Saarbahn. Der hierbei zugrunde gelegte jährliche Verbrauch von 132 t resultiert aus der angestrebten Fahrzeugbeschaffung von zunächst 21 Brennstoffzellenbussen. Für einen abgeschätzten jährlichen Wasserstoffbedarf von 50 t in Homburg betragen die jährlichen CO₂-Einsparungen 11 t. Eine Übersicht ist dargelegt in Tabelle 2.

Maßnahme	Jahres- bedarf H ₂	Distanz	Fahrleistung pro Jahr	Diesel pro 100 km	CO ₂ -Ersparnis pro Jahr	CO ₂ -Ersparnis in 30 Jahren
Leitungsanbindung Gersweiler	25 t	5,5 km	660 km	35 l	0,76 t/a	23 t
Leitungsanbindung Saarbahn	132 t	7,5 km	4.752 km	35 l	5,49 t/a	165 t
Leitungsanbindung Homburg	50 t	40 km	9.600 km	35 l	11,09 t/a	333 t
Leitungsanbindung Rhein-Main	50 t	180 km	43.200 km	35 l	49,90 t/a	1.497 t

Tabelle 2: Darstellung der Emissionsersparnisse, indem der Wasserstoff durch Leitungen anstatt mit Hilfe von Trailern transportiert wird.

Roadmap

Die Roadmap für die Infrastruktur ist dargestellt in Abbildung 6.

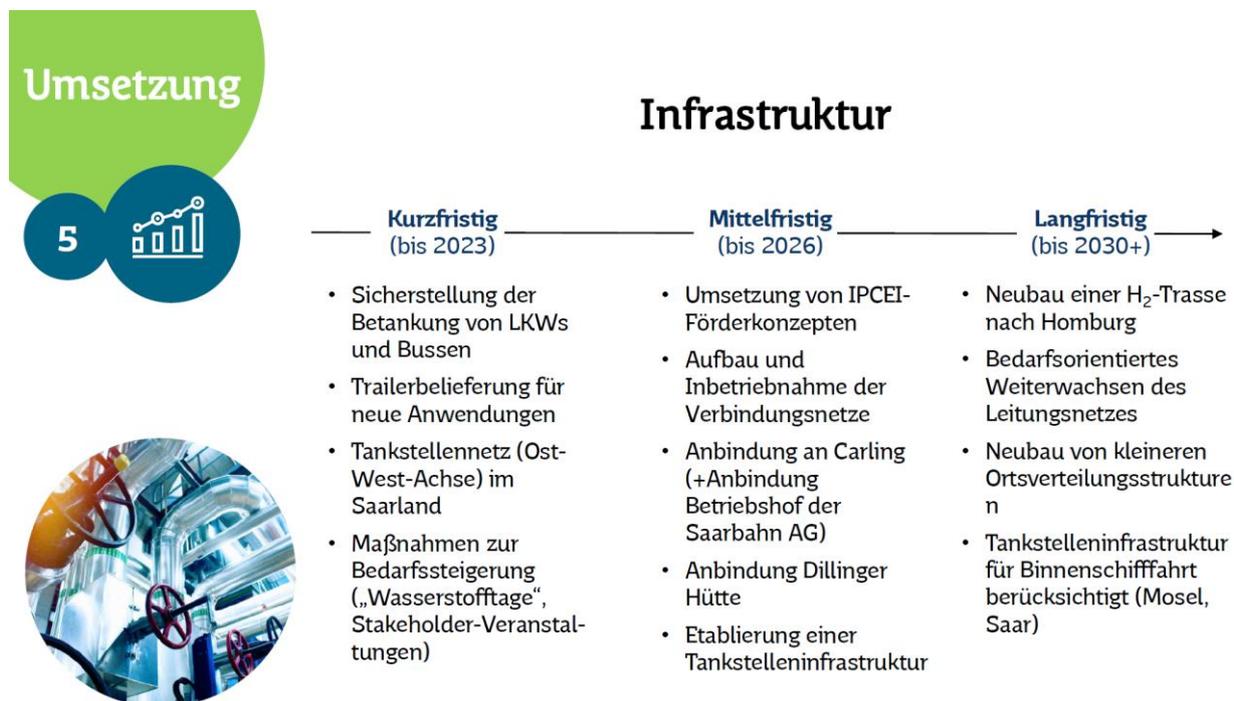


Abbildung 6: Roadmap für Handlungsfeld *Infrastruktur*

5.3 Nachfrage: Industrie

Ableitung kurzfristiger Maßnahmen

Arbeitende im Saarland sind es gewohnt komplexe Produkte zu entwickeln und zu fertigen. Diese Fähigkeit ermöglicht die Transformation zu einer Industrie, welche komplexe Produkte wie Brennstoffzellen oder Wasserstoff-Verbrennungsmotoren herstellt.

Wesentliche Weichen für die industrielle Transformation sind bereits gestellt, sodass Arbeitsplätze erhalten bleiben und neue Geschäftsmodelle etabliert werden können. Der Transformationsprozess ist längst gestartet und erste Erfolge können verbucht werden. Als Beispiel kann das Unternehmen Bosch in Homburg genannt werden, das schon länger Wasserstoff in industriellen Fertigungsprozessen einsetzt und mittelfristig Brennstoffzellen fertigen wird. Auch das Unternehmen Hydac ist beispielsweise eingebunden in Forschungsprojekte.

Aufgrund der regionalen Lage wird der Ausbau des Transformationsnetzwerks stark vorangetrieben. Es entstehen enge Kontakte zu den Ministerien und entsprechenden Netzwerken in Rheinland-Pfalz, Luxemburg sowie Frankreich. Der enge Austausch auf Unternehmensebene wird im Rahmen des bereits erwähnten IPCEI-Projekts auch bei Bosch in Homburg durch Bundesmittel gefördert.

Weitere positive Effekte für die Industrie sind von den bereits in Planung befindlichen Forschungsaktivitäten zu erwarten. Im Rahmen des Förderprojekts *H₂SkaProMo* werden skalierbare cyber-physikalische Produktionssysteme zur Montage von Brennstoffzellen-Stacks entwickelt. Die Planung und der Einsatz der entsprechenden Demonstrator-Linien erfolgt im Saarland.

Weiter beantragte Forschungsprojekte umfassen die Entwicklung wandlungsfähiger Schweißarbeitsplätze für Elektrolyseur-Peripherie sowie flexible Produktionssysteme zur Montage von Elektrolyseur-Stacks. Das geplante Gesamtvolumen der Projekte beträgt über 15 Millionen Euro. Weitere Forschungsaktivitäten werden in enger Zusammenarbeit mit europäischen Partnern im Rahmen des europäischen Programms Horizon Europe angestrebt.

Ein Teil dieser Forschungsaktivitäten könnte zukünftig in einem Forschungscampus gebündelt werden. Wie bereits bei den genannten Aktivitäten ist das Ziel die enge Verzahnung zwischen Wissenschaft und Industrie.

Ableitung mittelfristiger Maßnahmen

Ab dem Jahr 2024 wird Bosch Festbrennstoffzellen in der Serienproduktion herstellen. Die Unternehmen Brück und Wegener Härtetechnik erwägen den zukünftigen Einsatz von Wasserstoff in ihren Härteprozessen bzw. beim Bau von Prüfständen. Der Einsatz von Wasserstoff bis zum Jahr 2026 scheint durchaus realistisch. Dasselbe gilt für die Unternehmen Moehwald und Michelin im Industriegebiet in Homburg. Weiterhin besteht ein enger Austausch mit Unternehmen aus dem Bereich Medizintechnik sowie Warenhandel.

Wasserstoff im sehr großen Stil soll über IPCEI gefördert an der Dillinger Hütte eingesetzt werden. Das langfristige Ziel ist die Beimischung von grünem Wasserstoff in Synthesegas aus dem Hochofenprozess. Wichtige Schritte hierzu erfolgen bereits bis zu dem Jahr 2026. Um im internationalen Wettbewerb zu bestehen und um einen betriebswirtschaftlichen Betrieb zu sichern, unterstützt die saarländische Landesregierung die IPCEI-Projekte mit einem prozentualen Anteil von 30%.

In demselben Zeitraum könnte die Installation sehr leistungsstarker Brennstoffzellen auf dem Gelände des Hydro Hub erfolgen. Ein mögliches Szenario ist, dass die Brennstoffzellen an die Produktionsrate des Hydro Hub angepasst sind. Falls der maximal mögliche Massenstrom i.H.v. 680 kg/h zugeführt würde, könnte eine elektrische Leistung von 11 MW bereitgestellt werden. Kalkuliert wird derzeit mit jährlich ungefähr 1.000 Vollbenutzungsstunden.

Ableitung langfristiger Maßnahmen

Falls die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen dies erlauben, werden im Projekt *H2SYNGas* bis zum Jahr 2032 ungefähr 12% der CO₂-Emissionen der Dillinger Hütte durch den Einsatz von grünem Wasserstoff eingespart. Dies entspricht jährlich 900.000 Tonnen CO₂. Die Umstellung wird jedoch nur möglich, falls auch die an dem Gesamtprojekt beteiligten französischen Partner entsprechend gefördert werden und der gegenüber Erdgas höhere Preis für grünen Wasserstoff über entsprechende Handelsmechanismen kompensiert wird. Eine Möglichkeit hierzu sind sogenannte Carbon Contracts for Difference. Damit lassen sich unsichere Preisentwicklungen absichern und somit die Wettbewerbsfähigkeit von Projekten mit grünem Wasserstoff verbessern.

Ökonomische und ökologische Kennwerte

Die mit Abstand wichtigste industrielle Nutzung des Wasserstoffs im Saarland ist sein Einsatz in der Stahlherstellung bei der Dillinger Hütte. Der Einsatz von 75.000 t/a Wasserstoff kann eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 900.000 t/a bewirken. Die CO₂-Emissionen werden pro eingesetztem Kilogramm Wasserstoff um 12 kg gesenkt. Falls dieser Wasserstoff, z.B. über den Hydro Hub und aus französischer Produktion, für unter 6,50 €/kg bezogen wird, werden pro eingesetztem Euro 1,85 kg CO₂-Emissionen eingespart. Dies ist ein sehr hoher spezifischer Wert, der die sinnvolle Nutzung von grünem Wasserstoff aus ökologischer Sicht unterstreicht.

Bei einem möglichen Nutzungsszenario durch leistungsstarke Brennstoffzellen wird grüner Wasserstoff eingesetzt, um daraus bei hohen Strompreisen aufgrund starker Nachfrage grünen Strom zu generieren. Die Anschaffungskosten der Anlage werden mit bis zu 10 Mio. Euro abgeschätzt. Falls der Wasserstoff zu 6,00 €/kg bezogen wird und die Brennstoffzelle einen mittleren Wirkungsgrad von 50% aufweist, betragen die Brennstoffkosten 36 ct. pro produzierter Kilowattstunde Strom. Falls die Anlage für 10 Jahre mit jeweils 1.000 Vollbenutzungsstunden betrieben wird und jährliche Wartungskosten von 3% der Anschaffungskosten aufweist, würden zusätzliche Kosten i.H.v. 12 ct pro produzierter Kilowattstunde anfallen. Dieser grüne Strom würde unter den genannten Höchstlastbedingungen etwa 48 ct/kWh kosten.

Um die Ökologie zu bewerten wird davon ausgegangen, dass diese Art der Stromproduktion dem deutschen Strommix von 2020 gegenübergestellt wird. Pro produzierter Kilowattstunde, würden knapp 300 g CO₂-Emissionen eingespart. Anders formuliert, werden die CO₂-Emissionen pro eingesetztem Euro um ca. 0,6 kg verringert.

Roadmap

Die Roadmap für die Industrie ist dargestellt in Abbildung 7 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..**



Abbildung 7: Roadmap für Handlungsfeld *Industrie*

5.4 Nachfrage Industrie: Schwerpunkt Automobilindustrie

Ableitung kurzfristiger Maßnahmen

Eine zentrale kurzfristige Maßnahme im Bereich Automobilindustrie ist die Deckung des Bedarfs an qualifiziertem Personal. Das Ziel ist die Schaffung von Weiterbildungsangeboten und neuen Arbeitsplätzen im Bereich Wasserstoff. Dazu ist eine Stärkung der Aus- und Weiterbildung im Bereich Wasserstofftechnik notwendig. Hierzu wird die Einbindung der Industrie- und Handelskammer, der zugehörigen Handwerkskammer, Gewerkschaften und der Arbeitskammer angestrebt.

Der bundesländerübergreifende Austausch hilft dabei substanzielle Konzepte in die Realität umzusetzen. Niedersachsen hat z.B. bereits Maßnahmen zur Aus- und Weiterbildung im Bereich Wasserstoff erfolgreich implementiert. Auch im Saarland wurde eine solche Initiative für Aus- und Weiterbildungskonzepte bereits gestartet. Synergetisch könnte die Ausbildung durch einen möglichen Forschungscampus Saarlouis unterstützt werden.

Weiterhin wird die Kontaktaufnahme zu denjenigen Umrüstungsbetrieben intensiviert, die bereits heute konventionelle Fahrzeuge mit Brennstoffzellen und zukünftig mit Wasserstoff-Verbrennungsmotoren umrüsten können. Dabei hat die Vernetzung von saarländischen Werkstätten und die Ausstattung mit gut ausgebildeten Fachkräften Priorität.

Ableitung mittelfristiger Maßnahmen

Ähnlich zu weiteren Bundesländern, steht bis zum Jahr 2026 die Verzahnung von H₂-Start-Ups und kleinen- sowie mittelständischen Unternehmen im Blickpunkt. Beispielsweise könnten im Industriepark am Röderberg etablierte Unternehmen mit jungen Unternehmen im Bereich Wasserstoff kooperieren. Dazu wird der Fokus auf die Steigerung der Standortattraktivität gelegt. Fiskalische Anreize, beispielsweise durch Anpassung des Gewerbesteuer-Hebesatzes, könnten dienlich, jedoch in Anbetracht der finanziellen Haushaltsslage der Kommunen, schwierig darstellbar sein.

Weitere Vorteile lassen sich durch die Stärkung der Universitäten und Hochschulen im Saarland im Kontext Wasserstoff ableiten. Hierzu zählen u.a. die Prüfung geeigneter Gastprofessuren sowie die Schaffung bzw. die Stärkung von Lehrstühlen, die ausgerichtet sind auf Wasserstoff-

technik in der Automobilindustrie sowie auf die zugehörigen rechtlichen Fragestellungen. Speziell die saarländische Automobilindustrie wird davon profitieren, wenn die notwendigen Fachkräfte im Saarland ausgebildet werden.

Ableitung langfristiger Maßnahmen

Langfristig liegt der Fokus auf dem Aufbau einer attraktiven Infrastruktur, welche die Grundlage dafür bildet, dass Automobilzulieferer und –hersteller das Saarland als Entwicklungs- oder Produktionsstandort auswählen. Die Aktivitäten umfassen den Breitbandausbau, die Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur, den Ausbau des Schienennetzes für Waren- und Gütertransport sowie den Mobilfunkausbau.

Roadmap

Die Roadmap für die Erzeugung ist dargestellt in Abbildung 8.



Abbildung 8: Roadmap für Handlungsfeld *Automobilindustrie*

5.5 Nachfrage: Mobilität

Ableitung kurzfristiger Maßnahmen

Das Hauptaugenmerk liegt bei den kurzfristigen Maßnahmen auf der Fahrzeugbeschaffung im ÖPNV- und im Transportsektor. Dazu werden Einkaufsgemeinschaften gebildet und gemeinschaftliche Ausschreibungen erstellt. Indem die Anzahl an zu beschaffenden Fahrzeugen erhöht wird, soll die Verhandlungsposition gegenüber den Fahrzeugherstellern verbessert werden. Dabei wird grenzübergreifend mit den Regionen Lothringen, Luxemburg, Rheinland-Pfalz und weiteren Partnern zusammengearbeitet. In Kombination mit den im August notifizierten Fördermitteln aus dem BMVI können bis zu 80% der Mehrkosten kompensiert werden.

Für die Steigerung der Akzeptanz von Wasserstoff in der Bevölkerung ist es wichtig, dass die Landesregierung mit eigenem Vorbild vorangeht und alle Fahrzeugbeschaffungen hinsichtlich eines sinnhaften Einsatzes von Wasserstoff prüft. Folgende Einsatzfälle sind angedacht:

- Feuerwehr- und Polizeifahrzeuge
- Müllsammelfahrzeuge
- Sonder- und Kommunalfahrzeuge
- Dienstwagen der öffentlichen Flottenbetreiber

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Informationsvermittlung. Konkret werden weitere Workshopreihen zum Thema Wasserstoff verstetigt. Das Ziel ist es die Bürgernähe und die Anbindung an industrielle Stakeholder im Bereich Mobilität zu intensivieren und die Nachfrage nach Fahrzeugen zu steigern. In der Bevölkerung soll die Skepsis gegenüber Wasserstoff im Mobilitätssektor abgebaut werden. Zu den konkreten Maßnahmen zählen:

- Öffentliche / digitale / hybride Veranstaltungen zum Thema Wasserstoff
- Erweiterter Internetauftritt des MWAEV im Kontext Wasserstoff
- Ausführung und Erweiterung der Marketingaktivitäten
- Podiumsdiskussionen gemeinsam mit First Movern

Zur Reduktion von vorhandener Skepsis dienen ausgewählte Demonstrationsprojekten. Anzuführen sind hier:

- Die deutschlandweit erste Fahrschule mit einem Wasserstoff-Fahrzeug
- ÖPNV-Pilotfahrzeuge bei der Saarbahn
- Pilotfahrzeuge für kommunale Einsatzzwecke

Ableitung mittelfristiger Maßnahmen

Mittelfristig werden neben der Saarbahn und der KVS weitere relevante Flottenbetreiber einen signifikanten Teil ihrer Flotte auf Wasserstoff-Fahrzeuge umstellen müssen. Dazu zählen sowohl Logistik- und Transportunternehmen als auch weitere Betreiber des ÖPNV.

Ein wichtiger Treiber dieser Entwicklungen ist der erste Referenzzeitraum der Clean Vehicles Directive. Im ÖPNV-Bereich müssen öffentliche- und Sektorenauftraggeber eine Beschaffungsquote von 45% sauberen Bussen sicherstellen, von denen mindestens die Hälfte lokal emissionsfrei sein muss. ÖPNV-Aufgabenträger müssen diese Quoten außerdem in neuen Verkehrsverträgen vorgeben. Entsprechend dem Paket „Fit for 55“ können weitere Verschärfungen, z.B. ordnungsrechtlich vorgegebene Quoten, auch für den LKW-Bereich hinzukommen.

Wasserstoff kann auch als Basis für die Produktion von synthetischen Kraftstoffen genutzt werden, um die Emissionen von konventionellen Fahrtrieben zu senken. Entsprechende Untersuchungen werden derzeit erarbeitet und erste Pilotprojekte durchgeführt.

Gezielt wird die Sektorenkopplung im Verkehrsbereich ausgebaut. Im Fokus steht die Verbindung der Energieerzeugung und der Nutzung im Mobilitätsbereich. Beispielhaft hervorzuheben ist die Versorgung der Wasserstoff-Tankstelle in Saarbrücken durch den geplanten Hydro Hub.

Ableitung langfristiger Maßnahmen

Ab 2026 werden bei zahlreichen Flottenbetreibern der Privatwirtschaft sowie dem ÖPNV umfangreiche Erfahrungen im Bereich der Wasserstoffmobilität vorliegen. Ein wichtiger Anreiz hierfür sind die Vorgaben aus dem zweiten Referenzzeitraum der Clean Vehicles Directive. Weitere Verschärfungen können bis dahin auch für Reisebusse bzw. LKW entsprechende Quoten verlangen, sodass in diesem Mobilitätssegment von einer hohen Zahl an Wasserstoff-Fahrzeugen auszugehen ist.

Ökonomische und ökologische Kennwerte

Das Potenzial zur Emissionsreduzierung im Verkehr wird durch die Gegenüberstellung von grünem und grauem Wasserstoff mit Diesel-Fahrzeugen bestimmt. In Tabelle 3 sind dafür die Emissionen für PKW, LKW und Busse mit den drei Kraftstoffarten dargestellt.

Fahrzeug	Kraftstoffbedarf pro 100 km		Fahrl. pro Jahr	Kraftstoffbedarf pro Jahr		Emissionen pro Jahr			
	kg H ₂	l Diesel		kg H ₂	l Diesel	Grüner H ₂	Grauer H ₂	Diesel	
PKW	1 kg H ₂	6,8 l Diesel	15 t km	150 kg H ₂	1.020 l Diesel	164	1.877	3.366	kg CO ₂ /a
LKW	8 kg H ₂	29 l Diesel	100 t km	8.000 kg H ₂	29.000 l Diesel	8.736	100.128	95.699	kg CO ₂ /a
Bus	10 kg H ₂	38 l Diesel	60 t km	6.000 kg H ₂	22.800 l Diesel	6.552	75.096	75.239	kg CO ₂ /a

Tabelle 3: Emissionen und Kraftstoffbedarfe von PKW, LKW und Bus bei durchschnittlichen Verbräuchen

Aus dem Emissionsvergleich lassen sich zwei wesentliche Aussagen ableiten.

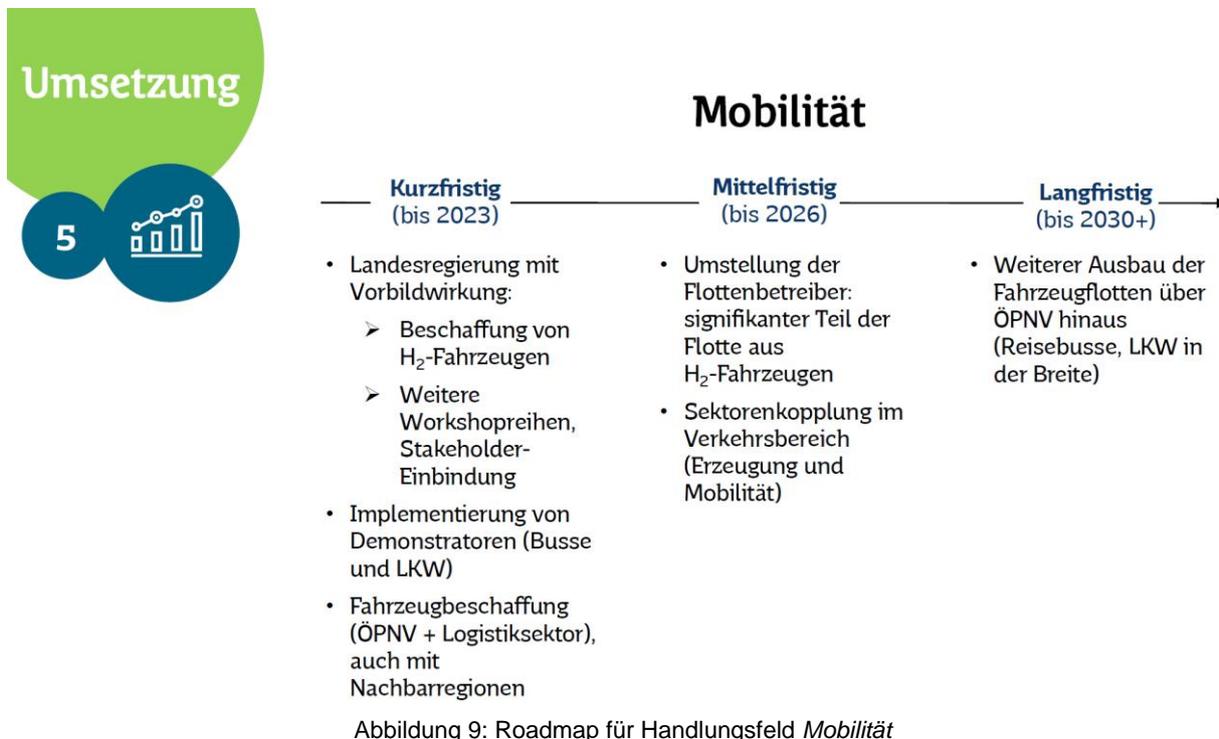
Bei allen Fahrzeugklassen ermöglicht der Einsatz von grünem Wasserstoff signifikante Verringerungen der CO₂-Emissionen. Gegenüber grauem Wasserstoff und Diesel werden über 90% der Emissionen eingespart.

Falls grauer Wasserstoff eingesetzt wird, sind die Emissionen ähnlich zu Diesel-Fahrzeugen. Diesem Ergebnis liegen zwei gegenläufige Effekte zu Grunde: Zunächst ist der THG-Emissionsfaktor des grauen Wasserstoffs nachteilig, siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Dies bedeutet, dass der Verbrauch derselben Energiemenge bei grauem Wasserstoff zu höheren Emissionen als bei Diesel führt. Dem entgegen wirkt, dass Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb typischerweise höhere Wirkungsgrade aufweisen und somit weniger Energie verbrauchen. Dies gilt insbesondere dann, wenn Fahrzeuge wie PKW oder Busse, bspw. im Stadtverkehr, dynamisch betrieben werden und von der Möglichkeit zur Rekuperation profitieren.

Der zweite Effekt kann bei LKW entfallen, welche dauerhaft in Lastpunkten betrieben werden, bei welchen auch Dieselantriebe hohe Wirkungsgrade ermöglichen. Falls nur geringe Unterschiede bei den mittleren Wirkungsgraden resultieren, können die CO₂-Emissionen von LKW sogar steigen, wenn diese mit grauem Wasserstoff anstelle von Diesel betrieben werden.

Roadmap

Die Roadmap für die Mobilität ist dargestellt in Abbildung 9.



5.6 Nachfrage: Kraft-Wärme-Kopplung

Ableitung kurzfristiger Maßnahmen

Im Rahmen des HyExpert-Projekts wird der Einsatz von Wasserstoff im Wärmesektor ausschließlich in Verbund mit Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) untersucht. Bei diesen Anlagen wird Wasserstoff eingesetzt um gleichzeitig elektrische Energie sowie Wärme zu produzieren. Diese Anlagen sind in der Regel sehr viel wirtschaftlicher als Systeme, bei denen Wasserstoff ausschließlich zu Gewinnung von Wärme verbrannt wird. Zudem – und dies dürfte letztlich entscheidend für einen wirtschaftlichen Betrieb sein – werden diese Anlagen üblicherweise stromgeführt und häufig zu Hochpreiszeiten sowie zur Netzstabilisierung gefahren.

Allgemein ist die Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen sehr stark durch die Förderkonditionen beeinflusst. Zumindest kurzfristig ist somit die aktuelle Gesetzgebung ausschlaggebend. Da insbesondere Anlagen mit vergleichsweise moderaten elektrischen Leistungen von bis zu 50 kW hohe KWK-Zuschüsse erhalten, wird der Einsatz entsprechend kleiner Anlagen empfohlen.

Kurzfristig erscheint der Einsatz solcher KWK-Anlagen in diesen Anwendungen möglich:

- Schwimmbad Saarlouis
- Wohnanwendung in Homburg
- Wohnpark Eiweiler
- Dudo-Park

Um die Wirtschaftlichkeit positiv zu beeinflussen, sind zwei weitere Aspekte ausschlaggebend: Zunächst sollte der überwiegende Teil der produzierten elektrischen Energie dem Eigenverbrauch dienen – wichtig ist also, den kostenintensiven Strombezug aus dem Netz zu vermindern. Zweitens sollte der Wasserstoff möglichst günstig bezogen werden. Analysen ergeben, dass ein wirtschaftlicher Betrieb möglich wird, falls der Wasserstoff maximal 6 €/kg kostet. In Kombination mit der dezentralen H₂-Produktion bei Pyrum könnte ein derart kostengünstiger Bezug ab 2023 im Saarland möglich sein.

Neben den genannten Szenarien bestehen weitere konkrete Pläne lokaler Unternehmen. So baut die Fa. Bosch im zweiten Halbjahr 2021 einen 150 kW Elektrolyseur am Standort Homburg auf. Dieser Wasserstoff wird in Verbindung mit der Entwicklung einer 10 kW Hochtemperatur-Brennstoffzelle genutzt.

Ableitung mittelfristiger Maßnahmen

Mittelfristig erscheint der Einsatz bei den folgenden Industrieunternehmen möglich:

- Firma Brück, Verwendung von Wasserstoff als Prozessgas in Härteöfen
- Firma Michelin, Blockheizkraftwerk mit 10 MW (frühestens ab 2026)
- Firma Wegener Härtetechnik, Blockheizkraftwerk mit 500 kW

Aufgrund des industriellen Einsatzes sind die Anlagen sehr viel leistungsstärker. Die Umstellung auf Wasserstoff setzt sowohl in diesen als auch in weiteren Fällen voraus, dass die Mehrkosten gegenüber der Nutzung von Erdgas durch beispielsweise regulatorische Anpassungen verringert werden.

Sobald entsprechende Anlagen verfügbar sind, scheint auch der weitverbreitete Einsatz von KWK-Anlagen in Mehrfamilienhäusern möglich. Neben den genannten Aspekten wird auch hier die Verbreitung von der zukünftigen Entwicklung der Strompreise abhängen.

Ableitung langfristiger Maßnahmen

Neben den genannten Aktivitäten erfolgt ein enger Austausch mit weiteren Regionen und industriellen Partnern, sodass das Saarland bis 2030 an den European Hydrogen Backbone, also das europäische Wasserstoffnetz, angeschlossen wird.

Diese Anbindung ist die Grundlage für die großskalige und kostengünstige Versorgung von KWK-Großanlagen in der Industrie. Es erscheint realistisch, dass die entsprechende Nachfrage nach grünem Wasserstoff, auch aufgrund steigender CO₂-Preise, bis zu diesem Zeitraum signifikant steigen wird.

Die Entwicklungen führen auch dazu, dass grüner Wasserstoff kommunalen Einrichtungen zur kostengünstigen und nachhaltigen Deckung der Wärmebedarfe zur Verfügung stehen wird.

Ökonomische und ökologische Kennwerte

KWK-Anlagen treten üblicherweise in Form von Brennstoffzellen oder Verbrennungskraftmaschinen auf. Bei den Brennstoffzellen sind insbesondere Protonenaustauschmembran- und Festoxidbrennstoffzellen zu nennen. Brennstoffzellen weisen üblicherweise einen höheren elektrischen Wirkungsgrad auf als Verbrennungskraftmaschinen – dies trifft insbesondere auf Festoxidbrennstoffzellen zu. Da diese eine sehr hohe Arbeitstemperatur von ca. 800 °C und dementsprechende Startzeiten aufweisen, sollten sie jedoch möglichst durchgängig betrieben werden.

Die folgenden Analysen vergleichen eine Festoxidbrennstoffzelle (SOFC) mit einem Blockheizkraftwerk (BHKW). Der Brennstoffzelle wird ein elektrischer Wirkungsgrad von 60% und dem BHKW ein elektrischer Wirkungsgrad von 40% zugrunde gelegt. Die thermischen Wirkungsgrade werden zu 25% bzw. 40% angenommen. Unter der Annahme des Einsatzes von grünem Wasserstoffs werden – unter Berücksichtigung der gesamten Erzeugungskette – für die Produktion von einer Kilowattstunde Strom bei der SOFC 0,054 kg und bei dem BHKW 0,081 kg CO₂ emittiert.

Eine Übersicht über die betrachteten Szenarien ist dargelegt in Tabelle 4 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

Maßnahme	Elektr. Leistung	Vbh pro Jahr	Betriebsjahre	H ₂ -Bedarf insgesamt	CO ₂ -Em. insgesamt	Einsparung ggü. Erdgas	Anschaffungskosten	Treibstoffkosten
Brennstoffzelle grüner Wasserstoff	30 kW	3.500	10	53 t	57 t	558 t	120 t €	0,34 Mio. €
Brennstoffzelle grüner Wasserstoff	70 kW	3.500	10	123 t	134 t	1.302 t	280 t €	0,80 Mio. €
BHKW grüner Wasserstoff	1 MW	5.000	10	2.503 t	2.733 t	26.576 t	2.000 t €	16,27 Mio. €
BHKW grüner Wasserstoff	2 MW	5.000	10	5.005 t	5.465 t	53.153 t	4.000 t €	32,53 Mio. €

Tabelle 4 Einsparungen und Kosten der untersuchten KWK-Anlagen

Zur ökonomischen und ökologischen Bewertung sind Annahmen über die Betriebsweise, und insbesondere die Vollbenutzungsstunden (Vbh), zentral. Aufgrund der möglichen Gesamtförderung von 35.000 Vbh wird im Folgenden davon ausgegangen, dass die Systeme für 10 Jahre

mit jährlich 3.500 Vbh eingesetzt werden. Da entsprechend kleine Anlagen hohe KWK-Förderungen erhalten, werden zunächst Systeme mit 30 Kilowatt elektrischer Leistung untersucht. Über die gesamte Laufzeit werden bei der SOFC insgesamt 57 t und bei dem BHKW insgesamt 86 t CO₂ emittiert. Für die gleiche produzierte Strommenge betragen die CO₂-Einsparungen gegenüber einem Erdgas-BHKW 558 t im Falle der SOFC und 529 t bei dem BHKW. Ergänzend bleibt zu erwähnen, dass die Brennstoffzelle in diesem Zeitraum weniger Wärme produziert als die BHKW-Lösungen.

Unter der Annahme konstanter Wirkungsgrade und Vollbenutzungsstunden können die Werte hochskaliert werden. Untersucht werden Systeme mit 1 Megawatt elektrischer Leistung. Es wird erneut angenommen, dass die für 10 Jahre mit jährlich 3.500 Vollbenutzungsstunden eingesetzt werden. Gegenüber dem Erdgas BHKW werden bei der SOFC 18,6 Mio. t und bei dem BHKW 17,6 Mio. t CO₂ eingespart.

Die Kosten des Einsatzes von KWK-Anlagen setzen sich aus zahlreichen Elementen zusammen – regulatorischen Aspekten, den Kosten für den Brennstoff, die Anschaffung, die Wartung etc. Ausführliche Details zur Wirtschaftlichkeit sind dargelegt im Anhang des Abschlussberichts. Da kleine Anlagen bezüglich des KWKG und des EEG im Vorteil sind, werden im Folgenden ausschließlich Anlagen mit 30 kW elektrischer Leistung untersucht.

Die größten Unterschiede gegenüber dem Erdgas-BHKW resultieren aus den Brennstoffkosten. Für die bereits erwähnten Randbedingungen (10 Jahre, 3.500 Vbh) benötigt das SOFC ungefähr 52,5 t und das BHKW ungefähr 78,8 t Wasserstoff. Falls der Wasserstoff sehr vorteilhaft für 6,50 Euro pro Kilogramm bezogen wird, belaufen sich die Brennstoffkosten auf 342 bzw. 512 Tausend Euro. Falls das Erdgas für 6 ct/kWh bezogen wird, sind die analogen Treibstoffkosten 157 Tausend Euro. Ohne Kosten für die Wartung, Anschaffung etc. zu berücksichtigen, sind die Mehrkosten der 30 kW SOFC somit 184 Tausend Euro und die Mehrkosten des BHKW 355 Tausend Euro. Die analogen Mehrkosten für eine SOFC bzw. ein BHKW mit 1 MW sind 6,1 bzw. 11,8 Mio. Euro.

Roadmap

Die Roadmap für die Erzeugung ist dargestellt in Abbildung 10.



Abbildung 10: Roadmap für Handlungsfeld *Wärme*

6 Das Wasserstoff-Wertschöpfungsnetzwerk im Saarland

Die Wasserstoff-Strategie wurde in enger Zusammenarbeit mit den externen Dienstleistern IAV, RLI und C4D sowie zahlreichen Unternehmen und Interessenverbänden erstellt. Sie ist ein Ergebnis des HyExpert-Projekts Saarland und liegt neben dieser Berichtsform als auch Präsentation vor. Für weitere Erläuterungen zu den entsprechenden Annahmen und Herleitungen kann der Projekt-Abschlussbericht hinzugezogen werden.

Den Ausgangspunkt für die Vision bilden die Traditionen und Wurzeln des Saarlands. Zu nennen sind insbesondere die hohe Qualifikation der Beschäftigten sowie der starke Einfluss der Automobil- und Stahlindustrie. Die Vision ist, diese Stärken auch im Bereich Wasserstoff weiter auszubauen, die Transformation und den Erhalt von Arbeitsplätzen sicherzustellen sowie die CO₂-Emissionen deutlich zu senken. Insbesondere durch die enge grenzüberschreitende Zusammenarbeit kann das Saarland eine Vorreiterrolle einnehmen.

Aufbauend auf dieser Vision wurden strategische Ziele für den Zeitraum bis 2030 definiert und anschließend die Handlungsfelder *Erzeugung*, *Infrastruktur* und *Nachfrage* definiert. Für alle Handlungsfelder wurden konkrete Umsetzungsmaßnahmen entwickelt und diese sowohl ökonomisch als auch ökologisch bewertet.

Ein mögliches zukünftiges und aus dieser Strategie resultierendes Wasserstoff-Wertschöpfungsnetzwerk ist dargestellt in Abbildung 11.

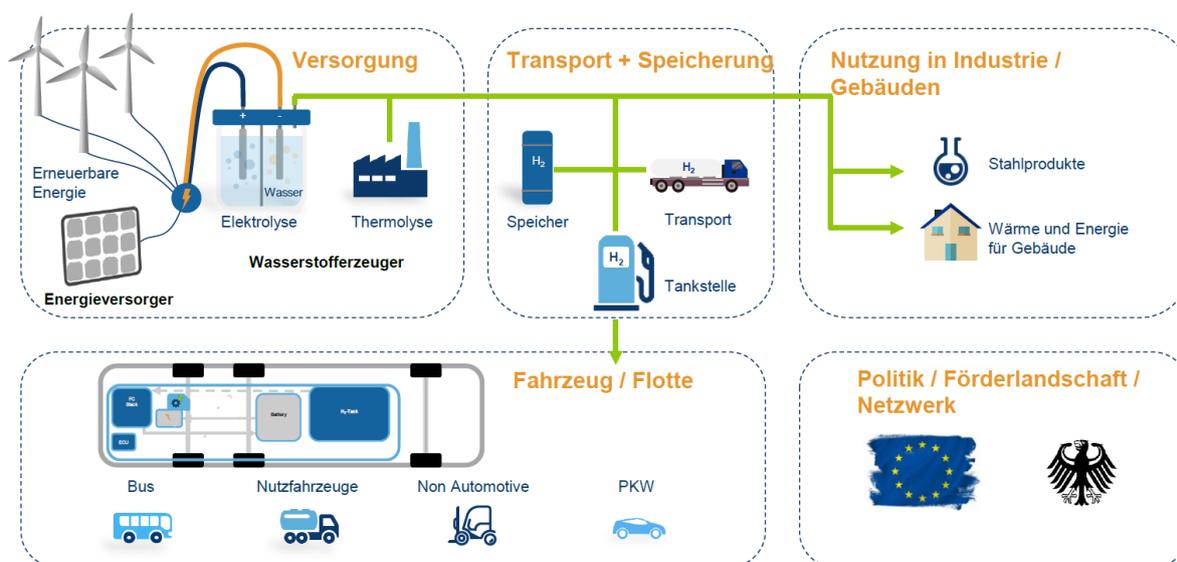


Abbildung 11: Das zukünftige Wasserstoff-Wertschöpfungsnetzwerk im Saarland

Zukünftig wird grüner Wasserstoff sowohl großindustriell am Hydro Hub als auch dezentral in Bedarfsnähe erzeugt. Eingesetzt werden Elektrolyseure, welche mit regenerativem Strom gespeist werden. Neben der Elektrolyse werden auch weitere Erzeugungsverfahren, wie die Wasserstoffgewinnung bei Pyrum, eine Rolle spielen

Die überwiegende Menge des Wasserstoffs wird mittel- und langfristig leitungsgebunden transportiert. Hervorzuheben sind die IPCEI-Projekte, welche u.A. die Grundlage für die Dekarbonisierung der Stahlindustrie sowie für die Anbindung an das europäische Leitungsnetz darstellen. Kurzfristig werden geringe Bedarfe durch Wasserstoff-Trailer beliefert. Das Tankstellennetz wird weiterhin kontinuierlich ausgebaut. Zeitnah sind Tankstellen in Homburg sowie auf dem

Betriebshof der Saarbahn geplant. Weitere potentielle Standorte könnten in der Grenznähe zu Luxemburg gebaut werden.

Die Tankstellen werden kurz- und mittelfristig überwiegend zur Versorgung des ÖPNV und von LKWs eingesetzt. Die Umstellung wird stark durch regulatorische Vorgaben wie die Clean Vehicles Directive und der CO₂-Flottenregulierung getrieben. Bis zum Jahr 2025 werden signifikante Anteil der Fuhrparks mit Wasserstoff angetrieben, die Anzahl am Markt verfügbarer Fahrzeuge wird stark zunehmen.

Wasserstoff wird zu signifikanten Verringerungen der CO₂-Emissionen in der Stahlindustrie führen. Auch die Transformation der weiteren Industrie wird weiter voranschreiten. Um diese erfolgreich zu gestalten, wird die Verzahnung zwischen Forschung und Industrie für Wasserstofftechnologien weiter ausgebaut und intensiviert.

Im Bereich der Wärmeanwendungen wird Wasserstoff mittel- und langfristig eine relevante Rolle in Form von KWK-Anlagen spielen. Aufgrund regulatorischer Aspekte werden zunächst Anlagen in moderaten Leistungsklassen eingesetzt.

Eine besondere Chance bietet sich durch den bereits jetzt engen überregionalen Austausch. Die Zusammenarbeit wird konkretisiert durch gemeinsame europäische Förderprojekte mit Leuchtturmcharakter. Um die genannten Schritte erfolgreich zu bewältigen, wird ab Ende 2022 eine Förderung als HyPerformer-Region angestrebt.