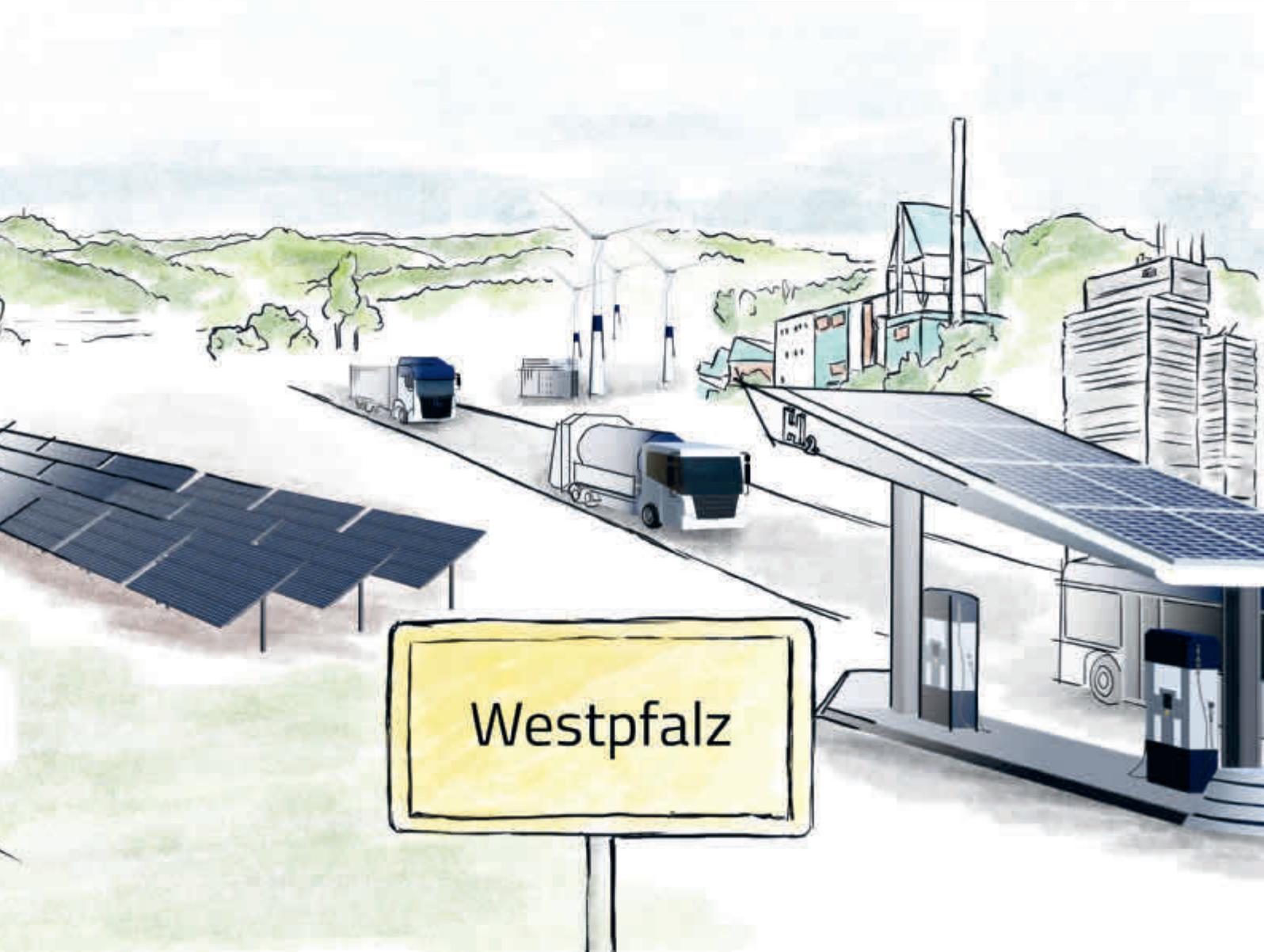


H₂

ERGEBNISBERICHT 2023
**HYSTARTER-REGION
WESTPFALZ**



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

Koordiniert durch:



NOW - GMBH. DE

Projekträger:



Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

Vorwort	3
Zusammenfassung	4
Die HyStarter-Region Westpfalz	5
Akteursnetzwerk der Region Westpfalz	7
H₂-Potenziale der Region Westpfalz	8
Vision 2030	12
Handlungsfelder und Umsetzungsstrategien	14
Übersicht.....	14
Elektrolytische Wasserstoff-Erzeugung aus Solar- & Windenergie.....	16
Wasserstoff-Erzeugung aus biogenen Reststoffen.....	18
Wasserstofftransport.....	20
Aufbau einer H ₂ -Tankstelleninfrastruktur.....	22
Einsatz von Wasserstoff in der Logistik.....	24
Einsatz von Wasserstoff im ÖPNV.....	26
Einsatz von Wasserstoff im SPNV.....	28
Einsatz von Wasserstoff in der Industrie.....	29
Leuchtturmprojekte der Region Westpfalz	30
Regionales Technologiekonzept	36
Anhang	38
Abkürzungsverzeichnis	39

IMPRESSUM

Herausgeber



**ZukunftsRegion
Westpfalz e.V.**

ZukunftsRegion Westpfalz e. V.
Bahnhofstraße 26-28,
67655 Kaiserslautern

Projektleitung

ZukunftsRegion Westpfalz e. V.
Dr. Hans-Günther Clev (hg.clev@zukunftsregion-westpfalz.de)
Dr. Michael Walk (m.walk@zukunftsregion-westpfalz.de)

Verantwortlich für den Inhalt

Justus Beste und Frederik Budschun
(EE ENERGY ENGINEERS GmbH)
Unter Mitarbeit von:
Dr. Frank Koch (EE ENERGY ENGINEERS GmbH)
Nadine Hölzinger (Spilett n/t GmbH)

Gestaltung, Layout, Satz und Illustrationen

Peppermint Werbung Berlin GmbH
Milastr. 2 | 10437 Berlin
www.peppermint.de

Druck

WOESTE DRUCK + VERLAG GmbH & Co KG
Im Teelbruch 108 | 45219 Essen-Kettwig
E-Mail: service@woeste.de | www.woeste.de

Erscheinungsjahr

2023

Die Strategiedialoge zu HyStarter wurden im Rahmen des HyLand-Programms durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) beauftragt und durch die NOW GmbH koordiniert.



Gefördert durch:



Koordiniert durch:



Projekträger:



© ZRW e. V.



Dass sich die Westpfalz als HyStarter-Region beim HyLand-Wettbewerb des Bundes beworben hat, ist angesichts des weitgediehenen und

weiter wachsenden Ausbaus von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien einerseits, des Bedarfs von energieintensiven Betrieben an stets verfügbarer „grüner“ Energie und des öffentlichen Verkehrssektors in einer überwiegend ländlich geprägten Region andererseits, naheliegend.

Erfreulich ist nicht nur, dass die Bewerbung – koordiniert über die ZukunftsRegion Westpfalz – erfolgreich war, sondern auch der gesamte Verlauf der Arbeiten an einem schlüssigen Konzept für die Produktion, den Transport und die Nutzung von Wasserstoff in unserer Region. Im Laufe der sechs Fachdialoge haben sich immer mehr Akteure für unsere Initiative interessiert und sich ihr angeschlossen, auch die öffentliche Resonanz war positiv. Mehrere namhafte Player haben sich mit ihren teils weitgediehenen Einzelprojekten eingebracht und somit den Gesamtansatz gestärkt und zu einem Bündel sich wechselseitig ergänzender, konkreter Maßnahmen gemacht.

Dies ist eine ausgezeichnete Basis. Nicht nur für die nächsten Schritte, sondern auch, um die bereits entwickelten Kooperationen mit unseren Nachbarregionen weiter zu vertiefen und uns in ein starkes Netzwerk einzubringen. Für sie sind wir nicht nur interessant, um z. B. Lücken im Versorgungsnetzwerk mit Elektrolyseuren und Tankstellen zu schließen, sondern weil hier schon heute zu bestimmten Zeiten mehr grüner Strom produziert wird

als genutzt und weitergeleitet werden kann. Zudem sind das große Potenzial im Bereich Biomasse und die Lage am künftigen Europäischen Backbone der geplanten Wasserstoffpipelines hoch attraktiv.

Bis es soweit ist, sind in unserer Region dezentrale Lösungen das Mittel der Wahl, sie umgehen das Problem der begrenzten Kapazität der Stromnetze und passen gut zu den drei Schlüsselprojekten in der Westpfalz.

Ich bin daher zuversichtlich, dass wir weiter an einem Strang ziehen, uns als HyExpert-Region bewerben und auch sonstige Formen der Kooperation und Möglichkeiten der Förderung nutzen werden, um eine selbsttragende Wasserstoffwirtschaft aufzubauen. Dies stärkt die Versorgungssicherheit in unserer Region, hilft Menschen und Unternehmen angesichts der multiplen globalen Herausforderungen, mit denen wir konfrontiert sind.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei den Partnern bedanken, die uns mit Rat und Tat auf diesem Weg durch die HyStarter-Phase mit großer Kompetenz und Empathie begleitet und den bundesweiten Austausch ermöglicht haben, der EE ENERGY ENGINEERS GmbH, der NOW GmbH und der Spilett n/t GmbH.

Kai Landes
Vorstandsvorsitzender
ZukunftsRegion Westpfalz



Im November 2021 fand das Auftaktgespräch zum HyStarter-Projekt in der Westpfalz zwischen der ZukunftsRegion Westpfalz e. V. und dem Projektteam der EE ENERGY ENGINEERS GmbH statt. Seitdem trafen sich motivierte Akteure aus der Region und haben bei insgesamt sechs Strategiedialogen über die Vorteile von Wasserstoff, die regionalen Erzeugungspotenziale, mögliche Einsatzfelder, notwendige Infrastrukturen aber auch zukünftige Herausforderungen diskutiert, um gemeinsam eine Vision für die regionale Wasserstoffwirtschaft zu entwickeln. Die Strategiedialoge wurden bei verschiedenen Gastgebern durchgeführt, in deren Zuge auch Betriebsbesichtigungen mit Wasserstoffbezug stattgefunden haben.

Dieser Bericht präsentiert die wichtigsten Themen und Ergebnisse des HyStarter-Projekts, welches neben der Förderung von Klima- und Umweltschutz auch die Sicherung des Wirtschafts- und Innovationsstandortes sowie die Etablierung neuer Wertschöpfungsketten zum Ziel hatte. Die HyStarter-Akteure streben an, den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft auf ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltige Weise umzusetzen. Dabei werden

der Nutzen und Einsatz von Wasserstoff stets im Vergleich zu anderen nachhaltigen Alternativen hinsichtlich Effizienz geprüft. Die gemeinsam entwickelte Vision einer Wasserstoffwirtschaft wurde in verschiedenen Szenarien präsentiert und umfasst ein H₂-Erzeugungssystem, das auf regionalen Ressourcen und Potenzialen basiert.

Zu den Akteuren zählen drei Organisationen, die bereits vor Beginn des HyStarter-Projektes vielversprechende Ideen erarbeitet hatten, welche sich zu den Leuchtturmprojekten der Region entwickelt haben und ebenfalls in diesem Bericht vorgestellt werden. Die Projekte bildeten eine hervorragende Ausgangslage für die Erarbeitung weiterer Handlungsansätze und Vernetzungen mit anderen Akteuren. So entwickelte sich bspw. die Partnerschaft zwischen dem Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e. V. (PFI) und einem Lebensmittelhandel. Im Laufe des Prozesses wurde außerdem ein enormes Potenzial für biogene Wasserstofferzeugungsverfahren aus Grünschnitt und biogenen Reststoffen identifiziert. Die Region verfolgt das Thema intensiv weiter und hat bereits Gespräche mit Anlagenherstellern geführt.



Die Wasserstoff-Region Westpfalz setzt sich aus den drei kreisfreien Städten Kaiserslautern, Pirmasens und Zweibrücken sowie den vier Landkreisen Kusel, Kaiserslautern, Südwestpfalz und Donnersbergkreis zusammen. Die überwiegend ländlich geprägte Region wird teilweise vom Pfälzerwald bedeckt. Der wichtigste Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort der Westpfalz ist die Stadt Kaiserslautern.

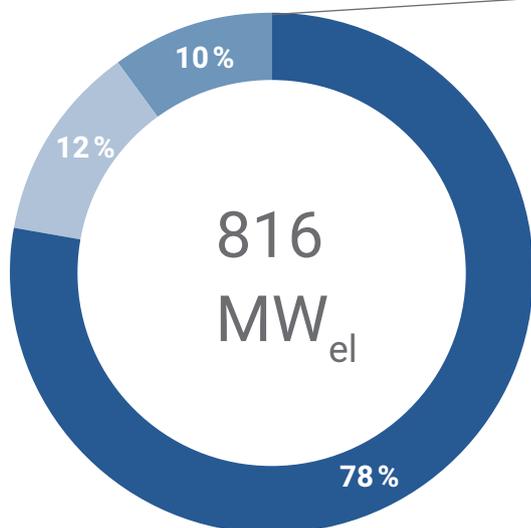
Die in den vergangenen Jahrzehnten von einem tiefgreifenden Strukturwandel betroffene Region ist heute von mittelständischen Unternehmen aus den Bereichen IT/ Softwareentwicklung, Metallverarbeitung, Maschinenbau sowie der Kleb- und Kunststoffbranche geprägt. Viele dieser Unternehmen sind Zulieferbetriebe der im Umbruch befindlichen Fahrzeugindustrie. Der Stellantis-Konzern errichtet zusammen mit anderen Partnern unter dem Dach der Automotive Cells Company (ACC) in den nächsten Jahren in Kaiserslautern eine der größten Batteriefabriken

Deutschlands und setzt damit ein Zeichen für die elektromobile Zukunft der Westpfalz. Auch das hier ansässige, weit über die Region herausragende „Nutzfahrzeugcluster Südwest“ setzt wichtige technologische Impulse. Durch die Nähe zum European Hydrogen Backbone ist die Westpfalz für den Im- und Export von Wasserstoff sehr gut gelegen. Ebenfalls schneiden sich in der Ortschaft Mittelbrunn zwei Hauptstrecken des europäischen Erdgaspipelinennetzes: die Nord-Süd-Strecke „Rotterdam-Norditalien“ (TENP) und die Ost-West-Verbindung „Russland-Frankreich“ (MEGAL), welche auf den Wasserstoffbetrieb umgebaut werden könnten (vgl. Abbildung 1). Darüber hinaus zeichnet sich die Region bereits heute durch einen hohen Anteil an erneuerbaren Energieträgern mit einer kumulierten installierten Leistung von 816 MW_p aus. Weitere Anlagen sind in der Planung und Genehmigung, sodass das Potenzial bis 2030 auf 1.090 MW_p prognostiziert wird (Abbildung 2).



Abbildung 1: Die HyStarter-Region Westpfalz im Überblick | © ZRW e. V. / EE ENERGY ENGINEERS GmbH

Erneuerbare Energien der Westpfalz – Heute



Erneuerbare Energien der Westpfalz – 2030

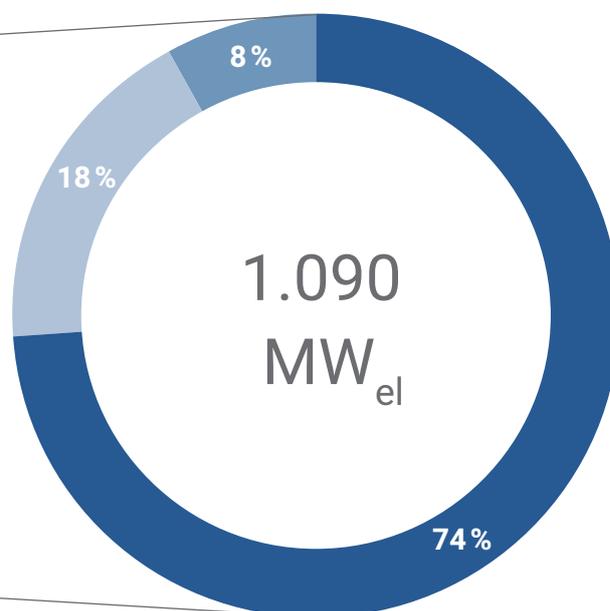


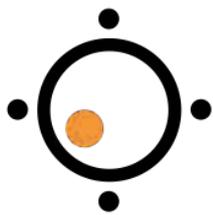
Abbildung 2: Installierte Leistung an erneuerbaren Energieträgern in der Westpfalz und Potenziale bis 2030 | © BMDV / EE ENERGY ENGINEERS GmbH

Mit dem im Jahr 2012 gegründeten Verein Zukunfts-Region Westpfalz e. V. (ZRW) verfügt die Region über eine etablierte und landes- wie bundesweit vernetzte regionale Netzwerkinstitution, welche die Entwicklung der Westpfalz in Richtung einer aktiven Wasserstoffregion begleitet. Die mit dem Ziel der Stärkung des Wirtschaftsstandorts Westpfalz gegründete Regionalinitiative erfreut sich einer breiten Unterstützung innerhalb der Region mit über 400 Mitgliedern aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Zivilgesellschaft. Durch ihre exzellente Vernetzung mit der mittelständischen Wirtschaft auf der einen Seite und Forschungseinrichtungen, Wirtschaftsförderungen, Kammern und Verbänden auf der anderen Seite, sammelt sie die wichtigsten regionalen Akteure hinter wesentlichen Zukunftsthemen. In diesem Zusammenhang verfolgt die ZRW die Entwicklungen im Bereich der Wasserstofftechnologie bereits seit einigen Jahren. Dabei steht sie im regelmäßigen Austausch mit einzelnen Akteuren inner-

halb der Westpfalz und den Partnerorganisationen in der Metropolregion Rhein-Neckar, dem ZMRN e. V. und der MRN GmbH. Letztere werden als „HyPerformer-Region“ seit dem Jahr 2019 durch das BMDV gefördert und sind damit eine der Vorreiterregionen innerhalb Europas. Die bestehende Tradition des nachbarschaftlichen Erfahrungsaustauschs trägt dazu bei, die Durchsetzung der Wasserstofftechnologie auch in der Westpfalz zu unterstützen. Hierfür bedurfte es allerdings der Entwicklung eines themenbezogenen Akteursnetzwerks in der Region, welche die ZRW im Rahmen von HyStarter II weiter vorantreiben konnte. Im Folgenden werden die Hauptakteure des Netzwerks vorgestellt. Ein erfolgreiches Netzwerk zeichnet sich idealerweise durch einen Zusammenschluss vieler unterschiedlicher Akteure aus, die kollaborativ zusammenarbeiten und so einen Mehrwert für die Region Westpfalz schaffen. Eine vollständige Auflistung aller beteiligten Akteure ist im Folgenden aufgeführt:

- Heinz2-0 Stiftung
- Landesforsten Rheinland-Pfalz
- Pfalzwerke AG
- Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V.¹
- Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau¹
- Schuster und Sohn KG
- Stadtbildpflege Kaiserslautern
- Stadtverwaltung Kaiserslautern
- Stadtwerke Kaiserslautern
- Wasserstoff-Initiative Blue Corridor
- WIPOTEC GmbH
- WVE GmbH Kaiserslautern¹
- Zentrale Abfallwirtschaft Kaiserslautern¹
- ZukunftsRegion Westpfalz e.V.

¹ Gastgeber eines Strategiedialoges



**ZukunftsRegion
Westpfalz e.V.**

ZAK

Sicher. Ökologisch. Effizient.
ABFALLWIRTSCHAFT KAISERSLAUTERN AÖR



PFALZWERKE
Pfalzwerke Gruppe



H₂-POTENZIALE DER REGION WESTPFALZ

8

Szenarienmodellierung

Begleitend zu den Strategiedialogen in HyStarter wurden unterschiedliche Methoden und Tools genutzt, um Diskussionen anzuregen und die Entscheidungsfindung zu unterstützen. Eines dieser Tools war der Online-Szenarienrechner „H2Scout“, mit dem die Akteure vor Ort alternative Szenarien einer regionalen Wasserstoffwirtschaft konfigurieren, berechnen und miteinander vergleichen können. Mithilfe eines Optimierungsalgorithmus identifiziert der „H2Scout“ unter den gegebenen Rahmenbedingungen und Annahmen das kostenoptimale Infrastruktursystem zur Bereitstellung einer definierten Nachfragemenge nach Wasserstoff aus unterschiedlichen Sektoren. Dabei muss in jeder Stunde des Jahres die Nachfrage gedeckt sein, entweder aus eigener Produktion, aus vorhandenen Speichern oder durch Import von Wasserstoff (sofern zugelassen).

Der Szenarienrechner greift bei der Optimierung auf drei Datenquellen zurück:

- einen techno-ökonomischen Datensatz mit Leistungs- und anderen Kenngrößen der eingesetzten Technologien sowie Angaben zu Kosten und zu Wertschöpfungspotenzialen, der vom System für das Jahr 2030 vorgegeben ist;
- einen Datensatz zur regionalen Energiewirtschaft (Angebots- und Nachfrageseite), der mit Unterstützung der EE ENERGY ENGINEERS durch die regionalen Akteure für das Jahr 2030 abgeschätzt wurde;
- einen Datensatz zu den gewünschten oder erwarteten politisch-gesellschaftlichen Rahmenbedingungen im Jahr 2030, der durch die regionalen Akteure im Rahmen der HyStarter-Strategiedialoge definiert wurde.

Die alternativen Szenarien stellen mögliche Zielsysteme für eine regionale Wasserstoffwirtschaft dar, in dem Wissen, dass es sich um eine vereinfachte Betrachtungsweise der hochkomplexen und -dynamischen Energiewirtschaft handelt.

Basisszenario (Trend 2030)

Quellen für verwendete Parameter und Zeitreihen

- **Bestandsanlagen und Ausbaupotenziale für erneuerbare Energien im Jahr 2030:** Die Angaben zu den Bestandsanlagen umfassen die Landkreise Donnersbergkreis, Kaiserslautern, Kusel, die Südwestpfalz sowie die Städte Kaiserslautern, Pirmasens und Zweibrücken. Die Ausbaupotenziale für Wind und PV-Anlagen wurden anhand des Potenzialrechners erneuerbare Energien für die Region Westpfalz ermittelt (<https://www.pg-westpfalz.de/wp-content/uploads/2021/08/wpinfo132.pdf>).
- **Erzeugungszitreihen erneuerbare Energien im Jahr 2030:** Vereinfachend wurden hier die aktuellen Wind- und Solarprofile der Region nach renewables.ninja für das Jahr 2030 für Neuanlagen unverändert angewandt. EEG-Anlagen (Wind) wurden altersbedingt auf 85,1 % Effizienz skaliert, Post-EEG-Anlagen (Wind) auf 69,6%. Für PV-Anlagen gilt analog eine skalierte Effizienz von 95,1% und 89,3%.
- **Gesamtnachfrage Wärme:** Die Daten wurden durch die EE ENERGY ENGINEERS für die Regionen entsprechend folgender Quelle ermittelt: <https://www.hotmaps.eu/map>
- **Gesamtnachfrage Verkehr:** Die Daten wurden durch die EE ENERGY ENGINEERS für die Regionen entsprechend der gemeldeten Fahrzeuge beim KBA für die genannten Kreise berechnet. Dabei wurden Energieverbräuche aus der Studie „integrierte Energiewende“ der dena berücksichtigt. Die Fahrleistungen entsprechen einer Erhebung der BAST.
- **Sektorale Nachfrage Verkehr und Wärme:** Die Aufteilung der sektoralen Nachfrage basiert auf Berechnungen der EE ENERGY ENGINEERS unter Verwendung der Fahrzeugzahlen des KBA, der spezifischen Energieverbräuche der dena (Integrierte Energiewende) sowie der Fahrleistungen des BAST.
- **Nachfragezeitreihen Wärme und Verkehr:** Da diese Daten nicht aufgeschlüsselt für die Region vorlagen, wurden vereinfachend die Zeitreihen des Projekts JERICH0-E-usage (jericho-energy.de) angewendet.
- **Verfügbare Reststoffmengen:** Vereinfachend wurde hier auf Statistiken zu den Abfallaufkommen Deutschlands zurückgegriffen, die anschließend mit einem Pro-Kopf-Schlüssel auf die Region heruntergebrochen wurde. Verwendete Statistiken sind: NABU 2019, Circular Economy Initiative 2021(Kunststoffabfälle) / UBA 2018 (Altreifen) / UBA 2018, Destatis 2019 (Klärschlämme). Die verfügbaren Biogasmengen wurden durch die regionalen Akteure definiert.
- **Gesamtnachfrage und sektorale Nachfrage Industrie:** Die Angaben umfassen die Wärmebedarfe und die Wasserstoffnachfrage der im HyStarter-Kernteam vertretenen Akteure und wurden von diesen definiert. Es wurde eine konstante Zeitreihe angenommen.

Annahmen zur regionalen H₂-Nachfrage (inkl. Nachfragezeitreihen)

	Energienachfrage	Deckungsanteil H ₂	H ₂ -Nachfrage	Mehrzahlungsbereitschaft
Verkehrssektor	3.017 GWh/Jahr	Pkw und Kleintransporter (je 5%) LKW und Busse im ÖPNV (je 20%) Absammelfahrzeuge (50%)	5.236 t/Jahr	Keine Mehrzahlungsbereitschaft (Dieselpreis: 1,80 €/l ohne CO ₂ -Preis)
Wärmesektor	4.371 GWh/Jahr	Wohngebäude (5%) Bürogebäude (5%) Prozesswärme (100%)	7.187 t/Jahr	Keine Mehrzahlungsbereitschaft (Erdgaspreis: 80 €/MWh ohne CO ₂ -Preis)
Industrielle Nutzung von H₂ (H₂-Backbone)		100 %	10.650 t/Jahr	Zahlungsbereitschaft (4,00 €/kg H ₂ -Backbone, ansonsten 2,00 €/kg)

Annahmen zur Energie- und H₂-Bereitstellung

Verfügbare EE-Kapazitäten	Weitere regionale Ressourcen	H ₂ -Produktionspfade
 Bestand (2030): 621 MW Ausbaupotenzial: 1.646 MW	 Klärschlämme: 17.100 t/a Kunststoffabfälle (PE/PP): 31.205 t/a Altreifen: 3.869 t/a	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Wasserelektrolyse ✓ Reststoffthermolyse ✓ Methanplasmalyse ✓ Dampfgasreformierung
 Bestand (2030): 364 MW Ausbaupotenzial: 496 GW	 Wasser: unbegrenzt verfügbar	

Weitere Annahmen

H₂-Importe: bis 26,35 t/h, limitiert bei 20 % der H₂-Nachfrage • Strom- oder Erdgasimporte: < 50 MW (Strom), < 200 MW (Erdgas) • Transport- und Handlingkosten H₂: 0,36 €/kg H₂ (Pipeline) | 2,30 €/kg (Trailer, H₂-Tankstelle) • Stromexportkapazitäten: < 200 MW • CO₂-Preis: 100 €/t CO₂

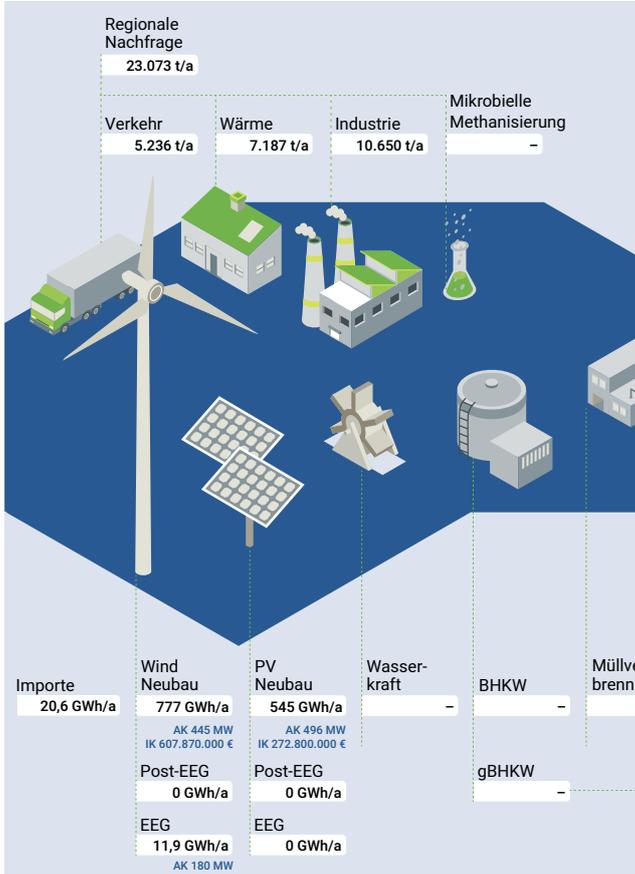
Alternativszenarien (Trend 2030)

Vom Basisszenario abweichende Annahmen

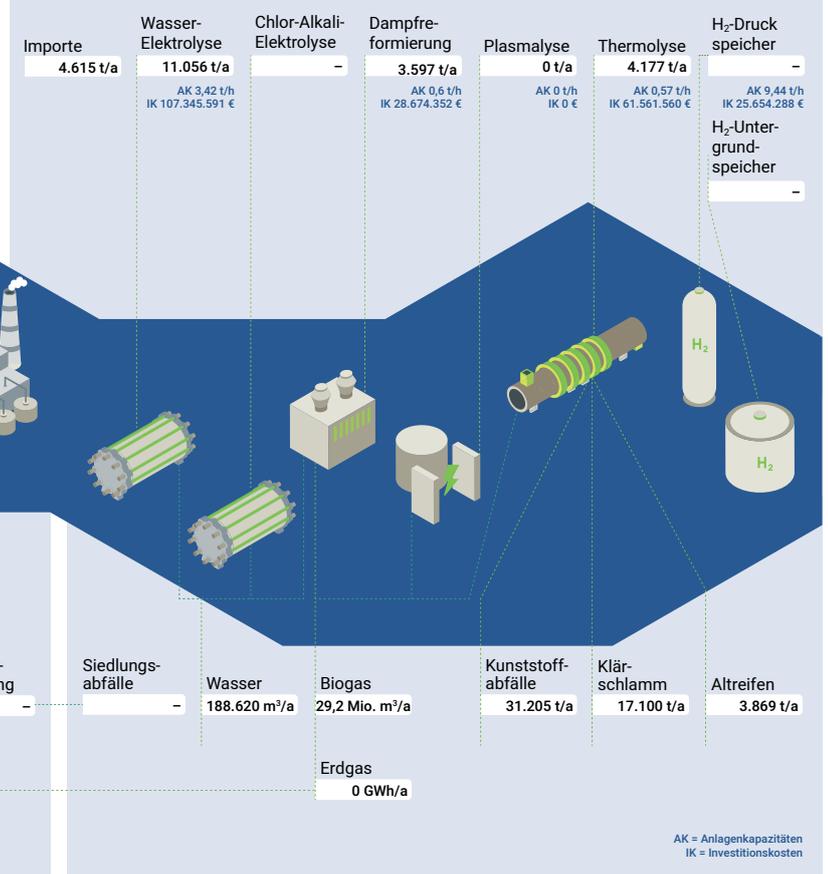
Szenario „Autarkie“	Szenario „nur Plasmalyse“	Szenario „ohne H ₂ -Exporte“	Szenario „ohne Klärschlamm“
In Abweichung zum Basisszenario sind Energieimporte in diesem Alternativszenario untersagt. Die Wasserstofferzeugung erfolgt zu 100 % aus regional verfügbaren Ressourcen.	In Abweichung zum Basisszenario ist in diesem Alternativszenario die Plasmalyse als ausschließlicher H ₂ -Produktionspfad zugelassen. Es wird angenommen, dass das entstehende Carbon-fix zu einem durchschnittlichen Preis von 250 €/t vertrieben werden kann.	In Abweichung zum Basisszenario erfolgt die Wasserstoffproduktion in diesem Alternativszenario ausschließlich zur Eigenbedarfsdeckung. H ₂ -Exporte via Backbone, Gasnetzeinspeisung o. ä. sind ausgeschlossen.	In Abweichung zum Basisszenario ist in diesem Alternativszenario die thermolytische Erzeugung von Wasserstoff aus Klärschlamm aufgrund bestehender Entsorgungsverträge nach Mainz ausgeschlossen.

Jahresbilanzen des Basisszenarios Investitionskosten gesamt: 1.103.905.791 €

Regionale Wasserstoffnutzung



Wasserstoffproduktion und -herkunft



Energieeinsatz (elektrisch)

Ressourceneinsatz

Energieexporte und Nebenprodukte

Strom	Wärme	O ₂	H ₂ (Exporte)	H ₂ (Gasnetz)	CH _{4, bio}	CO ₂	C _{fix}
751 GWh/a	105 GWh/a	0 t/a	266 t/a	-	-	62.594 t/a	0 t/a

Spezifischer Emissionsfaktor H ₂	Regionale H ₂ -Produktion
1,94 kg CO ₂ / kg H ₂	18.830 t/a

Abbildung 3: © H2Scout.eu/Spilett

(1) Netzstrombezug wird als Stromimporte gewertet, auch wenn der Strom bilanziell aus regionalen EE-Anlagen stammen könnte. (2) Abweichungen in der Zahlungsbereitschaft entstehen aufgrund unterschiedlicher Märkte bzw. abweichenden Mengen exportiertem "Überschusswasserstoffs". (3) Gewinne enthalten keine möglichen Einnahmen durch Verkauf von CO₂-Zertifikaten. (4) Negative Vermeidungskosten entstehen, wenn Wasserstoff günstiger bereitgestellt werden kann als die über die Sektoren gemittelte Zahlungsbereitschaft abzüglich der CO₂-Kosten für die Bereitstellung des Wasserstoffs.

Basis- und Alternativszenarien im Vergleich Ergebnisse

Szenarien	H ₂ -Nachfrage	Autarkiegrad ¹	H ₂ -Bereitstellungskosten	Zahlungsbereitschaft H ₂ ²	Gewinn vor Steuern ³
Basisszenario	23.073 t/a	78,6 %	4,39 €/kg	5,24 €/kg	19,72 Mio €/a
Nur Plasmalyse	23.073 t/a	79,8 %	5,57 €/kg	5,26 €/kg	-7,10 Mio €/a
Ohne Klärschlamm	23.073 t/a	78,5 %	4,43 €/kg	5,24 €/kg	18,34 Mio €/a
100 % Autarkie	23.073 t/a	100 %	4,82 €/kg	5,24 €/kg	9,96 Mio €/a
ohne H ₂ -Exporte	13.073 t/a	79,2 %	3,80 €/kg	5,48 €/kg	21,79 Mio €/a

Zusammensetzung der regionalen H₂-Gestehungskosten Summe: 5,18 €/kg

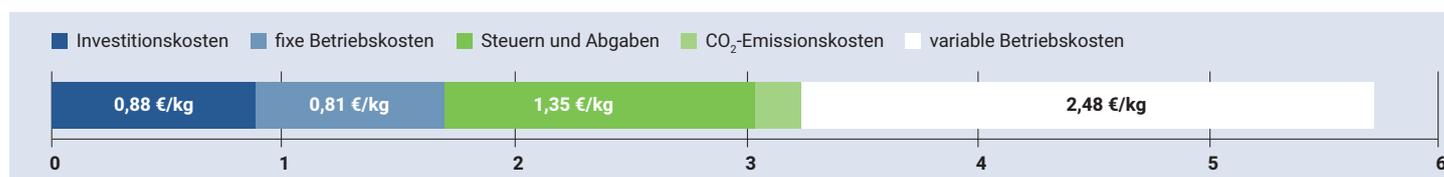


Abbildung 4: © H2Scout.eu/Spilett

Zusammensetzung der Umsätze Summe: 214.450.280 €/a

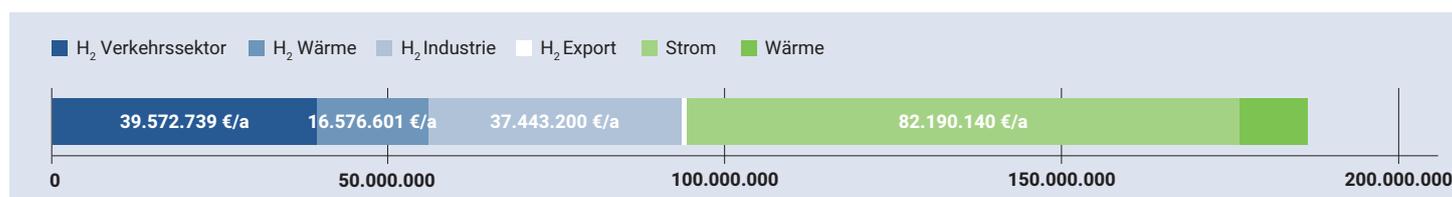


Abbildung 5: © H2Scout.eu/Spilett

Leistungskennzahlen des Basisszenarios (KPI)

23.073 t/a H ₂ -Nachfrage ergibt sich aus den definierten H ₂ -Bedarfen der Region	4,39 €/kg H ₂ -Bereitstellungskosten Break-Even-Preis, der im Mittel vom Kunden gezahlt werden muss, um einen Gewinn zu erzielen	19.718.833 €/a Gewinn vor Steuern Maximaler Gewinn vor Steuern im Fall, dass die durchschnittliche Zahlungsbereitschaft als Preis realisiert wird	232.551 t/a Vermiedene CO ₂ -Emissionen Vermiedene Gesamtemissionen zuzüglich der bei der Wasserstoffproduktion entstehenden CO ₂ -Emissionen	48.683.345 €/a Vermiedene externe Kosten Vermiedene gesellschaftliche Kosten des Klimawandels und der Stickoxidemissionen des Verkehrssektors
78,6% Autarkiegrad Regionaler Anteil der zur Wasserstoffproduktion verwendeten Primärenergie	5,24 €/kg Zahlungsbereitschaft H ₂ Durchschnittliche Zahlungsbereitschaft über alle Nachfragesektoren	3% Kapitalrendite bei einer angenommenen Systemlaufzeit von 20 Jahren	33,21 €/t CO ₂ -Vermeidungskosten Die CO ₂ -Vermeidungskosten enthalten als Differenz zwischen Bereitstellungskosten und Zahlungsbereitschaft den definierten CO ₂ -Preis.	51.373.833 €/a Direkte regionale Wertschöpfung Anteil der in der Region verbleibenden Wertschöpfung aus dem Betrieb der Anlagen (Näherungswert aufgrund unvollständiger Datenbasis)

Fazit

In vier der fünf berechneten Szenarien lässt sich für die Wasserstoffregion Westpfalz unter den getroffenen Annahmen und Rahmenbedingungen auch ohne Förderung oder Nebeneinnahmen aus dem Vertrieb von CO₂-Zertifikaten eine Wirtschaftlichkeit darstellen. Selbst das Szenario „100% Autarkie“ ist für den definierten Deckungsbeitrag von Wasserstoff für die einzelnen Energiesektoren technisch realisierbar und wirtschaftlich sinnvoll. Einzig das Szenario „nur Plasmalyse“ weist unternehmerische Verluste auf, ist aber gleichzeitig das Szenario mit den höchsten CO₂-Einsparpotenzialen und somit auch dem höchsten gesellschaftlichen Nutzen.

	Kapitalrendite	Vermiedene CO ₂ -Emissionen	CO ₂ -Vermeidungskosten ⁴	Vermiedene externe Kosten	Direkte regionale Wertschöpfung
Basisszenario	3%	232.551 t/a	33,21 €/t	48,68 Mio €/a	51,37 Mio €/a
Nur Plasmalyse	-1,9%	472.642 t/a	73,69 €/t	97,90 Mio €/a	19,21 Mio €/a
Ohne Klärschlamm	2,8%	235.458 t/a	36,89 €/t	49,28 Mio €/a	50,26 Mio €/a
100% Autarkie	1,5%	242.142 t/a	72,32 €/t	50,65 Mio €/a	42,48 Mio €/a
ohne H ₂ -Exporte	4,5%	113.172 t/a	-66,33 €/t	24,21 Mio €/a	45,53 Mio €/a

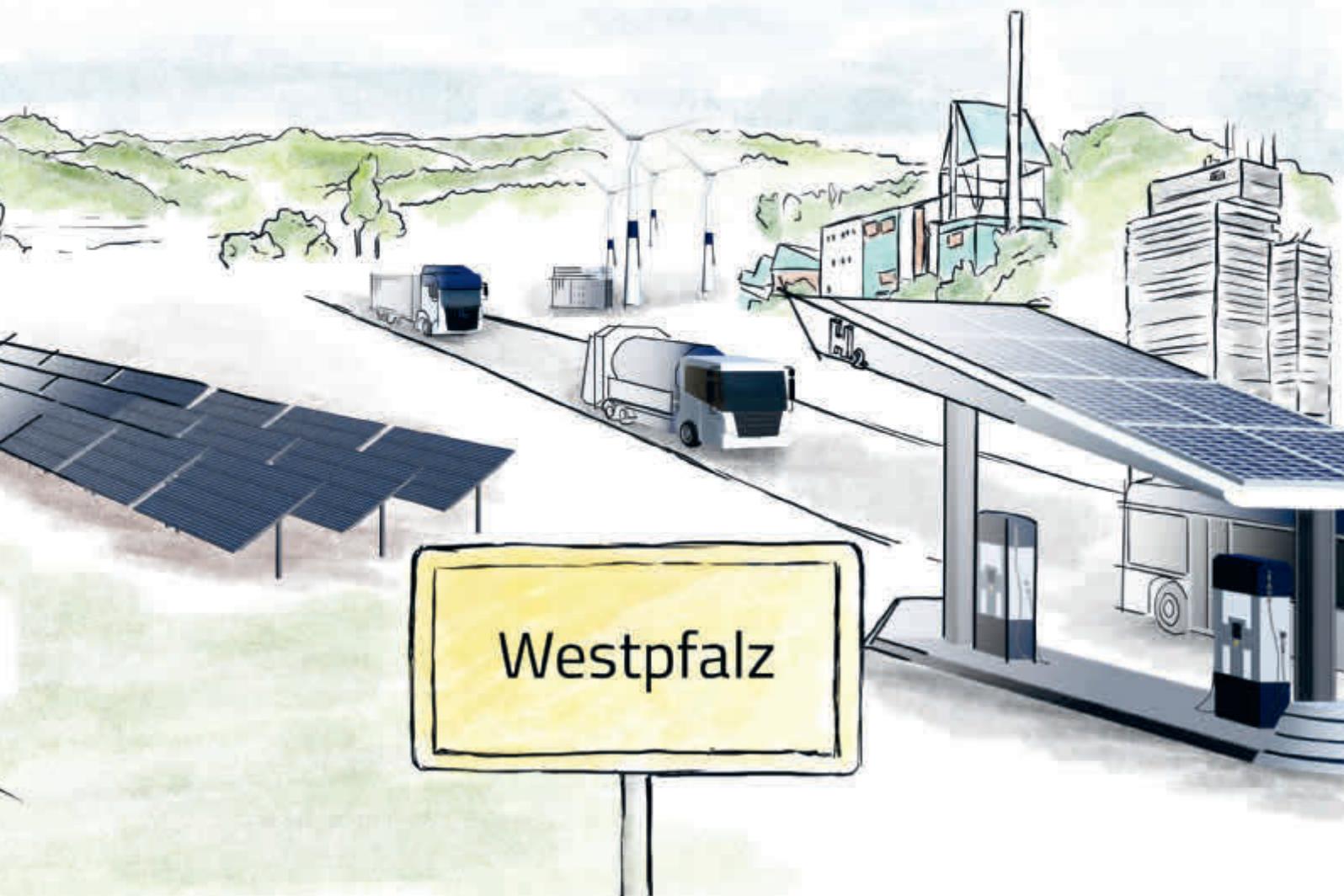


Abbildung 6: Die Vision 2030 – Optionen der Wasserstoffproduktion und der Wasserstoffanwendungen in der Region Westpfalz

Die Region Westpfalz hat eine klare Vision für den Aufbau einer regionalen und vernetzten Wasserstoffwirtschaft bis zum Jahr 2030. Die ländliche Struktur der Westpfalz mit zunehmenden Überschüssen aus erneuerbaren Energien spricht für kombinierte Lösungen aus Erzeugung und Mobilitätsanwendungen mit ausgewählten industriellen Partnern. Bereits heute übersteigt der Ausbau an erneuerbaren Energien, insb. der Windkraft, die formulierten Prognosen. Wasserstoff kann insb. bei der Speicherung der saisonal stark schwankenden Erzeugung erneuerbarer Energien helfen. Darüber hinaus besteht ein großes Potenzial und somit ein alternativer Erzeugungspfad zur Herstellung

von Wasserstoff aus biogenen Reststoffen, wie u. a. Klärschlamm, Gülle und Grünschnitt. Als Verfahren sollen hierfür die Hydrolyse sowie die Methanisierung zum Einsatz kommen. Letzteres wird bereits vom PFI angewendet.

Die gegebenen regionalen Stärken in den Bereichen Nutzfahrzeugtechnik und Informatik, aber auch das Vorhandensein energieintensiver Betriebe und Forschungsinstitute bilden die Basis für eine regionale Wasserstoffwirtschaft. Drei Leuchtturmprojekte stechen dabei in der Region besonders hervor. Als überwiegend ländlich geprägte Region steht die Westpfalz vor der Herausfor-



derung, im Mobilitätssektor umweltfreundliche Lösungen zu entwickeln. Wasserstoffantriebe sind dabei für eine Vielzahl von Anwendungen der batterieelektrischen Alternative nutzerfreundlicher und werden deswegen im ÖPNV, Schwerlastverkehr und im kommunalen Fuhrpark geplant. Hierfür ist die Errichtung der entsprechenden und derzeit noch benötigten Betankungsinfrastruktur ebenfalls ein essenzieller Bestandteil der Vision.

Energieintensive industrielle Prozesse gehören zu den Hauptverbrauchern von Erdgas in der Region. Langfristig wird es erforderlich sein, diese durch Umstellung auf nachhaltige Brennstoffe zu dekarbonisieren. Wasserstoff

kann hierfür aufgrund seiner Eigenschaften als alternativer Brennstoff zum Einsatz kommen, wenn aus technischen Gründen eine Elektrifizierung des Prozesses nicht möglich ist.

Die Westpfalz strebt an, die überschüssige Energie aus erneuerbaren Energiequellen zur Erzeugung von grünem Wasserstoff bestmöglich auszuschöpfen, um u. a. auch Netzengpässe zu vermeiden, die bereits in der Region auftreten. Ziel ist es, die regionalen Bedarfe zu übersteigen und als Exporteur Nachbarregionen mit weniger Wasserstoffherzeugungspotenzial zu versorgen.

HANDLUNGSFELDER UND UMSETZUNGSSTRATEGIEN

Übersicht

Die Initiierung einer regionalen Wasserstoffwirtschaft bedarf konkreter Maßnahmen in den verschiedenen Handlungsfeldern, auf die in diesem Kapitel näher eingegangen wird. Jeder Themenbereich beinhaltet individuelle Zeitpläne, Meilensteine und Voraussetzungen.

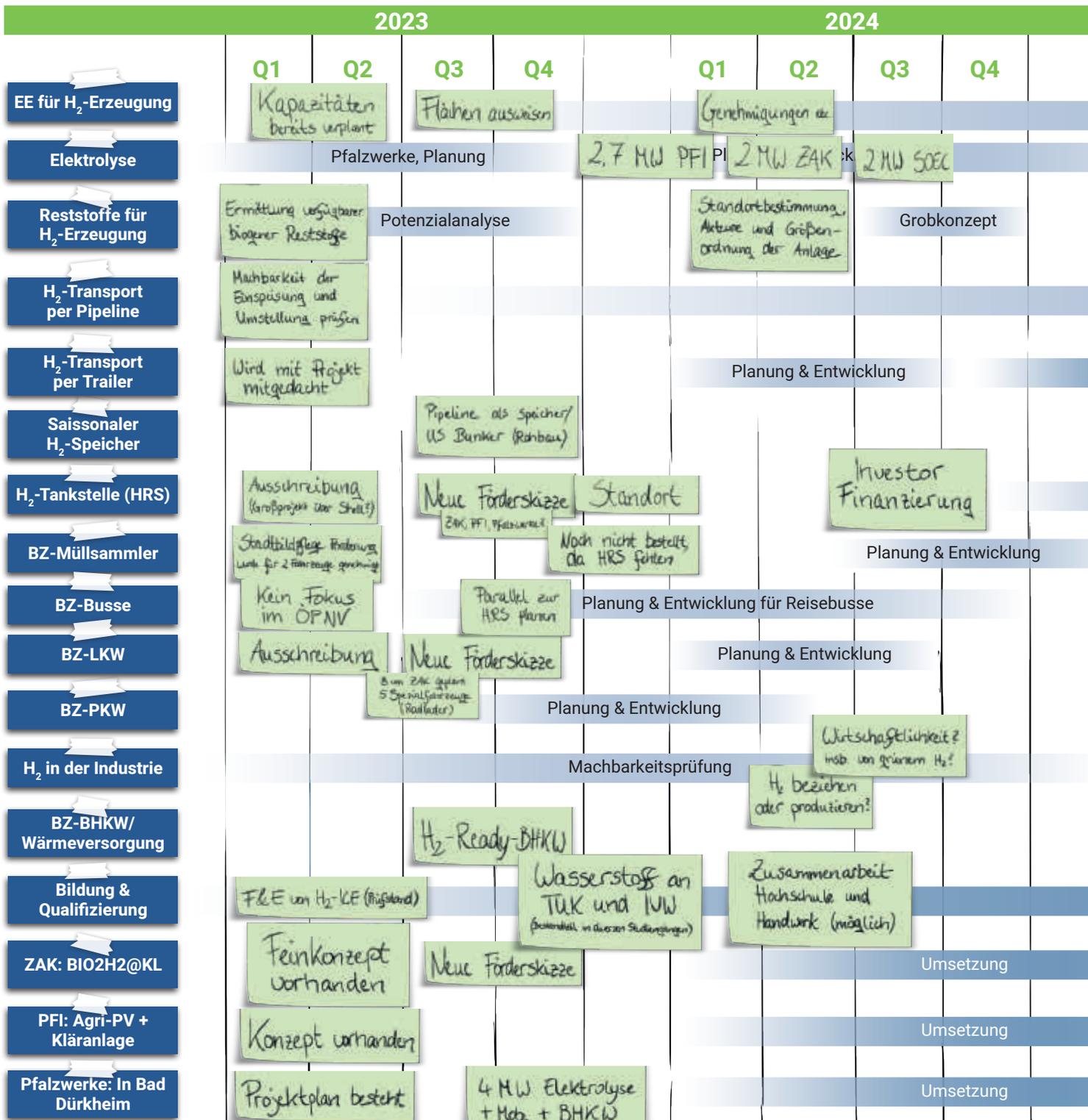
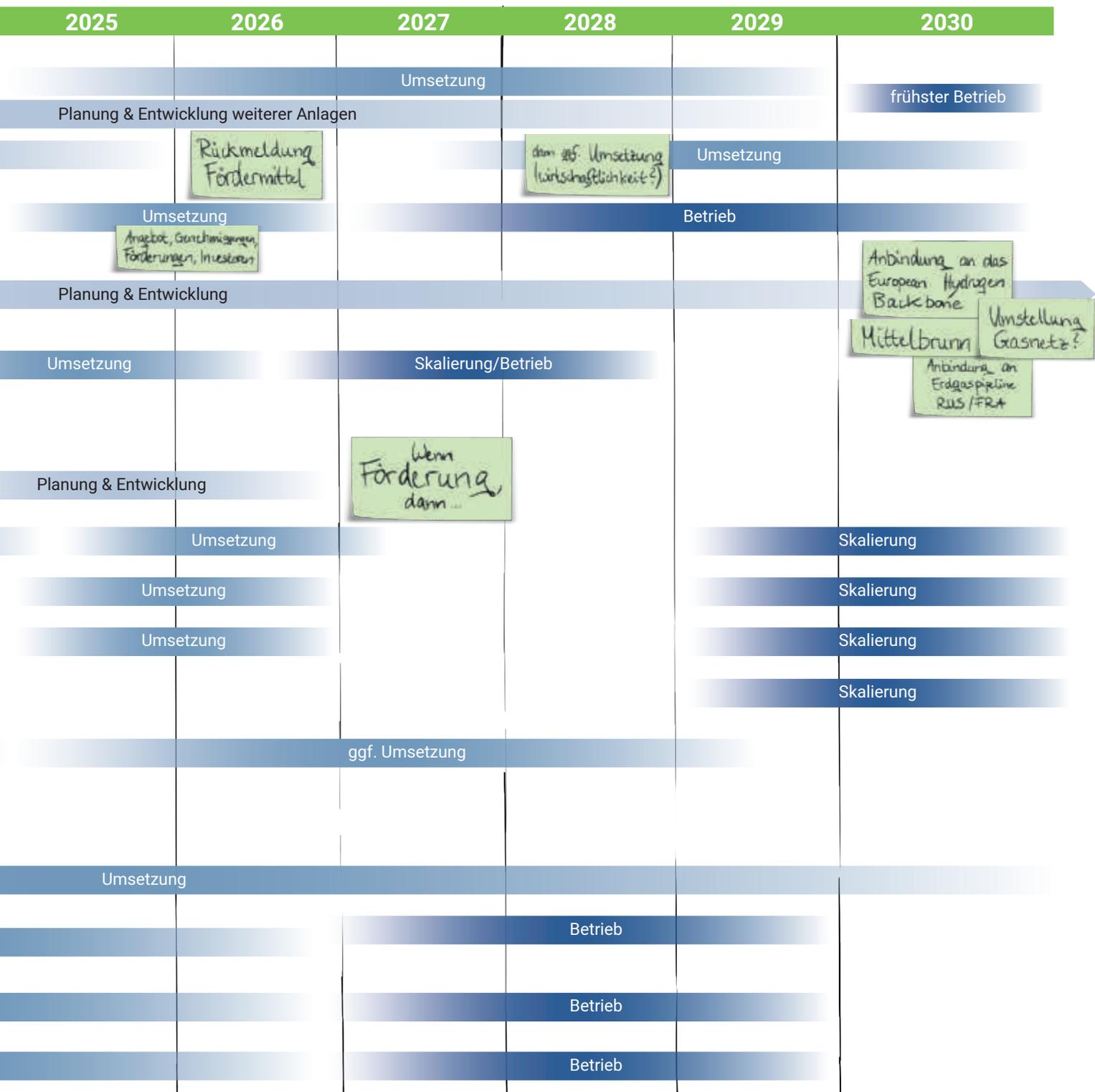


Abbildung 7: Roadmap für die Wasserstoffregion Westphal © ZRW e. V. / EE ENERGY ENGINEERS GmbH

Um aus der Vielzahl von Themen einen eingängigen Überblick zu gewinnen, wurde ein Gesamtbild in Form einer Roadmap erarbeitet, welche die Meilensteine in den Planungs- und Umsetzungsphasen darstellt. Die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Themen (beispielsweise die gegenseitige Abhängigkeit von Aufbau von Tankinfrastruktur und der Beschaffung von Fahrzeugen), wie auch mögliche Synergien zwischen den Projekten werden ebenfalls

aufgezeigt. Auf eine detailliertere Darstellung der nächsten 24 Monate folgt die Perspektive bis ca. 2030.

Weitere Details sind den einzelnen Handlungsfeldern zu entnehmen. Die Zeiträume sind dabei als Richtwerte zu verstehen, da unerwartete Widerstände, politische Entscheidungen, Lieferengpässe aber auch beschleunigte Verfahren Abweichungen in der Planung wahrscheinlich machen.



Elektrolytische Wasserstoff-Erzeugung aus Solar- & Windenergie

Die Region Westpfalz strebt den Ausbau erneuerbarer Energien an, um die regionale Energieversorgungssicherheit zu erhöhen. Durch viele windhöfliche Standorte, eine überdurchschnittlich hohe Sonneneinstrahlung und die relativ dünne Besiedlung sowie ertragsschwache landwirtschaftliche Flächen ist die Region für den Ausbau erneuerbarer Energien bestens geeignet. Insgesamt verfügt die Region über 640 MW_p Wind-, 94 MW_p Photovoltaik- sowie 81 MW_p Biogasleistung. Zusätzlich sind 808 MW_p Wind- sowie 199 MW_p PV-Leistung in Planung. Aktuelle Daten zum Ausbau der Kapazitäten zeigen eine Überschreitung der Prognose auf, sodass die angegebenen Daten voraussichtlich übertroffen werden. Darüber hinaus verfügt die Region über große Mengen an Biomasse, welche grundsätzlich für die Produktion von Wasserstoff geeignet sind. Die biogene Wasserstoffherzeugung wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

Bei der Standortwahl des Elektrolyseurs muss eine strategische Entscheidung getroffen werden. Zur Entlastung der Stromnetze ist eine Errichtung an der Stromquelle zu empfehlen, wodurch mögliche Netzausbauten obsolet werden könnten. Können die Nebenprodukte Sauerstoff

und Abwärme lokal genutzt werden, so kann dies die Standortwahl in logistischer und ökonomischer Hinsicht positiv beeinflussen.

Für den Sauerstoff eignen sich bspw. Kläranlagen, wo er in den Belebungsbecken zur Ozonierung eingesetzt werden kann. Zur Nutzung der Abwärme eignen sich ebenfalls Belebungsbecken der Kläranlagen, (kalte) Nahwärmenetze oder angrenzende Gebäudeeinheiten.

Der grüne Wasserstoff kann dem regionalen Bus-, Zug- und Lkw-Verkehr zur Verfügung gestellt werden. Durch die regionale Erzeugung von grünem Wasserstoff werden die Unternehmen in der Westpfalz unabhängiger von Wasserstoffimporten, und die lokale Produktion erleichtert zudem den Technologieeinstieg. Langfristig ist in der Region Westpfalz die Anbindung an den European-Hydrogen-Backbone geplant.

Mit der Produktion von grünem H₂ wird Know-how in der Region aufgebaut, regionale Wertschöpfung gefördert und eine zeitnahe Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff angestrebt.

Regionale Herausforderungen

- Gewährleistung der Auslastung des Elektrolyseurs, wenn (zeitweise) keine regionale EE-Überschusserzeugung erfolgt.
- Verfügbare Kapazitäten aus erneuerbaren Energien, geplante und installierte Leistung wurde bereits zukünftigen Unternehmen zugesichert, u. a. ACC-Batteriezellwerk.
- Spannungsfeld Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) und H₂-Erzeugung: bisher höhere Erlöse für Stromerzeugung als Wasserstoff.

Lösungsansätze

- Projekte entlang der unterschiedlichen Stufen der Wasserstoffwertschöpfungskette sind eng verzahnt zu betrachten. Die Leuchtturmprojekte der Region bieten hier hervorragende Beispiele und das entsprechende Potenzial.
- Um Netzengpässe zu vermeiden und die Netzstabilität zu gewährleisten, sollten Konzepte zur Nutzung von Überschussstrom aus dezentralen Anlagen entwickelt werden.
- Die Bildung von H₂-Hubs ermöglicht die Streuung des Investitionsrisikos auf mehrere Akteure.
- Die H₂-Produktion mit Strombezug aus dem Netz trägt zur Auslastung des Elektrolyseurs bei und fängt Lastspitzen ab.

Externer Unterstützungsbedarf

- Für einen schnellen Hochlauf sind vereinfachte und transparente Genehmigungsverfahren und Unterstützung der Planungsbehörden notwendig. Darüber hinaus sind angepasste Ausgleichsflächenregelungen notwendig, um den Flächenverbrauch zu minimieren.
- Es bedarf klarer und technologieoffener Förderprogramme für Investitions- und Betriebskosten
- Die Bevölkerung vor Ort muss einbezogen werden. Beteiligungsformen analog zum Ausbau bei Windenergieanlagen könnten die Akzeptanz erhöhen.

Technologiekonzept & Umsetzungsstrategie

Voraussetzung zur eigenen Wasserstoffproduktion ist die Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien. Schwerpunktaktivitäten liegen derzeit auf dem Ausbau von Windkraft und Photovoltaik. Zur Wasserstoffproduktion aus fluktuierenden Energiequellen eignen sich aufgrund ihrer Skalier- und Modularität insbesondere Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM) sowie alkalische (AEL) Elektrolyseure. Bei der weiteren Standorterschließung von Stromproduktionspotenzialen ist auch die gleichzeitige Kopplung eines Elektrolyseurs an PV- und Windanlagen oder beispielsweise die Errichtung an einem Energieknotenpunkt in Betracht zu ziehen. Es empfiehlt sich, weitere Erzeugungspotenziale durch den Abschluss von Power Purchase Agreements (PPAs) zu heben sowie Hydro-Hubs zur Vernetzung der Akteure zu gründen. Elektrolyseure mit einer Leistung über 250 kW werden in der Praxis in Containerbauweise errichtet, sodass die eigentliche Installation einfach zu realisieren ist.

Dabei müssen der Wasser- und Netzanschluss sowie regulatorische Rahmenbedingungen wie das Genehmigungsverfahren nach BImSchV, die Störfallverordnung, die Industrieemissionsrichtlinie (IE-Richtlinie), Netzentgelte, Stromsteuer und weitere Aspekte beachtet werden.

Die EEG-Umlage wurde ab dem 1. Juli 2022 ausgesetzt und ist seit dem 1. Januar 2023 dauerhaft entfallen. Die Wasserstoffqualität beträgt nach der Elektrolyse 99,9% (3.0) und kann in Anwendungen mit geringen Qualitätsanforderungen direkt verwendet werden. Dies sind bspw. Wasserstoffverbrennungsmotoren für Bau- und Landwirtschaftsfahrzeuge oder in verbrennungsmotorischen BHKWs (nicht zu verwechseln mit Brennstoffzellen (BZ) BHKWs). Für Brennstoffzellenanwendungen, wie bspw. in der Mobilität, ist hingegen oft eine Reinheit von 99,999% (5.0) erforderlich (wobei manche Fahrzeughersteller mittlerweile nur noch die Qualität 3.7 (99,97%) einfordern). Um diese Qualität zu erreichen, wird eine Trocknungsanlage am Elektrolyseur benötigt, die meist direkt in den Containern verbaut ist.

In der Region Westpfalz zeichnen sich drei Leuchtturmprojekte zur Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse besonders aus. Die Zentrale Abfallwirtschaft Kaiserslautern (ZAK) plant ein autarkes System zur Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff mittels eines 2 MW Elektrolyseurs. Die überschüssige Energie aus dem Biomassekraftwerk am Standort soll zur Produktion von Wasserstoff dienen. Dieser wird primär für die Dekarbonisierung des eigenen Fuhrparks dienen. Das PFI erzeugt bereits heute Wasserstoff und Biomethan über biogene Verfahren und möchte ihre Anlage um einen 2,7 MW Elektrolyseur, welcher mittels PV-Strom betrieben werden soll, erweitern. Die Pfalzwerke befinden sich mit ihrem Vorhaben bereits in der Umsetzung. Für eine schnelle Verfügbarkeit von Wasserstoff für die Mobilität wurde eine Tankstation bereits errichtet, welche per Trailer versorgt wird. In der nächsten Phase des Projektes ist ein PEM-Elektrolyseur mit mindestens 10 MW geplant, der mit Wind- und PV-Strom gespeist wird. Neben der Mobilitätsanwendung soll der Wasserstoff im BHKW der Pfalzwerke für die Gebäudeenergieversorgung eingesetzt werden.



Wasserstoff-Erzeugung aus biogenen Reststoffen

Die Westpfalz ist durch viele Grünflächen und Wälder geprägt. Neben der Elektrolyse bietet die Region daher das Potenzial der Wasserstoffproduktion aus biogenen Reststoffen. In der Westpfalz können u. a. Grünschnitt aus Straßen- und Bahntrassenpflege sowie Gülle und Klärschlamm genutzt werden. Grünschnitt aus dem Pfälzerwald wird hierbei nicht berücksichtigt, da er laut Landesforsten Rheinland-Pfalz im Wald verbleibt. Die Gülle- und Klärschlammnutzung wäre im Hinblick auf eine Verringerung der Bodenbelastung mit Nitrat und Phosphat empfehlenswert, da durch das Düngen diese ansonsten im Boden steigt.

Zur Reduzierung der Infrastrukturaufbaus und damit dessen Kosten empfiehlt es sich, die Anlage in unmittelbarer Nähe zum Standort der H_2 -Anwendung, der H_2 -Abfüllung oder H_2 -Einspeisung (European Hydrogen Backbone) zu errichten. Die Anlage kann auch direkt an der Quelle

der biogenen Reststoffe errichtet werden, jedoch ist der H_2 -Transport i. d. R. aufwändiger und kostenintensiver als der für Reststoffe. Am Standort wird ein Stromanschluss, aber keine zusätzliche Wasserversorgung benötigt, da der Wasseranteil der Biomasse genutzt wird. Das System ist modular und wird als Containerlösung errichtet. Das Hydrolyse-Verfahren wird bislang einmalig von einem süddeutschen Hersteller angeboten. Der erste Prototyp wurde 2020 errichtet, eine Demo-Anlage folgte Ende 2021. Die einzelnen Prozessschritte sind erprobt und gelten als zuverlässig.

Ob der produzierte Wasserstoff als grün anerkannt wird, ist noch unklar und ist darüber hinaus von den Einsatzstoffen abhängig. Hier sollten nur biogene Reststoffe genutzt. Das Hydrolyse-Verfahren ist eine perfekte Alternative bzw. Ergänzung zur H_2 -Produktion per Elektrolyse in der HyStarter Region Westpfalz.

Regionale Herausforderungen

- Sicherung der identifizierten Biomasse für die Wasserstoffproduktion.
- Biogene Reststoffe werden meist in etablierten Abläufen wirtschaftlich verwertet.

Lösungsansätze

- Einbindung der Akteure auf Seiten der Biomassequellen wie z. B. Grünschnitt, Gülle, Klärschlamm, Mist, landwirtschaftliche Abfälle etc.
- Etablierung lokaler Sammelstellen für die Biomasse unter Einbezug der jeweiligen Akteure bzw. der Bevölkerung.



Technologiekonzept & Umsetzungsstrategie

Die H₂-Erzeugung aus biogenen Reststoffen sei beispielhaft am Verfahren eines süddeutschen Herstellers erläutert. Das Verfahren wird in die drei Schritte Hydrolyse, Vergasungsprozess (Synthesegas) und CO-Shift-Reaktion unterteilt. Im ersten Schritt werden über die Hydrolyse Bio-Kohle und Dampf erzeugt. Die Bio-Kohleproduktion ist aus Klärschlamm, Gülle, Mist, biogene Abfälle, Grünschnitt, Gärreste, Lebensmittelreste, Biotonne, Kunststoffe und CFK möglich. Voraussetzung der Eingangsstoffe ist ein 30%iger Feststoffanteil. Mittels produzierter Bio-Kohle wird in einem KDC-Reaktor Dampf erzeugt.

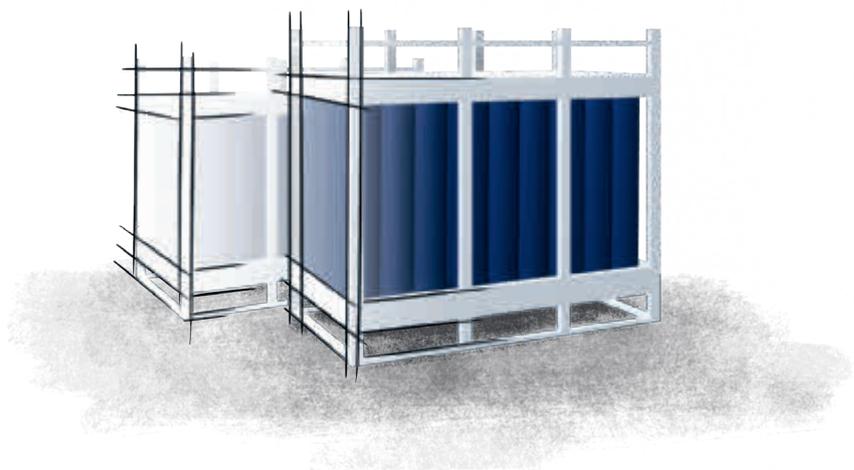
Im zweiten Schritt werden beide erzeugten Produkte in einem Flugstromvergaser zu Synthesegas umgewandelt. Bei diesem Vorgang beträgt die Arbeitstemperatur <180 °C, sodass die Gasphase nicht erreicht wird und aufgrund der homogenen Bio-Kohle die Teerbildung und somit ein Verkleben der Anlage ausbleibt. Eine aufwändige Reinigung der Anlage wie z. B. bei dem ähnlichen Pyrolyseverfahren wird somit vermieden, wodurch die Anlage über eine hohe Betriebsstundenzahl verfügt. Ein wesentlicher Unterschied zur Pyrolyse ist außerdem der exotherme statt endotherme Prozessschritt in der Gesamtenergiebilanz, bei dem Wasserstoff mittels Druck und Hitze aus Wasser gelöst wird. Bislang liegen zudem kaum Erfahrungen zu Pyrolyseanlagen zur Verwertung von biogenen Reststoffen vor. Die Erfahrungen in Müllverbrennungsanlagen mit inhomogenen Eingangsstoffen zeigen jedoch eine hohe Störfähigkeit, sodass die Pyrolyse daher in diesem Konzept

nicht weiter berücksichtigt wird. Im dritten Schritt erfolgt die Wasserstoffproduktion aus dem Synthesegas über eine CO-Shift-Reaktion. Alternativ kann der Prozess auch nach den jeweiligen Schritten beendet werden und somit Bio-Kohle, Bio-Methan (anderer Anlagentyp), Heißdampf (180 – 450 °C), Bio-Methanol oder Wasserstoff produziert werden.

Das Gesamtkonzept wird derzeit nur von einem süddeutschen Hersteller angeboten, welcher verschiedene Anlagengrößen in Pilotprojekten betreibt. Für Anwendungen mit geringen Anforderungen an die Wasserstoffqualität kann dieser direkt nach dem Verfahren verwendet werden. Die Wasserstoffqualität beträgt nach der Hydrolyse 99,9% (3.0).

Neben dem produzierten Wasserstoff kann die produzierte Bio-Kohle auch zur Bodenverbesserung in der Landwirtschaft und zum Ersatz von Gülle als Düngemittel genutzt werden. Darüber hinaus ist die anfallende Prozesswärme für umliegende Gebäude oder für die Beheizung der Kläranlage nutzbar.

Die Plasmalyse ist als weiteres Verfahren zu nennen. Hier wird auf der einen Seite aus Faulgas Wasserstoff mittels eines Lichtbogens erzeugt. Zum anderen besteht die Möglichkeit, aus dem Zentratwasser eines Faulturms Wasserstoff und Stickstoff (Spaltung der Ammoniumverbindungen) herzustellen. Da die Faulgaszusammensetzung nicht analysiert wird, konnte an dieser Stelle keine Abschätzung über das Wasserstofferzeugungspotenzial erfolgen.



Wasserstofftransport

Die Westpfalz ist bereits heute Großproduzentin und Exportregion für erneuerbare Energien, Tendenz steigend. Jedoch werden die erneuerbaren Energien aufgrund von Überkapazitäten, dem Aufbau von Doppelstrukturen sowie den Kapazitätsgrenzen der Stromübertragungsnetze teils abgeriegelt. Aus diesen Gründen und aufgrund des hohen H_2 -Produktionspotenzials könnte die Region zukünftig hohe H_2 -Mengen per Pipeline exportieren. Für den H_2 -Export ist die Westpfalz sehr gut gelegen, u. a. durch die regionale Nähe zum European Hydrogen Backbone.

Ebenfalls schneiden sich in der Ortschaft Mittelbrunn zwei Hauptstrecken des europäischen Erdgaspipelinennetzes. Die Nord-Süd-Strecke „Rotterdam-Norditalien“ (TENP) und die Ost-West-Verbindung „Russland-Frankreich“ (MEGAL), welche auf den Wasserstoffbetrieb umstrukturiert werden könnten.

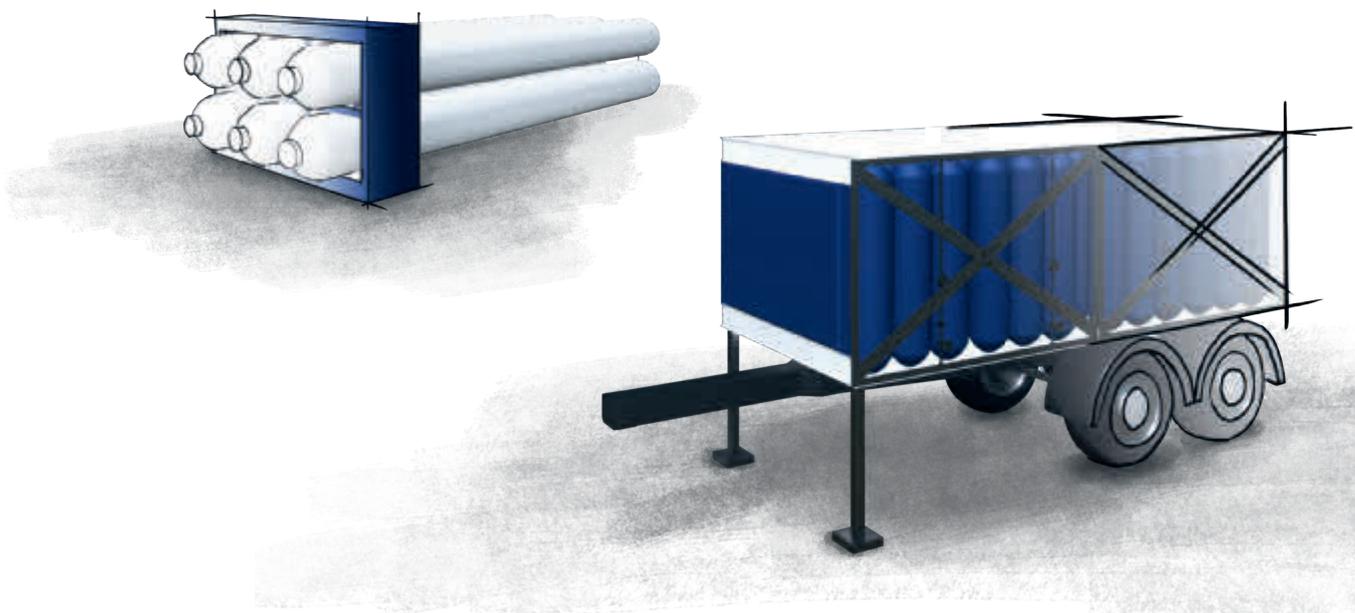
Für den Wasserstofftransport zu den regionalen H_2 -Anwendern wie Mobilität und ggf. (Klein-)Industrie eignet sich der Transport per Trailer.

Regionale Herausforderungen

- Gewährleistung der Versorgungssicherheit für die regionalen Abnehmer, sowohl in Bezug auf saisonale Versorgung als auch regionale Distribution zu den Akteuren.
- Versorgungswechsel von Erdgas auf Wasserstoff hinsichtlich der Infrastruktur sowie der Anwendungsbereiche.

Lösungsansätze

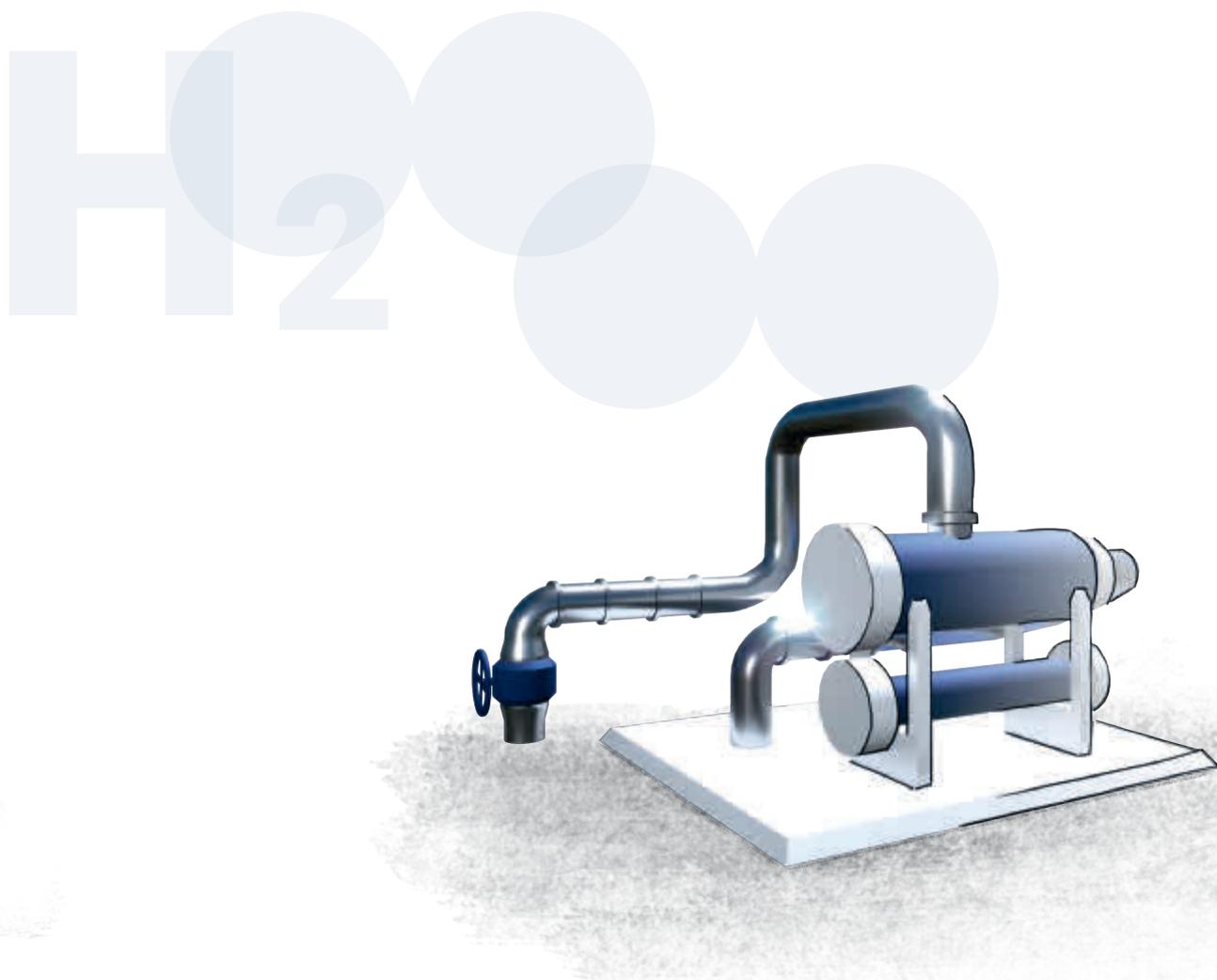
- Ein Anschluss an den European Hydrogen Backbone ist für die Gewährleistung der Versorgungssicherheit in der Region unerlässlich.
- Der Aufbau eines kostenoptimierten H_2 -Verteilnetzes für eine schnelle Etablierung der Wasserstofftechnologie in der Region.
- Ertüchtigung bzw. Umstrukturierung der bestehenden Infrastruktur, kein kompletter Neubau notwendig.



Technologiekonzept & Umsetzungsstrategie

Für den Anschluss an das Pipelinenetz wird eine Gas-Einspeisestation benötigt. Je nach Hersteller und Elektrolyseausgangsdruck kann auf einen Kompressor verzichtet werden, da die Pipeline mit 30 bar betrieben wird, bei Hydrolyse Anlagen wird der Kompressor im Gesamtsystem mitberücksichtigt. Darüber hinaus muss die H₂-Produktionsanlage mit der Gas-Einspeisestation verbunden werden. Bei der Umsetzungsdauer einer neu zu errichtenden Pipeline entfällt der dominierende Anteil auf die verschiedenen Genehmigungsverfahren. Hier sind im Durchschnitt ca. acht bis zehn Jahre einzukalkulieren, je nach Verlegungsstrecke und örtlicher Genehmigungsbehörde kann die Errichtungzeit deutlich geringer ausfallen. Für die Umwidmung bestehender Erdgas-Pipelines auf Wasserstoff ist mit ca. drei Jahren zu planen. Die Kosten pro Kilometer Pipeline liegen je nach örtlichen Gegebenheiten (Bebauungsgrad, Tiefbau, Genehmigungsaufwand

etc.) zwischen 150 TEUR und 1.000 TEUR. Laut einer Auswertung des Forschungszentrums Jülich betragen die durchschnittlichen Errichtungskosten einer Pipeline 352 TEUR pro Kilometer, ohne Verdichter-, Einspeise- oder Entnahmestation. Nutzungs- und Abschreibungsdauer werden im Durchschnitt mit 40 Jahren angenommen. Da Wasserstoff im Trailer mit einem Druck von 350 bis 500 bar transportiert wird, bedarf es nach der Wasserstoffproduktion eines Kompressors zur Gasverdichtung. Für die Verdichtung sind zusätzlich ca. 9 % Energiebedarf zu berücksichtigen, die bei den hier durchgeführten Berechnungen bereits inkludiert sind. Zusätzlich sind je nach Projekt am Standort der Wasserstoffproduktion und/ oder -anwendung Speicher zu errichten. Hier können nach Platzbedarf und Rahmenbedingungen Hochtanks, Röhrenspeicher oder Wechselbrücken zum Einsatz kommen. Zur Gewährleistung der Wasserstoffversorgung am Anwendungsstandort, sollte der Speicher auf min. die dreifache Tagesmenge ausgelegt werden.



Aufbau einer H₂-Tankstelleninfrastruktur

In der Region Westpfalz werden aufgrund der geographischen Verteilung der Akteure mehrere Tankstellen (HRS) benötigt. Es könnte bereits die Tankstation der Pfalzwerke in Bad Dürkheim realisiert werden. Die nächste H₂-Tankstelle mit 350 bar (welche für den Schwerlastverkehr erforderlich ist) wird derzeit in Mannheim errichtet (ca. 60 km Entfernung), die nächstgelegene bereits realisierte HRS mit einer 700 bar Druckstufe befindet sich in Saarbrücken (ca. 70 km Entfernung) und in Heidelberg (ca. 87 km Entfernung).

In der Region Westpfalz befindet sich derzeit keine öffentliche HRS.

Für einen zuverlässigen und ökonomischen Betrieb von Fuhrparks mit H₂ ist jedoch die Errichtung einer Tankstelle in der Nähe des jeweiligen Betriebshofes der Akteure erforderlich. Zudem kann ein öffentlicher Zugang zur Tankstelle interessant sein, um die Auslastung der Tankstelle zu steigern und BZ-Fahrzeuge in der Region zu fördern.

Regionale Herausforderungen

- Eine gesicherte Wasserstoffabnahme ist für die Entscheidungsfindung vieler Betreiber von HRS und zur Erlangung von Fördermitteln unverzichtbar.
- Die Finanzierung für den Aufbau und Betrieb der Tankstelle muss gesichert sein, um eine Verlässlichkeit für potenzielle Abnehmerinnen sicherzustellen.
- Die Dauer der Umsetzung muss mit der Beschaffung der Fahrzeuge abgestimmt werden.
- Henne-Ei-Problem, regionale Akteure haben bereits Fahrzeugförderungen erhalten, können diese aber aufgrund der fehlenden Tankinfrastruktur nicht bestellen.

Lösungsansätze

- Eine Analyse des Nachfragepotenzials sollte durchgeführt werden, um konstante Abnehmer zu identifizieren.
- LOIs von Abnehmern sollten als Entscheidungsgrundlage für Standort, Dimensionierung und Druckstufe(n) eingeholt werden.
- Eine gemeinsame Planung von Tankstellenaufbau, Mobilitätsanwendungen mit Wasserstoff und regionaler Erzeugung von grünem Wasserstoff trägt zur Wertschöpfung in der Region bei.
- Eine sehr große Anzahl erwarteter H₂-Pkw/ H₂-Nutzfahrzeuge ist eine Voraussetzung für die Sinnhaftigkeit des Aufbaus einer 700-bar-Infrastruktur.
- Viele Akteure des HyStarter Netzwerks Westpfalz möchten BZ-Fahrzeuge einsetzen, teilweise haben Akteure bereits Förderzusagen erhalten. Ein Nachfragepotenzial ist daher gegeben.

Technologiekonzept & Umsetzungsstrategie

Beim betrieblichen Einsatz von BZ-Fahrzeugen ist eine nahegelegene Tankstelle Voraussetzung, um Anfahrtswege und damit Arbeitszeitaufwände gering zu halten. Eine Zusammenarbeit von mehreren Beteiligten zur Erhöhung der Auslastung der Tankstelle ist sinnvoll. Aufgrund der geographischen Verteilung der Akteure müssen mehrere geeignete Standorte erschlossen werden. Die ZAK plant in ihrem Vorhaben daher eine eigene Tankstelle am Ort ihrer Betriebsstätte. Im Bestreben, die Wasserstofftechnologie in der Region voranzutreiben, möchte die ZAK diese öffentlich zugänglich machen. Für die Identifikation weiterer Standorte müssen die folgenden Punkte in angegebener Reihenfolge berücksichtigt werden:

- Vernetzung und Bündelung von Akteuren an einem Standort, Nachfrage sichern.
- Grundstück bzgl. Flächenbedarf, Baugenehmigungen und Sicherheitsabständen prüfen.
- Zugang bzgl. Zufahrtsmöglichkeit der jeweiligen Fahrzeugklassen und ggf. öffentlicher Zugang prüfen.
- Wasserstoffverfügbarkeit (Onsite-Produktion, Nähe zu Produktionsstandorten, Pipelineanbindung, Redundanz der Anlieferung) abwägen.

Eine parallele Planung der beteiligten Akteure u. a. zu den folgenden Aspekten ist dabei erforderlich: Beschaffungsfenster der Fahrzeuge für ÖPNV-Unternehmen und ÖPNV-Ausschreibung, Beschaffungsfenster der Logistiker, die Lieferzeiten der Fahrzeuge und der Tankstellengenehmigung/-aufbau/-inbetriebnahme.

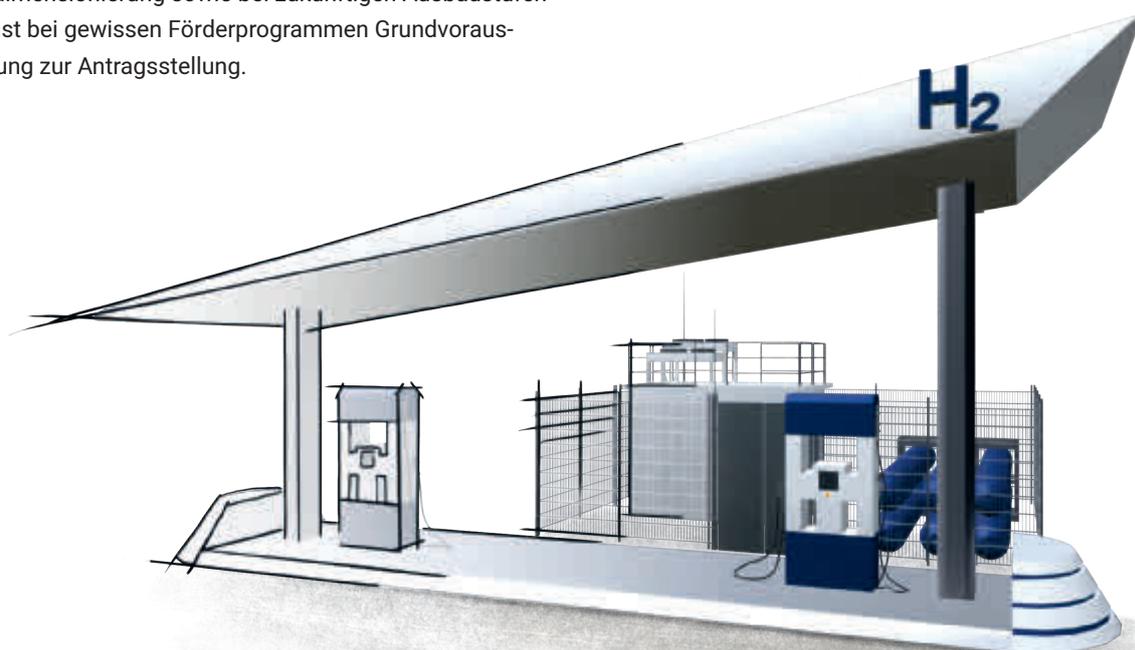
Die Dimensionierung der Tankstelle erfolgt auf Basis angenommener Fahrzeugeinsätze pro Jahr und Standort. HRS können nachträglich erweitert werden, nicht alle Komponenten sind jedoch modular ausbaufähig. Hochdruckspeichertanks (400/900 bar), Kompressoren sowie Kühlaggregate müssen ggf. ersetzt werden. Den zusätzlichen Platzbedarf für diesen Ausbau gilt es von Anfang an einzuplanen. Der Wasserstoffvorratsspeicher (200/300 bar) sowie die Zapfsäule (350/700 bar) können i. d. R. modular erweitert werden. Darüber hinaus müssen bei einer Vergrößerung die Betriebssicherheitsverordnungen oder bei einer Ergänzung mit Onsite Elektrolyse und Überschreitung der Lagermengen auch gewisse Genehmigungen u. a. nach Bundes-Immissionsschutzverordnung, neu beantragt werden. Diese Aspekte sollten daher bei der Erstdimensionierung sowie sukzessiven Erweiterungsplänen berücksichtigt werden.

Um eine zukunftsfähige Wasserstofftankstelle in der Region Westpfalz zu dimensionieren, sollten auch zukünftig zu erwartende Verkehre bei der Berechnung der Tagesumsätze eingebunden werden. Eine 350 bar Druckstufe sollte in der Region etabliert werden, eine 700 bar Druckstufe für Pkw sollte nur realisiert werden, wenn eine zukünftige hohe Nachfrage von Privatpersonen, Taxi- und betrieblich genutzte Flotten erwartet wird (Detailanalysen erforderlich). Für Fördermittelzuschüsse ist außerdem der Nachweis von Nachfragemengen über Bereitschaftserklärungen (eng: Letter of Intent) erforderlich. Diese gibt auch dem Betreiber der Tankstelle Planungssicherheit bei der Erstdimensionierung sowie bei zukünftigen Ausbaustufen und ist bei gewissen Förderprogrammen Grundvoraussetzung zur Antragsstellung.

Aktivitäten und Verantwortlichkeiten

- In einem ersten Schritt sind die Wasserstoffbedarfsmengen abzuschätzen und von potenziellen Abnehmern LOIs einzuholen (v. a. ÖPNV, Lkw, Nutz- und Sonderfahrzeuge).
- Weitere mögliche Wasserstoffanwender in der Region sind zu ermitteln und anzusprechen.
- Gespräche mit Tankstellenbetreibern/-herstellern und weiteren Stakeholdern wurden geführt (u. a. Shell) und müssen fortgeführt werden.
- Die Ermittlung von idealen Standorten und die Prüfung der Voraussetzungen müssen erfolgen.
- Mit Wasserstoffherzeugern aus der Region ist zu sprechen.
- Prüfung von Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten (u. a. BMDV: NIP für öffentliche Tankstellen², KsNI für Tankstellen und Machbarkeitsstudien beim Einsatz klimafreundlicher Nutzfahrzeuge³).
- Entwicklung eines Konzepts (ggf. Machbarkeitsstudie) für öffentliche und betriebliche HRS.
- Mit Hilfe des etablierten H₂-Netzwerks als „Kontaktbörse“ sollen mögliche Kooperationen (gemeinsame Nutzung betrieblicher Tankstellen, Einholen von LOIs, Einbindung regionaler Produzenten) identifiziert werden.

2 <https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/foerderung-oeffentliche-wasserstofftankstellen-nutzfahrzeuge.html>
 3 <https://www.klimafreundliche-nutzfahrzeuge.de/wp-content/uploads/2021/08/Foerderrichtlinie.pdf>



Einsatz von Wasserstoff in der Logistik

Der Einsatz von klimaneutralen Antrieben ist ein entscheidendes Kriterium für das Erreichen der Klimaziele sowie der Imagepflege in der Industrie. Logistik-Unternehmen oder industrielle und gewerbliche Akteure mit großen NFZ-Fuhrparks benötigen alternative Antriebstechnologien.

In der Region Westpfalz planen verschiedene Unternehmen die Umstellung ihrer Fahrzeuge auf wasserstoff-

betriebene Varianten. Die Unternehmen in der Region müssen sich täglich mit regionaler und überregionaler Konkurrenz messen. Die Kostenfaktoren Fahrzeuge und Kraftstoffe sind daher entscheidend für die langfristige Ausrichtung der Unternehmen. Wasserstoff kann bei langen Distanzen, anspruchsvollen Profilen, Betankungsdauer oder besonderen Anforderungen der batterieelektrischen Alternative geeigneter sein.

Regionale Herausforderungen

- Alternative Antriebe sind mit erheblich höheren Investitionskosten verbunden als konventionelle Fahrzeuge. Zusätzlich zur Anschaffung muss auch die Bereitstellung von (grünem) Wasserstoff sowie der Service und die Wartung berücksichtigt werden.
- Die Verfügbarkeit von Wasserstoff und die Integration in überregionale Wasserstoffnetze sind entscheidende Faktoren für den Einsatz von Wasserstoff in der Logistik.

Lösungsansätze

- Das Sammeln von Erfahrungen und die Senkung der Investitionskosten können durch Leasing-Modelle wie dem HyLane-Projekt schnell und unkompliziert erfolgen. Wenn es um langfristige Pläne und größere Flottenumrüstungen geht, kann es sinnvoll sein, sich zunächst mit einem Fahrzeug-Leasing und Vertrags-tankstellen mit der neuen Technologie vertraut zu machen, bevor die Investition in eine eigene Infrastruktur getätigt wird.
- Für einen schnellen und effektiven Einstieg in den Einsatz von H₂-Fahrzeugen sind mobile Tankstellen wie diejenigen, die von Unternehmen wie Wystrach angeboten werden, eine interessante Option. Dadurch können in der Übergangsphase schnell Sichtbarkeit und erste Erfahrungen gesammelt werden.
- Neben BZ-Fahrzeugen werden von Herstellern auch H₂-Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren angeboten bzw. darauf umgebaut.
- Förderbescheid für ein BZ-Müllfahrzeug liegt der Stadtbildpflege Kaiserslautern bereits vor.



Technologiekonzept & Umsetzungsstrategie

Für das Technologiekonzept wurde der Einsatz von BZ-Abfallsammelfahrzeugen bei der ZAK und der Stadtbildpflege sowie BZ-Lkw und BZ-Pkw bei einem Lebensmittelhandel betrachtet. In Anlehnung an die Anforderungen an den Fuhrpark des jeweiligen Akteurs kommen folgende Wasserstoffbedarfe zustande: für 10 Abfallsammelfahrzeuge mit einer täglichen Fahrleistung von 150 km/d entsteht ein jährlicher Bedarf von 31,2 t Wasserstoff.

Neben den Abfallsammelfahrzeugen plant die ZAK auch die Anschaffung von 8 BZ-Lkw. Ebenfalls wird langfristig der Einsatz von BZ-Lkw beim lokalen Lebensmittelproduzenten untersucht. Für eine Bedarfsabschätzung wurde in einem ersten Schritt von einer Teilumrüstung von 50 % der Fahrzeuge im Fuhrpark und einer täglichen Fahrleistung von 500 km/d ausgegangen. Aufgrund dieser Distanzen kommt der Einsatz von Batterie-Lkw nicht in Betracht. Für die Bereitstellung der Lkws entsteht ein H_2 -Bedarf von ca. 430 t im Jahr.

Für den langfristigen Umstieg auf Wasserstoff in der Flotte benötigen Logistikbetriebe eine HRS mit einer 350 bar Druckstufe. Öffentliche HRS sind meist auf den Pkw-Verkehr ausgelegt und verfügen nur über eine 700 bar

Druckstufe sowie teilweise eingeschränkte Zufahrtsmöglichkeiten für Busse und Schwerlastfahrzeuge. Viele der öffentlichen HRS sollen langfristig um eine 350 bar Druckstufe erweitert werden. BZ-Lkw sind in der Serienreife nur von einzelnen Herstellern verfügbar, sodass mit langen Lieferzeiten gerechnet werden muss. Eine Erweiterung der Modellauswahl wurde bereits von einigen Herstellern angekündigt bzw. vorgestellt.

Deutsche Lkw-Hersteller prüfen auch den Einsatz von Wasserstoffverbrennungsmotoren oder Flüssigwasserstoff. Letztere erfordern spezielle Flüssigwasserstoff-tankstellen.

Derzeit ziehen sich viele Hersteller aus dem Markt der BZ-Pkw zurück, jedoch gibt es durchaus Anwendungsfälle, in denen der Wasserstoffantrieb auch hier der Batterie-technologie überlegen sein kann. Dies gilt vorläufig für Anwendungen, in denen eine hohe zeitliche Auslastung gegeben ist, weite Strecken am Stück zurückgelegt werden müssen und lange Ladezyklen nicht realisierbar sind. Charakteristisch für betrieblich genutzte Pkw-Flotten sind das Taxigewerbe und Außendienstfahrzeuge. Daher wird auch der Einsatz von BZ-Pkw bei einem Lebensmittelhändler angedacht und würde einen zusätzlichen Wasserstoffbedarf von ca. 9 t erzeugen.



Einsatz von Wasserstoff im ÖPNV

Die Verkehrsemissionen zu senken, ist erklärtes Ziel der Region Westpfalz. Zur Umsetzung der CVD prüft die Region den Einsatz verschiedener Antriebskonzepte. Der Einsatz von BZ-Bussen eignet sich insb. für Langstrecken wie dem Überlandverkehr. Im Nahverkehr werden BZ-Busse aufgrund der möglichen anderen Antriebskonzepte nur sekundär betrachtet.

Der ÖPNV könnte ein erster verlässlicher Abnehmer von Wasserstoff in der Region sein und den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft anschieben. Zudem ermöglicht der ÖPNV es den Einwohnern und der Bevölkerung eigene Berührungspunkte mit der Technologie zu erhalten. Der Bus kann als Multiplikator der Technologie und in der Kommunikation ebenfalls positiv auf die Akzeptanz gegenüber erneuerbaren Energien und Wasserstoff einzahlen.

Regionale Herausforderungen

- Die Finanzierung von H₂-betriebenen Fahrzeugen stellt aufgrund der noch sehr hohen Mehrkosten im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen eine große Herausforderung dar. Obwohl es Förderprogramme gibt, helfen diese nur bedingt bei der Finanzierung der Mehrkosten.
- Unternehmen sind mit Unsicherheiten hinsichtlich der zu erwartenden Kraftstoffkosten konfrontiert.
- Die CVD stellt hohe Anforderungen an die Anbieter von öffentlichem Nahverkehr, was perspektivisch Investitionen in alternative Antriebe erzwingt.
- Lange Lieferzeiten sind einzuplanen.
- Viele Bushersteller berücksichtigen nur „größere“ (>10 Fahrzeuge) Bestellungen.

Lösungsansätze

- Im Mobilitätsbereich werden die meisten Modelle von verschiedenen Herstellern im Bereich der Busse angeboten, die Fahrzeugverfügbarkeit ist hier gegeben.
- Es können Machbarkeitsstudien (Umrüstungsstrategien) zur Vergleichbarkeit der verschiedenen Antriebsarten für Busunternehmen gefördert werden.
- Die Investition in eigene Tankinfrastrukturen kann einzelne Betriebe vor große Herausforderungen stellen, weshalb Standorte gesucht werden sollten, von denen möglichst viele Akteure profitieren können.
- Das Fahrzeug-Leasing kann eine relativ schnelle Umsetzung zu überschaubaren Kosten und Aufwänden ermöglichen.
- Mobile Tankstellen können für die Einführungsphase eingesetzt werden, insb. für Leasingmodelle.



Technologiekonzept & Umsetzungsstrategie

In der Region ist der Einsatz von Wasserstoff als Kraftstoff u. a. im ÖPNV-Bereich interessant. Um sich mit der neuen Technologie vertraut zu machen, plant die Region Westpfalz die Umrüstung von zunächst zehn BZ-Bussen mit einer durchschnittlichen jährlichen Fahrleistung von 51.000 km. Hierfür entsteht ein Wasserstoffbedarf von ca. 46 t im Jahr. Aufgrund der Streckenlänge und des anspruchsvollen Streckenprofils werden die BZ-Busse im Überlandbereich zum Einsatz kommen. Innerhalb der Städte sind batterieelektrische Busse geplant.

BZ-Busse werden mit 350 bar getankt, sodass sich ein Zusammenschluss mit Flottenbetreibern von Schwerlastfahrzeugen für eine gemeinsame Tankstelle empfiehlt. Aufgrund der geografischen Verteilung der Logistiker und des Busdepots ist dies jedoch nicht möglich.

Bei einer indoor-Tankstelle oder in den Werkstätten auf dem Busdepot müssen H_2 -Sensoren zur automatischen Öffnung von Dachluken installiert werden, damit eine Entlüftung über das Dach im Falle einer H_2 -Freisetzung gewährleistet ist. Ebenfalls sind Dacharbeitsplätze (Hebebühnen, Schwenkbühnen) notwendig, um am Dach der Busse, hier befinden sich die H_2 -Tanks und die Klimageräte, arbeiten zu können. Für den Linienbetrieb müssen die Fahrer*innen für die Bedienung der Fahrzeuge geschult werden, was üblicherweise durch den Fahrzeughersteller erfolgt. Des Weiteren muss das Werkstattpersonal für Arbeiten an Hochvoltanlagen geschult sein, sofern die Wartungsarbeiten nicht ohnehin an externe Serviceunternehmen vergeben werden. In den Abstellhallen sind keine besonderen Sicherheitsmaßnahmen vorgeschrieben, da die Fahrzeuge als technisch dicht gelten. BZ-Busse sind im Bereich der Wasserstoffmobilität am weitesten fortgeschritten und gelten als serienreif.

H₂



Einsatz von Wasserstoff im SPNV

Die Zellertalbahn, auch Pfrimmtalbahn genannt, ist eine nicht-elektrifizierte Nebenbahn von Langmeil nach Monsheim mit einer Streckenlänge von ca. 28 Kilometern. Nach der Deaktivierung des Personenverkehrs 1983, wurde im August 2017 der Verkehr, welche zwischenzeitlich an Sonn- und Feiertagen wiederaufgenommen worden ist, komplett eingestellt.

Die Lokalpolitik hat seit 2021 intensiv für die Sanierung der Strecke engagiert, die bis zum Jahr 2023 abgeschlossen sein soll. Es ist geplant, die Strecke perspektivisch sowohl für den Güterverkehr als auch für den Personenverkehr zu nutzen und in Zukunft eine reguläre Verbindung von Kaiserslautern nach Worms über die Zellertalbahn in den Rheinland-Pfalz-Takt zu integrieren. Da die Strecke nicht elektrifiziert ist, bietet sich der Einsatz von Wasserstoff als vielversprechende Technologie an.

Regionale Herausforderungen

- Das ursprünglich veranschlagte Budget für die Reaktivierung von 8,3 Mio. € reicht nicht aus.⁴
- Laut Angaben des Donnersbergkreises ist dies auf gestiegene Materialkosten sowie neue Auflagen an die Schienen zurückzuführen.⁴
- Aufgrund der fehlenden Elektrifizierung, der verhältnismäßig kurzen Strecke und der somit prinzipiellen Eignung von batterieelektrischen Antrieben eröffnet die Frage der Technologieauswahl.

Lösungsansätze

- Das Land, welches bereits 6,7 Mio. € des Vorhabens übernimmt, signalisierte bereits sich an einem Teil der zusätzlichen Kosten zu beteiligen.⁴
- Aufgrund des gestiegenen finanziellen und operativen Aufwandes wird die Reaktivierung sukzessive durchgeführt.
- Eine fundierte Technologieauswahl erfordert eine detaillierte Analyse der Vor- und Nachteile der Technologieoptionen vor dem Hintergrund des Kosten-Nutzen-Aspektes und der technischen Machbarkeit.

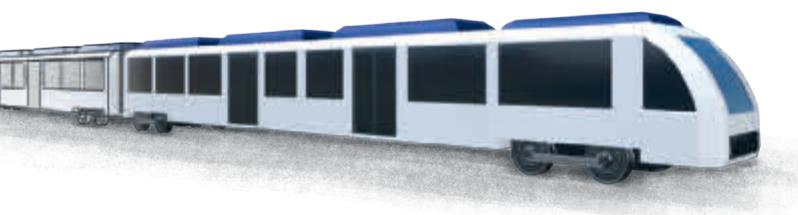
⁴ <https://www.swr.de/swraktuell/rheinland-pfalz/kaiserslautern/zellertalbahn-donnersbergkreis-wird-teurer-und-kommt-spaeter-100.html>

Externer Unterstützungsbedarf

Für die Technologieauswahl sollte ein Beratungs- oder Ingenieurbüro konsultiert werden, um die spezifischen Gegebenheiten und Herausforderungen bei der Reaktivierung der Zellertalbahn in die Entscheidungsfindung einzubeziehen.

Technologiekonzept & Umsetzungsstrategie

In Deutschland werden bereits Züge mit BZ-Antrieb im Personenverkehr eingesetzt. Aufgrund des Wirkungsgrads sollten sie jedoch nur auf Strecken ohne bzw. mit wenig Oberleitung eingesetzt werden. Derzeit sind ca. 30 % des Bahnnetzes in Deutschland nicht mit Oberleitungen ausgebaut. Bei BZ-Zügen sind je nach Topografie bis zu 1.000 km mit einer Tankfüllung (ca. 180 kg bei 350 bar) möglich. Bei der Reaktivierung der Zellertalbahn werden aufgrund der Streckenlänge mit 27 km BZ-Züge empfohlen. Batterieelektrische Züge könnten ebenfalls eingesetzt werden, jedoch müsste die Batterie nach jeder Fahrt an der Endstation wieder aufgeladen werden, was die Taktung des Betriebs deutlich reduziert. BZ-Züge sind von verschiedenen Herstellern verfügbar, in Deutschland werden der Alstom Coradia iLint sowie künftig der Mireo Plus H von Siemens Mobility in Kooperation mit der Deutschen Bahn AG angeboten. Die Modelle gibt es in verschiedenen Größenordnungen zwischen 120 – 165 Sitzplätzen. Um den regionalen Einsatz zu erproben, kann der Alstom Coradia iLint beim Hersteller für einen Testbetrieb ausgeliehen werden.



Einsatz von Wasserstoff in der Industrie

Auch in industriellen Prozessen kann Wasserstoff als Substitut für Erdgas eingesetzt werden. Vor dem Hintergrund der Klimaziele und der aktuellen Energiemarktlage kommt Wasserstoff als Brennstoff in der Prozesswärmebereitstellung eine weitere wichtige Rolle zu. Dies trifft bspw. auf Prozesse zu, die nicht elektrifizierbar sind oder der Energieeinsatz so hoch ist, dass die elektrische Leistung nicht vorgehalten werden kann. Beispiele für derart

energieintensive Prozesse sind die Stahl-, Glas- oder auch Keramikindustrie. Darüber hinaus wird Wasserstoff bereits heute stofflich eingesetzt, vorwiegend in der chemischen Industrie. Aufgrund der fehlenden Bedeutung für die stoffliche Nutzung in der Westpfalz wird im Folgenden auf die Anforderungen in der Prozesswärmebereitstellung eingegangen.

Regionale Herausforderungen

- Versorgungssicherheit mit ausreichenden Mengen von Wasserstoff für die z. T. sehr energieintensiven Industrieabnehmer in der Region.
- Umstrukturierung der Komponenten.

Lösungsansätze

- Anbindung an den nahegelegenen European Hydrogen Backbone für eine lückenlose Versorgung und den Export von Überschusswasserstoff (Pipeline-Netz als Speicher).
- Eventuell langfristige Errichtung von Wasserstofftanks im ehemaligen Bunker ARIUS.

Technologiekonzept & Umsetzungsstrategie

In der Westpfalz sind verschiedene Industrieunternehmen ansässig, welche prozessbedingt hohe Erdgasverbräuche aufweisen. Langfristig ist es notwendig, diese durch Umstellung auf nachhaltige Brennstoffe zu dekarbonisieren. Das stellt die Unternehmen sowohl vor wirtschaftliche als auch technische Herausforderungen, da der reine Wasserstoffbetrieb i. d. R. die Investition in neue Brennersysteme erfordert. Für den Übergang, bis ausreichende Mengen an

Wasserstoff zur Verfügung stehen, kann Wasserstoff dem Erdgas auch zugemischt werden.

Die Zumischung von Wasserstoff zum Erdgas führt dabei zu einer Veränderung der Brenngaseigenschaften und somit zu Änderungen wichtiger Prozessparameter wie Heizwert und Temperatur(-spitzen). Letztere haben einen Einfluss auf die Bildung von Stickoxiden, welche eine entsprechende Nachbehandlung des Abgases erfordern. Die dafür erforderlichen Einrichtungen sind zur Einhaltung der Grenzwerte nach TA-Luft in der Regel bereits vorhanden. Nach diversen Studien ist eine Zumischung bei konventionellen Brennern von bis zu 30 Vol.-% technisch unproblematisch. Eine entsprechende Bestätigung sollte jedoch vom jeweiligen Brennerhersteller eingeholt werden.

Zur Reduzierung der CO₂-Emissionen soll der Wasserstoff mit einem möglichst hohen Anteil an erneuerbaren Energien als Brennstoff eingesetzt werden. Neben der Verwendung als Brennstoff in der Prozesswärmebereitstellung untersucht der Lehrstuhl für Antriebe in der Fahrzeugtechnik (LAF) der Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau (RPTU) an einem Prüfstand den Betrieb mit Wasserstoff als Kraftstoff in Verbrennungsmotoren. Insgesamt entsteht in diesem Sektor somit ein Wasserstoffbedarf von ca. 650 t im Jahr.



Zentrale Abfallwirtschaft Kaiserslautern (ZAK)

Bio2H2@KI

„Abfallstämme Biomasse zu Wasserstoff in Kaiserslautern“

Projektpartner

Keine Partner, aber LOI im Wasserstoffabsatz:

- Stadtbildpflege Kaiserslautern, Abfallsammelfahrzeuge
- RPTU Kaiserslautern, Lehrstuhl für Antriebe in der Fahrzeugtechnik, H₂-Motorenprüfstand
- Jakob Becker Entsorgungs-GmbH, ca. 250 Spezialfahrzeuge
- BLS Baustoff Logistik Südwest GmbH & Co. KG, 150 40-Tonnen LKW
- F.K. Horn GmbH & Co. KG, 30 40-Tonnen LKW
- Schubbert Transporte, 18 Schwerlast-LKW
- TERRAG GmbH, 10 Schwerlast-LKW

Mit dem Auslaufen der staatlichen Förderung des Biomasseheizkraftwerks der ZAK im Jahr 2025 errichtet die ZAK ein Wasserstoffelektrolyseur auf ihrem Gelände. Dieser produziert strommarktdienlich Wasserstoff, der zum emissionsfreien Transport der eigenen Schwerlast-LKW-Flotte mit Brennstoffzellenantrieb eingesetzt wird. Darüber hinaus verfügbare

Umsetzung auf dem Standort der ZAK



Abbildung 8: Integration der Wasserstoffinfrastruktur in das bestehende Abfallentsorgungskonzept © ZAK AöR

Wasserstoffmengen werden über eine öffentliche Tankstelle oder per Trailer abgegeben.

Mit der Umsetzung des Projekts stellt ZAK nicht nur klimaneutralen Strom und Wärme, sondern zukünftig auch grünen Wasserstoff zur Verfügung.

Regionale Herausforderungen

Das Projekt ist die Keimzelle für den Hochlauf des Marktes für grünen Wasserstoff in der Region Westpfalz. Von der Erzeugung bis zum Absatz sind alle Wertschöpfungsstufen abgedeckt. Der nachfrageorientierte Ausbau dieser Keimzelle, die Verknüpfung mit weiteren, neuen Keimzellen in der Region sowie mit benachbarten, bestehenden Märkten werden die kommenden Herausforderungen sein.

Lösungsansätze

Im HyStarter Projekt Westpfalz wurden die Unternehmen verknüpft, die einen Beitrag zum weiteren Hochlauf des Wasserstoffmarktes leisten.

Externer Unterstützungsbedarf

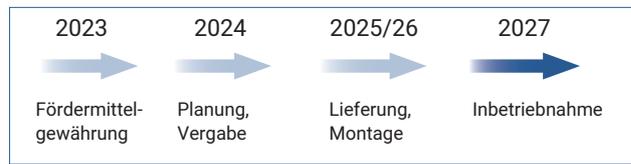
Nach überschlägiger Abschätzung der Kosten errechnet sich der Investitionsbedarf auf ca. 15 Mio. €. Großelektrolyseure und BZ-Lkw befinden sich noch nicht in einer Serienproduktion, dementsprechend hoch sind die Investitionskosten bei dem Projekt. Die Wirtschaftlichkeit des Projektes ist nur mit einer Fördermittelbewilligung gegeben.

Technologiekonzept & Umsetzungsstrategie

- Schnell regelbarer Elektrolyseur mit Wirkungsgrad min. 70% im Optimalpunkt, geringer Energieverbrauch im Standby. Hoher Reinheitsgrad (99,97%) des Wasserstoffs durch spätere Nutzung in H₂-Brennstoffzelle erforderlich.

- Produktion von jährlich 140 Tonnen Wasserstoff, strommarktdienlicher Betrieb des Elektrolyseurs mit Strom aus dem betriebseigenen Biomasseheizkraftwerk.
- Sauerstoffnutzung am Standort zur Verbesserung des aeroben Kompostierungsprozesses.
- Abwärmenutzung am Standort.
- Speicherung des Wasserstoffs bis zu 2,5 t.
- Tankstelle mit Betankungsstufen von 350 und 700 bar, wenn nachgefragt Erweiterung um LH₂ und CcH₂.
- Nutzung des grünen Wasserstoffes zur Dekarbonisierung der betriebseigenen Schwerlast-LKW-Flotte. Diese werden im Rahmen von Ersatzbeschaffungen durch Brennstoffzellen-Schwerlast-LKW ersetzt.
- Nukleus für Wasserstoffindustrie in der Region. Lokale Wertschöpfung und Kompetenz.
- Nutzung überschüssiger Wasserstoffmengen zur stationären Stromproduktion in einem BHKW.

Zeitplanung



Aktivitäten und Verantwortlichkeiten

Auf dem Gelände der ZAK wird bis Ende des 2027 eine Wasserstoffinfrastruktur bestehend aus Wasserstoffelektrolyseur, Wasserstoffspeicher sowie einer öffentlichen Tankstelle errichtet. Die Elektrolyseuranlage wird von ZAK betrieben, für die Tankstelle ist eine Kooperation mit einem erfahrenen Partner gewünscht.

Geplante Vernetzung mit anderen Aktivitäten in der Region

- **Wasserstoff-Initiative Blue Corridor:** Interdisziplinäres Projektteams von SWK Stadtwerken Kaiserslautern Versorgungs-AG, WVE GmbH und Zentraler Abfallwirtschaft Kaiserslautern (ZAK) zur Reduzierung des zukünftigen CO₂-austoßes in der innerstädtischen Mobilität
- **ZRW:** Antragsteller HyStarter, HyExpert oder HyPerformer Westpfalz
- **Stadtbildpflege Kaiserslautern:** Betrieb von Abfallsammelfahrzeugen
- **RPTU Kaiserslautern:** Lehrstuhl: „Antriebe in der Fahrzeugtechnik“, Betrieb eines Motorenprüfstand
- **Betreiber von Schwerlastflotten:** Wasserstoffabnahme

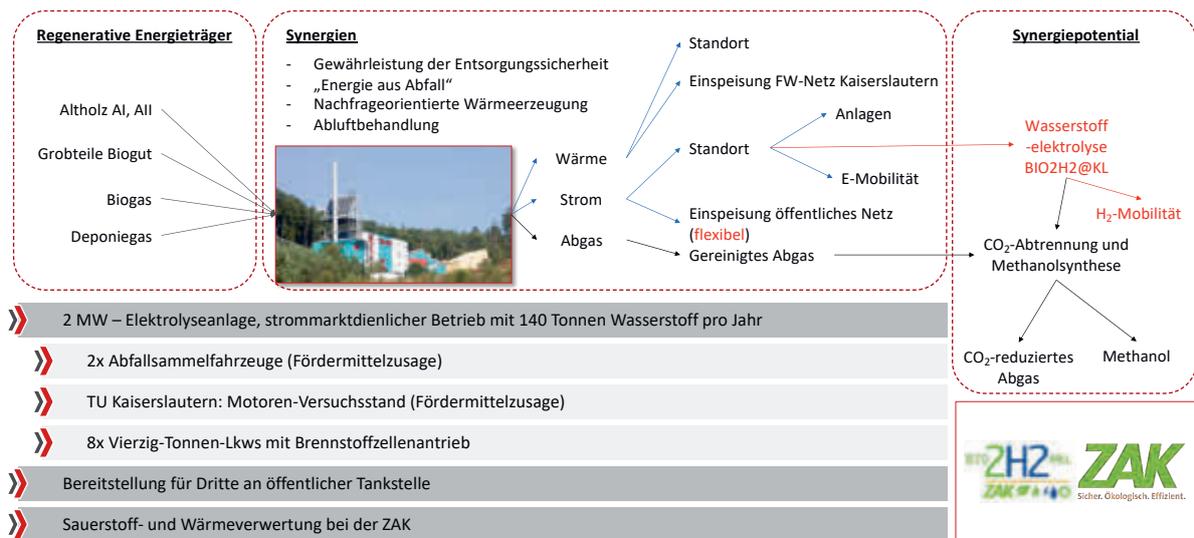


Abbildung 9: Konzeptschema des Bio2H2@KL der ZAK © ZAK AöR

Kombination innovativer Technologien zur klimaneutralen und nachhaltigen Energieversorgung kommunaler Einrichtungen der Stadt Pirmasens (KiT-PS)

„P2G-Technologie zur Sektorenkopplung – Schlüsselinnovation für die Energiewende“

Zwecks Intensivierung der Sektorenkopplung, sowie zur effizienteren Systemintegration von erneuerbaren Energien, wurde ein Konzept zur umfassenden Verknüpfung der Sektoren Strom (aus Photovoltaik- und Windkraftanlagen) in Verbindung mit einer P2G-Anlage (im Energiepark Pirmasens) zur Umstellung des Nahverkehrs (städtischer Fuhrpark) auf klimaneutrale Kraftstoffe und den Betrieb (durch Wärme- und Sauerstoffbereitstellung) für die Abwasserbeseitigung (Kläranlage Felsalbe) entwickelt.

Insbesondere soll durch dieses Projekt die elektrische Energie aus einer Freiflächen-Photovoltaikanlage (ohne EEG-Förderung) zur Produktion von synthetischem Methangas (SNG) für den Verkehrssektor genutzt werden. Berücksichtigung findet dabei die bestmögliche Nutzung der Abwärme aus Wasserstoff-Elektrolyse, Methanisierung und des Biogas-BHKW. Durch diese Maßnahmen können jährlich ca. 2.686 t/a an CO₂-Emissionen vermieden werden.

Die im Rahmen dieses Projektes noch zu realisierenden Maßnahmen zur Komplettierung einer P2G-Modellanlage im Energiepark Pirmasens umfassen den Aufbau einer Wasserelektrolyseanlage zur Bereitstellung von Wasserstoff in Verbindung mit dem Ausbau der biotechnologischen Methanisierung von Kohlendioxid aus Biogas zur Erzeugung von Synthesegas (SNG), sowie die Entwicklung

Projektpartner:

Stadt Pirmasens

Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e. V. (PFI)

Reiner Schmitt GmbH

Pfalzgas GmbH

Wasgau AG

PFI-Bioraffinerietechnik GmbH (PFI-BRT)



Abbildung 10: P2G-Technologie zur Sektorenkopplung; Kartengrundlage: © Google Maps, 2023; Datengrundlage: © PFI e. V.

und den Einsatz des Smart-Energy-Tools als wichtiges Instrument zur Optimierung der Energietransformations- und -verteilprozesse innerhalb des KiT-PS Projektes. Dieses umfassende, integrierte Konzept besitzt infolge der besonders weitreichenden Lösungsansätze zur Sektorenkopplung einen Modellcharakter für den Einsatz der P2G-Technologie.

Regionale Herausforderungen

- Energieerzeugung für kommunale Einrichtungen
- Umstellung Fahrzeugflotte auf klimaneutrale Kraftstoffe
- Wärmebereitstellung für Klärschlamm-trocknung
- 4. Reinigungsstufe für Kläranlagen
- Langzeitspeicherung regenerativer Stromquellen

Lösungsansätze

- Umsetzung Agri-Photovoltaik
- H₂- und CH₄-Produktion aus PV-Strom
- Abwärmenutzung aus Elektrolyse
- Sauerstoffnutzung aus Elektrolyse
- P2G-Technologie (Elektrolyse + Biologische Methanisierung) zur Speicherung von Stromüberschüssen im Erdgasnetz

Externer Unterstützungsbedarf

Pirmasens weist die höchste Pro-Kopf-Verschuldung kreisfreier Städte in Deutschland auf. Diese hohe Verschuldung stammt aus den hohen Sozialleistungen, die in Verbindung mit der hohen Arbeitslosigkeit (derzeit 10,8% ohne Langzeitarbeitslose) nach dem Niedergang der Schuhindustrie und der Aufnahme vieler Flüchtlinge nach 2015 entstanden sind. Pirmasens benötigt deshalb als finanzschwache Kommune, gleiches gilt für Kaiserslautern, eine hohe Förderquote zur Realisierung des Vorhabens, dessen Investitionsvolumen ca. 13,6 Mio. € beträgt.

Zeitplanung



Geplante Vernetzung mit anderen Aktivitäten in der Region

- **Konzepterstellung und Planung:** Die PFI-BRT erstellt das Gesamtkonzept und übernimmt die Planungen für die Anlagen im Energiepark Pirmasens.
- **Aufbau Agri-PV mit Trackingsystem in Verbindung mit einer Elektrolyseanlage:** Die Stadt Pirmasens weist Flächen für Agri-PV aus und investiert in eine Anlage zur Elektrolyse am Energiepark Pirmasens.
- **Biologische Methanisierung des Wasserstoffs mit Biogas-CO₂:** Das PFI erweitert die Pilotanlage zur Biotechnologischen Methanisierung zur Erzeugung von SNG aus Wasserstoff.
- **Aufbau eines Smart Energy-Tools:** Die Pflzgas GmbH steuert die Prozesse zur Umwandlung und Speicherung der regenerativen Energie.

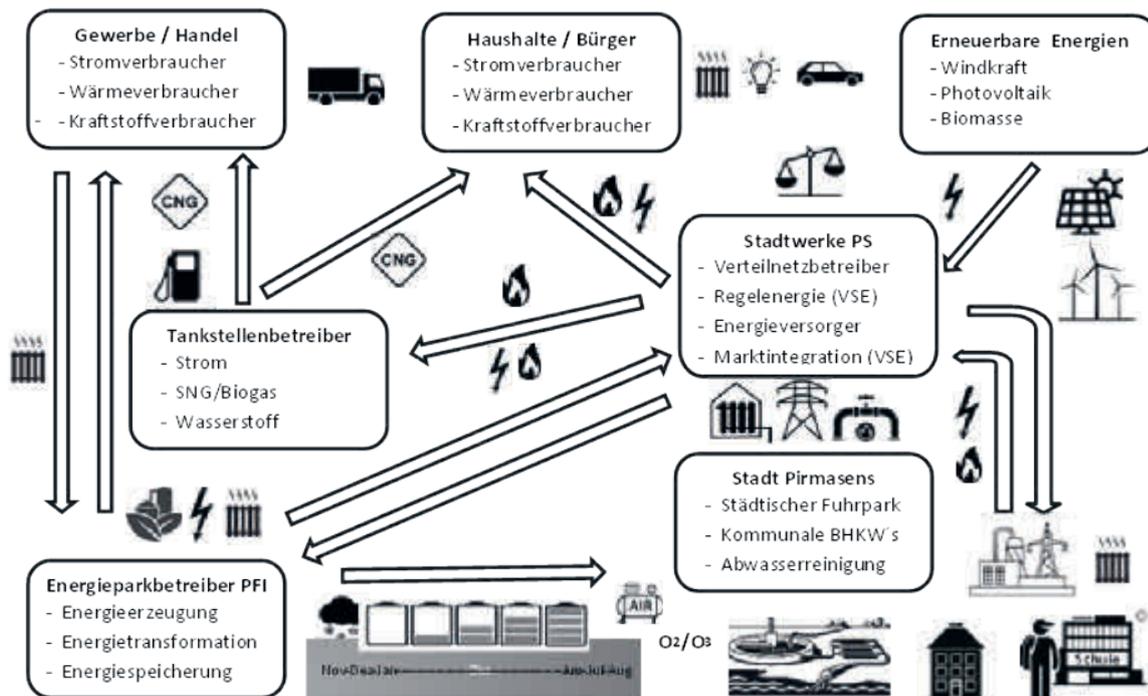


Abbildung 11: Schema der P2G-Technologie zur Sektorenkopplung in Pirmasens © PFI e. V.

Wasserstoff an der Weinstraße

„Die Entstehung eines Wasserstoff-Ökosystems Bad Dürkheim“

Die Pfalzwerke Aktiengesellschaft ist ein deutschlandweit tätiger Energieversorger und ein Dienstleistungsunternehmen in der Pfalz und im Saarpfalz-Kreis. Stromvertrieb und -verteilung stellen das Kerngeschäft des Unternehmens dar. Darüber hinaus beschäftigen sich die Pfalzwerke bereits seit mehreren Jahren mit zukunftsweisenden Technologien u.a. gehört Wasserstoff dazu.

Die Pfalzwerke planen den Aufbau eines grünen Wasserstoffnetzes mit dezentralen Erzeugungsanlagen. Wasserstoff wird dort produziert, wo er gebraucht wird. Ziel ist die Versorgung von kleinen und mittelgroßen Unternehmen mit grünem Wasserstoff auch außerhalb großer Industriezentren.

In der, in direkter Nachbarschaft zur Westpfalz gelegenen, Stadt Bad Dürkheim soll Wasserstoff ein wichtiger Aspekt der Wirtschaftsförderung und Standortattraktivität werden. Auf einer Fläche von rund 6.500 m² entsteht in einem Pilotprojekt ein Elektrolyseur mit einer Leistung von bis zu 15 MW, der ausschließlich grünen Wasserstoff produziert. Der Standort ist nur wenige Meter vom Projektpartner

Projektpartner

KST-Motorenversuch GmbH & Co. KG

KST Motorenversuch GmbH & Co. KG entfernt, so dass Wasserstoff mittels Pipelines auf kurzem Wege, ohne teuren Trailer-Transport geliefert werden kann.

Die KST-Motorenversuch GmbH & Co. KG. im Gewerbegebiet Bruch der Stadt Bad Dürkheim testet seit mehreren Jahren Wasserstoffmotoren und Brennstoffzellen, um einen Beitrag zur emissionsfreien Mobilität zu leisten.

Über dieses Pilotprojekt hinaus, besteht das Interesse weiterer Unternehmen, die den grünen Wasserstoff für verschiedene Industrieprojekte oder auch für den öffentlichen Verkehr nutzen wollen.

Der Elektrolyseur soll im 1. Quartal 2025 in Betrieb gehen und ab diesem Zeitpunkt eine Versorgungssicherheit mit Wasserstoff für dem Ankerkunden – KST – bieten.

Regionale Herausforderungen

- Das ausgesuchte Grundstück liegt momentan noch nach Baurecht im Außenbereich. Es ist eine enorme zeitliche Herausforderung zusammen mit allen Behörden den Bauleitplan rechtlich soweit abzuändern um eine Baugenehmigung zu bekommen.
- Ein möglichst schnelles Genehmigungsverfahren nach BImSchV.

Lösungsansätze

- Sehr enge Abstimmung mit der Stadt und Kreis Bad Dürkheim: Zielabweichungsverfahren anstreben und mit einem vorhabenbezogenen Bebauungsplan sehr zeitnah mit der Erschließung zu beginnen.
- Vorab Kontakt mit der SGD-Süd und den Kreis DÜW aufgebaut

Externer Unterstützungsbedarf

Wasserstoffprojekte müssen politisch gewollt sein, um diese möglichst schnell umzusetzen zu können (z. B. Genehmigungsverfahren) und damit einen Beitrag zur Energiewende zu leisten. Der Ausbau der rheinland-pfälzischen Wasserstofflandschaft muss von der Landesregierung verstärkt gefördert werden.



Aktivitäten und Verantwortlichkeiten



Abbildung 12: Entstehung eines dezentralen Wasserstoffclusters in Bad Dürkheim © Pfalzwerke AG



Abbildung 13: Die Rolle der Pfalzwerke Gruppe in einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft © Pfalzwerke AG

Input: EE-Strom aus Pfalzwerke-Anlagen

- Produktion: Wasserstoff + Nebenprodukte (Sauerstoff und Abwärme)
- Abnehmer:
 - KST als zentraler Ankerkunde
 - Verteilung von H_2 durch eine eingegangene Kooperation mit einem Industriegaslieferanten
 - ÖPNV – H_2 -Tankstelle für die Busse der Stadt und des Kreises DÜW
- Übergeordnetes Ziel: Über systemischen/ganzheitlichen Ansatz die maximal mögliche Wertschöpfung heben

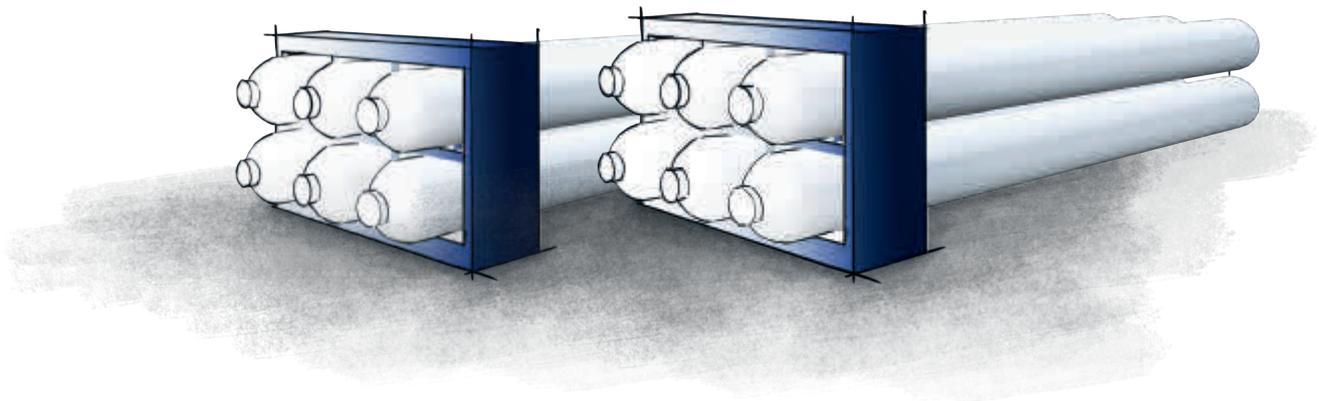
- Verzahnung zwischen Welt des Stroms (Kerngeschäft der Pfalzwerke) und Welt der Moleküle (Industriegaslieferant)
- Eine zukünftige Kooperation mit Industriegaslieferant ist geplant
 - Ziel ist es: sinnvolle Synergien schaffen aus den jeweiligen Kernkompetenzen von EVUs und Industriegaslieferanten

Zeitplanung

Des Gesamtprojekts soll in 18 bis 24 Monaten umgesetzt werden. Neben den langen Lieferzeiten eines Elektrolyseurs (>12 Monate) und der Raumplanung, beeinflusst der BImSch-Genehmigungsprozess maßgeblich den Zeitplan. Aktueller Zeitplan sieht eine Produktion von Wasserstoff in Bad Dürkheim in Q1 2025 vor.

Geplante Vernetzung mit anderen Aktivitäten in der Region

- **Zusammenarbeit und Ideenentwicklung mit anderen regionalen Energieversorgungsunternehmen RLP zum Thema Wasserstoff:** Sommer 2023



In den HyStarter-Dialogen wurden verschiedene Wasserstoff-Handlungsfelder diskutiert und auf ihre technologische Umsetzbarkeit geprüft. Um die von den HyStarter-Akteuren eingereichten Ideen hinsichtlich der Bedeutung eines möglichen Wasserstoff-Nachfragepotenzials und der dafür notwendigen Wasserstofferzeugungskapazitäten zu prüfen, wurden diese in einer Systembetrachtung zusammengeführt und als Energieflussbild grafisch dargestellt (siehe Abbildung 14).

Der Aufbau der in HyStarter analysierten Wasserstoffwirtschaft wurde primär von der Wasserstoffnachfrageseite aus entwickelt, da Bedarfe im Akteursnetzwerk eindeutiger zu identifizieren waren. Diese umfasst u. a. die BZ-

Mobilität sowie die Prozesswärmebereitstellung. Anhand der errechneten Gesamtbedarfe wurde die dafür benötigte Produktionskapazität von Wasserstoff ermittelt.

Die einzelnen Projektideen, die Bedarfe sowie die jeweiligen Technologien sind entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette in dem Energieflussbild dargestellt. Das Technologiekonzept gibt, ausgehend von einer angenommenen Nachfrage nach Wasserstoff im Mobilitäts- und Industriesektor, den Bedarf an Elektrolyseleistung und die notwendige Versorgung mit regenerativ erzeugten Energien an.

In der Analyse wurde davon ausgegangen, dass 10 Busse, 10 Müllfahrzeuge, 41 Lkw und 69 Pkw mit Wasserstoff

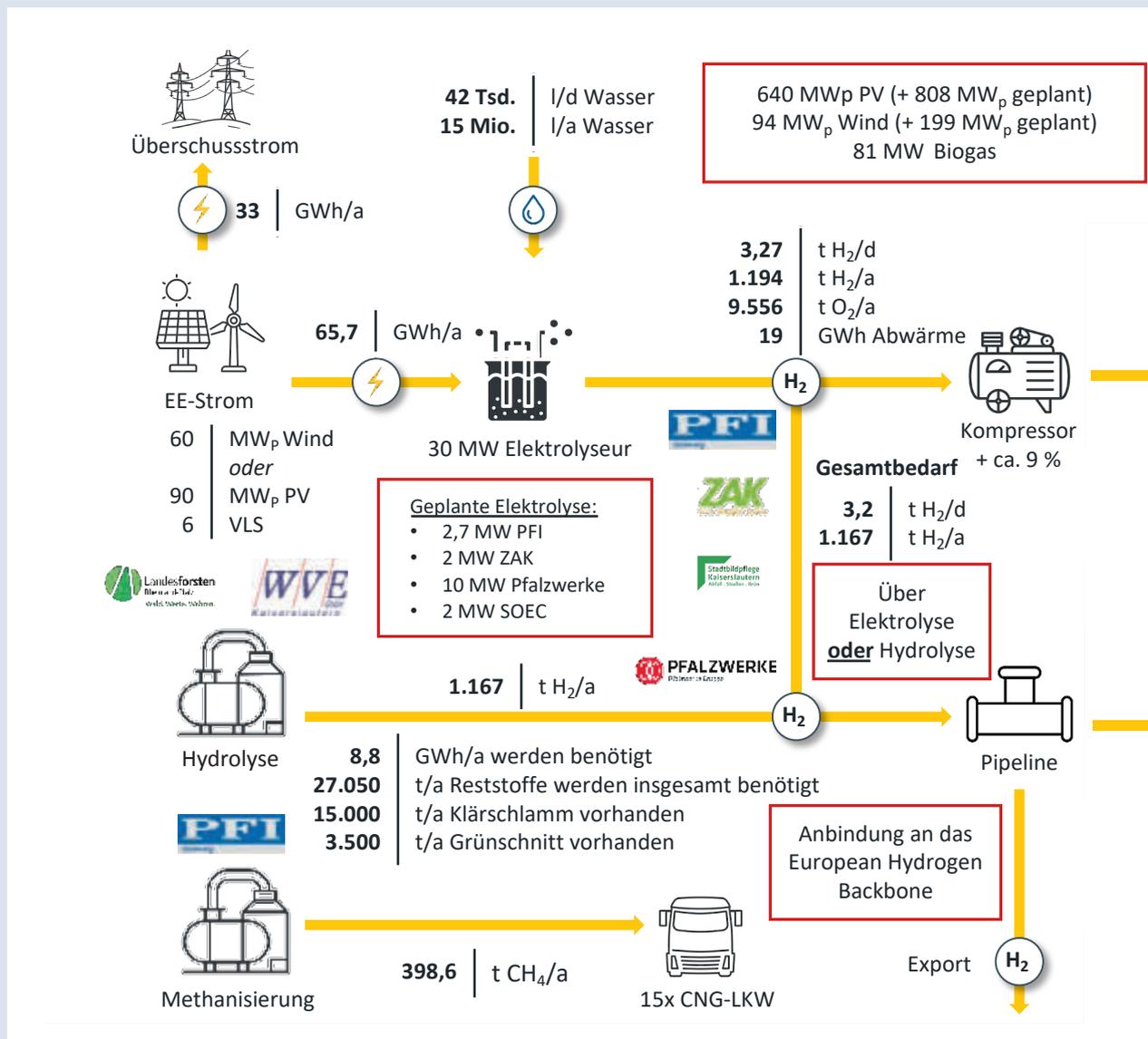


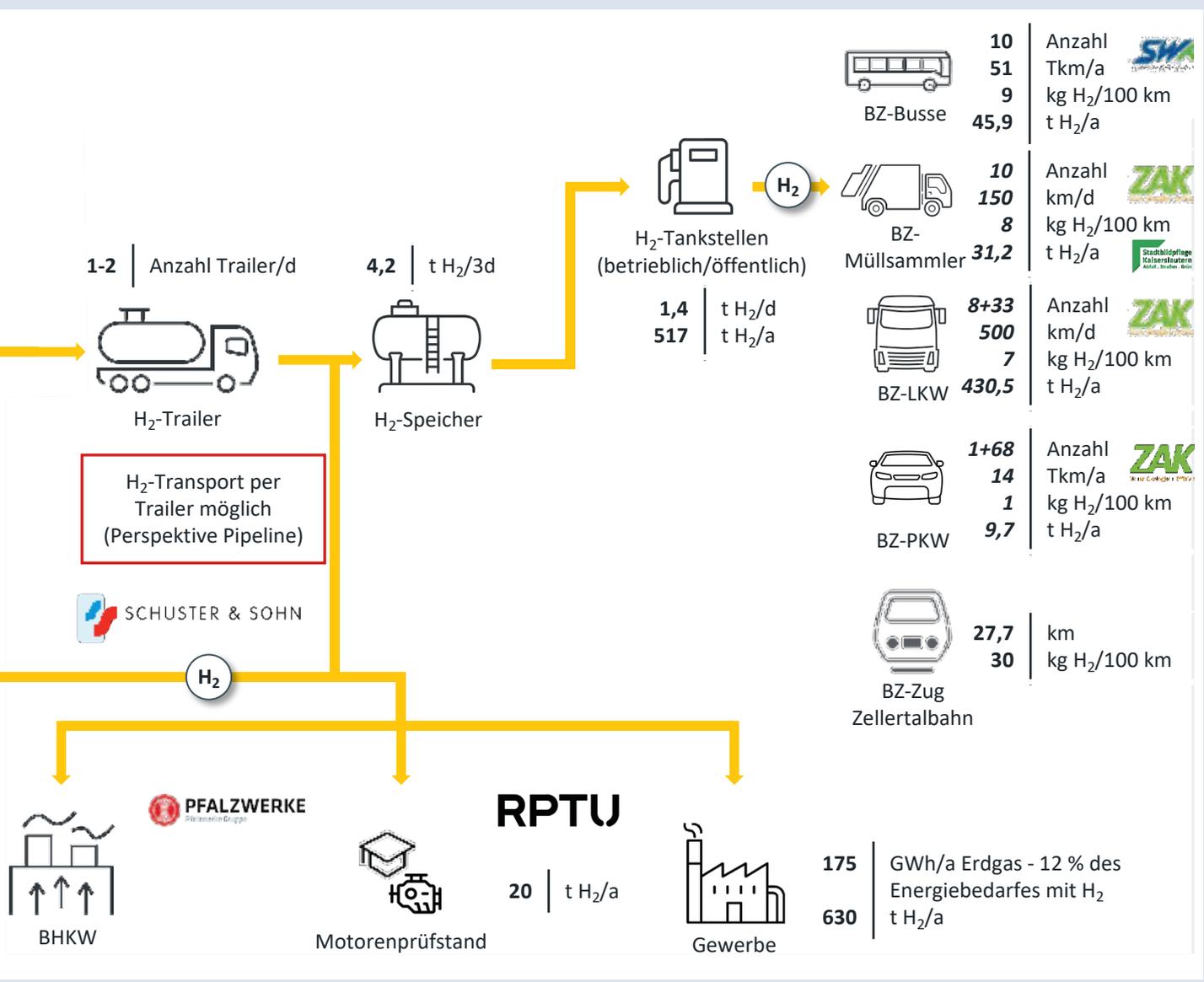
Abbildung 14: © BMDV / EE ENERGY ENGINEERS GmbH

betrieben werden. Die jeweiligen Tageskilometer und Verbrauchsdaten pro 100 km sowie der zu erwartende Tagesumsatz an den Tankstellen sind der Grafik zu entnehmen. Die Daten stammen von den örtlichen Akteuren und den Angaben der Fahrzeughersteller. Insgesamt entsteht ein Bedarf von ca. 517 t H₂ im Mobilitätssektor.

Die Speicher an den Tankstellen sind mit der dreifachen Tagesmenge dimensioniert, um bei etwaigen Lieferproblematiken eine temporäre Absicherung zu ermöglichen. Die Tankstellen sollen bis zu einem etwaigen Anschluss an den European Hydrogen Backbone per Trailer beliefert werden. Für das Gewerbe bzw. den Motorenprüfstand der RPTU Kaiserslautern werden weitere

650 t H₂ im Jahr benötigt, womit in der Region ein Gesamtbedarf von 1.167 t H₂ im Jahr entsteht.

Aus der derzeitigen Planung der Leuchtturmprojekte ergibt sich eine kumulierte Elektrolyseurleistung von ca. 15 MW, womit bereits ein Viertel der erforderlichen Gesamtleistung von 60 MW abgedeckt ist. Neben dem Wasserbedarf für die Herstellung des grünen Wasserstoffs ist die benötigte Menge an regenerativen Strom angegeben. Zusätzlich ist in der Region ein großes Potenzial an biogenen Reststoffen vorhanden, womit bis zu 1.194 t Wasserstoff im Jahr produziert werden können. Die Region ist folglich hervorragend geeignet, ihren Wasserstoff selbst zu produzieren und bietet zudem das Potenzial, Überschuss zu exportieren.



Weitere Informationen zu den aktuellen Wasserstofftechnologien (Verfügbarkeit, Reifegrad, Funktionsweise, Hersteller u. v. m.), eine Übersicht zu den rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen sowie Informationen zu aktuellen Förderprogrammen finden Sie unter den nachfolgenden QR-Codes bzw. Links:

Aktuelle Förderprogramme



- Förderprogramme auf EU-Ebene
- Förderprogramme auf Bundes-Ebene

Gesetze und Regulatorik



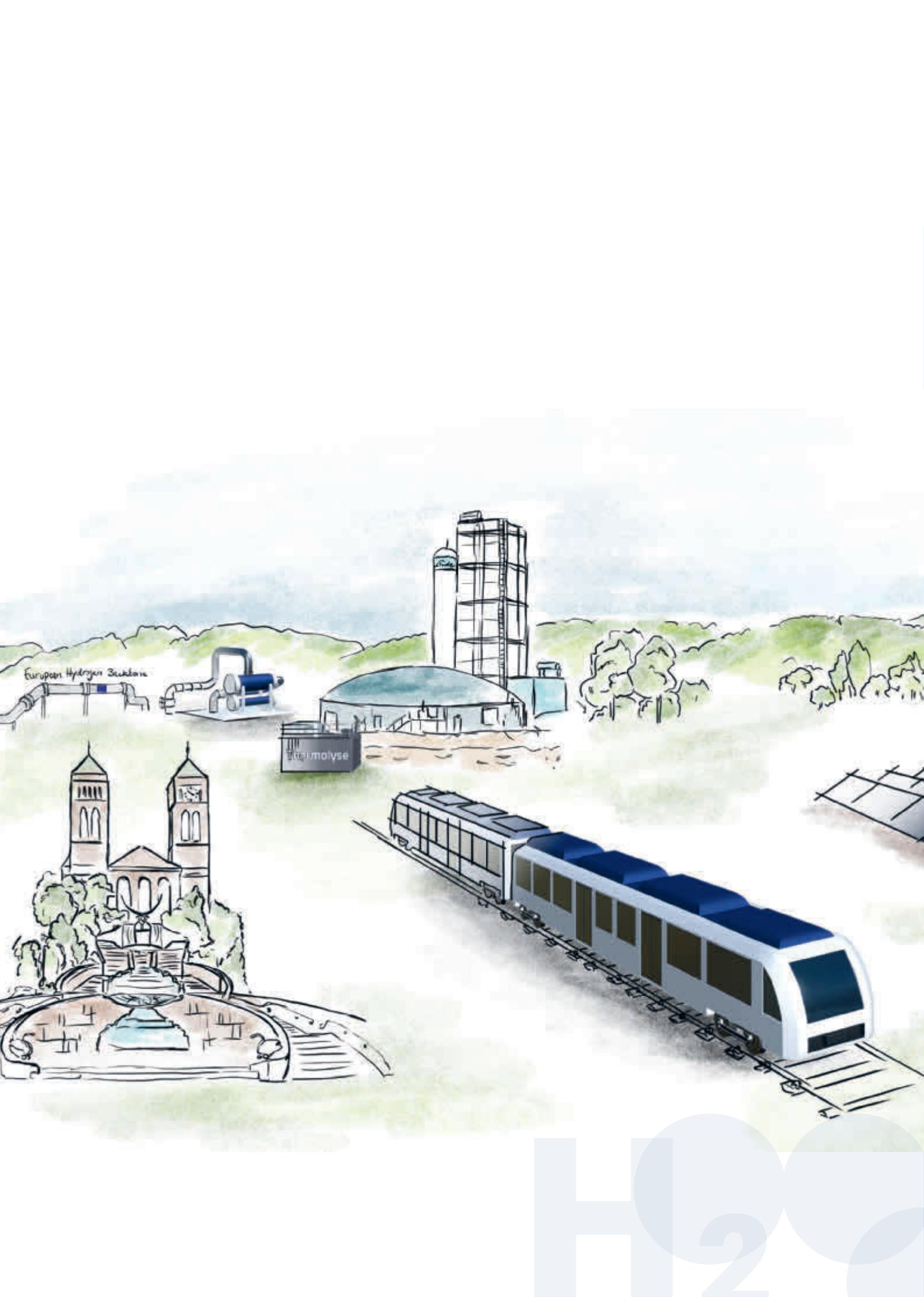
- Gesetzeslandkarte zu nationalen Gesetzen und Verordnungen

Wasserstoffanwendungen



- Straßenfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb
- Weitere mobile Anwendungen
- Gebäude- und Standortenergieversorgung
- Wasserstoffproduktion
- Wasserstofftransport und -abgabe

ACC	Automotive Cells Company
AEL	Alkalischer Elektrolyseur
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BZ	Brennstoffzelle
CCH₂	Cryo-compressed Hydrogen, Kryo-komprimierter Wasserstoff
Carbon-fix	Gehalt an gebundenem Kohlenstoff
CVD	Clean Vehicles Directive
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle, Brennstoffzellenfahrzeuge
FFA	Freiflächenanlage
GWh	Gigawattstunde
H₂	Wasserstoff
HRS	Hydrogen Refueling Station, Wasserstofftankstelle
KsNI	Förderprogramm für Klimaschonende Nutzfahrzeuge und Infrastruktur
kW	Kilowatt
LH₂	Liquid Hydrogen, Flüssigwasserstoff
LOI	Letter of Intent – Absichtserklärung (unverbindlich)
MW	Megawatt
MW_p	Megawatt peak – Bezeichnung für die maximale Leistung, insb. bei PV-Anlagen
NIP	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NOW	Nationale Organisation für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
O₂	Sauerstoff
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PEM	Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyseur
PFI	Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e. V.
PTJ	Projekträger Jülich
PV	Photovoltaik
RPTU	Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau
VLS	Volllaststunde
ZAK	Zentrale Abfallwirtschaft Kaiserslautern
ZRW	ZukunftsRegionWestpfalz e. V.



H₂O