



CLEAN MOBILITY PASSAUER LAND



## HyExpert-Machbarkeitsstudie für den Landkreis Passau

Zukunftschance Wasserstoff –  
Clean Mobility im Passauer Land

Oktober 2023

IM AUFTRAG VON



GEFÖRDERT DURCH



KOORDINATION DURCH



PROJEKTRÄGER



## IMPRESSUM

### GP JOULE CONNECT

Als Komplettanbieter sorgt GP JOULE CONNECT für die erfolgreiche Implementierung von Projekten im Bereich der Energie- und Mobilitätswende.

### CENTOURIS

CENTOURIS ist ein Institut der wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Universität Passau und steht für die erfolgreiche Verknüpfung von wissenschaftlichem Anspruch und Nähe zu unternehmerischer Praxis.

### ENDURA KOMMUNAL

Die endura kommunal GmbH stellt Kommunen und kommunale Akteure in den Mittelpunkt von Erneuerbaren-Energien-Projekten und begleitet diese von der Projektidee bis zur Umsetzung.

### EMCEL

Die EMCEL GmbH ist ein Ingenieurbüro mit langjähriger Erfahrung aus der Beratungs- und Entwicklungspraxis.

### PROJEKTVERANTWORTUNG

Landkreis Passau  
Roland Gruber  
roland.gruber@landkreis-passau.de

### PROJEKTLEITUNG

GP JOULE CONNECT  
Dag Rüdiger  
d.ruediger@gp-joule.de



## VORWORT

*Sehr geehrte Damen und Herren,*

*die Mobilität der Zukunft beschäftigt uns alle seit vielen Jahren. Als Flächenlandkreis stehen wir hier vor besonderen Herausforderungen. Deshalb haben wir uns frühzeitig zusammen mit starken Partnern aus der Wirtschaft auf die Suche nach zukunftsfähigen Alternativen gemacht. Wasserstoff ist dabei eine der wichtigsten Lösungen, davon bin ich überzeugt.*

*Wir haben uns daher vor zwei Jahren entschieden, mit einer einheitlichen Wasserstoffstrategie neue Wege zu gehen und den Landkreis Passau fit für die Zukunft zu machen. Durch unsere Teilnahme am HyLand-Programm ist es uns gelungen, uns als HyExpert Wasserstoffmodellregion zu positionieren und die nötigen Fördermittel zu akquirieren, um unsere Strategie weiter voranzutreiben.*

*Durch die Schlagkraft und das Know-How unserer heimischen Wirtschaft sind wir weit vorangekommen in den letzten beiden Jahren. Dabei hat sich gezeigt, dass sich mit unseren Partnern aus der Wirtschaft eine geschlossene Wertschöpfungskette in der Region entwickeln kann, von der Herstellung von Wasserstofffahrzeugen bis hin zum Verbrauch des Energieträgers.*

*Besonders danken möchte ich dem HyPaLa-Projektteam sowie dem lokalen Konsortium mit den Firmen MaierKorduletsch, Paul Nutzfahrzeuge und Eichberger Reisen, die unsere Arbeit auf dem Weg hin zu einem starken Wasserstoffstandort unterstützen und auch künftig dafür sorgen werden, dass ein praktischer, zukunftsweisender Nutzen für unsere heimische Wirtschaft und unsere Unternehmen entsteht.*

*Mit der Arbeit aus den vergangenen zwei Jahren gehen wir als Region gemeinsam mit unserer Wirtschaft einen großen Schritt in Richtung Zukunft. Damit sind wir als ländliche Region weiter und noch mehr konkurrenzfähig zu den großen Ballungsräumen und attraktiver Standort für Unternehmen und unsere Bürgerinnen und Bürger. Hier bei uns im Passauer Land sind Innovationskraft und Zukunft daheim!*

*Ihr  
Raimund Kneidinger*

*Landrat*



## MANAGEMENT SUMMARY

Der Landkreis Passau befindet sich in einer vielversprechenden Ausgangssituation, um die Herausforderungen der nachhaltigen Mobilität anzugehen. Eine strategische Herangehensweise an dieses Thema bietet zahlreiche Vorteile. Die nun durchgeführte HyExperts-Studie hat aufgezeigt, dass neben den bereits bekannten Vorreitern auch eine breite Palette von weiteren Akteuren in der Region aktiv ist.

Diese Akteure decken die gesamte Wertschöpfungskette im Bereich Erneuerbare Energien, Wasserstoffproduktion, Wasserstoffvermarktung, Wasserstoffverbrauch sowie der Wasserstoffausrüstung und -infrastruktur ab. Besonders in den Städten Vilshofen und Pocking, aber auch in der kreisfreien Stadt Passau sind klare Knotenpunkte für diese Aktivitäten zu erkennen. Aufgrund der aktuellen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Anreize wie den THG-Quotenhandel wird vor allem der Mobilitätssektor und hier vor allem schwere Nutzfahrzeuge inklusive Bussen ein Treiber einer lokalen Wasserstoffwirtschaft im Landkreis sein. Beispielhaft zeigen Leuchtturmprojekte in der Region den starken Willen der Akteure, die Zukunft der Mobilität insbesondere mit Wasserstoff aktiv zu gestalten. Die Eröffnung der Wasserstofftankstelle in Sperrwies, sowie die Planung des H<sub>2</sub>-Mobility Hubs am neuen Autobahnkreuz A3/A94 sind herausragende Beispiele dafür. Anhand eines Fallbeispiels konnte die HyExperts-Studie die Komplexität solcher Vorhaben verdeutlichen und eine konkrete Handreichung für die Errichtung von Elektrolyseuren und Wasserstofftankstellen in der Region und darüber hinaus bieten.

Speziell durch die Aktivitäten des Next Mobility Accelerator Consortiums existiert in der Region Passau derzeit mit 25 mittelschweren LKW eine der größten H<sub>2</sub>-LKW-Flotten in ganz Europa und somit bereits ein Kern eines lokalen H<sub>2</sub>-Ökosystems. Diesen Kern gilt es im Sinne des Hochlaufs der Wasserstoffwirtschaft zu nutzen und zu bespielen. So erlaubt die geschaffene Infrastruktur der Wasserstofftankstelle in Sperrwies unterschiedlichen Akteuren vor Ort die relativ risikolose Adaption der Wasserstoffmobilität, speziell in Bezug auf einen intensiven Probetrieb und Praxisvergleich zu Batterie-elektrischen Lösungen. Dies gilt insbesondere für den lokalen ÖPNV, der durch die geschaffene Infrastruktur ideale Bedingungen für die Umstellung erster Busse auf Wasserstoff vorfindet. Bei einem Zielkorridor von 7-8 EUR/kg H<sub>2</sub> (netto), welcher speziell über die Dreifach-Anrechnung beim THG-Quotenhandel (vgl. Referentenentwurf zur Neufassung der 37. BImSchV) ab Anfang 2024 möglich erscheint, lassen sich dabei unter bestimmten Umständen mit konventionellen Fahrzeugen vergleichbare Gesamtbetriebskosten erzielen.

Entscheidend für den Erfolg einer lokalen Wasserstoffwirtschaft sind dabei auch die ausreichende

Produktion erneuerbarer Energien (auch Wind!) und Wasserstoffs in der Region, sowie die Aktivierung geeigneter Beschaffungskanäle. Da der benötigte Wasserstoff bislang u.a. noch aus Wunsiedel importiert werden muss, erscheint der Aufbau einer eigenen Elektroyseanlage in der Region als nächster logischer Schritt, welcher u.a. von MaierKorduletsch im Rahmen des Mobility Hubs am neuen Autobahnkreuz A3/A94 bereits intensiv vorangetrieben wird. Neben lokalen Technologie- und Produktionsunternehmen bietet eine derartige Elektrolyseanlage u.a. aufgrund der Vorgaben nach RED II auch für die regionalen Betreiber von (innovativen) PV-Parks zusätzliche Abnahmepotenziale und Erlösmöglichkeiten gerade bei Direktlieferverträgen (PPAs).

Perspektivisch können durch (dezentrale) Elektrolyseure zudem Abschaltungen lokaler PV-Anlagen reduziert werden. Dazu sind geeignete Gebiete gemeinsam mit den Netzbetreibern zu lokalisieren, beispielsweise durch einen landkreisweiten Energienutzungsplan. Vor diesem Hintergrund ist auch die Entwicklung eines kommunalen Regionalwerkes positiv zu sehen, wodurch lokale Interessen besser berücksichtigt werden können und die lokale Wertschöpfung gesteigert werden kann. Wobei sowohl für einen höheren Eigenversorgungsanteil des Landkreises als auch für die Stromversorgung eines lokalen Elektrolyseurs zunächst vor allem der Windenergie und (Groß-)Batteriespeichern eine wichtige Rolle zukommen wird. Darüber hinaus ist die Produktion von Wasserstoff aus Klärschlamm oder biologischen Reststoffen ein intensiver zu verfolgender Aspekt, da dies zwei Zukunftsthemen des Landkreises auf einmal adressiert.

Insgesamt macht die Kombination der H<sub>2</sub>-Infrastruktur mit Schnellladeeinrichtungen und die große H<sub>2</sub>-LKW-Flotte den Landkreis Passau zu einem Vorzeigeort für die neue Mobilität. Hier zeigt sich, dass die Region alle Voraussetzungen und das Engagement hat, um eine nachhaltige Mobilitätswende erfolgreich voranzutreiben. Die HyExperts-Studie verdeutlicht, dass der Landkreis Passau eine wichtige Rolle in der Entwicklung und Umsetzung von nachhaltigen Mobilitätslösungen spielen kann und dabei auf eine breite Basis von engagierten Akteuren zählen kann.

## INHALTSVERZEICHNIS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Einleitung .....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1. Ausgangssituation .....  | 1         |
| 1.2. Die Wasserstoffstrategie des Landkreises und Einordnung von HyPaLa .....                               | 2         |
| 1.3. Ziele der HyPaLa-Machbarkeitsstudie .....  | 3         |
| <b>2. Akteursanalyse in der Region Passau .....</b>   | <b>5</b>  |
| 2.1. Relevante Beteiligte der Wasserstoffwirtschaft im LK Passau und in den Grenzregionen .....             | 5         |
| 2.2. Ergebnisse von Bürger- & Akteursbefragungen .....  | 8         |
| 2.3. Ableitende Bewertung der Ausgangssituation und des räumlichen Stakeholder-Potenzials .....             | 10        |
| <b>3. Potential für die Erzeugung und Beschaffung .....</b>   | <b>12</b> |
| 3.1. Potential für die regionale Erzeugung von erneuerbarem Strom in der Region Passau .....                | 12        |
| 3.2. Potential für die regionale Erzeugung von Wasserstoff in der Region Passau .....                       | 21        |
| 3.3. Externe Beschaffung von Wasserstoff .....  | 27        |
| 3.4. Produktions- und Beschaffungsmöglichkeiten für den Landkreis Passau .....                              | 33        |
| <b>4. Einsatz, Abnahme und Nutzung von H<sub>2</sub> in der Region Passau .....</b>                         | <b>35</b> |
| 4.1. Markt- und Nutzungspotenziale von Wasserstoff in Deutschland und im Landkreis Passau .....             | 35        |
| 4.2. H <sub>2</sub> -Anwendungsfelder und Strategien zur Dekarbonisierung im Landkreis Passau .....         | 41        |
| 4.3. Verbrauchspotenziale, Motivatoren und Hemmnisse der regionalen H <sub>2</sub> -Nutzung .....           | 50        |
| 4.4. Verteilungs- und Verbindungsmöglichkeiten zwischen Erzeugung und Verbrauch .....                       | 53        |
| 4.5. Konkretes Fallbeispiel der Wasserstoffnutzung in der Region Passau .....                               | 57        |
| 4.6. Marktvolumen des Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Sektors in der Region Passau .....                  | 61        |
| <b>5. Energie- und Mobilitätskonzept für einen H<sub>2</sub>-Mobility Hub am Autobahnkreuz A3/A94 .....</b> | <b>63</b> |
| 5.1. Standortanalyse für einen H <sub>2</sub> -Mobility Hub am Autobahnkreuz A3/A94 .....                   | 63        |
| 5.2. Potenziale zur lokalen Erzeugung von Wasserstoff am gewählten Standort .....                           | 67        |
| 5.3. Tankinfrastruktur für Wasserstoff .....  | 72        |
| 5.4. E-Ladeinfrastruktur am Mobility Hub .....  | 78        |
| 5.5. Projektierung eines Mobility Hubs .....  | 83        |
| <b>6. Ausblick und Maßnahmen .....</b>  | <b>86</b> |
| 6.1. Übertragbarkeit auf andere Regionen .....  | 86        |
| 6.2. Maßnahmen und Handlungsempfehlungen .....  | 86        |
| 6.3. Projektzusammenarbeit mit dem Landratsamt Passau .....   | 90        |
| 6.4. Erfolgsfaktoren für die Umsetzung von H <sub>2</sub> -Projekten .....                                  | 91        |
| <b>7. Schlusswort .....</b>   | <b>93</b> |
| <b>8. Anhang und Verzeichnisse .....</b>  | <b>94</b> |

## 1. EINLEITUNG

### 1.1. Ausgangssituation

Menschgemachte Probleme wie voranschreitende Umweltbelastungen, hoher Schadstoffausstoß in die Luft und eine stete Verknappung von Rohstoffen erfordern ein Umdenken im Umgang mit den verfügbaren Ressourcen. Zum Erreichen der nationalen Klimaschutzziele müssen insbesondere emissionsreiche Sektoren, denen der Verkehrssektor zugerechnet werden muss, in nachhaltige und klimafreundliche Systeme transformiert werden.

Die positiven Auswirkungen der Antriebs- und Infrastrukturtransformation im Verkehrssektor beschränken sich nicht nur auf globale Effekte, sondern tragen direkt zu einer Verbesserung lokaler Standortbedingungen bei. Bayern und insbesondere der Landkreis Passau möchten im Zuge der angestrebten Verkehrswende eine Vorreiterrolle übernehmen und diese Antriebs- und Infrastrukturtransformation zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors gezielt durch die Entwicklung konkreter Maßnahmen vorantreiben. Dabei werden Schwerpunkte auf den Wirtschaftsverkehr, in Form einer sauberen Logistik auf Basis von Wasserstofffahrzeugen, und die öffentliche Mobilität, in Form der Errichtung eines klimaneutralen elektrischen ÖPNV, gelegt.

Für eine systematische Herangehensweise und Bearbeitung dieser Themen der Mobilitäts- und Energiewende wurde die Projektlandschaft Passau, bestehend aus einem Konsortium von KMUs, Großunternehmen und Forschung, durch den Landkreis Passau gebildet. Die Projektlandschaft Passau strebt eine integrierte Lösung für den Landkreis Passau an und möchte einzelne Projekte und Maßnahmen im Kontext einer ganzheitlichen, integrierten Antriebs- und Energiewende einordnen und unterstützen. Dabei sollen gezielt Maßnahmen initiiert, vorbereitet und unterstützt werden. Die Maßnahmen werden sukzessive durch Experten durchgeführt und durch Teilnahme und Steuerung des Landkreis Passau systematisch in der Region zugänglich gemacht werden. So können die Maßnahmen neben einer lokalen Wertschöpfung zugleich überregionale Strahlungseffekte durch die Aufbereitung und Dissemination der Erkenntnisse sowie durch gezielte Netzwerkarbeit erzeugen. Die Region wird dadurch zum Rolemodel der Neuen Mobilität. Das Gesamtkonzept der Projektlandschaft Passau untergliedert sich dabei in drei Teilbereiche: Wasserstoff, Batterie und Mobilität.

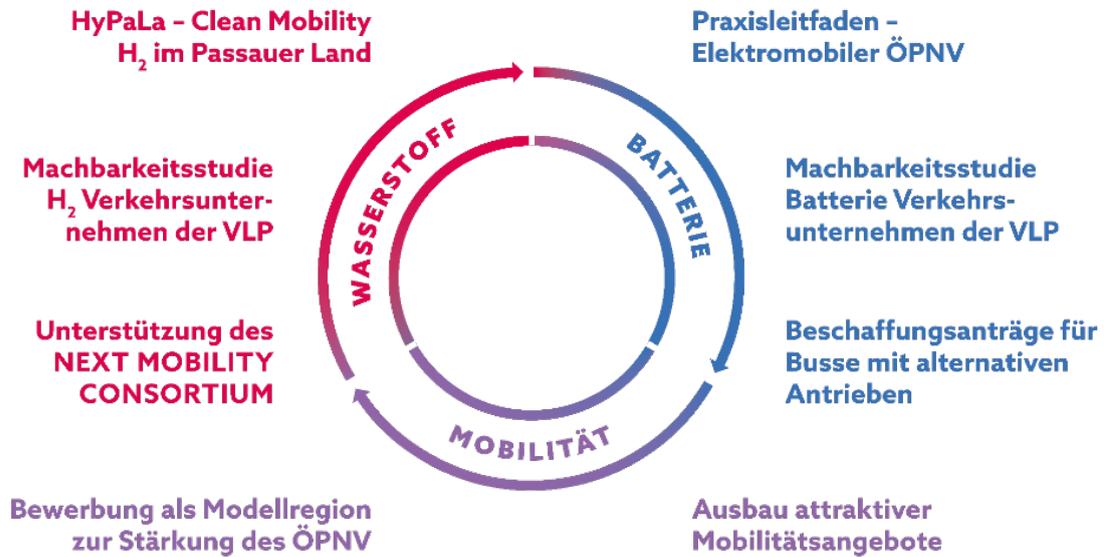


Abbildung 1-1: Projektlandschaft Passau

Den Bereich mit dem größten Potenzial und Innovationsfaktor der Projektlandschaft Passau stellt der Teilbereich Wasserstoff im Landkreis Passau dar. Insgesamt sind zwei große Vorhaben im Teilbereich vorgesehen: die vorliegende Studie zur HyExpert-Region Passau sowie die Projektierung eines großen Wasserstoffvorhabens in der Region.

## 1.2. Die Wasserstoffstrategie des Landkreises und Einordnung von HyPaLa

Die Region Passau sieht in der Wasserstoffwirtschaft ein Schlüsselement für die zukünftige Gestaltung und den wirtschaftlichen Aufschwung der gesamten Region. Die ansässigen Unternehmen erfüllen alle Voraussetzungen, um eine ganzheitliche Wertschöpfung, von der Herstellung von H<sub>2</sub>-LKW bis zum Verbrauch des Wasserstoffs, in der Region zu realisieren. Im Rahmen der HyPaLa-Studie sollen diese Potenziale geschärft und weiterführende Maßnahmen vorbereitet werden. Die Studie stellt die Grundlage für tiefgehende Schritte des Landkreises zur Wasserstoffwirtschaft dar. Zur Leistungserbringung wurde ein Konsortium, federführend durch die GP JOULE, bestehend aus der GP JOULE, CENTOURIS, ENDURA KOMMUNAL und EMCEL beauftragt.

Unterstützt und begleitet wurde die vorliegende Studie u. a. vom Next Mobility Accelerator Consortium (NMAC) sowie von der Verkehrsgemeinschaft Landkreis Passau (VLP). Das NMAC fokussiert sich auf eine ganzheitliche Betrachtung und Entwicklung der Wasserstoff-Wertschöpfungskette, indem zugleich für das Angebot von Wasserstoff als auch für die Nachfrage

durch H<sub>2</sub>-LKW in der Region gesorgt wird. Seit September 2023 versorgt das NMAC erste H<sub>2</sub>-LKW für den inner- und außerstädtischen Verteilerverkehr mit grünem Wasserstoff in der Region Passau. Zusammenfassend bietet das Vorhaben vom NMAC die ganzheitliche Betrachtung der Wasserstoff-Wertschöpfungskette von der Wasserstoff-Herstellung bis zur Produktion der H<sub>2</sub>-Fahrzeuge sowie von der Wasserstoffproduktion bis zum Service der Wasserstoff-LKW.

Die Dekarbonisierung des Verkehrssektors wird auf EU- und bundespolitischer Ebene stark vorangetrieben. Dies schlägt sich insbesondere in der EU-Richtlinie „CVD“ (Clean Vehicles Directive) nieder. So gibt die CVD bei Neuanschaffungen vor, wie viele Fahrzeuge einen konventionellen, sauberen oder emissionsfreien Antrieb haben dürfen. Vor diesem Hintergrund ist der Handlungsdruck bei öffentlichen Auftraggebern wie Städten, Kreisen und Gemeinden sowie bei den Verkehrsunternehmen zuletzt spürbar gestiegen. Gleichzeitig werden durch umfangreiche Maßnahmenpakete der Bundesregierung in Form von Förderinstrumenten die beteiligten Akteure zur Umsetzung der ambitionierten Vorgaben befähigt. Dieser Herausforderung sehen sich auch die Unternehmen der VLP gegenüber, die als überregional operierende ÖPNV-Anbieter die Umstellung einer großen Fahrzeugflotte zu verantworten hat. Die VLP hat sich deshalb darauf geeinigt, dass die Busse der VLP perspektivisch klimaneutral fahren sollen. Konkret sollen drei Viertel der Flotte, also ca. 90 Busse, stufenweise durch batteriebetriebene Fahrzeuge ersetzt werden. Ergänzend zur batterieelektrischen Umrüstung sollen auch zukünftig Linienbusse mit der Brennstoffzellentechnologie ausgerüstet und angeschafft werden. Denn vor allem auf längeren, regionalen Touren bietet sich die CO<sub>2</sub>-neutrale Antriebsform durch Wasserstoff an. Aktuell plant der VLP bis zu 30 Busse mit Brennstoffzellenantrieb bis 2030 umzurüsten. Das Ziel ist ein ganzheitlicher, elektromobiler ÖPNV im Passauer Land, der sich durch Operabilität und Technologieoffenheit auszeichnet.

Begleitet wurde das Projektkonsortium zudem von der kommunalen Politik, welche bereits in Gremien Ihre Beteiligung und Ihr Interesse an einer Umsetzung und Unterstützung zum Aufbau der Wasserstoffwirtschaft im Landkreis bekräftigt haben.

### **1.3. Ziele der HyPaLa-Machbarkeitsstudie**

HyPaLa ist hierbei integraler Bestandteil der Wasserstoffstrategie des Landkreises. Um den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft voranzutreiben, werden im Rahmen des Projektes zunächst identifizierte Fragestellungen beantwortet. Darunter zählt u. a. die Identifikation relevanter Stakeholder, die Beteiligung von Akteuren aus Industrie, Forschung und Politik, eine Potenzialbewertung von H<sub>2</sub>-Bereitstellungsvarianten, die Bewertung von Abnahme- und Verbrauchspotenziale von Wasserstoff in der Region sowie die Ausarbeitung eines Verwertungsplans, welcher Erkenntnisse aus dem Vorhaben

für andere Kommunen in Deutschland zugänglich und verwertbar macht.

Dafür wurden fünf Kernziele der Studie definiert:

- Sensibilisierung und Beteiligung lokaler Akteure zum Thema Wasserstoff
- Vergleich und Bewertung dezentraler Produktions- und Beschaffungsmöglichkeiten von grünem Wasserstoff im Landkreis Passau
- Identifizierung der Abnahme- und Verbrauchspotenziale in Passau und umliegenden Regionen
- Exemplarische Konzeption eines Wasserstoff-Mobility Hubs am Autobahnkreuz A3/A94
- Öffentlichkeitsarbeit und Übertragbarkeitspotenziale auf andere Kommunen

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die Teilziele erarbeitet, um die Region Passau in dem Aufbau einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft einen Schritt nach vorne zu bringen.

## 2. AKTEURSANALYSE IN DER REGION PASSAU

### 2.1. Relevante Beteiligte der Wasserstoffwirtschaft im LK Passau und in den Grenzregionen

Im Rahmen des Projekts wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen, um potenzielle Akteure entlang der gesamten Wasserstoff-Wertschöpfungskette zu identifizieren. Neben einem Auftaktworkshop, zu dem sämtliche Wirtschaftsakteure des Landkreises sowie Vertreter der Stadt Passau und angrenzender Landkreise wie Freyung-Grafenau eingeladen wurden, führte CENTOURIS als regionaler Partner zusätzliche Aktionen durch. Dabei wurden alle Wirtschaftstreibenden mithilfe eines kurzen Fragebogens kontaktiert, und eine ausführliche Recherche (Desk Research) wurde durchgeführt, um eine umfassende Sammlung von Akteuren entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette zu erstellen. Zusätzlich wurden Interviews mit Experten aus Bayern, Österreich und Tschechien geführt.

Insgesamt konnten 63 potenzielle Akteure im Landkreis Passau identifiziert werden (Teilnehmer am Auftaktworkshop, Interessenten, Schlagwortsuche im Internet). Kommunen mit überdurchschnittlich vielen (potenziellen) Akteuren im Bereich Wasserstoff sind Hauzenberg, Vilshofen und Pocking/Ruhstorf. Auch die Stadt Passau weist eine hohe Anzahl an (potenziellen) Akteuren auf.

Die Einteilung der Akteure entlang der Wertschöpfungskette dient der Abgrenzung von Interessenssphären, Rollen und Zuständigkeiten. Die Akteure können in folgende Kategorien eingeteilt werden, wobei ein Akteur mehrere Stufen der Wertschöpfungskette abdecken kann (vgl. hierzu auch Abbildung 2-5):

- Erzeugung Erneuerbarer Energien für grünen Strom
- Aktive Produktion von Wasserstoff
- Nutzung von Wasserstoff, auch als Nebenprodukt
- Einsatz von Wasserstoff in Mobilität und Logistik sowie
- Die Speicherung von Wasserstoff

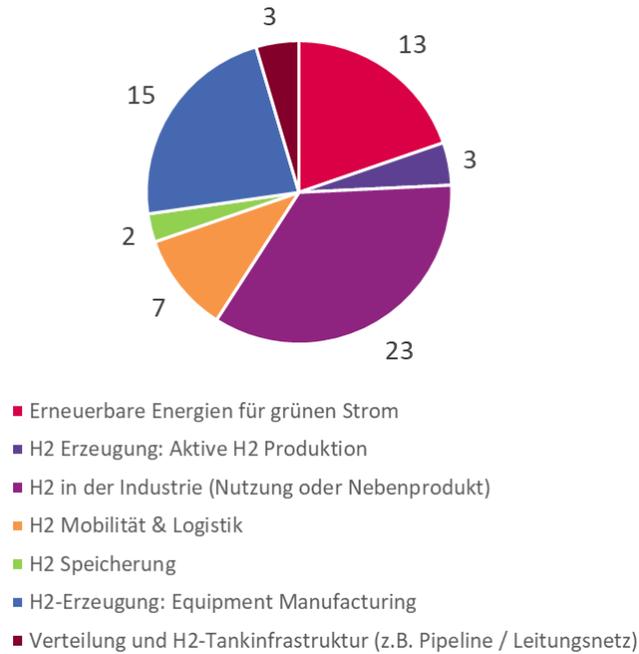


Abbildung 2-1: Teilnehmende der Akteursbefragung entlang der Wertschöpfungskette. Eigene Darstellung nach Erhebung und Auswertung CENTOURIS

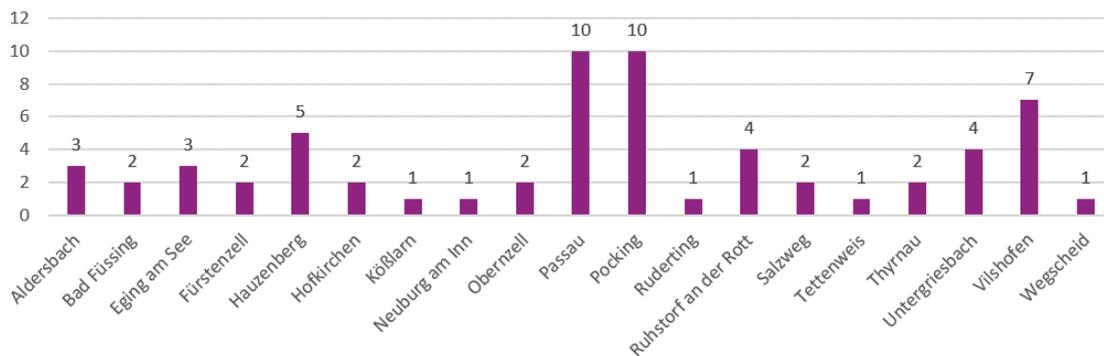


Abbildung 2-2: Teilnehmende der Akteursbefragung nach Kommunen. Eigene Darstellung nach Erhebung und Auswertung CENTOURIS

Ein Ziel der Analyse und der weiteren Untersuchungen besteht darin, potenzielle Knotenpunkte für zukünftige Wasserstoffprojekte zu identifizieren und dezentrale Lösungen im Landkreis miteinander zu verknüpfen.

Die Einbindung verschiedener Akteure im Bereich Wasserstoff sollte auf verschiedenen Ebenen erfolgen. Eine zentrale Ansprechperson im Landratsamt kann als Anlaufstelle für Anfragen, Informationen und Unterstützung bei Genehmigungsverfahren dienen.

In diesem Zusammenhang sollten alle kommunikativen Maßnahmen gebündelt werden, und es sollte

ein Plan erarbeitet werden, der festlegt, bei welchen Gelegenheiten, Veranstaltungen usw. die Thematik präsentiert werden kann. Dabei ist es wichtig, die (potenziellen) Akteure zu sensibilisieren, zu informieren und idealerweise zur Initiierung weiterer Projekte zu motivieren. Dies kann durch Unternehmensbesuche des Landrats, Teilnahme an regionalen Wirtschaftsmessen sowie kontinuierliche und informative Medienarbeit des Landkreises geschehen.

Besonderes Augenmerk sollte auf innovativen Projekten und Akteuren liegen, die bereits Erfahrungen entlang der Wertschöpfungskette gesammelt haben. Durch die Verknüpfung von Projekten mit Personen und/oder Unternehmen aus der Region wird die Wasserstoffthematik greifbarer und leichter vorstellbar. Best-Practice-Beispiele und "Blaupausen" können beschrieben und in der Region bekannt gemacht werden.

Zusätzlich könnte durch die Einrichtung eines halbjährlich stattfindenden "Runden Tisches" zum Thema Wasserstoff ein regelmäßiger fachlicher Austausch organisiert werden. In diesem Rahmen können nicht nur regionale Entwicklungen diskutiert werden, sondern auch externe fachliche Impulse gegeben werden. Dadurch kann ein kontinuierlicher und transparenter Wissenstransfer sichergestellt werden, und Informationen über neue Vorgaben und Regelungen (z. B. rechtliche, finanzielle, steuerliche) können vermittelt werden. Das folgende Schaubild visualisiert eine strategische Akteursbeteiligung:



Abbildung 2-3: Konzept strategische Akteursbeteiligung

## 2.2. Ergebnisse von Bürger- & Akteursbefragungen

Um die Meinungen der Bürgerinnen und Bürger des Landkreises Passau sowie der angrenzenden Regionen zur Thematik Wasserstoff abzubilden, wurden im Rahmen der Messe "Ausblick '23", die Ende März 2023 auf dem Messegelände in Ruhstorf stattfand, einfache Fragen zur Wasserstoffthematik gestellt. Der Fokus lag dabei speziell auf dem Bereich Mobilität. Mithilfe einer Tablet-gestützten Befragung konnten im Zeitraum vom 25. bis 26. März 2023 insgesamt 39 vollständige Interviews gesammelt werden.



Abbildung 2-4: Zusammenfassendes Stimmungsbarometer der Bürgerinnen und Bürger im Landkreis Passau. Eigene Darstellung nach Erhebung und Auswertung CENTOURIS

### Zusammenfassend lässt sich festhalten:

Das Interesse der Bevölkerung an Themen rund um Wasserstoff, seine potenziellen Anwendungsbereiche und Chancen ist durchaus vorhanden. Bisher sind jedoch nur wenige Teilnehmerinnen und Teilnehmer direkt mit der Thematik in Berührung gekommen. Dies zeigt sich durch umfangreiche Informationsbedürfnisse in Bezug auf verschiedene Aspekte, wie etwa die Wirtschaftlichkeit der Wasserstoffnutzung oder mögliche Einsatzfelder.

Daher wird empfohlen, den Informationsfluss und die Wissensvermittlung über potenzielle Anwendungsbereiche von Wasserstoff sowie die Vorteile und Möglichkeiten zu erhöhen. Besonders

wichtig ist, bereits laufende und erfolgreiche Projekte und Anwendungsfälle in der Region bekannt zu machen. Die Akteursbefragung, die sich vor allem auf regionale Wirtschaftstreibende konzentrierte, wurde durch zwei ergänzende Methoden (Online-Befragung und Tiefeninterviews) durchgeführt.

### **Online-Befragung:**

Die Online-Befragung wurde im Zeitraum Januar bis Februar 2023 durchgeführt. Um die Umfrage unter relevanten lokalen Unternehmen zu verteilen, wurde der E-Mail-Verteiler der Wirtschaftsförderung des Landkreises Passau genutzt. Insgesamt nahmen 14 privatwirtschaftliche Unternehmen teil (darunter 1 Unternehmen, das als "Maschinenhersteller" genannt wurde), sowie 2 öffentliche Unternehmen.

Ein zentrales Ergebnis der Online-Befragung ist, dass 4 der teilnehmenden 16 Unternehmen bereits (erste) Erfahrungen mit der Thematik Wasserstoff gesammelt haben, während dies für 10 Unternehmen in Zukunft von Interesse ist.

Im Hinblick auf technische und wirtschaftliche Aspekte der H<sub>2</sub>-Nutzung fühlen sich die Unternehmen eher schlecht bis mittelmäßig gut informiert. Im Hinblick auf regulatorische Aspekte fühlen sie sich eher schlecht informiert.

Auf die Frage, welche konkrete Unterstützungsleistungen und Informationen für die Vorhaben benötigt würden, wurde insbesondere auf die Aspekte Fördermöglichkeiten, regionale Ansprechpartner und vorhandene regionale Praxisbeispiele eingegangen. Auch weiterführende Informationen zur Wirtschaftlichkeit der Wasserstofftechnologie und damit einhergehenden Anwendungsfällen wurden von den teilnehmenden Unternehmen gewünscht. Die Informationsbereitstellung hinsichtlich dieser Aspekte sollte in Zukunft entsprechend ausgebaut und zielgruppenspezifisch kommuniziert werden.

Als wahrgenommene Vorteile und Chancen der Nutzung von Wasserstoff wurden von den teilnehmenden Unternehmen eine gesteigerte energetische Unabhängigkeit (Autarkie), generelles betriebliches Innovationspotenzial mit Möglichkeit einer hohen Rendite, sowie die Chance zur Energiespeicherung genannt. In künftigen Informationsmaßnahmen kann gezielt auf diesen Punkten aufgebaut werden, um ein noch tieferes Verständnis der Chancen und Potenziale der Nutzung von Wasserstoff bei den Wirtschaftstreibenden im Landkreis Passau zu erreichen.

### Tiefeninterviews mit Fachakteuren:

An den durchgeführten Tiefeninterviews nahmen Akteure aus Bayern (5), Tschechien (5) und Österreich (3) teil. Die Gespräche konzentrierten sich je nach Branche auf den Ausbau erneuerbarer Energien, das allgemeine Interesse an der Nutzung von Wasserstoff, branchenspezifische Einschätzungen zu H<sub>2</sub> sowie bestehende oder potenzielle Projekte und Ideen zur Nutzung von H<sub>2</sub> und dem Ausbau erneuerbarer Energien. Die Kernaussagen zu den Potenzialen und Bedenken im Zusammenhang mit dem Einsatz von Wasserstoff (H<sub>2</sub>) sind wie folgt:

Tabelle 1: Potenziale und Bedenken der Akteure im Zusammenhang mit dem Einsatz von H<sub>2</sub>

| POTENZIALE   | BEDENKEN   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Betonung von großer Bedeutung der Technologieoffenheit</li> <li>• Wasserstoff kann in bestimmten Bereichen der Mobilität eine Rolle spielen.</li> <li>• Elektromobilität ist derzeit besser bekannt und verbreiteter</li> <li>• Bevorzugt werden derzeit Insellösungen, die Betrieben Energieautarkie ermöglichen.</li> <li>• Einzelprojekte dienen als Vorreiter und zeigen den Weg für zukünftige Entwicklungen auf.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Region ist möglicherweise zu klein für umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte.</li> <li>• Die hohen Investitionskosten für die Umstellung auf Wasserstoff (H<sub>2</sub>) sind eine Herausforderung.</li> <li>• Unsichere politische Rahmenbedingungen können die Planung beeinflussen.</li> <li>• Das Fehlen von Planungssicherheit erschwert die Vorhaben.</li> <li>• Die fehlende Infrastruktur und Vernetzung erneuerbarer Energien verhindert flächendeckende Ansätze.</li> </ul> |

### 2.3. Ableitende Bewertung der Ausgangssituation und des räumlichen Stakeholder-Potenzials

Derzeit gibt es eine Vielzahl engagierter und interessierter Akteure im Landkreis Passau, die sich auf vielfältige Weise verteilen. Besondere regionale Schwerpunkte sind dabei: Hauzenberg, Vilshofen und Pocking/Ruhstorf. Nun gilt es, diese Akteure durch intensive Begleitung und die Anpassung von behördlichen Prozessen (z.B. Bebauungspläne) zu unterstützen. Die Etablierung einer zentralen Ansprechperson für Wasserstoff im Landkreis (One-Stop-Shop-Lösung) sowie die regionale Bekanntmachung dieser Dienstleistungen würde insbesondere kleinere Akteure und Wasserstoffprojekte in der Region fördern.

Es ist von großer Bedeutung, die Aufklärungsarbeit und Informationsverbreitung zum Thema Wasserstoff im Landkreis zu intensivieren und vor allem die Bekanntheit von bereits aktiven und erfolgreich umgesetzten Best-Practice-Beispielen zu erhöhen. Ausgehend von den identifizierten (potenziellen) regionalen Schwerpunkten Hauzenberg, Vilshofen und Pocking/Ruhstorf können neue Aktivitäten initiiert, Synergieeffekte genutzt und optimiert werden. Da diese Schwerpunkte auch entlang wichtiger Verkehrswege des Landkreises liegen, bieten sie sich besonders für Projekte mit Schwerpunkt Mobilität an. Ebenso bieten sich in diesen Gebieten Möglichkeiten für den Ausbau der notwendigen erneuerbaren Energien, wie in der folgenden Analyse aufgezeigt wird.

Die nachfolgende Matrix zeigt auf, in welchem Umfang die Akteure entlang der Wertschöpfungskette bereits aktiv sind. Dies soll die Verknüpfung von Projekten, die Präsentation von Best-Practice-Beispielen und die Verbreitung von Informationen erleichtern. (Es handelt sich dabei um einen Auszug an Akteuren, die Grafik gibt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.)

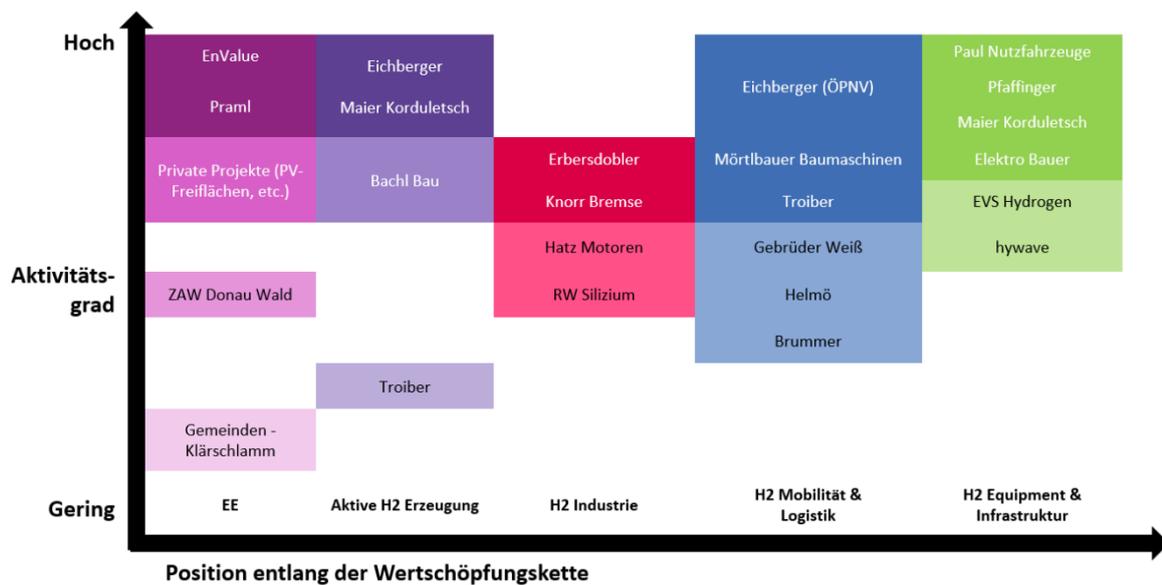


Abbildung 2-5: Auszug von H<sub>2</sub>-Akteuren im Landkreis Passau: Darstellung nach Aktivitätsgrad und Position entlang der Wertschöpfungskette

Daraus wird deutlich, dass es im Landkreis Passau bereits eine beträchtliche Anzahl von Akteuren gibt, die im Bereich Wasserstoff aktiv sind bzw. in diesem Bereich erhebliche Potenziale aufweisen.

### 3. POTENTIAL FÜR DIE ERZEUGUNG UND BESCHAFFUNG

#### 3.1. Potential für die regionale Erzeugung von erneuerbarem Strom in der Region Passau

Der Anteil an Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung hat sich im Landkreis Passau, ähnlich wie in anderen Regionen Deutschlands, in den letzten 10-15 Jahren kontinuierlich auf 74,4 % im Jahr 2021 erhöht. Einer Stromeinspeisung mehr als 500 GWh stand im Jahr 2021 ein Stromverbrauch von ca. 925 GWh gegenüber. Die Entwicklung des Anteils der Erneuerbaren Energien im Landkreis Passau von 2010-2021 ist in Abbildung 3-1 dargestellt.

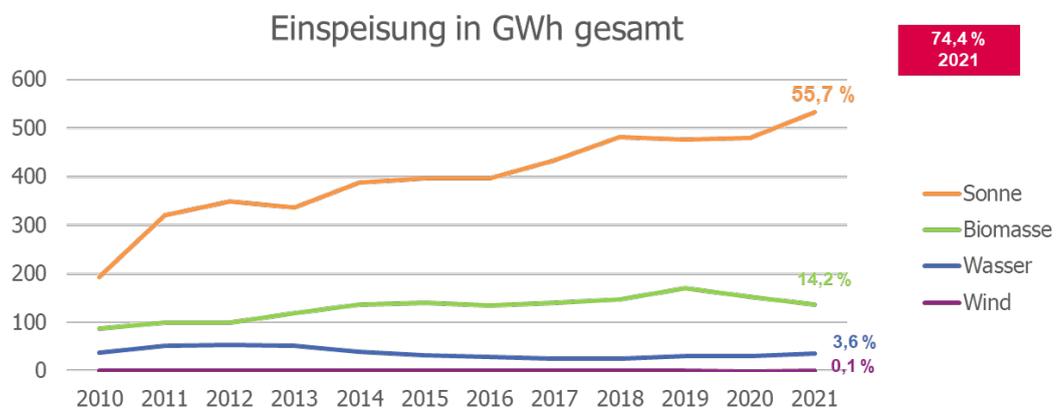


Abbildung 3-1: Menge und Anteil an Erneuerbaren Energien im LK Passau – Quelle: LRA Passau

Wie aus Abbildung 3-1 deutlich wird, konnte bereits 2021 durchschnittlich mehr als die Hälfte des Strombedarfs im Landkreis Passau aus Sonnenkraft gedeckt werden. Dieser Anteil hat sich mittlerweile auf ca. 62 % erhöht (vgl. Abbildung 3-3, rechte Seite).

Der hohe Anteil an PV-Anlagen im Landkreis führt zu hohen täglichen und saisonalen Schwankungen. So wurde beispielsweise im September 2023 in den Mittagsstunden aufgrund der vielen PV-Anlagen deutlich mehr Strom im Landkreis produziert als verbraucht, während in den Abend- und Nachstunden eine Strombedarfslücke vorlag (vgl. Abbildung 3-2), die extern gedeckt werden musste. Hinzu kommt, dass aufgrund der hohen Erzeugungsspeaks an sonnenreichen Tagen und des unzureichenden

Netzausbau immer wieder PV-Anlagen durch den Netzbetreiber abgeschaltet werden müssen<sup>1</sup>.

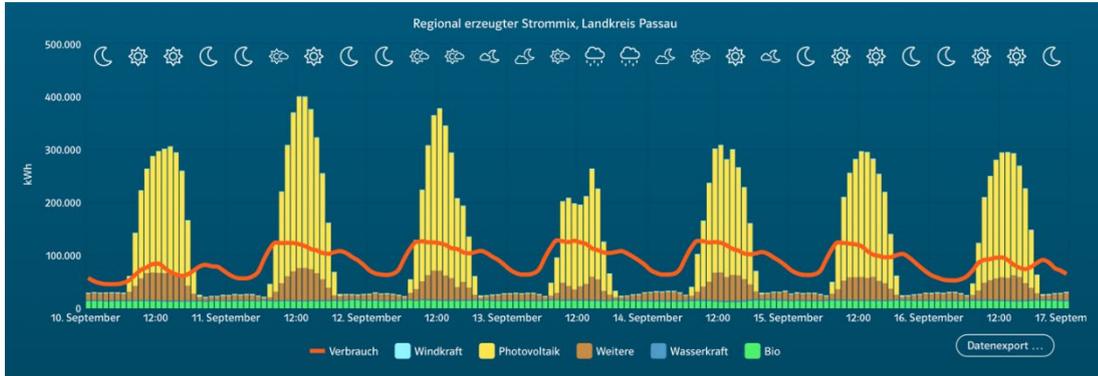


Abbildung 3-2: Stromerzeugung im Landkreis Passau im September 2023 – Quelle:

<https://energiemonitor.bayernwerk.de/passau-landkreis>

Auch auf das Jahr betrachtet gibt es aufgrund der vielen PV-Anlagen im Landkreis Passau deutliche Schwankungen (vgl. Abbildung 3-3). So konnte über das vergangene Jahr rein rechnerisch 95,2 % der Strombedarfsmenge durch die Stromerzeugung im Landkreis gedeckt werden, jedoch resultiert dieser Durchschnittswert aus einer hohen Überproduktion im Sommer und einer größeren Bedarfslücke im Winter. Windkraft spielt im Landkreis aktuell so gut wie keine Rolle, während die Stromproduktion aus Biomasse in den letzten Jahren konstant bei ca. 16,5 % des Strombedarfs liegt.

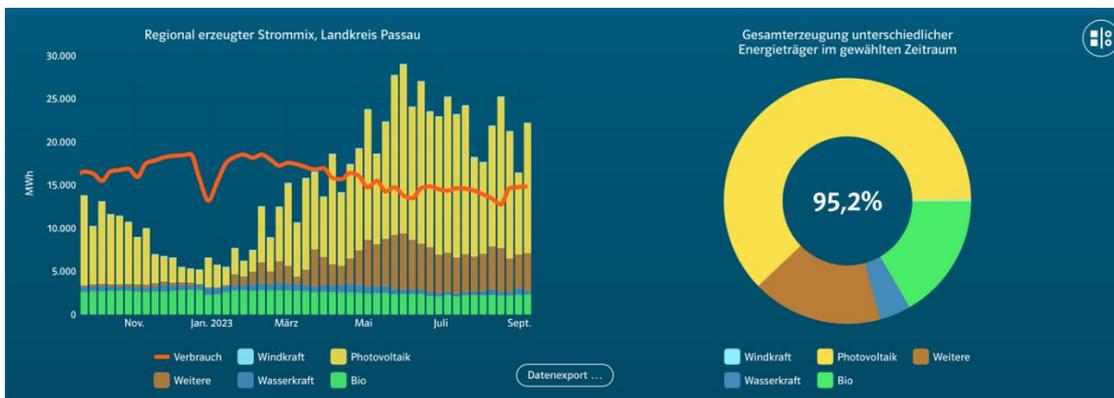


Abbildung 3-3: Stromerzeugung im Landkreis Passau über das vergangene Jahr und dessen Anteil an der regionalen Stromversorgung – <https://energiemonitor.bayernwerk.de/passau-landkreis>

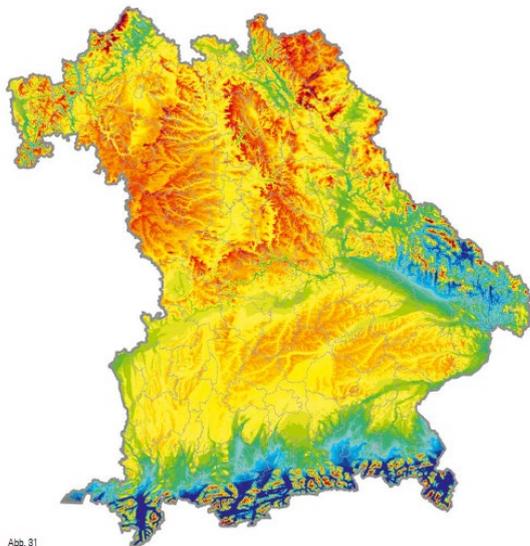
<sup>1</sup> <https://www.pnp.de/lokales/stadt-und-landkreis-passau/netzbetreiber-schaltet-vermehrt-pv-anlagen-zeitweise-ab-12177933>

Die Herausforderung für den Landkreis Passau besteht im Sinne einer hohen klimafreundlichen Eigenversorgung aktuell also vor allem darin, die Bedarfsüberschüsse an sonnenreichen Tagen und Stunden, in Zeiten einer geringen Eigenproduktion zu verschieben, sowie die Eigenproduktion im Winter zu erhöhen. Ziel wäre es dabei, den Anteil konventionell erzeugten Stroms zu reduzieren, der aktuell beispielweise im Winter importiert werden muss. Während die Verschiebung von Erzeugungsspitzen um einige Stunden bis wenige Tage problemlos mit (Groß-)Batteriespeichern möglich ist, ist die saisonale Verschiebung von Stromüberschüssen über mehrere Monate hingegen deutlich herausfordernder.

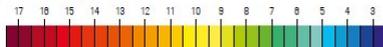
### Windkraft

Eine Möglichkeit vor allem die Eigenproduktion im Winter und in sonnenlosen Stunden zu erhöhen, liegt im Ausbau der Windkraft, die im Landkreis jedoch kontrovers diskutiert wird. Der Vorteil von Windkraftanlagen liegt u.a. darin, dass Wind- und PV-Anlagen sich oftmals komplementär ergänzen, sowohl auf saisonaler als auch auf täglicher Basis. Gemäß bayrischem Windatlas gibt es in Bayern und im Landkreis Passau vor allem in Höhenlagen > 180 m relevante Windpotenziale (vgl. Abbildung 3-4), die genutzt werden können und teilweise bereits als Windvorranggebiete ausgewiesen wurden (vgl. <https://www.energieatlas.bayern.de>).

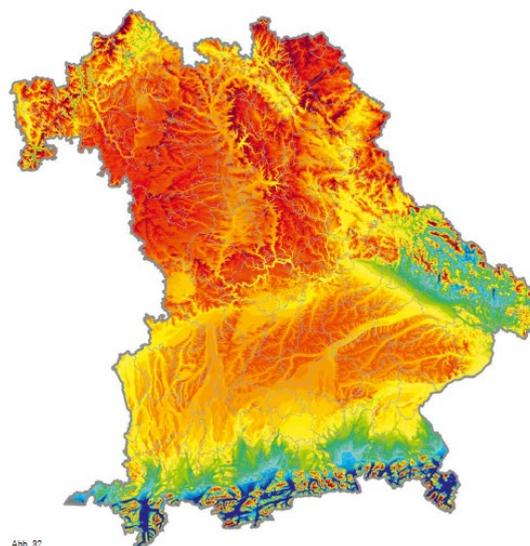
„Brutto“-Standortertrag in 140 m Höhe über Grund



Mittlerer Ertrag in GWh/a



„Brutto“-Standortertrag in 180 m Höhe über Grund



Mittlerer Ertrag in GWh/a

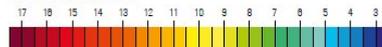


Abbildung 3-4: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, Bayerischer Windatlas 2021

Mit dem Anfang 2023 in Kraft getretenen „Windenergie-an-Land-Gesetz“ wurden den Bundesländern

in diesem Zusammenhang verbindliche Flächenziele für den Ausbau der Windenergie vorgegeben, wodurch auch die lange geltende bayrische 10-H-Regelung gekippt wurde. Bis Ende 2032 müssen die Bundesländer jeweils zwei Prozent ihrer Fläche für die Windenergie ausweisen. Bis 2027 sollen 1,4 Prozent der Flächen für Windenergie bereitstehen. Diese Werte leiten sich aus den Ausbauzielen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes her und bilden die energiewirtschaftlichen Flächenbedarfe ab. Die Bundesländer dürfen zwar weiterhin über Mindestabstände entscheiden, müssen aber sicherstellen, dass sie ihre Flächenziele aus dem „Windenergie-an-Land-Gesetz“ erreichen und so ihren Beitrag zum Ausbau der Windenergie leisten. Zumal das Gesetz auch im Zusammenhang mit dem Ukraine-Krieg klarstellt, dass der Betrieb von Windenergieanlagen im überragenden öffentlichen Interesse liegt und der öffentlichen Sicherheit dient.

Die Länder können die Flächen entweder selbst ausweisen, oder als Teilflächenziele auf nachfolgende Planungsebenen delegieren. Die Ausweisung der Flächen erfolgt dabei in der Regel durch die nachgelagerten Regionalverbände, die entsprechende Windvorrangflächen in den entsprechenden Regional- oder Flächennutzungsplänen ausweisen. In den Regional- oder Flächennutzungsplänen werden alle öffentlichen und privaten Belange, die für oder gegen Windkraftanlagen in dieser Region sprechen, berücksichtigt. Ist ein Gebiet als Windvorranggebiet ausgewiesen, können dort Windkraftanlagen gebaut werden.

Für den Landkreis Passau bedeutet dies, dass in den nächsten Jahren vermehrt Windkraftanlagen vor Ort gebaut werden. Bisher sind im Landkreis u.a. die in Abbildung 3-5 zwischen Hauzenberg und Wegscheid dargestellten Windvorranggebiete (rot schraffiert) ausgewiesen. Weitere Windvorrang- und -vorbehaltsgebiete sind im Landkreis Passau bisher kaum ausgewiesen (vgl. <https://www.energieatlas.bayern.de>), jedoch gelten die vorgeschriebenen Flächenbedarfe des „Windenergie-an-Land-Gesetzes“ auch für Niederbayern.



Abbildung 3-5: Windvorranggebiete im Landkreis Passau – Quelle: Energieatlas Bayern

## PV-Anlagen

Aufgrund diverser Berichte zu Netzengpässen und Abschaltungen (siehe oben) scheint der weitere Ausbau von konventionellen PV-Anlagen in vielen Teilen des Landkreises Passau aufgrund des schleppenden Netzbaus an seine Grenzen zu stoßen.

Der Bayerischen Energie- und Wasserwirtschaft (VBEW) gibt bezüglich neuer PV-Anlagen in Bayern folgende Stellungnahme ab: „Nur in Kombination mit einer Flexibilisierung des Stromverbrauchs und dem Einsatz von Speichern kann ein weiterer sinnvoller Ausbau der PV erfolgen und diese systemdienlich zu unserer Energieversorgung beitragen. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen Speichern, die den Spitzen- und Tagesbedarf (z. B. über Batterien) abdecken und Speichern, die den mittel- und langfristigen Bedarf (z.B. über Wasserkraft/Pumpspeicherkraftwerke und Wasserstoff) bedienen.“ Die Stellungnahme des VBEW betont die Notwendigkeit von Speichermöglichkeiten, die eine Anpassung der Stromerzeugung an den Strombedarf ermöglichen (vgl. Abbildung 3-2). Ein weiterer Zubau von konventionellen PV-Anlagen, die alle zur gleichen Zeit ins Stromnetz einspeisen, ist aus Sicht des VBEW weder effizient noch wirtschaftlich. Für innovative PV-Anlagendesigns gelten diese Aussagen nur bedingt, da diese andere Erzeugungsprofile aufweisen. Vielversprechende innovative PV-Anlagendesigns sind bspw. vertikale PV-Anlagen in Ost-West-Auswertung wie in Abbildung 3-6 dargestellt.

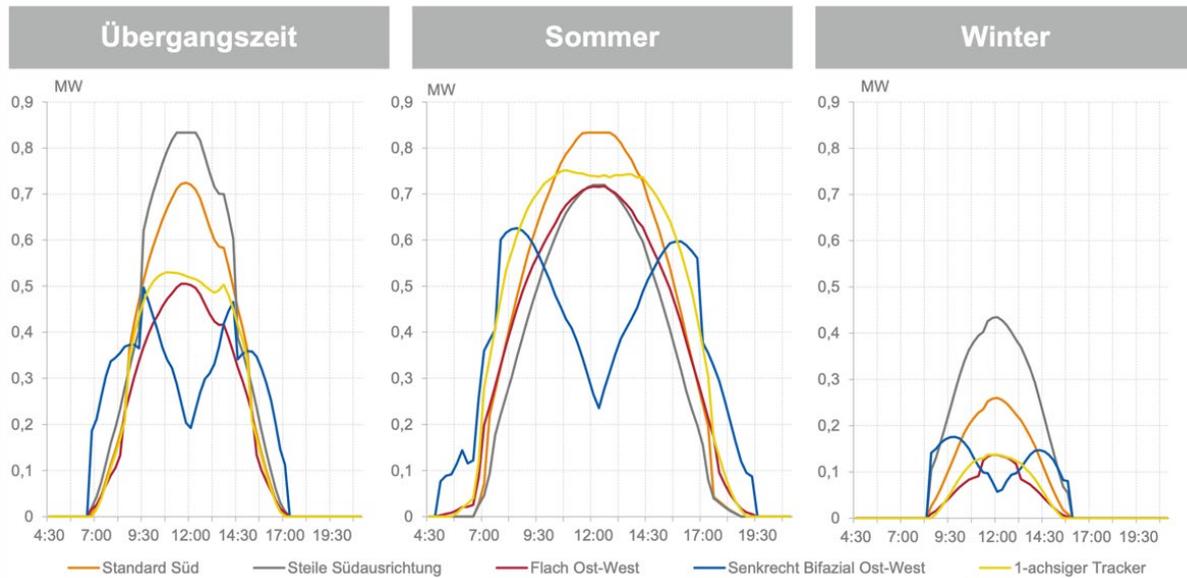


Abbildung 3-6: Innovative Anlagendesigns wie bspw. von Next2Sun und deren Erzeugungsprofile - Quelle: enervis energy advisors GmbH

Innovative PV-Anlagendesigns ermöglichen in vielen Fällen zudem die parallele Nutzung der Flächen als landwirtschaftliche Nutzfläche und zur Stromerzeugung. Zwar ist der jährliche Stromgesamtertrag teilweise niedriger als bei konventionellen PV-Anlagen, jedoch ist aufgrund des Erzeugungsprofils mit höheren Vermarktungserträgen und weniger Abschaltungen zu rechnen. Eine Studie der enervis energy advisors GmbH zu innovativen PV-Anlagendesigns kommt zu den folgenden Schlüssen<sup>2</sup>:

- Beim großem geplanten PV-Zubau wird das PV-Anlagendesign ein immer wichtigerer Bestandteil einer volkswirtschaftlichen Optimierung.
- Beim Ziel einer hohen anteiligen Stromerzeugung durch PV ist es sinnvoll, beim Zubau bereits jetzt stark auf innovative PV-Anlagendesigns zu setzen.
- Senkrecht Bifaziale Ost-West-Anlagendesigns können ein wichtiger Bestandteil des PV-Technologie-Mix bei hohen PV-Erzeugungsanteilen an der Gesamtstromdeckung sein.
- Höhere Marktwerte (= erzielbare Verkaufspreise) wiegen geringere Erzeugung und höhere Investitionskosten der innovativen PV-Anlagendesigns auf.

<sup>2</sup> Analyse innovativer Anlagendesigns für Strommarktoptimiertes PV-Portfolio ein strommarktoptimiertes PV-Portfolio, enervis energy advisors GmbH, 2022

## RED II

Seit dem 10. Juli 2023 gilt in der EU der Delegierte Rechtsakt zur Ergänzung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie 2018/2001 (RED II). Durch die RED II soll der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor EU-weit bis 2030 auf mindestens 14% erhöht werden. Der Delegierte Rechtsakt definiert die Kriterien für die Produktion von „erneuerbaren Wasserstoff“ aus nicht biogenen Quellen (engl.: Renewable Fuels of Non-Biological Origin - RFNBO), der im Verkehrssektor eingesetzt wird. Durch diese Vorgaben soll u.a. der Hochlauf der Wasserstoffmobilität nachhaltig gefördert werden. Die im delegierten Rechtsakt festgelegten Kriterien bestimmen die Anforderungen an den Strombezug für die Wasserstoffproduktion mittels Elektrolyse. Die Kriterien stellen sicher, dass Wasserstofferzeugungskapazitäten mit einem entsprechenden zusätzlichen Ausbau der erneuerbaren Energien Erzeugung einhergehen und sind in Abbildung 3-7 schematisch dargestellt. Nach Beschluss des delegierten Rechtsaktes gemäß RED II durch die EU muss dieser noch in deutsches Recht umgesetzt werden, was derzeit mit der Überarbeitung der 37. BImSchV geschieht und voraussichtlich bis Ende 2023 vollzogen sein wird.

Die Anforderungen an den Strombezug bestimmen die Verfügbarkeit von entsprechenden Strommengen und die Auslastung der Elektrolyseanlage. Die Zusammenstellung eines Strombandes für eine möglichst hohe Auslastung der Elektrolyseanlage erhöht die Wasserstoffmenge je Einheit installierter Elektrolyseleistung. Die Produktion und Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff kann mit höheren Strom- und damit höheren Produktionskosten verbunden sein. Demgegenüber steht oftmals die Qualifikation für Förderprogramme und die Erzielung zusätzlicher Erlöse im Treibhausgasquotenhandel.

| Direktleitung  | Netzbezug  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
| <b>Neuanlagen</b><br>EE-Anlage max. 3 Jahre vor Elektrolyseur in Betrieb | <b>Stromliefervertrag (PPA)</b><br>Herkunftsnachweis über Strom aus EE-Anlage<br><b>Zusätzlichkeit*</b><br><b>Neuanlagen:</b> EE-Anlage max. 3 Jahre vor Elektrolyseur in Betrieb<br><b>Förderung:</b> EE-Anlage hat keine Investitions- oder Betriebsförderung erhalten<br><b>Zeitliche Übereinstimmung von Strom- und H<sub>2</sub>-Erzeugung</b><br><ul style="list-style-type: none"> <li>› bis 31.12.2029: gleicher Monat</li> <li>› ab 01.01.2030: gleiche Stunde</li> <li>› Zwischenspeicherung möglich</li> <li>› Alternativ: Day-Ahead-Preis ≤ 20 €/MWh oder ≤ 0,36 * CO<sub>2</sub>-Preis</li> </ul> <b>Geografischer Zusammenhang</b><br><ul style="list-style-type: none"> <li>› gleiche Gebotszone (D, Lux)</li> <li>› verbundene Offshore-Gebotszone</li> <li>› verbundene Gebotszone mit höheren Day-Ahead-Preisen</li> </ul> |  |
| <b>Abgrenzung von Netzstrom</b><br>Bspw. Durch Smart-Metering            | <b>Min. 90% EE-Anteil im Stromnetz</b><br><br>oder<br><br><b>Überschussstrom</b><br>Vermeidung von Abregelung von Stromerzeugungsanlagen durch Redispatch<br><small>www.emcel.com/CE-BV-SA</small>   |  |

Abbildung 3-7: Anforderungen aus dem delegierten Rechtsakt an den Strombezug für den Elektrolysebetrieb. Für Elektrolyseure, die vor Ende 2027 in Betrieb genommen werden, gelten Übergangsregelungen. Bspw. dürfen diese Anlagen bis 1.1.2038 auch Strom bereits geförderter EE-Anlagen nutzen. – Copyright: EMCEL GmbH

### Treibhausgasquotenhandel (THG-Quotenhandel)

Die Treibhausgasminderungsquote (THG-Quote) ist eine politische Maßnahme, um klimaschonende Kraftstoffe günstiger und attraktiver zu machen. Die THG-Quote verpflichtet Inverkehrbringer von Kraftstoffen, d.h. Mineralölkonzerne, die THG-Emissionen der Gesamtheit ihrer Kraftstoffe zu reduzieren. Diese angestrebten Treibhausgaseinsparungen werden in sogenannten Quoten zusammengefasst und steigen in Deutschland bis 2030 von aktuell 8 % auf 25 % an. Die Nichterfüllung der Quote ist mit Strafzahlungen i.H.v. aktuell 600 € t CO<sub>2,äq</sub> verbunden. Dies kann durch den Ankauf übererfüllter Quoten von Dritten wie bspw. von Inverkehrbringern von Wasserstoff vermieden werden. Wasserstoff, der in den Verkehr gebracht wird, und die Kriterien für erneuerbaren Wasserstoff nach Abbildung 3-7 erfüllt, kann im THG-Quotenhandel auf diese Weise hohe Zusatzerlöse generieren. Bei einer Dreifach-Anrechnung von erneuerbaren Wasserstoff gemäß den oben genannten Vorgaben und wie im aktuellen Referentenentwurf zur Neufassung der 37. BImSchV vorgeschlagen<sup>3</sup>,

3

[https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Glaeserne\\_Gesetze/20\\_Lp/37\\_bimschv\\_neufassung/Entwurf/37\\_bimschv\\_neufassung\\_refe\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Glaeserne_Gesetze/20_Lp/37_bimschv_neufassung/Entwurf/37_bimschv_neufassung_refe_bf.pdf)

können durch den THG-Quotenhandel Zusätzerlöse i.H.v. ca. 5 bis maximal ca. 15 €/kg H<sub>2</sub> erzielt werden. Allerdings wird der Quotenhandel mit Wasserstoff noch nicht standardmäßig praktiziert und der Quotenpreis unterliegt Marktschwankungen. Daher ist schwer abzuschätzen, mit welchen Erlösen langfristig zu rechnen ist. Nach dem aktuellen Referentenentwurf wird ein Quotenhandel mit erneuerbarem Wasserstoff nach den Anforderungen der RED II ab 1.1.2024 möglich sein. Für lokale Produzenten Erneuerbarer Energien kann die Direktlieferung von Strom bspw. über sogenannte Power Purchase Agreements (PPAs) zur Produktion von erneuerbarem Wasserstoff zu Zusatzerlösen führen, sofern die Anforderungen des delegierten Rechtsaktes nach RED II erfüllt werden.

### **RED III**

Am 12. September 2023 hat das europäische Parlament der novellierten EU-Richtlinie für erneuerbare Energien (RED III) zugestimmt. Neben Regelungen zur Beschleunigung von Genehmigungs- und Planungsverfahren für den Ausbau von erneuerbaren Energien und Netzen, werden in der RED III höhere Gesamtziele und zusätzliche verbindliche Sektorziele festgelegt. So sollen bspw. bis 2030 in Summe 45% des Endenergieverbrauchs in der EU aus erneuerbaren Energien stammen. Für den Verkehrssektor gilt die Vorgabe von mindestens 1 % strombasierter Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs (meist erneuerbarer Wasserstoff und wasserstoffbasierte synthetische Kraftstoffe) bis 2030. Für die Industrie wird die Vorgabe gemacht, dass der von der Industrie verwendete Wasserstoff bis 2030 zu 42 % und bis 2035 zu 60 % aus erneuerbaren Kraftstoffen nicht biogenen Ursprungs stammen sollte.

### **Zusammenfassung zum Potenzial der erneuerbaren Stromproduktion im Landkreis Passau**

Die nachfolgende Übersicht in Tabelle 2 bietet einen Überblick über das Potenzial der erneuerbaren Stromproduktion im Landkreis Passau unter Berücksichtigung verschiedener Zeithorizonte. Mögliche Szenarien für einen raschen Ausbau der Erneuerbaren Energien im Landkreis Passau sollten immer eine Kombination der genannten Erzeugungsmöglichkeiten beinhalten. Dies gewährleistet Versorgungssicherheit, den Umgang mit Spitzenlasten und eine zuverlässige Planungssicherheit.

Tabelle 2: Übersicht über die Potenziale erneuerbarer Stromproduktion im Landkreis mit Vorteilen und Hemmnissen

|                               | ZEITHORIZONT            | VORTEIL   | HEMMNIS   |
|-------------------------------|-------------------------|---|---|
| <b>PV-Dachanlagen</b>         | kurzfristig und laufend | schnelle Umsetzung, dezentral, ggf. in Kombination mit Smart Homes und e-Mobilität          | viele kleine Mengen, Notwendigkeit des Netzausbaus  |
| <b>PV- Freiflächenanlagen</b> | mittelfristig           | hohe Mengenmengen und einfacher Aufbau, ggf. innovative PV-Anlagendesigns, THG-Quotenhandel | Netzengpässe, bereits viele PV-Anlagen im Landkreis vorhanden, gleichzeitige Erzeugung, u.U. Konkurrenz zu landwirtschaftlicher Nutzung |
| <b>Windkraft</b>              | mittel- bis langfristig | noch großes Potential, komplementär zu PV, Wind-an-Land-Gesetz, THG-Quotenhandel            | Genehmigungsverfahren, ggf. Widerstand in der Bevölkerung   |
| <b>Batterie-speicher</b>      | kurzfristig und laufend | Kurzfristige Speicherung von Stromüberschüssen, höhere Eigenbedarfsdeckung                  | Notwendigkeit eines Investors, Geschäftsmodell und Steuerung  |

### 3.2. Potential für die regionale Erzeugung von Wasserstoff in der Region Passau

Wasserstoff gilt aufgrund seiner guten Speicherbarkeit und seinem breiten Anwendungsspektrum als Zukunftshoffnung eines Energiesystems auf Basis von erneuerbaren Energien. Aufgrund der geringen volumetrischen Energiedichte wird Wasserstoff meist auf hohe Drücke von bis zu 700 bar komprimiert, sowie vor allem perspektivisch in großen Hohlräumen wie Kavernen, ehemaligen Erdgasspeichern oder -leitungen (zwischen-)gespeichert. Der vbw gibt in Bezug auf Wasserstoff und die zukünftige Versorgungssicherheit Bayerns folgende Stellungnahme ab:

“Das bayerische Energiesystem der Zukunft erfordert es daher, nicht nur in großen Mengen Strom, sondern auch gasförmige und flüssige Energieträger transportieren und speichern zu können. Es ist unabdingbar, das Stromnetz auszubauen, zu modernisieren und für die Speicherung von erneuerbarem Strom mit dem Gasnetz und der Versorgung mit flüssigen Energieträgern zu verknüpfen. Die Gasinfrastruktur muss auf klimaneutrale Gase umgestellt und parallel eine bayerische Wasserstoffwirtschaft aufgebaut werden. Um all diese Schritte richtig zu setzen, bedarf es einer weitsichtigen Systemplanung. Nur so kann das Energiesystem der Zukunft resilient aufgestellt werden.” - Stellungnahme des vbw zur Versorgungssicherheit für Bayern, November 2022

Ein derartiger Umbau des Energiesystems ist sehr komplex, beginnt jedoch immer mit einem ersten Schritt und somit mit einer ersten Anlage. Die enge Verbindung von erneuerbaren Energieerzeugern, Wasserstoffproduzenten und Verbrauchern ist von entscheidender Bedeutung für die Planung und den zukünftigen Erfolg einer lokalen Wasserstoffwirtschaft. Gerade Elektrolyseanlagen können in diesem Zusammenhang mit ihrem flexiblen Betrieb schwankende Erzeugungsprofile glätten und somit das Stromnetz stabilisieren. Im Folgenden wird näher auf die Erzeugungsmöglichkeiten und -potenziale von Wasserstoff im Landkreis Passau, allen voran auf die Elektrolyse eingegangen.

## Elektrolyse

Beim elektrochemischen Prozess der Elektrolyse wird Wasser mit Hilfe von Strom in seine elementaren Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff umgewandelt. Elektrolyseanlagen werden auch als Elektrolyseure bezeichnet, bei denen einzelne Elektrolysezellen miteinander zu sogenannten Stacks verschaltet werden, um größere Leistungen und Produktionsmengen zu erreichen. Neben Wasserstoff und Sauerstoff fällt bei der Elektrolyse auch Abwärme i.H.v. von ca. 20 % der elektrischen Nennleistung an. In Abbildung 3-8 ist die Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse schematisch dargestellt.

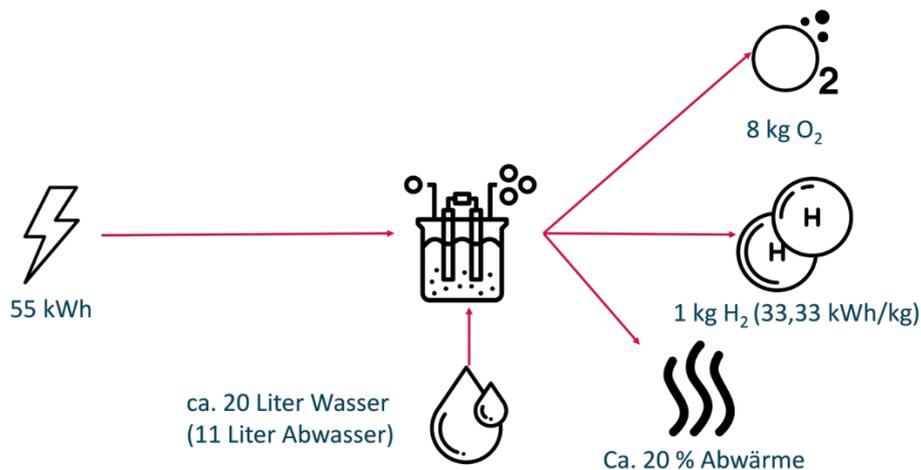


Abbildung 3-8: Schematische Darstellung der Elektrolyse mit entsprechenden Kennzahlen – Copyright: endura kommunal GmbH

Derzeit beherrschen vier wesentliche Technologien zur elektrolytischen Herstellung von Wasserstoff den Markt:

- Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM)
- Alkalische Elektrolyse (AEL)
- Anionenaustauschmembran (AEM)

- Feststoffoxid (SOE, engl. Solid Oxide Electrolysis)

Für den Bau einer Elektrolyseanlage ist zudem die folgende Peripherie notwendig:

- Stromanschluss (meist 10 kV / 20 kV), sowie entsprechender Transformator
- Gleichrichter
- Trinkwasseranschluss und Trinkwasseraufbereitung
- Wasserstofftrocknung und -reinigung
- Kompressor
- Wasserstoffspeicher
- Ggf. Trailerabfüllanlage

Mittlerweile bieten viele Hersteller für kleinere Elektrolyseanlagen von bis zu 2 MW kompakte und skalierbare Containerlösungen inklusive eines Großteils der Peripherie exklusive Kompressor und Speicher an.

### **Produktion von Wasserstoff mittels Elektrolyse**

Je Kilogramm Wasserstoff wird gemäß Abbildung 3-8 ca. 55 kWh Strom benötigt. Um erneuerbaren Wasserstoff nach dem delegierten Rechtsakt (vgl. Abbildung 3-7) zu produzieren, kann die Stromversorgung dabei sowohl über Direktleitungen als auch über Direktlieferverträge (sogenannte PPAs) über das Stromnetz erfolgen. Da es im Landkreis Passau gerade in den Sommermonaten eine hohe Überproduktion an PV-Strom gibt, bieten sich zumindest für die Übergangszeit bis 1. Januar 2038 für Elektrolyseure mit Inbetriebnahme bis Ende 2027 Direktlieferverträge mit bestehenden lokalen PV-Parks zur Produktion von erneuerbarem Wasserstoff an.

Diverse Studien<sup>4</sup> und Erfahrungen bspw. der WUN H<sub>2</sub> GmbH aus Wunsiedel legen jedoch nahe, dass eine Produktion von Wasserstoff allein auf Basis von PV-Strom in Deutschland nicht wirtschaftlich ist. Zum einen sind allein mit PV-Strom die Volllaststunden eines Elektrolyseurs stark limitiert. Zum anderen ist für die Nutzung von Wasserstoff bspw. in der Mobilität oder anderen Sektoren in der Regel eine möglichst konstante Wasserstoffproduktion über den gesamten Jahresverlauf gefordert. Diese kann allein durch PV-Anlagen zumindest in Deutschland nicht gewährleistet werden, so dass für die

---

<sup>4</sup> u.a. Hydrogen Europe, Clean Hydrogen Monitor 2020, 2020

Produktion von Wasserstoff mittels Elektrolyse in unseren Breitengraden idealerweise Wind- und PV-Strom kombiniert werden sollten (vgl. Abbildung 4-13). Für eine saisonale Speicherung von PV-Strom mittels Wasserstoff und die anschließende Rückverstromung sind der Anschluss an Wasserstoffnetze oder großvolumige Speicher notwendig, die aktuell mit hohen Kosten verbunden sind. Kostengünstige Kavernenspeicher sind im Landkreis Passau nicht bekannt. Erste Elektrolyseanlagen werden daher vor allem die Abnehmerseite von Wasserstoff in den Blick nehmen müssen (vgl. auch Abschnitt 4.1), um ein erstes lokales Wasserstoffökosystem aufzubauen.

### **Standort**

Für die Wahl eines geeigneten Elektrolysestandortes müssen grundsätzlich zunächst entsprechende Flächen und Medienanschlüsse (Strom und Wasser) in ausreichender Größenordnung vorhanden sein. Die ungefähren Flächenbedarfe von Elektrolyseanlagen reichen von ca. 150-1000 m<sup>2</sup> für Anlagen in der Größenordnung von 1-10 MW, wobei hier noch zusätzliche Flächen für eventuelle Abfüllanlagen und Abholverkehre zu beachten sind (vgl. auch Abbildung 5-1 in Abschnitt 5.1).

Wichtig zu prüfen ist die Genehmigungsfähigkeit der Elektrolyseanlagen an entsprechenden Standorten. Sofern diese Parameter erfüllt sind, sind lokale Abnehmer des produzierten Wasserstoffs das wichtigste Entscheidungskriterium für einen Standort. Dies kann eine direkt angeschlossene Wasserstofftankstelle oder auch Abnehmer in einem Umkreis von maximal etwa 50-100 km sein, die per Trailer mit lokal erzeugtem Wasserstoff beliefert werden können. Vorteilhaft sind zudem mögliche lokale Abnehmer der Abwärme und des Sauerstoffs, wie Kläranlagen oder Industriebetriebe, die die Wirtschaftlichkeit eines Elektrolysestandortes erhöhen.

Aufgrund der schnellen Ansprechzeiten bieten Elektrolyseure zudem Flexibilitätsoptionen für das Stromnetz und können unter Umständen Netzengpässe, sowie Abschaltungen von PV-Anlagen vermeiden. Grundsätzlich hat der Gesetzgeber hierfür EnWG §14c für die Vergütung von Flexibilitätsoptionen in Elektrizitätsverteilernetzen geschaffen. In der Praxis wird dieser Paragraph jedoch bislang nicht gelebt, da er für Netzbetreiber weniger kalkulierbar ist als ein langwieriger aber besser kalkulierbarer Netzausbau. Anders als auf der 110 kV-Ebene, wo Netzbetreiber verpflichtet sind Netzengpässe anzuzeigen, war es im Rahmen der HyExpert-Studie nicht möglich, entsprechende Aussagen des Netzbetreibers auf Mittelspannungsebene im Landkreis Passau zu erhalten. Aus Netzsicht kann an dieser Stelle somit keine Aussage zu optimalen Standorten von Elektrolyseuren im Landkreis getroffen werden.

Aus Stromerzeugungssicht bieten sich für einen Elektrolyseur Regionen im Landkreis mit einem hohen



## Alternative Verfahren

Neben der Elektrolyse kann Wasserstoff auch aus biogenen Quellen, d.h. vor allem aus Kohlenwasserstoffen, produziert werden, beispielweise durch die Vergasung und Vergärung von biologischem Abfall oder Klärschlamm. Da insbesondere Windenergie, aber auch neue PV-Freiflächenanlagen aufgrund der regelmäßigen Abschaltungen im Landkreis aktuell kritisch gesehen werden, sollten auch alternative H<sub>2</sub>-Erzeugungsvarianten in Betracht gezogen werden. Als besonders interessant scheint im Landkreis vor allem die Nutzung von Klärschlamm und biologischer Reststoffe für die Produktion von Wasserstoff zu sein, da die Entsorgung von Klärschlamm ein Thema ist, mit dem der Landkreis sich aktuell intensiv befasst<sup>5</sup>.

Eine Option zur Produktion von Wasserstoff aus vorhandenen Abfallstoffen wie Klärschlamm oder biogenen Reststoffen bietet bspw. die Lösung der blueFlux Energy AG<sup>6</sup>. Für eine Tonne Wasserstoff werden dabei ca. 23 Tonnen organischer Rohstoff mit 30 % Trockensubstrat benötigt (höherer Anteil Trockensubstrat nicht zwingend notwendig). Mit einer angenommenen Vergütung für die Klärschlamm Entsorgung (ggf. auch Bioabfälle) von ca. 100 € / t Klärschlamm gibt blueFlux Energy sehr geringe Wasserstoffgestehungskosten i.H.v. 3-3,50 € (netto) an (vgl. mit Kosten von elektrolytisch erzeugtem Wasserstoff in Abbildung 4-12). Es ist jedoch zu beachten, dass das Verfahren von blueFlux bisher nicht großskalig erprobt ist und biogener Wasserstoff beim Einsatz im Verkehrssektor im Gegensatz zu elektrolytisch erzeugtem Wasserstoff für die THG-Quotenerfüllung (vgl. RED II) nur einfach angerechnet wird. Ob die von blueFlux prognostizierten Wasserstoffkosten realistisch sind, wird vermutlich erst die Fertigstellung der ersten größeren blueFlux-Anlage im Landkreis Dachau für eine örtliche Ziegelbrennerei Ende 2023 zeigen.

Eine Produktion von Wasserstoff aus Klärschlamm bietet sich in der Nähe der in Abbildung 3-10 dargestellten Standorten von Kläranlagen und Klärschlamm Sammelstellen an. Wie in Abbildung 3-10 ersichtlich, liegen die meisten Kläranlagen vorteilhafterweise entlang oder in der Nähe von Knotenpunkten der bereits aktiven Akteure sowie der Hauptverkehrsachsen des Landkreises (vgl.

---

<sup>5</sup> Interkommunaler Energienutzungsplan zur energetischen Klärschlammverwertung für alle 38 Gemeinden im Landkreis Passau, IfE GmbH, 2022

<sup>6</sup> <https://www.bluefluxenergy.com>

Abschnitt 2.1). Zudem haben die Verträge der einzelnen Kläranlagen nach Aussage des Landratsamtes jeweils kurze Laufzeiten, die entsprechend schnell angepasst und ggfs. aufgelöst werden könnten.

Zudem bietet sich bei den alternativen Verfahren die zusätzliche Nutzung von Bioabfällen und Grüngut an, die ebenfalls über das von blueFlux Energy erdachte Verfahren in Wasserstoff umgewandelt werden können. Die ZAW Donauwald beziffert dabei den Anteil des als Bioabfall/Grüngut bezeichneten Abfalls auf knapp 130.000 Tonnen im Jahr 2021 für sein gesamtes Sammelgebiet, welcher zumindest teilweise für die Produktion von Wasserstoff genutzt werden kann. Durch die Verwertung des lokal anfallenden Klärschlamm und biogener Abfallstoffe zu Wasserstoff könnten zwei Zukunftsthemen des Landkreises parallel angegangen und gelöst werden.

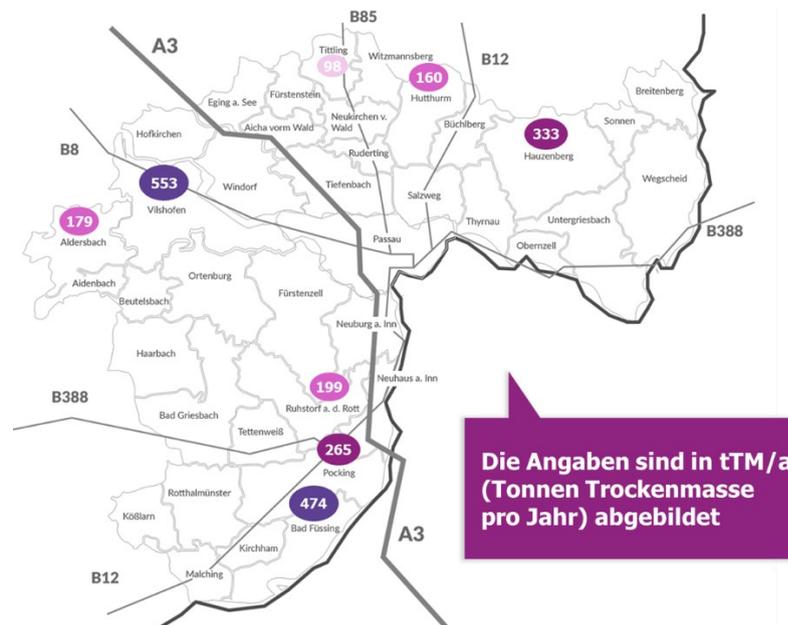


Abbildung 3-10: Anfallende Menge an Klärschlamm in Tonnen Trockenmasse pro Jahr, an den größten Kläranlagen im Landkreis – Datenquelle: Interkommunaler Energienutzungsplan zur energetischen Klärschlammverwertung für alle 38 Gemeinden im Landkreis Passau, IfE GmbH, 2022

### 3.3. Externe Beschaffung von Wasserstoff

“Der bayerische Wasserstoffbedarf wird in Zukunft erheblich steigen. Dabei muss der Wasserstoff nachhaltig und CO<sub>2</sub>-reduziert hergestellt werden. Für die Produktion von grünem Wasserstoff aus Wasserelektrolyse oder Biomassekonversion sind die Ressourcen jedoch limitiert. Der zu erwartende Wasserstoffbedarf kann daher nicht vollständig von der heimischen Produktion gedeckt werden. Dies liegt unter anderem daran, dass Bayerns Potenzial für Erneuerbare Energien verglichen mit anderen Regionen eher gering ausfällt. Obwohl zu erwarten ist, dass Bayern mittel- und langfristig Importeur von grünem Wasserstoff wird, ist auch die Erzeugung von Elektrolyse-Wasserstoff vor Ort unerlässlich,

um Technologiekompetenz aufzubauen und zu demonstrieren.”<sup>7</sup>

Um eine bessere Einsicht in die Möglichkeiten des Imports und der Beschaffung aus den Grenzregionen des Landkreises Passau im Zusammenhang mit Wasserstoff zu erhalten, ist es von Bedeutung, die rechtlichen und politischen Wasserstoffstrategien zu vergleichen. In diesem Kontext weisen Bayern, Deutschland und Österreich insbesondere folgende Gemeinsamkeiten auf, welche in der nachstehenden Übersicht aufgezeigt werden:

**Sicherung der Infrastruktur für Wasserstoffherzeugung:** Dies betrifft vor allem die Entwicklung von logistischen Strukturen und einem Netzwerk von Wasserstofftankstellen.

**Förderung der Wissenschaft und Ausbildung von Fachkräften:** Es wird darauf abgezielt, Forschung und Bildung im Bereich Wasserstoff zu unterstützen, um qualifizierte Fachkräfte zu gewinnen.

**Einsatz von klimaneutralem Wasserstoff:** Die Strategien setzen auf die Produktion und Nutzung von Wasserstoff, der klimaneutral erzeugt wird, um Umweltauswirkungen zu minimieren. Durch den delegierten Rechtsakt nach RED II und die RED III gibt es hier EU-weite Mindeststandards.

**Förderung internationaler Kooperationen:** Die Zusammenarbeit auf internationaler Ebene wird betont, um gemeinsame Wasserstoffprojekte und -initiativen zu fördern.

**Stärkung des Wirtschaftsstandortes:** Die Wasserstoffstrategien zielen darauf ab, die Wirtschaft durch die Förderung von Wasserstofftechnologien zu stärken und neue Wertschöpfungspotenziale zu erschließen.

Die vergleichende Darstellung der nationalen Wasserstoffstrategien mit dem Schwerpunkt auf Mobilität und Infrastruktur zeigt folgende Tabelle:

---

<sup>7</sup> <https://h2.bayern/infothek/faqs/>

Tabelle 3: Vergleich der Wasserstoffstrategien in Deutschland, Bayern und Österreich

|                                    | DEUTSCHLAND  | BAYERN  | ÖSTERREICH   |
|------------------------------------|--|---|--|
| <b>Einsatz im Mobilitätssektor</b> | Kein Ausschluss der Nutzung im Privatbereich (PKW)   | Vor allem Betrieb schwerer Fahrzeuge  | Priorisierung von Flug- und Schiffsverkehr, mittlere Priorisierung von Fernverkehr-LKW und Reisebussen   |
| <b>Verkehr</b>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeitnaher Einsatz von grünem Wasserstoff bei der Kraftstoffherstellung</li> <li>• Einsatz von erneuerbaren Energien im Flugverkehr</li> <li>• Zielführende Umsetzung der <i>Clean Vehicles Directive (CVD)</i></li> </ul> | Wasserstoff vor allem beim Betrieb schwerer Fahrzeuge als Energieträger interessant | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsatz von Wasserstoff priorisiert bei Flug- und Schiffsverkehr</li> <li>• Mittlere Priorisierung von Fernverkehr-LKWs und Reisebussen</li> <li>• Kein Einsatz von Wasserstoff im PKW-Bereich</li> </ul> |

#### Gemeinsamkeiten zwischen Bayern (BY) und Österreich (AT):

Beide Regionen setzen insbesondere auf den Einsatz von Wasserstoff im Schwerlastverkehr (Österreich zusätzlich in der Luftfahrt und Schifffahrt sowie im Fernverkehr). In Bezug auf den Bereich der privaten Mobilität zeigen sowohl Bayern als auch Österreich eher geringes Interesse an der Verwendung von Wasserstoff.

#### Nach dem Vergleich der nationalen Wasserstoffstrategien lässt sich folgendes Fazit ziehen:

Der Import von grünem Strom als auch von Wasserstoff aus Tschechien erweist sich als herausfordernd. Ein Import aus Österreich erscheint unwahrscheinlich, insbesondere aufgrund des nationalen Eigenbedarfs. Die erforderliche Infrastruktur für den großskaligen Import aus anderen deutschen Regionen ist aktuell nicht vorhanden, da bisher die erforderliche Planungssicherheit für deren Aufbau fehlte.

Im Verlauf einer Ministerpräsidentenkonferenz im Juni 2023 haben Bund und Länder eine Vereinbarung getroffen, um ein Wasserstoffnetz in Deutschland aufzubauen. Das vorgesehene Hauptnetz soll wirtschaftlichen Akteuren eine verlässliche Planungsgrundlage bieten und dadurch einen Überwachungsprozess in Gang setzen, der einen zügigen und gezielten Ausbau der erforderlichen erneuerbaren Energien fördert. Konkrete Entscheidungen zur Beschleunigung von

Planungs- und Genehmigungsverfahren wurden jedoch auf einen späteren Zeitpunkt verschoben<sup>8</sup>.

Aktuell weist die Ausbaukarte 2040 (Abbildung 3-11) des European Hydrogen Backbone eine klare Lücke für die Region Passauer Land auf. Hier ist lediglich eine Pipeline geplant, die aus Österreich bzw. Osteuropa kommt und über das Chemiedreieck nach München verläuft.

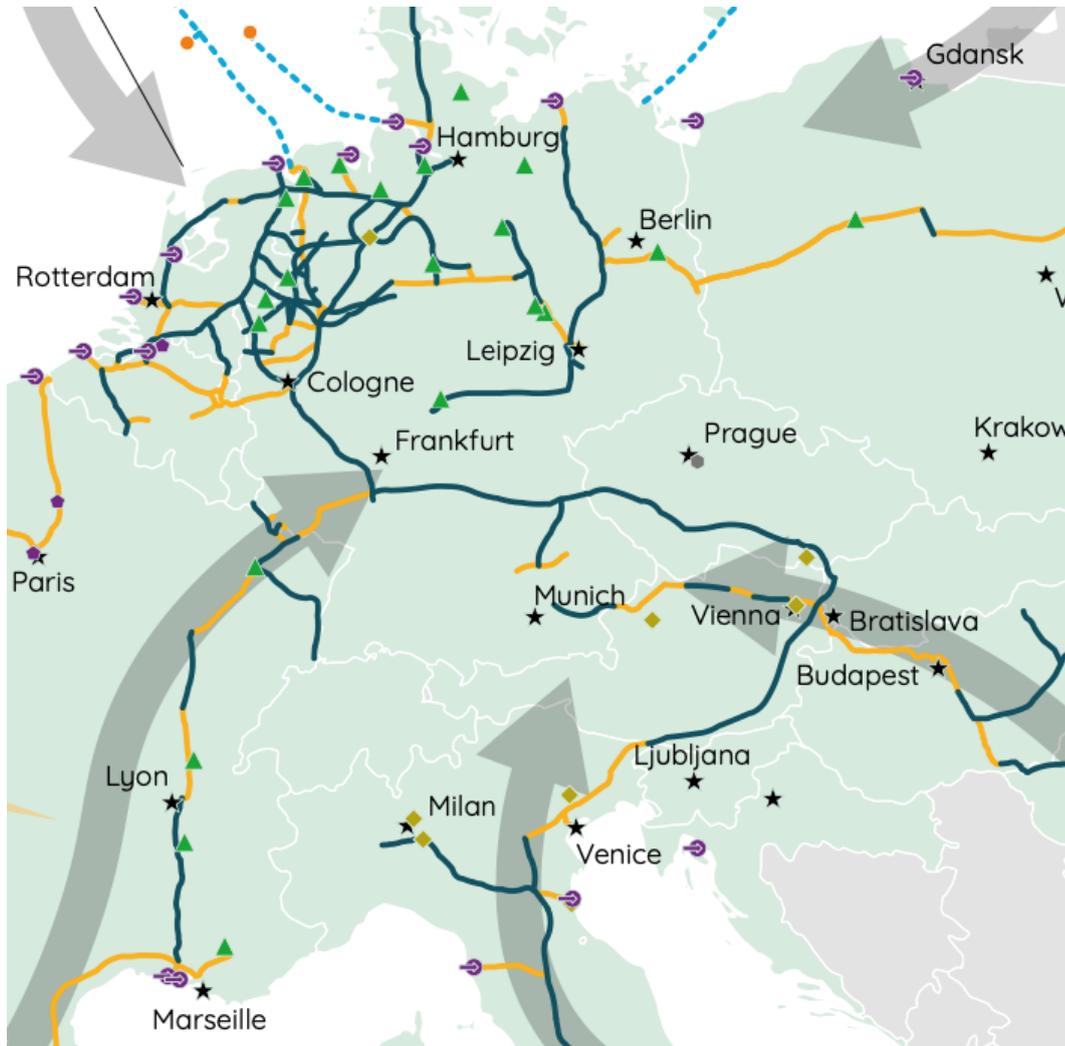


Abbildung 3-11: Ausbaukarte und Importkorridore in und für Europa, European Hydrogen Backbone, 2022

Zudem besteht derzeit eine Vereinbarung innerhalb eines Konsortiums bestehend aus Italien, Österreich und Bayern, die darauf abzielt, eine Pipeline aus Nordafrika bis zum Jahr 2030 in Betrieb zu

<sup>8</sup> <https://www.zeit.de/politik/deutschland/2023-06/ministerpraesidentenkonferenz-olaf-scholz-bundeslaender-eu-asylreform>, 2023

nehmen<sup>9</sup>. Auf bayerischer Seite wird das Projekt von “HyPipe Bavaria – The Hydrogen Hub” der bayernets GmbH durchgeführt. Betrachtet man in der Abbildung 3-13 die Streckenführung der Pipeline aus (süd-)östlicher Richtung in Bayern im Detail wird deutlich, dass die Region Passau nicht direkt an das geplante Streckennetzwerk angebunden sein wird.



Abbildung 3-12: Voraussichtliches Wasserstofftransportnetz in Südbayern bis 2030 gemäß “HyPipe Bavaria – The Hydrogen Hub” der bayernets GmbH

Zusätzlich ist ein möglicher Korridor über die Donau aus Südost-Europa zu erwähnen. Der Transport des Wasserstoffs würde hier vermutlich per Schiff erfolgen, was eine entsprechend CO<sub>2</sub>-intensive Variante des Imports darstellt<sup>10</sup>. Die weite Entfernung des Landkreises Passau von Seehäfen erschwert vorerst die Attraktivität der Anlieferung über LNG-Terminals. Eine Studie des Wuppertal Instituts und DIW Econ zeigt, dass Wasserstoffimporte über Schiffstransport aus wirtschaftlichen Gründen nicht

<sup>9</sup> <https://h2-news.eu/energieversorgung/italien-oesterreich-und-deutschland-unterstuetzten-wasserstoffkorridor-south2/>.

<sup>10</sup> VERBUND Wasserstoff-Projekt Green Hydrogen Blue Danube

sinnvoll sind, da sie eine energieintensive Verflüssigung erfordern. Generell stellt ein H<sub>2</sub>-Import mittels Schiffen im Vergleich zum Pipelinetransport die energetisch ungünstigere Option dar. Die Kosten für den Schiffstransport sind dreimal so hoch wie beim Pipeline-Transport und rechnen sich erst ab einer Entfernung von 4.000 km zum Produktionsland.<sup>11 12</sup>

Wie die folgende Abbildung 3-14 zeigt, ist bei Distanzen von bis zu 10.000 km der Transport von Wasserstoff über entsprechend dimensionierte Fernleitungen kostengünstiger als der Schiffstransport.<sup>13</sup>

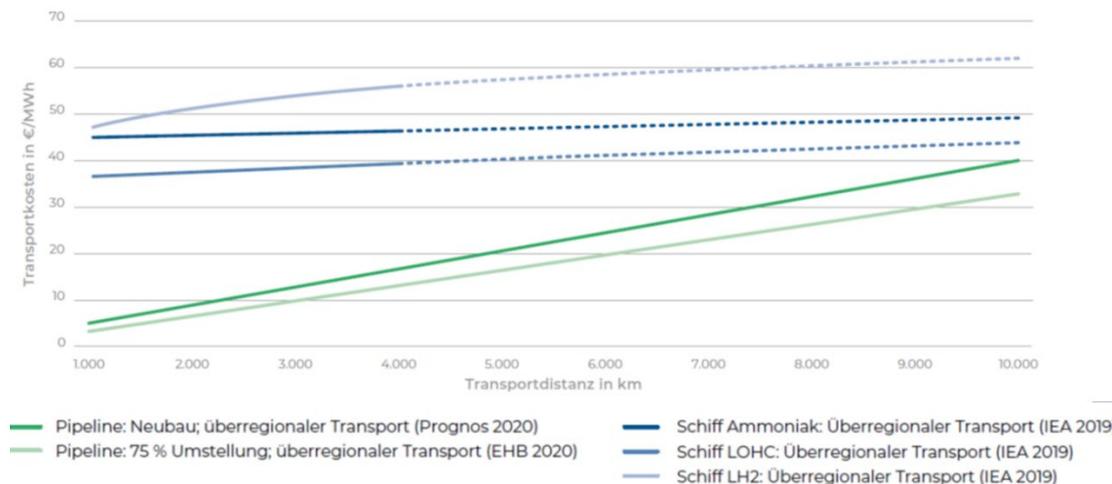


Abbildung 3-13: Vergleich der Kosten ausgewählter Wasserstofftransportoptionen gemäß Nationaler Wasserstoffrat, 2021

Wie bereits oben beschrieben ist eine solche Pipeline derzeit noch nicht vorhanden, jedoch in Planung. Ursprünglich für das Jahr 2035 vorgesehen, soll Bayern nun schon 2030 an die (inter-)nationale Wasserstoffpipeline-Infrastruktur angeschlossen werden<sup>14</sup>. Ein direkter Anschluss der Region Passauer Land an diese Pipeline-Infrastruktur ist jedoch, wie oben bereits erwähnt, fraglich.

Eine alternative Option, neben Schifffverkehr und der Nutzung von Pipelines, wäre der Transport von

<sup>11</sup> <https://h2-news.eu/forschung/heimische-produktion-oder-import-von-wasserstoff/>

<sup>12</sup> <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/events/dvgw-h2-lunch-learn-h2import-cstaudt.pdf>

<sup>13</sup> WASSERSTOFFTRANSPORT | Nationaler Wasserstoffrat

<sup>14</sup> <https://www.bayern-innovativ.de/de/seite/perspektiven-hochlauf-bayerische-h2-wirtschaft>

Wasserstoff über den Schienenverkehr, wobei DB-Cargo seit 2022 in einer entsprechenden Testphase ist<sup>15</sup>. DB-Cargo plant, bis 2030 etwa 20 Terawattstunden Wasserstoff auf der Schiene zu liefern, was etwa 20% des bis dahin geschätzten nationalen Wasserstoffbedarfs entspricht. Dieser alternative Transportweg ist tendenziell umweltfreundlicher als ein Transport von Wasserstoff über die Straße, wobei ein Zug bis zu 52 Lkw ersetzen kann. Mögliche Schienenstrecken für den Transport von Wasserstoff durch die Region Passauer Land sind hier durchaus denkbar, der Zeitplan für eine konkrete Umsetzung ist jedoch derzeit noch unbekannt<sup>16</sup>.

### 3.4. Produktions- und Beschaffungsmöglichkeiten für den Landkreis Passau

#### Vergleich und Bewertung Beschaffung und Produktion von Wasserstoff für den Landkreis Passau

Eine lokale Wasserstoffproduktion für den Landkreis Passau kann zusammengefasst folgendermaßen bewertet werden:

- **Sinnvoll an Knotenpunkten:** Die lokale Wasserstoffproduktion ist besonders empfehlenswert an Standorten, an denen die Erzeugung erneuerbarer Energien, Abnehmer und eventuell bereits die erforderliche Infrastruktur vorhanden sind. Hier bieten sich im Landkreis das neue Autobahndreieck Pocking, die Regionen um Hauzenberg sowie um Vilshofen an. Hier sind auch Akteursdichte und Mobilitätsknotenpunkte deckungsgleich.
- **Unterstützung von Verknüpfung privater Lösungen und erweiterter Infrastruktur:** Die Politik sollte die Integration von individuellen Lösungen mit einer erweiterten Wasserstoffinfrastruktur fördern. Es gilt die privaten Initiativen mit potentiellen kommunalen Vorhaben (Stichwort biogene Reststoffe) zu verzahnen – informativ wie in der Folge auch operativ.
- **Fokussierung auf bestehende Ideen und Projekte:** Die Förderung von bereits existierenden innovativen Ideen und Projekten als vorbildliche Beispiele können die Grundlage für ähnliche Entwicklungen an anderen Standorten sein. Hier gilt es Informationen zu streuen, Ansprechpartner zu etablieren und einen laufenden Überblick zu den Vorhaben zu behalten.

---

<sup>15</sup> <https://www.dbcargo.com/rail-de-de/logistik-news/wasserstoff-trifft-auf-schiene-8819494>

<sup>16</sup> <sup>8</sup> <https://www.dbcargo.com/rail-de-de/wasserstoff>

- **Unterstützung von privaten Initiativen für Energieautarkie:** Eine optimierte Unterstützung von Vorhaben, die darauf abzielen, Energieunabhängigkeit auf lokaler Ebene zu erreichen sollte ausgebaut werden, da daraus möglicherweise lokale Nutzungserweiterungen resultieren können, die zur lokalen Wasserstoffproduktion genutzt werden können.

Die Beschaffung von Wasserstoff zur lokalen Nutzung im Landkreis Passau kann zusammengefasst folgendermaßen bewertet werden:

- Aus Richtung Tschechien erweist sich sowohl der Import von grünem Strom als auch von Wasserstoff als herausfordernd, da hier sehr unterschiedliche rechtliche und energiepolitische Positionen zu vereinen wären.
- Ein Import aus Österreich erscheint ebenso unwahrscheinlich, insbesondere aufgrund des nationalen Eigenbedarfs.
- Die erforderliche Infrastruktur für den Import aus anderen deutschen Regionen ist aktuell nicht vorhanden und befindet sich unterschiedlichen Aus- und Aufbaustufen.

Daher sollte der Fokus auf die Anbindung an eine Pipeline im Chemiedreieck, den Trailer-Import und die Vernetzung dezentraler Lösungen innerhalb des Landkreises gelegt werden. Eine überregionale Belieferung ist derzeit nur aus bestimmten deutschen Regionen relevant, da grenzüberschreitende und innerhalb der Europäischen Union noch viele Unsicherheiten bestehen.

### **Fazit und Empfehlung hinsichtlich Beschaffung und Produktion von H<sub>2</sub> für den Landkreis Passau**

Für ein Produktions- und Beschaffungskonzept für klimaneutralen Wasserstoff im Landkreis Passau empfiehlt sich somit ein regionaler Ansatz, der auf ein regionales kommunales Energiewerk oder kommunales "Regionalwerk" setzt. Dabei steht die ganzheitliche und durch die Kommune vorangetriebene Verzahnung kleinerer, bisher für sich stehenden Wasserstoffprojekte und Umsetzungsvorhaben im Vordergrund. Statt weiterer isolierter Insellösungen sollte eine umfassende regionale Integration angestrebt werden.

Eine Grundidee dieses Ansatzes besteht darin, verschiedene Energiequellen wie Klärschlamm, Abfall, PV- und Windenergie aus kommunaler Hand zu nutzen und für die gesamte Region verfügbar zu machen. Dies ermöglicht eine aktive Beteiligung der Gemeinden an den Umsetzungsvorhaben der Wirtschaftstreibenden und würde die Abhängigkeit externer Investoren für die Durchführung von neuen Projekten verringern. Die Aktivitäten einzelner Unternehmen können als Keimzelle für erfolgreiche Wasserstoffprojekte dienen, welche durch gelungene regionale Integration in die bestehende H<sub>2</sub>-Projektlandschaft einen Mehrwert für die gesamte Region bieten können.

## 4. EINSATZ, ABNAHME UND NUTZUNG VON H<sub>2</sub> IN DER REGION PASSAU

### 4.1. Markt- und Nutzungspotenziale von Wasserstoff in Deutschland und im Landkreis Passau

Wasserstoff besitzt als Roh- und Ausgangsstoff in der Chemieindustrie, sowie perspektivisch als Energieträger in der Mobilität, für die Bereitstellung von Prozesswärme und für die Wärmeerzeugung ein sehr breites Anwendungsspektrum. Diese vier potenziellen Anwendungsfelder werden im Rahmen der HyExpert-Studie näher erörtert, da Sie speziell für die Dekarbonisierung unserer Gesellschaft von großem Interesse sind, wobei ein spezieller Fokus auf möglichen Mobilitätsanwendungen liegt.

#### **Wasserstoff in der Mobilität:**

Wasserstoff lässt sich in Kombination mit Sauerstoff über Brennstoffzellen in elektrische Energie umwandeln. Der elektrische Wirkungsgrad von Brennstoffzellen liegt bei aktuell ca. 60 %. Der Antriebsstrang eines Brennstoffzellenfahrzeuges setzt sich aus den Hauptkomponenten Brennstoffzelle, Elektromotor, Batterie und den Wasserstofftanks zusammen. Der Fahrzeugantrieb erfolgt über einen Elektromotor, der je nach Leistungsanforderung sowohl elektrische Energie der Brennstoffzelle als auch der Batterie in Bewegungsenergie umwandelt. Speziell im Falle hoher Leistungsanforderungen werden Lastspitzen über die Batterie abgedeckt, so dass die Brennstoffzelle möglichst mit konstanter Leistung betrieben werden kann, um u.a. ihre Lebensdauer zu maximieren. Ähnlich wie bei einem reinen Elektrofahrzeug kann bei einem Brennstoffzellenfahrzeug beim Bremsen mittels Rekuperation Bewegungsenergie in elektrische Energie umgewandelt und in der Batterie (zwischen-)gespeichert werden. Die einzige Emission eines Brennstoffzellenfahrzeuges ist Wasser(-dampf), es werden weder CO<sub>2</sub> noch Stickoxide oder anderweitige Partikel emittiert.

Wasserstoffverbrennungsmotoren bieten bei etwas geringeren Wirkungsgraden (ca. 40-45 %) je nach Ausgestaltung des Antriebsstranges ähnliche Vorteile wie Brennstoffzellenfahrzeuge, verursachen jedoch im geringen Maße Stickoxid-Emissionen und können vor allem für robuste Anwendungen in staubiger Umgebung eine interessante Alternative darstellen, da die Anforderungen an die Reinheit des Wasserstoffs und der Umgebungsluft deutlich geringer sind.

Auch wenn die Investitions- und z.T. auch Betriebskosten von Wasserstofffahrzeugen aktuell (Stand 2023, siehe Abschnitt 4.2) höher liegen als bei konventionellen oder Batterie-elektrischen Fahrzeugen, vereinen sie einige der Vorteile der beiden letztgenannten Technologien. So profitieren sie wie Batterie-elektrische Fahrzeuge von der Rekuperation und den damit verbundenen geringeren

Verbräuchen beim (innerstädtischen) Stop-And-Go, dem leisen Betrieb und der direkten Kraftübertragung eines Elektromotors. Andererseits bieten die kurzen Tankzeiten, die Reichweiten von über 400 km und eine zum Dieselantrieb vergleichbare Performance ein breites Einsatzspektrum von Brennstoffzellenfahrzeugen. Das geringe Gewicht des gespeicherten Wasserstoffs im Vergleich zu einer großen Speicherbatterie erlaubt zudem hohe Nutzlasten, welche vergleichbar mit konventionellen Lösungen sind<sup>17</sup>.

Diese oben genannten Qualitäten prädestinieren den Einsatz von Wasserstoff bzw. Brennstoffzellen bei Fahrzeugen mit einer hohen Nutzlast und einer hohen Anzahl an Vollbenutzungsstunden, wie bspw. in der Schwerlastlogistik, aber auch bei ÖPNV-Bussen, Abfallsammelfahrzeugen und Gabelstaplern im Mehrschichtbetrieb. Bei welchen beispielhaften Anwendungen der Einsatz von Brennstoffzellen-elektrischen LKW (engl.: Fuel Cell Electric Truck – FCET) speziell gegenüber Batterie-elektrischen LKW (engl.: Battery Electric Truck – BET) vorteilhaft ist, ist in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Unterschiedliche Use Cases in der Logistik

| USE CASE                   | PAKETLOGISTIK   | LEBENSMITTELLOGISTIK                                   | SCHWERLASTTRANSPORT   |
|----------------------------|---|--|---|
| <b>Beschreibung</b>        | Transport von Paketen mit mittleren Volumen zwischen Warenhäusern und Endkunden | Regionale Verteillogistik für zu kühlende Lebensmittel | Schwerlasttransporte mit großer Reichweite und hoher Nutzlast |
| <b>Ladung</b>              | Geringe Nutzlast und hohes Volumen  | Sowohl Volumen als auch Gewicht                        | Hohe Nutzlast   |
| <b>Tägliche Reichweite</b> | 150-200 km  | 150-400 km   | 500+ km   |
| <b>Zusatzverbraucher</b>   | Ladebordwand  | Kühlung  | unterschiedlich   |
| <b>Bevorzugter Antrieb</b> | BET   | BET oder FCET  | FCET  |

Im Landkreis Passau kommen in dieser Hinsicht vor allem Logistiker des (über-)regionalen Verteilverkehrs (u.a. Troiber, Getränke Geins etc.), sowie perspektivisch international tätige

<sup>17</sup> Fuel Cells Hydrogen Trucks, Roland Berger, 2020

Speditionen (z.B. Helmö, Brummer) sowie der ÖPNV (VLP), die Abfallwirtschaft (ZAW Donauwald) und Betriebe mit vielen Gabelstaplern im Mehrschichtbetrieb (z.B. Knorr-Bremse in Aldersbach) für die Nutzung von Wasserstoff in der Mobilität in Frage.

Perspektivisch ist die Nutzung von Wasserstoff auch für die Donauschifffahrt von großem Interesse, um ihre Schadstoffemissionen zu reduzieren und sich klimafreundlicher aufzustellen. Auch wenn die Donauschiffe und speziell die Flusskreuzfahrten Städte mit Umweltzonen (gemäß 35. BImSchV) wie bspw. Passau anfahren, gelten die dort festgelegten Bestimmungen zu vorgeschriebenen Abgaswerten nicht für Bundeswasserstraßen und somit bisher nicht für die Donauschiffe. Firmen wie die Donauschifffahrt Wurm & Noé GmbH & Co. KG aus Passau sind sowohl aus Eigeninteresse als auch in Anbetracht möglicher gesetzlicher Regelungen zu Emissionsgrenzwerten für die (Donau-)Schifffahrt stark an klimafreundlichen Alternativen wie bspw. Wasserstoff interessiert. Größte Herausforderung ist dabei neben der Platzierung von Wasserstofftanks auf Ausflugsschiffen, vor allem die Verfügbarkeit von entsprechenden Schiffen, da im maritimen Bereich bislang lediglich erste Prototypen existieren.<sup>18</sup>

#### **Stoffliche Nutzung:**

Wasserstoff wird stofflich sowohl in Raffinerien als auch in der Düngemittel- und Chemieindustrie für unterschiedliche chemische Synthesen und Reaktionen benötigt. Eine entsprechende Übersicht über die stoffliche Nutzung von Wasserstoff, ist in Abbildung 4-1 dargestellt. Für diese Prozesse wird heutzutage EU-weit zu mehr als 90 % grauer Wasserstoff aus der Dampfreformierung genutzt (Stand 2020)<sup>19</sup>. Die einfachste und von den Investitionskosten günstigste Möglichkeit zur Dekarbonisierung industrieller Prozesse stellt daher die Substitution von grauem Wasserstoff durch CO<sub>2</sub>-neutralen Wasserstoff dar.

---

<sup>18</sup> Interview mit Herrn Florian Noé, Geschäftsführer der Donauschifffahrt Wurm & Noé GmbH & Co. KG

<sup>19</sup> Clean Hydrogen Monitor 2020, Hydrogen Europe, 2020

**Kraft- und Schmierstoffe**

**Chemische und weitere Produkte**

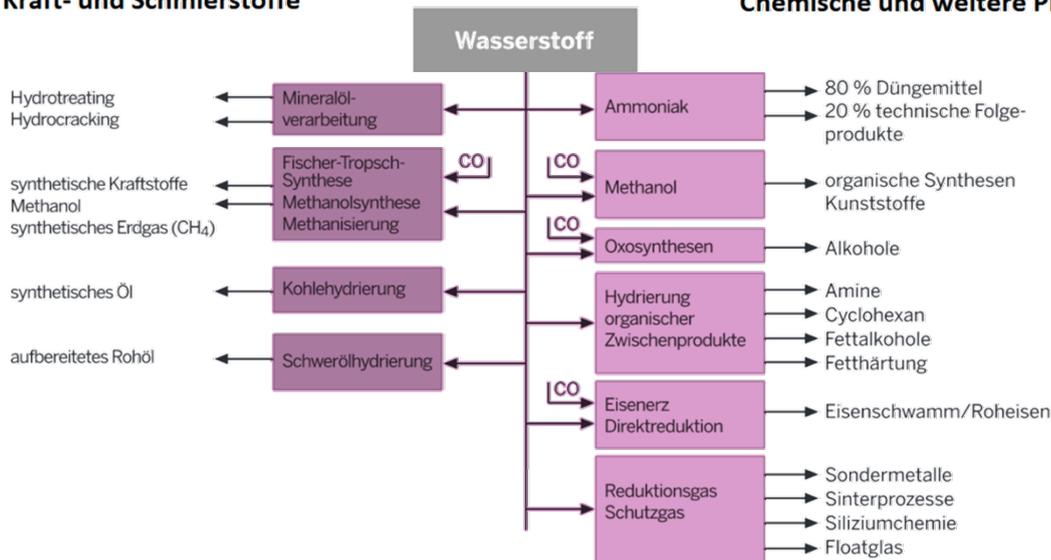


Abbildung 4-1: Stoffliche Nutzung von Wasserstoff - Quelle: Potenzialatlas Power to Gas, dena, 2016

Nach eingehender Analyse gibt es im Landkreis Passau keine Unternehmen, die bereits Wasserstoff für chemische Prozesse nutzen. Mittel- bis langfristig könnte für Unternehmen wie bspw. die MaierKorduletsch Gruppe als Kraft- und Schmierstoffhändler die Produktion von synthetischen Kraft- und Schmierstoffen interessant sein.

**Wasserstoff für die Prozesswärme:**

Grundsätzlich ist es möglich durch die Verbrennung von Wasserstoff Prozesswärme über 400 °C für technische Verfahren wie das Trocknen, Schmelzen oder Brennen zu erzeugen. Wasserstoff verbrennt unter idealen Mischverhältnissen mit Luft bei über 2000 °C. In Kombination mit reinem Sauerstoff können Flammentemperaturen von über 3000 °C erreicht werden. Diese Temperaturen sind ausreichend, um bspw. Stahl und Glas zu schmelzen oder Ziegel zu brennen. Im Vergleich zur Nutzung von Erdgas (meist ca. 90 % Methan, d.h. CH<sub>4</sub>) ist jedoch die mögliche Bedeutung des Kohlenstoffs insbesondere bei konventionellen Schmelz-, Brenn- und Härtingsprozessen zu berücksichtigen, so dass unter Umständen eine Substitution durch Wasserstoff genauere Untersuchungen und eine Umstellung der Prozesse benötigt.

Im Landkreis Passau kommt für die Nutzung von Wasserstoff für die Prozesswärme allen voran die Ziegelei Erbersdobler in Frage. Für das Brennen von Ziegeln sollte zudem die Reinheit von Wasserstoff weniger bis nicht relevant sein. Des Weiteren existiert die Idee eines lokalen Konsortiums für ein Mittellast- und Spitzenlastkraftwerk auf dem ehemaligen Bundeswehrgelände in Kirchham mit Flüssiglufspeichern (LAES = Liquid Air Energy Storage) in Kombination mit Elektrolyseanlagen.

## **Wärmeversorgung von Gebäuden:**

Wasserstoff kann über die Verbrennung mit Luft bspw. einem Kraft-Wärme-Kopplungsanlage wie einem BHKWs oder über einen elektrochemischen Prozess in Brennstoffzellen jeweils in Strom und Wärme umgewandelt werden. In BHKWs können je nach Hersteller sowohl Gasgemische mit einem variablen Anteil an Wasserstoff oder auch 100%-iger Wasserstoff genutzt werden. Der elektrische Wirkungsgrad liegt bei H<sub>2</sub>-BHKWs je nach Leistungsklasse bspw. von 2G Energy bei ca. 35-40 %, während der thermische Wirkungsgrad jeweils ca. 42 % beträgt<sup>20</sup>. BHKWs eignen sich dabei vor allem für die Wärmeversorgung von größeren Gebäuden und Gebäudekomplexen wie Unternehmen, Kliniken oder Thermen, sowie für Nahwärmenetze.

Bei Brennstoffzellen liegt der elektrische Wirkungsgrad aus physikalischen Gründen mit ca. 60 % deutlich höher. Dafür ist die Möglichkeit zur Abwärmenutzung jedoch mit 20-25 % der Ausgangsenergie deutlich geringer. Die Leistung einzelner kommerziell verfügbarer Brennstoffzellen ist i.d.R. niedriger als von BHKWs, jedoch lassen sich im Prinzip beliebig viele Brennstoffzellen zu höheren kombinierten Leistungen zusammenschalten<sup>21</sup>.

Zudem gibt es mittlerweile Anbieter wie bspw. die HPS Home Power Solutions AG (HPS) die Solar-Wasserstoff-Komplettsysteme für Eigenheime und größere Gebäude oder Mehrfamilienhäuser anbieten<sup>22</sup>. Ähnlich wie HPS entwickelt und optimiert die Firma Elektro Bauer GmbH & Co. KG (kurz: Elektro Bauer) aus Ortenburg-Vorderhainberg im Landkreis Passau seit Jahren eine Lösung zur (semi-)autarken Strom- und Wärmeversorgung mit GKN-Wasserstoffspeichern. Im Gegensatz zu HPS wird bei hierbei der aus Bedarfsüberschüssen produzierte Wasserstoff nicht komprimiert, sondern in Metallhydrid-Speichern der Firma GKN gespeichert. Bei Metallhydridspeichern wird Wasserstoff mit geringen Drücken (z.B. 35 bar) in einem Metall oder einer Metalllegierung, ein sogenanntes Metallhydrid, gespeichert und kann über eine entsprechende Wärmezufuhr wieder ausgetrieben werden. Elektro Bauer macht sich bei seiner Systemlösung unterschiedliche Synergien wie bspw. die Abwärmenutzung der Brennstoffzelle oder die Kombination mit einer Wärmepumpe zu Nutze. Das

---

<sup>20</sup> <https://2-g.com/de/produkte/agenitor>

<sup>21</sup> Brennstoffzellen für die Hausenergieversorgung, ASUE e.V., 2018

<sup>22</sup> <https://www.homepowersolutions.de>

Gesamtsystem für die (semi-)autarke Strom- und Wärmeversorgung eines Gebäudes besteht dabei aus einer PV-Anlage, einem Elektrolyseur, einer Brennstoffzelle, einem Metallhydridspeicher und einer Batterie, welches durch eine Wärmepumpe ergänzt werden kann. Für ein Einfamilienhaus ist das System von Elektro Bauer mit GKN-Wasserstoffspeicher in Abbildung 4-3 schematisch mit den entsprechenden Größenordnungen dargestellt und lässt sich in einem 10-Fuß-Container unterbringen<sup>23</sup>.

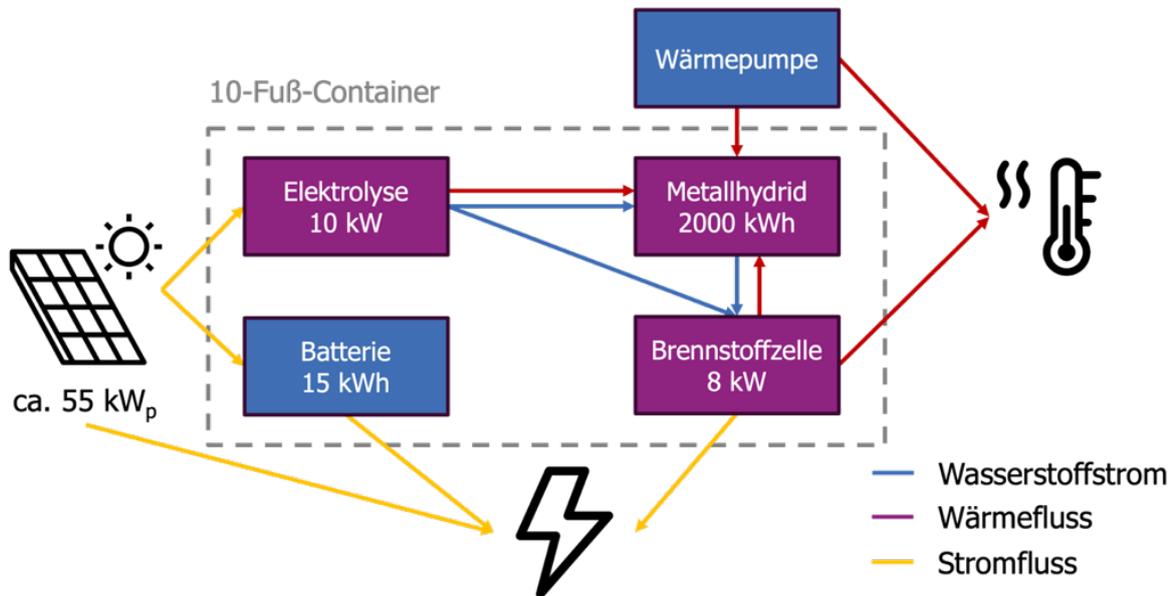


Abbildung 4-2: Schematische Darstellung der Lösung von Elektro Bauer aus dem Landkreis Passau beispielhaft für ein Einfamilienhaus – Darstellung: endura kommunal GmbH

Entsprechende Systeme von Elektro Bauer oder auch HPS sind grundsätzlich in allen Ein- oder Mehrfamilienhäusern, sowie öffentlichen Gebäuden und Unternehmen im Landkreis einsetzbar, jedoch mit hohen Investitionen verbunden. Um einen hohen Autarkiegrad zu erreichen ist in der Regel jedoch ein Energiestandard von mindestens eines KfW-Effizienzhaus 50 nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) notwendig. Die großflächige Transformation von Gasverteilnetzen auf Wasserstoff zur Wärmeversorgung von Gebäuden wird aktuell intensiv diskutiert und soll zumindest als lokale Betrachtung in allen kommunalen Wärmeplänen gemäß Wärmeplanungsgesetz enthalten sein.

<sup>23</sup> Interview mit Herrn Walther Bauer im Juni 2023

## 4.2. H<sub>2</sub>-Anwendungsfelder und Strategien zur Dekarbonisierung im Landkreis Passau

Das entscheidende Argument, ob sich eine (neue) Technologie durchsetzen kann, besteht in ihren wirtschaftlichen Vorteilen gegenüber etablierten Technologien. Diese wirtschaftlichen Vorteile können durch politische Rahmenbedingungen entscheidend beeinflusst und geprägt werden, indem bspw. konventionelle kohlenstoffbasierte Energieträger durch eine CO<sub>2</sub>-Bepreisung verteuert werden und klimafreundliche Alternativen bevorzugt werden.

Da sich die Bundesregierung und auch die EU ambitionierte Klimaschutzziele mit einer Klimaneutralität bis 2045 respektive 2050 gesetzt haben, in denen Wasserstoff eine wichtige Rolle spielt, gibt es bereits erste Anreizsysteme, die die Nutzung und Erzeugung von Wasserstoff fördern sollen. Diese förderlichen politischen Rahmenbedingungen und Anreizsysteme sind mit dem delegierten Rechtsakt gemäß RED II im Verkehrssektor bislang am stärksten ausgeprägt (vgl. Abschnitt 3.2). Hinzu kommt die Maut-Befreiung auf deutschen Autobahnen für elektrische Fahrzeuge, zu denen rechtlich auch Brennstoffzellenfahrzeuge zählen, sowie die Clean Vehicle Directive, die den Einsatz eines gewissen Prozentsatzes von klimaschonenden Fahrzeugen u.a. im ÖPNV vorschreibt.

Zudem ist Wasserstoff für die Mobilität im Gegensatz zu Benzin und Diesel von nahezu allen Abgaben und Steuern befreit. Dies führt dazu, dass die Wirtschaftlichkeit von grünem/erneuerbarem Wasserstoff in der Mobilität aktuell am höchsten ist, auch wenn bspw. in anderen Sektoren weniger klimafreundliche Alternativen zur Verfügung stehen und somit die Notwendigkeit für die Nutzung von Wasserstoff in anderen Sektoren wie bspw. der Stahlindustrie ggf. sogar höher ist. Eine entsprechende Einordnung insbesondere der in Abschnitt 4.1 genannten Sektoren und Anwendungsfelder von Wasserstoff nach den Parametern „Notwendigkeit zur CO<sub>2</sub>-Reduktion“ und „Wirtschaftlichkeit“ ist in Abbildung 4-4 schematisch dargestellt.

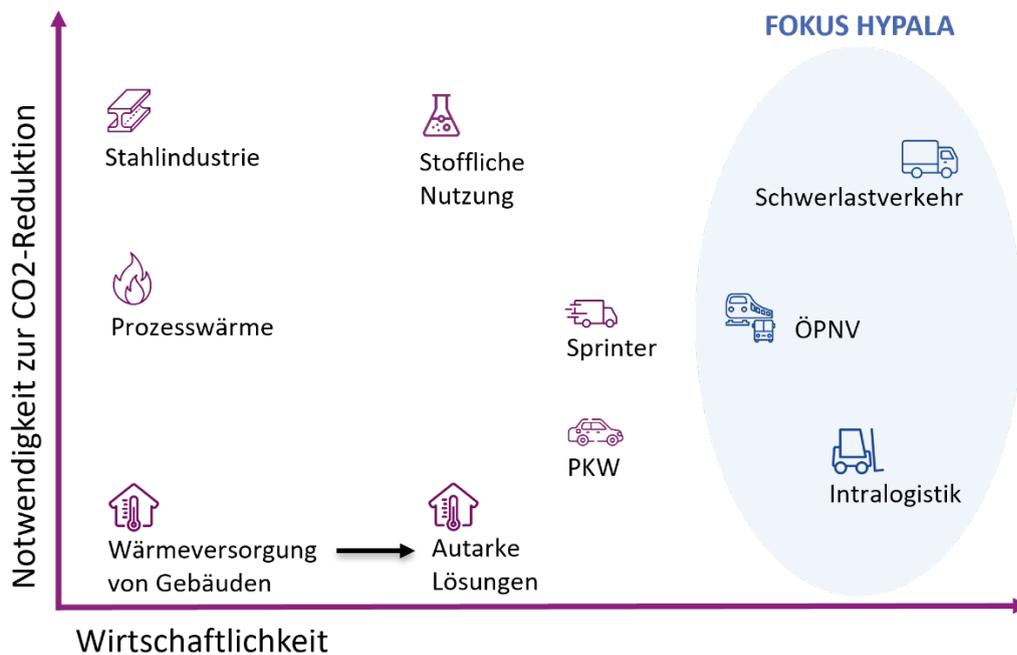


Abbildung 4-3: Wirtschaftlichkeit und Notwendigkeit zur Anwendung von Wasserstoff zur Dekarbonisierung nach Sektoren

Ein entsprechender beispielhafter Kostenvergleich für die Nutzung von Wasserstoff im Vergleich zu Erdgas für die Erzeugung von Prozesswärme und zu Wasserstoff im Vergleich zu Diesel in der Mobilität ist in Abbildung 4-5 dargestellt. Als Annahmen werden hier die Großhandelspreise für Erdgas, die Tankstellenpreise für Diesel und die berechneten Wasserstoffkosten mittels Elektrolyse i.H.v. ca. 8 € (netto) herangezogen (vgl. Abschnitt 4.4). Für Insel- oder (semi-)autarke Lösungen gelten andere Annahmen, da hier der Gasbezugspreis für Endkunden i.H.v. von aktuell 9,34 ct/kWh (Stand September 2023) und andere Strompreise für die Wasserstoffherzeugung angesetzt, sowie die Nutzung der Abwärme berücksichtigt werden müssen.

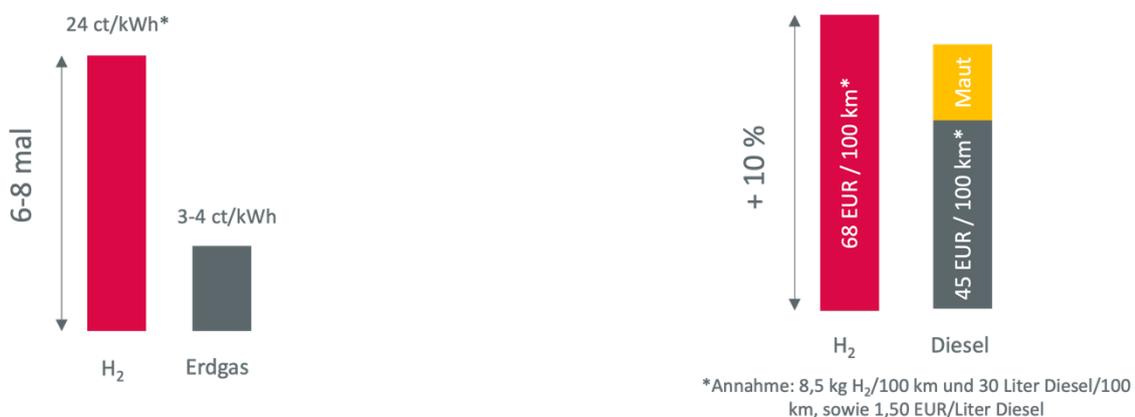


Abbildung 4-4: Nettokostenvergleich Erdgas/Wasserstoff (Industrielle Nutzung), sowie Wasserstoff/Diesel für eine Sattelzugmaschine bei einem Wasserstoffpreis für Endkunden von 7,50 € (netto)

Damit die Klimaschutzziele der Bundesregierung und der EU erreicht werden können, wird davon ausgegangen, dass insbesondere die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff in industriellen Anwendungen, sowie im Schwerlasttransport weiter im Sinne eines Wasserstoffhochlaufs angepasst werden. Der Fokus der vorliegenden HyExperts-Studie des Landkreises Passau liegt aufgrund der geringen wirtschaftlichen Lücke und der Förderung durch das BMDV bei den Mobilitätsanwendungen, die im Folgenden genauer betrachtet werden.

### Schwerlastverkehr

Der Landkreis und die Stadt Passau befinden sich, wie in Abbildung 4-6 dargestellt, an einer Kernroute des EU-Straßennetzes und somit des europäischen Warenverkehrs. Dies betrifft insbesondere die Routen von Westeuropa (u.a. Madrid, Paris und Amsterdam) über Passau nach Wien und weiter nach Osten. Auf Deutschland bezogen sind hier vor allem die (Schwerlast-)Verkehre aus Hamburg und dem Ruhrgebiet Richtung Wien und weiter Richtung Osteuropa relevant.

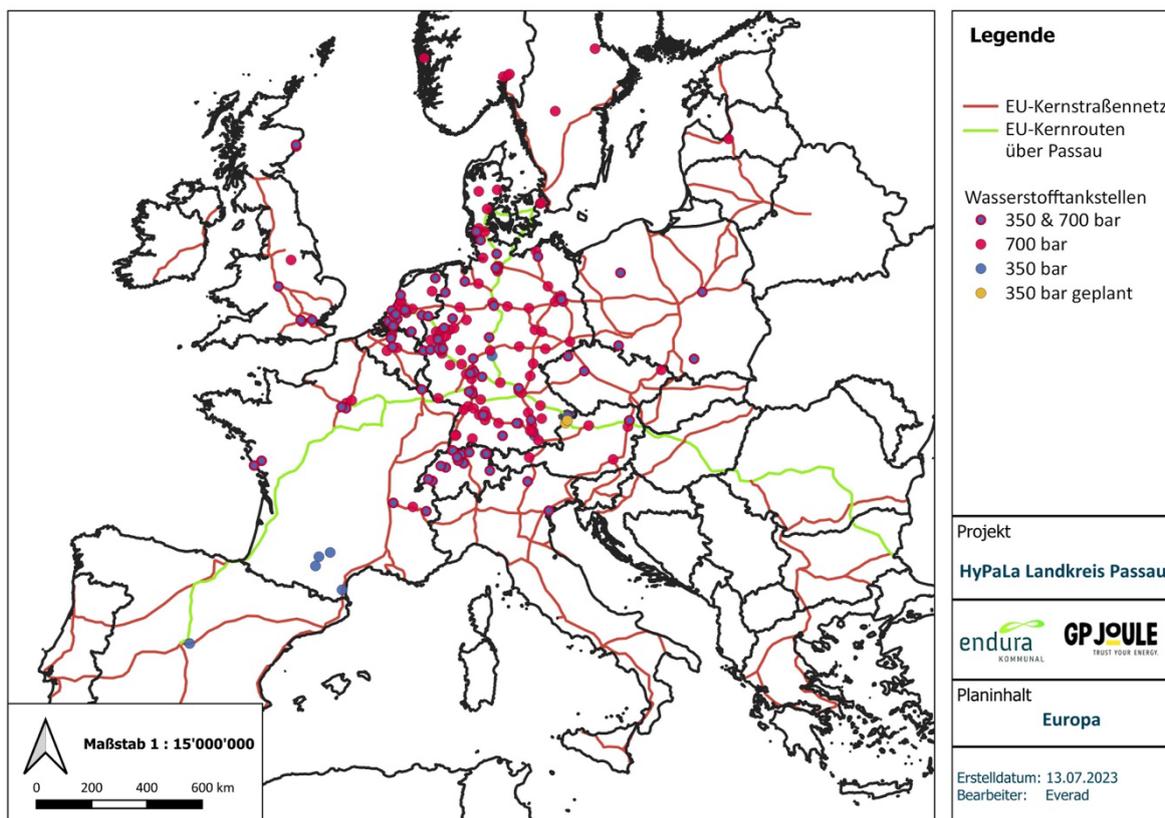


Abbildung 4-5: EU-Kernstraßennetz (rot) mit Wasserstofftankstellen und Kernrouten über den Landkreis Passau (grün) –  
Quelle: endura kommunal GmbH

Dies wird auch bei der Verkehrsanalyse für den Landkreis Passau in Abbildung 4-7 auf Basis der im

Geoportal Bayern verfügbaren Zählpunkte deutlich. Das mit Abstand höchste tägliche Verkehrsaufkommen besteht an den Zählpunkten entlang der A3 in Aicha v. Wald (4.), Sperrwies (8.) und Reding (11.). Der Anteil des Schwerlastverkehrs nimmt in Richtung Österreich, also von Aicha v. Wald bis Reding, sogar von 25,7 % auf 38,7 % bei nahezu gleicher Zählmenge deutlich zu. Dies deutet darauf hin, dass vor allem die Schwerverkehre aus nördlicher (A3) und westlicher Richtung (B12 bzw. A94) Ziele in Österreich oder darüber hinaus anfahren, sowie entsprechend andersherum.

Entlang dieser Hauptverkehrsachsen im Landkreis Passau sind auch die am 20. September 2023 eingeweihte Wasserstofftankstelle in Sperrwies, sowie die beiden geplanten Wasserstofftankstellen in Pocking und bei Kirchham/Bad Füssing angeordnet. Diese drei Wasserstofftankstellen bieten mit ihrer 350-bar-Betankungsoption die Möglichkeit die ersten Wasserstoff-betriebenen LKW redundant mit Wasserstoff zu versorgen. Für Logistiker in der Region bietet die Lage und perspektivisch hohe H<sub>2</sub>-Tankstellendichte einen sehr guten Ausgangspunkt für die Nutzung erster H<sub>2</sub>-LKW.



SV = Schwerverkehr > 3,5 t zGG

1. **Wegscheid:** 109 SV pro Tag; 15,2 % SV
2. **Großthannensteig:** 1688 SV pro Tag; 10 % SV
3. **Ruderting:** 502 SV pro Tag; 5,9 % SV
4. **Aicha v. Wald:** 9984 SV pro Tag; 25,7 % SV
5. **Pleinting:** 694 SV pro Tag; 12,3 % SV
6. **Aldersbach:** 375 SV pro Tag; 7,1 % SV
7. **Passau:** 1349 SV pro Tag; 7,1 % SV
8. **Sperrwies:** 7592 SV pro Tag; 25,3 % SV
9. **Parnham:** 606 SV pro Tag; 7,8 % SV
10. **Königswiese:** 2999 SV pro Tag; 18,1 % SV
11. **Reding:** 9871 SV pro Tag; 38,7 % SV
12. **Asbach:** 1105 SV pro Tag; 14,7 % SV
13. **Malching:** 2352 SV pro Tag; 28,1 % SV

Abbildung 4-6: Verkehrsaufkommen vor allem an Autobahnen und Bundesstraßen im Landkreis Passau – Quelle: <https://geoportal.bayern.de/>, Darstellung: endura kommunal GmbH

Als Anreiz für Logistiker und andere Akteure werden entsprechende Nutzfahrzeuge wie Sattelzugmaschinen aktuell zweimal im Jahr über die Förderrichtlinie für klimaschonende Nutzfahrzeuge und Infrastruktur (KsNI) mit 80 % der Mehrkosten gefördert<sup>24</sup>. Unter dieser Voraussetzung, sowie der Mautbefreiung für emissionsfreie Antriebe kann die Nutzung von H<sub>2</sub>-

<sup>24</sup> [https://www.balm.bund.de/DE/Foerderprogramme/KlimaschutzundMobilitaet/KsNI/Ksni\\_node.html](https://www.balm.bund.de/DE/Foerderprogramme/KlimaschutzundMobilitaet/KsNI/Ksni_node.html)

Sattelzugmaschinen bereits heute unter bestimmten Rahmenbedingungen wirtschaftlich sein. Dies wird insbesondere aus dem vereinfachten Gesamtbetriebskostenvergleich (TCO - Total Costs of Ownership) in Abbildung 4-8 für Sattelzugmaschinen mit einer Laufleistung von 125.000 km/Jahr im Vergleich zu einer entsprechenden H<sub>2</sub>-Sattelzugmaschine deutlich. Für die H<sub>2</sub>-Sattelzugmaschine werden aufgrund der geringeren Anzahl beweglicher Teile geringere Wartungskosten und eine 80 %-Förderung der Investitionsmehrkosten angenommen.

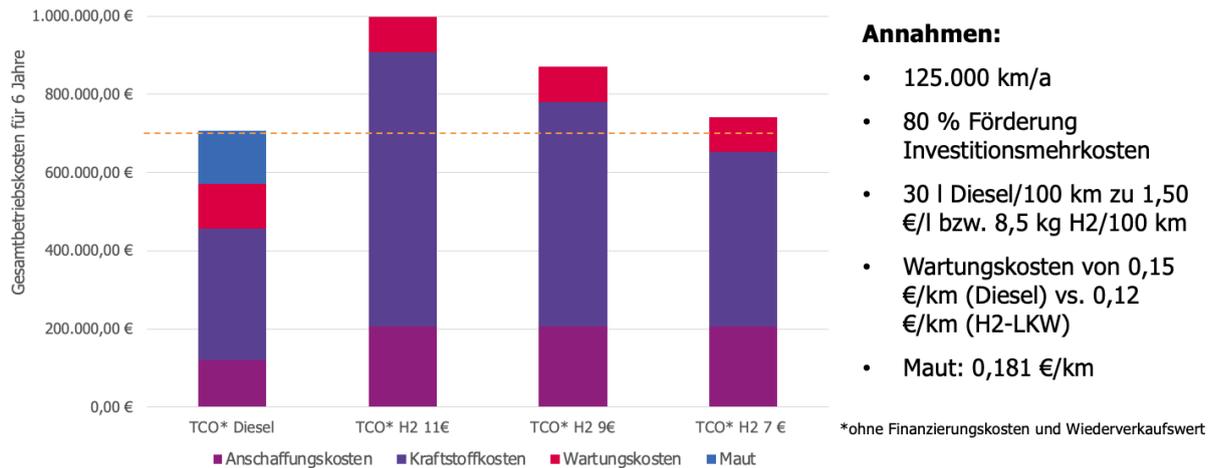


Abbildung 4-7: TCO-Vergleich für Sattelzugmaschinen mit einer jährlichen Laufleistung von 125.000 km/Jahr

Anhand der vereinfachten TCO-Berechnungen ohne Finanzierungskosten und Wiederverkaufserlösen wird deutlich, dass für eine Kostenparität der Preis für Wasserstoff an Wasserstofftankstellen bei < 7 €/kg H<sub>2</sub> (netto) liegen sollte. Aktuell liegt der Preis für Wasserstoff (350 bar) zum Vergleich bei Tankstellen der H<sub>2</sub> Mobility GmbH bei 10,80 € (netto). Insbesondere durch die Anrechnung von THG-Quoten von erneuerbarem Wasserstoff sollten zukünftig auch niedrigere Preise möglich und realistisch sein. Zudem ist zu beachten, dass die Diesel- und Benzinpreise u.a. aufgrund der festgelegten CO<sub>2</sub>-Bepreisung im nationalen Emissionshandel (Brennstoffemissionshandelsgesetz) jedes Jahr steigen werden, wodurch auch bei höheren Wasserstoffpreisen eine wirtschaftliche Nutzung absehbar ist.

Alternativ gibt es diverse Anbieter wie z.B. Shell oder HyLane, die sogenannte Pay-per-Use-Modelle anbieten, bei denen der Kunde pro gefahrenen Kilometer bezahlt und sich keine Gedanken um das Restwertisiko, die Versicherung oder Wartung machen muss. Die Preise für die Pay-per-Use-Modelle unterscheiden sich je nach Hersteller und sind u.a. abhängig vom Fahrzeug, vom Fahrprofil, der jährlichen Fahrleistung, der Region und den Wasserstoffpreisen.

## ÖPNV + Abfallsammelfahrzeuge

Seit dem 2. August 2021 werden durch die Umsetzung der Clean Vehicle Directive (CVD) in nationales Recht bei der öffentlichen Auftragsvergabe erstmals verbindliche Mindestziele für emissionsarme und -freie Pkw sowie leichte und schwere Nutzfahrzeuge, insbesondere für Busse im ÖPNV vorgegeben.

Die Richtlinie gilt seit dem 2. August 2021 für folgende Aufträge (u.a. durch Ausschreibungen oder Vergabeverfahren) der öffentlichen Hand:

- Verträge über Kauf, Leasing oder Anmietung von Straßenfahrzeugen
- öffentliche Dienstleistungsaufträge (z.B. ÖPNV-Busse)
- Dienstleistungsaufträge über Verkehrsdienste (z.B. Paket- und Postdienste, Abholung von Siedlungsabfällen)

Es gelten die in Tabelle 5 aufgeführten Mindestziele an emissionsarmen und emissionsfreien Fahrzeugen für die Fahrzeugbeschaffung und die Auftragsvergabe öffentlicher Dienstleistungen wie bspw. Konzessionsverträge im ÖPNV.

*Tabelle 5: Übersicht über die Mindestanforderungen der Clean Vehicle Directive; Erklärung: \* Die Hälfte der beschafften Busse muss emissionsfrei sein, d.h. weniger als 1 g CO<sub>2</sub>/km ausstoßen, z.B. Elektro- bzw. Brennstoffzellenfahrzeuge. – Quelle: BMDV*

| FAHRZEUG<br>-KLASSE                        | DEFINITION<br>„SAUBERES FAHRZEUG“  | BESCHAFFUNGS-<br>QUOTEN  |  |
|--|--|--|--|
|  |  | 1. REFERENZ-<br>ZEITRAUM, 02.08.2021<br>BIS 31.12.2025                           | 2. REFERENZZEITRAUM,<br>01.01.2026 BIS<br>31.12.2030 |
| <b>Pkw</b>                                 | 50g CO <sub>2</sub> /km,<br>80g Luftschadstoffe<br>(Prozentsatz der<br>Emissionsgrenzwerte<br>nach RDE)                                    | Ab 2026:<br>0 g CO <sub>2</sub> /km,<br>k.A. zu<br>Luftschadstoff<br>-emissionen | 38,5 %   |
| <b>leichte NfZ<br/>(&lt; 3,5t<br/>zGM)</b> | 50g CO <sub>2</sub> /km,<br>80g Luftschadstoffe<br>(Prozentsatz der<br>Emissionsgrenzwerte<br>nach RDE)                                    |  | 38,5 %   |
| <b>Lkw (&gt; 3,5t<br/>zGM)</b>             | Nutzung alternativer Kraftstoffe (lt. Art.<br>2 AFID bspw. Strom, Wasserstoff,<br>Erdgas, synthetische Kraftstoffe**,<br>Biokraftstoffe**) | 10 %   | 15 %   |
| <b>Busse (&gt; 5t<br/>zGM)</b>             |  | 45 %*  | 65 %*  |

Konkret bedeutet dies, dass bei der Beschaffung und Auftragsvergabe für den ÖPNV zwingend ein Anteil von 22,5 % (bis Ende 2025) bzw. 32,5 % (bis Ende 2030) an emissionsfreien Bussen vorgeschrieben ist. Emissionsfreie Bussen können bspw. Elektro- oder Brennstoffzellenbusse sein. Für Abfallsammelfahrzeuge, d.h. LKW > 3,5 t zulässige Gesamtmasse (zGM) im Sinne der Clean Vehicle Directive, sind die Mindestziele weniger hoch und streng (vgl. Tabelle 5).

Entsprechende TCO-Vergleiche für ÖPNV-Busse und Abfallsammelfahrzeuge ähneln den TCO-Berechnungen für Sattelzugmaschinen in Abbildung 4-8. Bei einem Wasserstoffpreis von < 7 €/kg H<sub>2</sub> ist unter bestimmten Annahmen eine Kostenparität von Brennstoffzellen-elektrischen Bussen und Abfallsammelfahrzeugen gegenüber konventionellen Fahrzeugen möglich. Auch hier ist zu beachten, dass die Diesel- und Benzinpreise in den nächsten Jahren aufgrund des Brennstoffemissionshandelsgesetzes in den nächsten Jahren steigen werden und eine Kostenparität auch bei höheren Wasserstoffpreisen absehbar ist. Je eingespartem Liter Diesel werden bis zu 2,65 kg direkte CO<sub>2,äq</sub>-Emissionen vermieden. Abfallsammelfahrzeuge bieten mit ihrer hohen Nutzlast und ihrer Vielzahl an Stop-and-Gos einen idealen Anwendungsfall für die Brennstoffzellenmobilität. Im ÖPNV bieten sich vor allem Routen und Busse mit einer täglichen Fahrleistung von mehr als > 250 km für die Umstellung auf Brennstoffzellen an.

### **Vergleich Batterie-elektrische und Wasserstoffbasierte Mobilität:**

Insbesondere der ÖPNV steht aufgrund der Vorgaben der CVD vor der Frage, ob er auf Batterie- oder Brennstoffzellen-elektrische Lösungen setzen soll. Die gleiche Frage gilt auch für Logistiker mit ihren LKW-Flotten, die von ihren Kunden teilweise Vorgaben über maximale CO<sub>2</sub>-Emissionen der Lieferketten oder zumindest die Vorgabe der CO<sub>2</sub>-Reduzierung erhalten u.a. aufgrund von ESG-Zielen der Kunden. Die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen wird damit auch zum Faktor für privatwirtschaftliche Überlegungen und Entscheidungen.

Ob nun Batterie- oder Brennstoffzellen-elektrische Lösungen besser geeignet sind, lässt sich nicht pauschal beantworten und hängt stark vom Anwendungsfall ab. Grundsätzlich eignen sich Brennstoffzellen-elektrische Lösungen besonders gut für Transporte mit einer hohen Nutzlast, längeren Reichweiten und einer hohen Anzahl an Vollbenutzungsstunden. Ein schematischer Vergleich der unterschiedlichen Stärken von FCEV und BEV für LKW, der sich auch auf ÖPNV-Busse übertragen lässt, ist in Abbildung 4-9 dargestellt. FCET steht dabei für Fuel Cell Electric Truck und BET entsprechend für Battery Electric Truck.

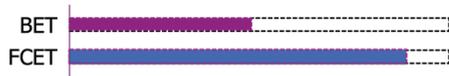
**Energieeffizienz**



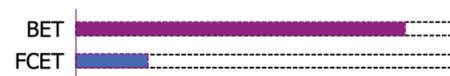
**Betankungs-/Ladegeschwindigkeit**



**Nutzlast**



**Infrastrukturkosten bei geringer Adaption**



**Langfristiges Kosteneinsparpotential**



**Infrastrukturkosten bei hoher Adaption**



Abbildung 4-8: Schematischer Vergleich BET und FCET in Bezug auf Energieeffizienz, Nutzlast, Betankungszeit und Infrastrukturkosten. Je ausgefüllter ein Balken, umso positiver ist das Kriterien jeweils zu betrachten.

Ein nicht zu vernachlässigender Aspekt ist dabei, dass die Infrastrukturkosten für Batterie-elektrische Busse und LKW vor allem bei einer geringen Anzahl an Fahrzeugen deutlich günstiger sind (vgl. Infrastrukturkosten bei geringer und hoher Adaption in Abbildung 4-9). Um bei einer hohen Anzahl von Fahrzeugen die notwendigen Ladeleistungen und Netze zur Verfügung zu stellen, sind jedoch hohe Investitionsbedarfe zu erwarten. Bei Brennstoffzellen-elektrische Bussen und LKW ist dieses Verhältnis u.a. aufgrund der Entkopplung von Stromangebot und -nachfrage durch die Umwandlung in Wasserstoff genau umgekehrt. Je mehr wasserstoffbasierte Fahrzeuge auf den Straßen unterwegs sind, umso geringer fallen die Infrastrukturkosten pro Fahrzeug aus. Dieser Umstand ist in Abbildung 4-10 schematisch dargestellt. Für beide Antriebssysteme gilt jedoch gleichermaßen, dass je eingespartem Liter Diesel jeweils bis zu 2,65 kg direkte CO<sub>2,äq</sub>-Emissionen in der Region vermieden werden können.

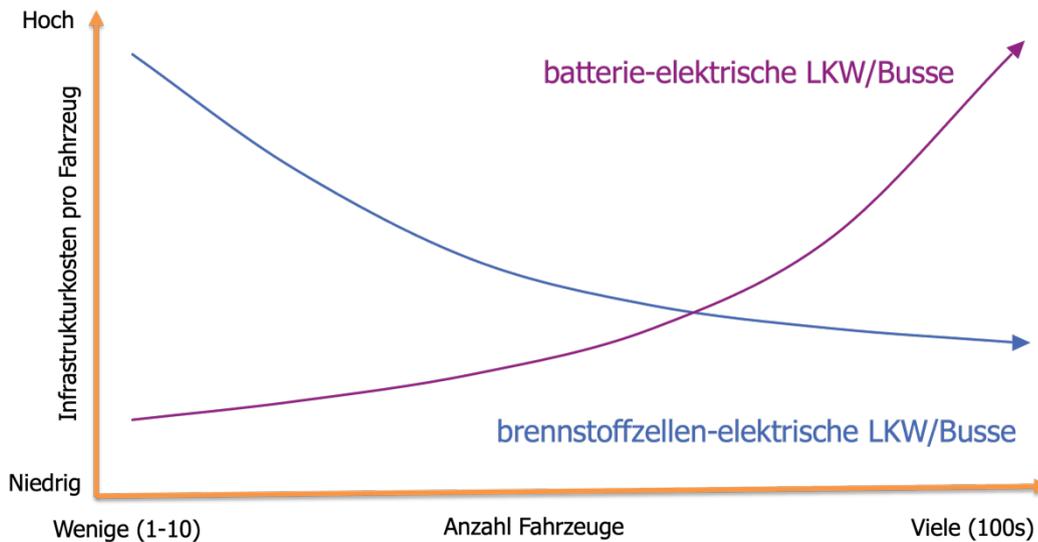


Abbildung 4-9: Schematischer Vergleich der Infrastrukturkosten je Fahrzeug für batterie- und brennstoffzellen-elektrische Fahrzeuge bei unterschiedlich großer Adaption, d.h. einer unterschiedlich großen Anzahl an Fahrzeugen auf den Straßen.

### Gabelstapler

Flurförderzeuge wie Gabelstapler gelten als einer der ersten wirtschaftlichen Anwendungsfälle von Wasserstoff, sofern eine gewisse Flottengröße und ein Mehrschichtbetrieb gegeben sind. Prominente Vorreiter von Brennstoffzellen-Gabelstapler sind bspw. Amazon in den USA oder BMW in Deutschland.

Bei der Umstellung der Gabelstaplerflotte auf Brennstoffzellen gibt es folgende Vorteile:

- Wegfall von Batteriewechseln → Reduzierung von Zeitaufwand und Unfallrisiko
- Tankzeiten von 1-3 Minuten und somit hohe Verfügbarkeiten → ggf. kleinere Flotten im Vergleich zu rein batterie-elektrischen Flotten
- Platzeinsparungen durch Wegfall von Ladehallen und Ladesäulen
- Tiefkühltauglichkeit ohne Leistungseinbußen
- Synergien bei der LKW-Flottenumrüstung, sowie dem unternehmenseigenen Energiemanagement bei H<sub>2</sub>-Eigenerzeugung mittels Elektrolyse

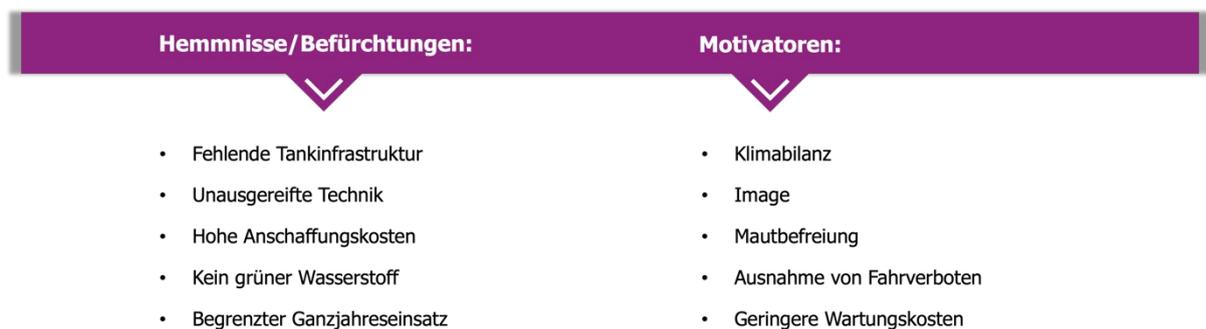
Eine Flottenumstellung erfordert immer eine genauere Betrachtung des jeweiligen Unternehmens bzw. des Standortes. Im Rahmen der HyExperts-Machbarkeitsstudie wurden in diesem Zusammenhang erste Gespräche mit Knorr-Bremse in Aldersbach geführt.

### 4.3. Verbrauchspotenziale, Motivatoren und Hemmnisse der regionalen H<sub>2</sub>-Nutzung

Um die lokalen Verbrauchspotenziale, sowie die Motivatoren und Hemmnisse der regionalen Wasserstoffnutzung in der Mobilität zu erfassen, wurde zu Beginn des Jahres 2023 eine digitale Unternehmensumfrage mit lokalen Logistikern und sechs teilnehmenden Unternehmen durchgeführt.

Die entsprechenden Ergebnisse zur Nutzung von Wasserstoff in der Mobilität sind in Tabelle 6 aufgeführt und wurden durch Angaben aus zusätzlichen bilateralen Gesprächen mit weiteren Logistikern ergänzt.

*Tabelle 6: Motivatoren und Hemmnisse gemäß der im Rahmen der HyExpert-Studie durchgeführten Unternehmensumfrage*



### Schwerlastverkehr + Abfallsammelfahrzeuge

Die in Abbildung 4-11 aufgeführten Potenziale ergeben sich aus den Ergebnissen der Unternehmensumfrage, bilateralen Gesprächen sowie einer Internetrecherche. Insbesondere bei den Gebrüder Weiß, Pfeil Logistik und der Firma Bachl war die Kontaktaufnahme im Rahmen der HyExpert-Studie leider nicht erfolgreich, obwohl diese Firmen über große Fuhrparks verfügen und/oder bereits im Bereich der Wasserstoffmobilität aktiv sind.

Viele der vor Ort ansässigen Logistiker haben ihren Sitz und/oder ihre Zweigstellen in der näheren Umgebung der Stadt Passau und ihre Haupttrouten entlang der A3 sowie entlang der B12, wie es auch die Verkehrsanalyse aus Abbildung 4-7 nahelegt. Die ZAW Donauwald als Dienstleister für die Abfallsammlung hat vier Standorte mit einer unterschiedlichen Anzahl an Fahrzeugen im Landkreis Passau bzw. in dessen unmittelbarer Nähe.

Zudem hat die Firma Paul die ersten 25 LKW auf Basis des Mercedes Atego Chassis fertiggestellt und wird diese spätestens bis Ende 2023 an Kunden des Pay-per-Use-Modells von Shell in der Region ausliefern. Diese 25 LKW allein generieren bei einem Verbrauch von ca. 6,5 kg H<sub>2</sub> pro 100 km und einer Fahrleistung von 300-400 km pro Tag an 250 Tagen im Jahr eine Wasserstoffnachfrage von ca. 150-200

t Wasserstoff pro Jahr.

Jede auf Wasserstoff umgestellte Sattelzugmaschine mit einem Verbrauch von ca. 8,5 kg H<sub>2</sub>/100 km erhöht den Bedarf um etwa 10-11 t H<sub>2</sub> pro Jahr bei einer angenommenen Fahrleistung von 125.000 km/Jahr. Je Sattelzugmaschine werden dabei knapp 100 t CO<sub>2,äq</sub>-Emissionen pro Jahr eingespart.



#### Logistiker:

1. **Helmö:** 45 Sattelzüge
2. **Troiber:** 100 LKW, davon 80 Hängerzüge 12-24 t zGG
3. **Brummer Logistik:** ca. 260 Sattelzüge, 35-50 % Base-to-Base-Verkehre, Fokus auf e-LKW
4. **Knorr-Bremse:** 150 LKW-Verkehre/Tag (keine eigenen), 50 Gabelstapler
5. **Getränke Geins:** 8 Hängerzüge 12-24 t zGG, 2 Sattelzüge, 4 Gabelstapler
6. **Bolk Transport GmbH:** 15 Sattelzüge

#### ZAW Donauwald - Abfallsammelfahrzeuge (ASF)

1. 8 ASF
2. 4 ASF
3. 20 ASF
4. 5 ASF

Abbildung 4-10: Logistiker und Standorte der ZAW Donauwald im Landkreis und der Stadt Passau

Der Dieselbedarf eines Abfallsammelfahrzeuges der ZAW Donauwald liegt zwischen 19.000 - 25.000 Liter Diesel bei 24.000 – 45.000 gefahrenen Kilometern pro Jahr. Je nach Fahrprofil und Topographie resultiert dies in einer potentiell benötigten Wasserstoffmenge von ca. 3,5 – 6 t H<sub>2</sub> pro Abfallsammelfahrzeug pro Jahr. Genauere Infos können hierzu entsprechende Sensorfahrten liefern, die bspw. von FAUN angeboten werden.

## ÖPNV

Die Verkehrsgemeinschaft Landkreis Passau (VLP) ist der Zusammenschluss der im Landkreis Passau tätigen ÖPNV-Unternehmen. Diese Unternehmen betreiben zusammen 152 Linien, 15 Betriebshöfe und 8 Werkstätten. Gemäß der parallel zur HyExpert-Studie durchgeführten VLP-Studie sind zurzeit 169 Solobusse (12 m), 20 Gliederbusse (18 m), sowie 67 sonstige Fahrzeuge wie Kleinbusse im Landkreis im Einsatz. Von den insgesamt 189 Bussen haben 38 Busse eine tägliche Reichweite > 250 km und 9 Busse eine tägliche Reichweite > 400 km.

Für Solobusse (12 m) liegt der Wasserstoffverbrauch je nach Hersteller und Topografie bei ca. 6-8,5 kg H<sub>2</sub>/100 km. Für die Umstellung auf Wasserstoff eignen sich vor allem die 38 Busse mit einer täglichen Reichweite von > 250 km, da diese Reichweiten von kommerziell verfügbaren Brennstoffzellen-Bussen gut realisierbar sind und eine gewisse Basisnachfrage nach Wasserstoff sicherstellen. Zudem sind die

Brennstoffzellen-Busse ähnlich wie konventionelle Busse auf nahezu allen Routen des VLP flexibel einsetzbar.

Die Firma Eichberger Reisen GmbH & Co. KG hat in diesem Zusammenhang bereits zwei Förderanträge für Brennstoffzellen-Busse eingereicht und bewilligt bekommen. Auf welchen Routen und für welche Zwecke die Brennstoffzellen-Busse bei Eichberger Reisen idealerweise eingesetzt werden sollen, wird u.a. in der VLP-Studie analysiert (vgl. VLP-Studie).

### Übersicht über Verbräuche und CO<sub>2</sub>-Einsparungen

In der folgenden Tabelle 7 sind die Verbräuche unterschiedlicher Brennstoffzellen-Fahrzeuge pro 100 Kilometer und pro Jahr angegeben sowie die daraus resultierenden jährlichen CO<sub>2</sub>-Einsparungen. Bei den Berechnungen der jährlichen CO<sub>2</sub>-Einsparungen wird immer davon ausgegangen, dass die Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff keine direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen.

Tabelle 7: Übersicht über den Verbrauch und die CO<sub>2</sub>-Einsparungen unterschiedliche Fahrzeugtypen - \*Annahmen: 30 Liter Diesel/100 km (Sattelzug, sowie ÖPNV-Bus), 24 Liter Diesel/100 km (Mittelschwerer LKW), 10 Liter Diesel/100 km (Sprinter)

| FAHRZEUGTYP                           | H <sub>2</sub> -VERBRAUCH / 100 KM     | KILOMETER/ JAHR  | VERBRAUCH/ JAHR (250 TAGE)     | CO <sub>2</sub> -EINSPARUNG/JAHR |
|---------------------------------------|--|------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| <b>Sattelzug 40 t zGG</b>             | 8,5 kg H <sub>2</sub>                  | 125.000 km       | 10,5 t H <sub>2</sub> /Jahr    | ca. 100 t*                       |
| <b>Mittelschwerer LKW 12-24 t zGG</b> | 6,5 kg H <sub>2</sub>                  | 100.000 km       | 6,5 t H <sub>2</sub> /Jahr     | ca. 65 t*                        |
| <b>ÖPNV-Bus (12 m)</b>                | 6-8,5 kg H <sub>2</sub>                | 62.500 km        | 3,5-5,5 t H <sub>2</sub> /Jahr | ca. 50 t*                        |
| <b>Abfallsammel-fahrzeug</b>          | -                                      | -                | 3,5-6 t H <sub>2</sub> /Jahr   | 50-66 t                          |
| <b>Sprinter</b>                       | 2 kg H <sub>2</sub>                    | 50.000 km        | 1 t H <sub>2</sub> /Jahr       | ca. 13 t*                        |
| <b>Gabelstapler 2,5 t Nutzlast</b>    | ca. 4,4 kg/ H <sub>2</sub> pro Schicht | 2-Schichtbetrieb | 2,2 t H <sub>2</sub> /Jahr     | -                                |

Aus den in Tabelle 7 aufgeführten Verbräuchen lassen sich Aussagen auf mögliche Wasserstoffverbrauchspotenziale in der Region Passau ableiten. Die kurzfristige Wasserstoffnachfrage in der Region Passau wird vor allem durch das vorbildliche, vom Next Mobility Accelerator Consortium aufbaute H<sub>2</sub>-Ökosystem geprägt sein. In diesem lokal aufgebauten Ökosystem werden bei der Firma

Paul aus Vilshofen a.d. Donau entwickelte und aufgebaute mittelschwere H<sub>2</sub>-LKW an lokal ansässige Unternehmen aus der regionalen Verteillogistik über ein Pay-per-Use Modell vermietet. Dadurch werden Risiken für den Kunden minimiert und eine lokale Nachfrage nach Wasserstoff generiert, die als Nukleus einer lokalen Wasserstoffwirtschaft dienen wird. Bei positiven Praxis-Erfahrungen werden durch die in der Region erlebbare Wasserstoffmobilität Nachahmer aktiviert, die zu einem lokalen Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft führen werden. Das vom Next Mobility Accelerator Consortium aufgebaute Ökosystem als Nukleus einer lokalen Wasserstoffwirtschaft ist dabei perspektivisch in beliebigen Regionen replizierbar, sofern sich eine Mindestanzahl von Interessanten und somit Abnehmern von Wasserstoff in der Region findet.

Der in Passau vertankte Wasserstoff wird bisher außerhalb des Landkreises importiert. Grundsätzlich kann die durch die 25 mittelschweren LKW generierte Wasserstoffnachfrage i.H.v. ungefähr 150-200 t H<sub>2</sub>/Jahr durch einen Elektrolyseur mit einer Nennleistung von ca. 2-3 MW<sub>el</sub> in der Region produziert werden. Weitere Abnehmer wie bspw. die von Eichberger Reisen bewilligten zwei Brennstoffzellen-Busse erhöhen die Nachfrage nach Wasserstoff. Auf eine konkrete Kalkulation einer Prognose wird an dieser Stelle verzichtet, da der lokale, aber auch der bundesweite Wasserstoffhochlauf sehr stark von den (positiven) Erfahrungen der ersten Anwender abhängen wird. Sollten weitere Nutzer H<sub>2</sub>-Anwender in der Region aktiviert werden, lassen sich die zusätzlichen Verbrauchspotenziale einfach über die in Tabelle 7 aufgeführten Werte überschlagsmäßig berechnen. Alle in Abbildung 4-11 aufgeführten Akteure können dabei als potenzielle Nutzer angesehen werden. Gleiches gilt für erste Fahrzeuge aus dem Anteil an Schwerlastverkehren der Verkehrsanalyse in Abbildung 4-7.

#### **4.4. Verteilungs- und Verbindungsmöglichkeiten zwischen Erzeugung und Verbrauch**

Um unterschiedliche Standorte und Erzeugungsvarianten, aber auch Hersteller miteinander vergleichen zu können, werden die Wasserstoffgestehungskosten einer 5-MW<sub>el</sub>-Elektrolyse beispielhaft diskutiert.

## Wasserstoffgestehungskosten

Zur Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten werden die folgenden Annahmen getroffen:

Tabelle 8: Annahmen zur Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten - Kapitalwertmethode

| POSITION                      | EINHEIT               | WERT         |
|-------------------------------|-----------------------|--------------|
| Nennleistung                  | MW                    | 5            |
| CAPEX Elektrolyse             | €/kW                  | 1000         |
| CAPEX Elektrolyse             | €                     | 5 Mio.       |
| OPEX Elektrolyse              | €/kW                  | 2% der CAPEX |
| Wirkungsgrad (Gesamtsystem)   | %                     | 61,0%        |
| Wirkungsgrad (Gesamtsystem)   | kWh/kg H <sub>2</sub> | 55           |
| Volllaststunden               | h/a                   | 5000         |
| WACC real                     | %                     | 4,60%        |
| Abschreibungszeitraum         | Jahre (a)             | 15           |
| Baukosten/Infrastruktur (55%) | €/kW                  | 550          |
| kWh/kg (Wirkungsgrad)         | kWh/kg H <sub>2</sub> | 55           |
| Speicher                      | €/kg H <sub>2</sub>   | 750          |
| Wasser inkl. Aufbereitung     | €/kg H <sub>2</sub>   | 0,1          |
| Verdichtung auf 500 bar       | kWh/kg                | 3,3          |
| Durchschnittlicher Strompreis | €/kWh                 | 0,1          |
| Produzierter Wasserstoff      | t                     | 455          |

Mit den in Tabelle 8 aufgeführten Annahmen ergeben sich nach der Kapitalwertmethode die in Abbildung 4-12 dargestellten Wasserstoffgestehungskosten für einen beispielhaften 5 MW Elektrolyseur. Die Bau- und Infrastrukturkosten für bspw. Transformatoren, Kompressor, Kabel, Wasserstoffleitungen, Wasserstofftrocknung und die Herrichtung des Grundstücks werden als Erfahrungswert mit grob 55 % der Investitionskosten i.H.v. 5 Mio. € des eigentlichen Elektrolyseurs abgeschätzt. Der Kaufpreis des Grundstücks ist nicht Teil der Berechnung. Für die beispielhafte Anlage wird eine Gesamtspeichergröße von 3 t H<sub>2</sub> mit Investitionskosten von ca. 2,25 Mio. € angenommen.

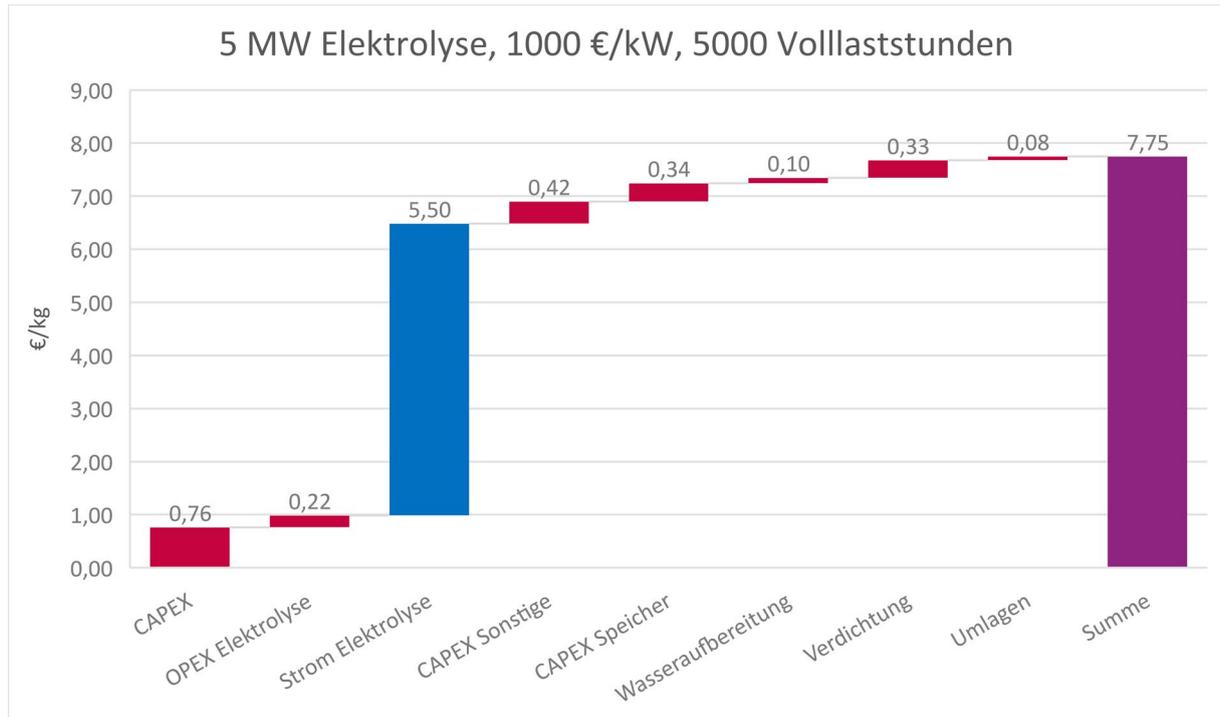


Abbildung 4-11: Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten einer 5 MW Elektrolyseanlage mit 5000 Volllaststunden – Berechnung und Darstellung: endura kommunal GmbH

Durch die Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten in Abbildung 4-12 wird deutlich, dass der Strombezug einen Großteil der Kosten für Wasserstoff ausmacht, sofern die Elektrolyseanlage die angenommenen 5000 Volllaststunden läuft und für den produzierten Wasserstoff entsprechende Abnehmer existieren. Bei geringeren jährlichen Laufzeiten erhöhen sich die CAPEX-Kosten des Elektrolyseurs und die anteiligen Bau- und Infrastrukturkosten (CAPEX Sonstige) entsprechend, während sie sich durch Skalierung bei größeren Anlagen reduzieren. Bei kleineren dezentralen Anlagen ist hingegen mit höheren spezifischen Investitionskosten und somit höheren CAPEX-Werten zu rechnen, auch wenn viele Hersteller mittlerweile 1 MW-Anlagen oder größer in kompakter Containerbauweise anbieten.

Durch die Nutzung der „Abfallprodukte“ Sauerstoff und Abwärme lässt sich die Wirtschaftlichkeit eines Elektrolyseurs erhöhen und somit die Wasserstoffgestehungskosten pro Kilogramm Wasserstoff reduzieren. Ein möglicher Abnehmer von Sauerstoff im Landkreis ist RW Silicium in unmittelbarer Nähe zum geplanten Autobahnkreuz A3/A94. Zudem kommen Kläranlagen als mögliche Abnehmer des Sauerstoffs in Frage, der andernfalls ohne weitere Verwertung in die Luft entlassen wird. Als Nutzer der anfallenden Abwärme i.H.v. ca. 20-25 % der elektrischen Nennleistung der Elektrolyseure kommen u.a. Gewächshäuser, nahegelegene Gebäude oder Nahwärmenetze in Frage.

## Strombezug und Stromhandel

Um eine möglichst konstante Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse für die Mobilität und potentielle Abnehmer im Allgemeinen zu gewährleisten, ist insbesondere aufgrund des delegierten Rechtsaktes (vgl. Abbildung 3-7) eine Kombination von Wind- und PV-Strom sinnvoll. Dies ist beispielhaft pro Megawatt Elektrolyseleistung in Abbildung 4-13 dargestellt.

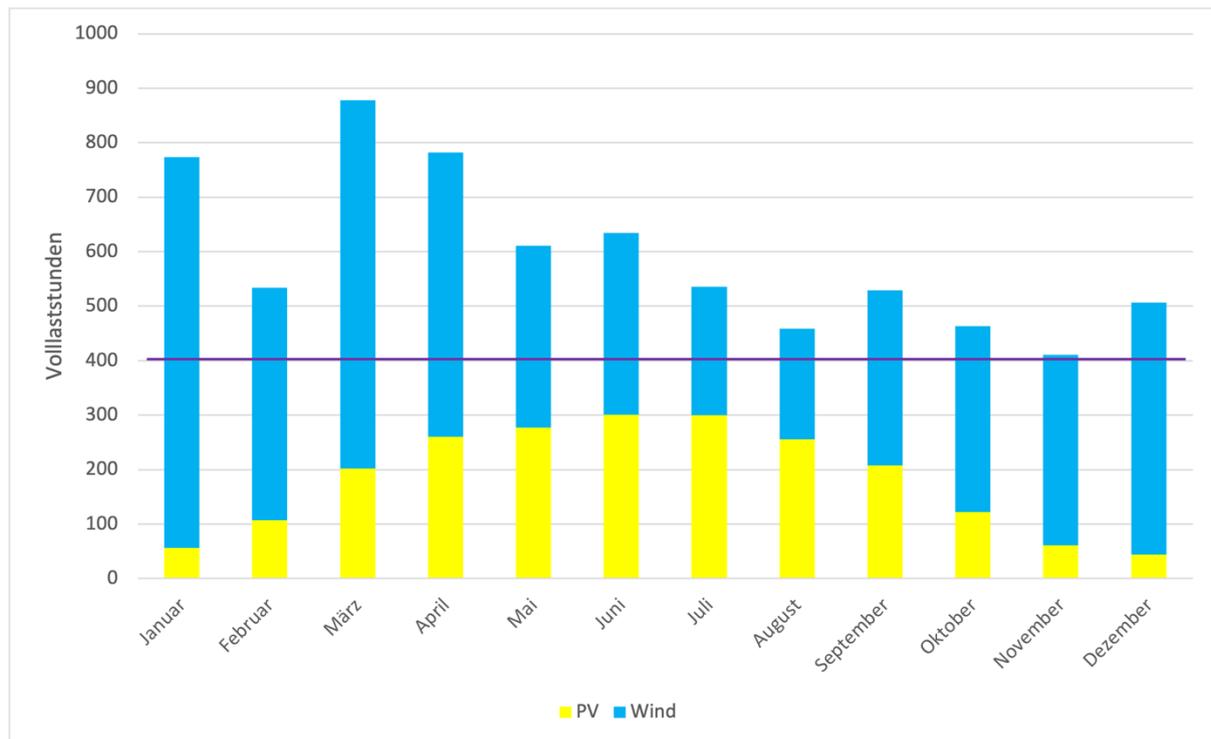


Abbildung 4-12: Beispielhafter Strombezug je 1 MW Elektrolyseanlagen mit 2 MW<sub>p</sub> PV-Strom einer beispielhaften Anlage in Pocking und 2 MW Wind-Strom einer beispielhaften Vestas V164 nahe Hauzenberg – Quelle: endura kommunal GmbH

Für eine relativ konstante Wasserstoffherzeugung bei 5000 Volllaststunden werden je Megawatt Elektrolyseleistung beispielhaft 2 MW installierte PV-Leistung und 2 MW installierte Wind-Leistung benötigt. An dieser Stelle ist festzuhalten, dass der Elektrolyseanlagenbetreiber ein Teilnehmer des Strommarktes sein wird, indem er bspw. überschüssige Strommengen, die er mittels PPA-Verträgen (vgl. Abbildung 3-7) einkauft, an der Strombörse wieder verkauft bzw. mit diesen handelt. Durch einen optimierten Handel mit Strommengen kann der Elektrolyseanlagenbetreiber seinen durchschnittlichen Strompreis drücken, indem er zu günstigen Zeiten Börsenstrom hinzukauf, um Wasserstoff zu produzieren und zu Zeiten eines hohen Strompreises seine langfristig eingekauften Strommengen ggf. verkauft, anstatt diese in Wasserstoff umzuwandeln. Zudem kann ein Elektrolyseur sofern vorhanden genutzt werden, um den eigenen Bilanzkreis zu optimieren.

## Wasserstofftankstellen

Um den Wasserstoff für Mobilitätsanwendungen nutzen zu können ist eine Wasserstofftankstelle notwendig, die aktuell über diverse Förderprogramme mit 80 % der Investitionskosten gefördert werden kann. Für die Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten an der Zapfsäule wird beispielhaft eine Wasserstofftankstelle mit einer Abgabemenge von 1000 kg/Tag, Investitionskosten von 4 Mio. € und Betriebskosten (OPEX) von 4 % der Investitionskosten, sowie ein Strombedarf für Kühlung und Komprimierung von 2 kWh/kg angenommen.

Die Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten an einer Wasserstofftankstelle in Abbildung 4-14 beinhaltet eine Investitionskostenförderung der Elektrolyseanlage i.H.v. 45 % (vgl. Abbildung 4-12) und der Tankstelle i.H.v. 80 %. Durch größere Dimensionierungen können auch hier Skaleneffekte realisiert werden, sofern eine entsprechende Wasserstoffnachfrage besteht.

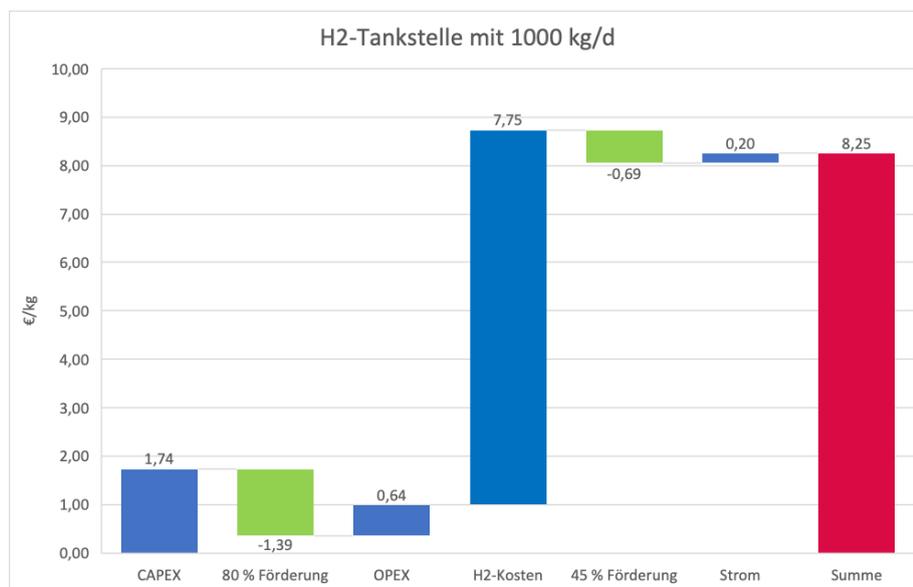


Abbildung 4-13: Wasserstoffgestehungskosten an der Zapfsäule einer beispielhaften Wasserstofftankstelle mit 45 % Investitionsförderung der Elektrolyse und 80 % Investitionsförderung der Tankstelle

### 4.5. Konkretes Fallbeispiel der Wasserstoffnutzung in der Region Passau

Hier wurde die **Firma Troiber** von CENTOURIS begleitet. Der konkrete Anwendungsfall ermöglichte es am Praxisbeispiel Einblicke in die Herausforderungen, Hindernisse aber auch die großen Potenziale der Integration von Wasserstofftechnologien in betriebliche Abläufe zu gewinnen. Troiber, der sich selbst als den führenden Lebensmittelgroßhändler in der Region beschreibt, bedient mehr als 6.000 Kunden im Bereich Hotellerie, Gastronomie, Gemeinschaftsverpflegung und Binnenkreuzfahrt. Das Unternehmen verfügt über ein Sortiment von etwa 10.000 Lagerartikeln und wird von über 500

Mitarbeitern unterstützt, die sicherstellen, dass Kunden ihre Bestellungen innerhalb von 12-24 Stunden an sechs Tagen in der Woche erhalten<sup>25</sup>.

### **Fallbeispiel**

Begleitet wurde konkret die Integration von wasserstoffbetriebenen LKWs in die Fahrzeugflotte der Firma Troiber. In diesem Zusammenhang spielte auch die Überlegung eine Rolle, ob das Unternehmen weitere erneuerbare Energiequellen selbst erschließen möchte und so in der Lage ist, genügend erneuerbare Energie zur Herstellung von eigenem Wasserstoff bereitzustellen. Dies steht im Vergleich zur Option, die wasserstoffbetriebenen LKWs an bestehenden Tankstellen zu betanken. Gegenwärtig hat Troiber bereits drei H<sub>2</sub>-LKWs bestellt. Die Gesamtfahrzeugflotte des Unternehmens besteht aus 10 Sattelzügen mit einem Gewichtsbereich von 18-44 Tonnen, 10 Anhängerzügen mit einem Gewichtsbereich von 24-44 Tonnen sowie 80 Anhängerzügen mit einem Gewichtsbereich von 12-24 Tonnen.

### **Vorüberlegungen & Ausgangssituation**

Die langfristige und strategische Planung der Firma Troiber berücksichtigt eine Reihe von Technologieoptionen, darunter Elektro-LKWs (E-LKW), wasserstoffbetriebene LKWs, die Nutzung von E-Fuels sowie erdgasbetriebene LKWs. Jedoch wurden die erdgasbetriebene LKWs aufgrund der aktuellen geopolitischen Lage und den damit einhergehenden gestiegenen Gaspreisen vorerst zurückgestellt.

Im Bereich der E-LKWs gibt es derzeit kaum Modelle auf dem Markt, die den hohen Anforderungen des Unternehmens an Kühlung und Reichweite gerecht werden. Aus diesem Grund wird auch bei dieser Option zunächst abgewartet.

Daher liegen die aktuellen Schwerpunkte der Überlegungen und Umsetzungsmaßnahmen bei den Wasserstoff-betriebenen LKWs sowie den E-Fuels. Diese Technologien stehen im Fokus, da sie besser mit den strategischen Zielen und Anforderungen des Unternehmens in Einklang stehen.

---

<sup>25</sup> <https://troiber.servicebund.de/unternehmen.html#%C3%9Cber-uns>

### **Ausgangssituation eigene EE-Quellen des Unternehmens**

Derzeit verfügt die Firma Troiber über großflächige Photovoltaik-Anlagen. Innerhalb des Unternehmens bestehen jedoch noch zusätzliche Potenziale für Ausbau, ohne dabei landwirtschaftliche Flächen einzubeziehen. Eine Möglichkeit hierbei wäre die Installation weiterer Photovoltaik-Anlagen auf bestehenden Stellplatzüberdachungen oder auf freien Flächen auf den Hallendächern. Diese Erweiterungsmöglichkeiten würden es Troiber ermöglichen, weitere Kapazitäten zur Solarenergieerzeugung zu erschließen.

### **Datengrundlage schaffen**

Um eine solide Entscheidung über die weitere Umrüstung des Fuhrparks und der betrieblichen Abläufe sowie Technologien bei Troiber zu treffen, ist eine umfassende Datengrundlage unerlässlich. Diese Datengrundlage erstreckt sich nicht nur auf den logistischen Aspekt, also die Unternehmensverkehre, sondern bezieht auch die bisherige Stromnutzung des Unternehmens mit ein. Dies ermöglicht die Identifizierung von Chancen, Potenzialen und Herausforderungen im Prozess der Umrüstung.

Derzeit wird intern ein detailliertes Lastenprotokoll erstellt, das alle relevanten Daten umfasst. Frühere Daten waren nicht ausreichend tiefgreifend, um eine Entscheidung bezüglich einer erweiterten eigenen Erzeugung erneuerbarer Energien treffen zu können. Diese neuen, umfangreichen Daten werden als Grundlage dienen, um eine solide Bewertung und Planung für den weiteren Ausbau der Eigenenergieerzeugung zu ermöglichen.

### **Neue Quellen erschließen: Klärschlamm, biogene Reststoffe**

Die Firma Troiber prüft derzeit, ihre Energiequellen zu diversifizieren, indem sie neue Quellen erschließt, darunter Klärschlamm und biogene Reststoffe.

Durch die Eigenproduktion von Feinkostsalaten und die Belieferung von Gastronomiebetrieben entstehen biogene Reststoffe als Nebenprodukt. Zudem verfügt das Unternehmen über eine eigene Kläranlage, was ihm Zugang zu Klärschlammvorkommen verschafft. Bei steigendem Bedarf können auch Grüngut und Reststoffe von kommunaler Seite durch das Unternehmen wiederverwertet werden. Diese Energiepotenziale spielen eine Schlüsselrolle in den aktuellen Überlegungen von Troiber, da sie dem Unternehmen eine größere Unabhängigkeit ermöglichen. Es besteht die Möglichkeit, genügend grünen Strom selbst zu erzeugen, um einen Elektrolyseur zur Wasserstoffproduktion zu betreiben.

Die schrittweise Umstellung auf wasserstoffbetriebene LKWs sowie die Integration dieser neuen Technologie in bestehende betriebliche Abläufe und den Fuhrpark werfen für Troiber verschiedene Herausforderungen auf.

Diese Herausforderungen führen zu weiteren Überlegungen und Implikationen für das Unternehmen, die im Folgenden dargestellt sind.

### **Regulatorische Herausforderungen**

Es zeigen sich regulatorische Hindernisse, die insbesondere im Zusammenhang mit Einspeisepunkten auftreten. Aktuell vergibt der Verteilnetzbetreiber Bayernwerk keine zusätzlichen Einspeisepunkte an die Firma Troiber. Obwohl dieser Einspeisepunkt nicht für die Einspeisung von Strom genutzt werden würde – da überschüssiger Strom intern für den Betrieb benötigt wird (z.B. Kühlhäuser) – ist es dennoch notwendig, einen weiteren Einspeisepunkt für das Unternehmen zu haben. Dies ist erforderlich, um den Strom gegebenenfalls an einen Elektrolyseur weiterzuleiten oder intern zu verwenden.

### **Innerbetrieblich: Tankmanager, Abläufe Betankung, Wartung H<sub>2</sub>, Logistik**

Aufgrund der längeren Betankungszeit und der innerbetrieblichen Zeitplanung für die H<sub>2</sub>-LKWs bei Troiber soll ein Tankmanager eingestellt werden. Dieser wird die Koordination und Organisation der Tankvorgänge übernehmen. Diese Maßnahme wird ergriffen, um signifikante Anstiege der Lohnkosten zu vermeiden, da längere Wartezeiten für die Fahrer aufgrund der längeren Betankungsdauer entstehen würden.

Die betrieblichen Abläufe in der Logistik müssen sowohl für die Betankung an einer firmeneigenen Tankstelle als auch für die Nutzung vorhandener Tankinfrastruktur entlang der Routen angepasst werden. Eine umfassende Planung und Schulung der Fahrer sind hierbei von entscheidender Bedeutung.

Die Implementierung eines eigenen Elektrolyseurs zur Wasserstoffproduktion bei Troiber wird erst in Betracht gezogen, wenn eine zuverlässige Ganzjahresnutzung gewährleistet ist, wobei Wartungsarbeiten am Elektrolyseur ausschließlich in der Winterzeit stattfinden sollen. Dies stellt sicher, dass die Produktion von Wasserstoff kontinuierlich und unterbrechungsfrei erfolgen kann.

### **Exkurs: Olympiade Paris: Nutzung eines Dieselmotors für die Kühlung?**

Im Bereich der operativen und strategischen Überlegungen ergeben sich für die Firma Troiber weitere Herausforderungen. Ein Beispiel hierfür ist die Belieferung von Kreuzfahrtschiffen in Paris im Jahr 2024, während die Stadt im selben Jahr während der Olympiade CO<sub>2</sub>-neutral sein möchte. Wenn die Fracht auf einen H<sub>2</sub>- oder E-LKW umgeladen wird, bleibt die Herausforderung der Kühlung, die derzeit von einem Dieselmotor betrieben wird. Die korrekte Vorgehensweise in einem solchen Fall gestaltet sich schwierig und ist derzeit noch nicht abschließend geklärt. Dies gilt dann gegebenenfalls auch für weitere CO<sub>2</sub>-neutrale Zonen, die beliefert werden sollen. Bei der Umrüstung auf H<sub>2</sub>-LKWs stehen die Produzenten vor einer Herausforderung, da das Kühlmotor im Ruhezustand nicht durch den H<sub>2</sub>-Tank betrieben werden kann

### **4.6. Marktvolumen des Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Sektors in der Region Passau**

Diverse Studien von Jobportalen und Strategieberatungen, sowie auch staatlichen Instituten sagen der Wasserstoffbranche in den nächsten Jahren ein enormes Wachstum voraus. Die Strategieberatung Oliver Wyman bspw. bezeichnet Wasserstoff als Jobmotor, von dem u.a. auch der deutsche Maschinen- und Anlagenbau dank seiner hohen Technologiekompetenz enorm profitieren kann. Der Studie zufolge könnten bis 2030 bis zu einer Million neue Jobs in Europa im Bereich der Wasserstoffwirtschaft entstehen, davon mehrere Hunderttausend allein im Maschinen- und Anlagenbau. Für die Maschinen- und Anlagenbauer zahle es sich laut Studie aus, die gesamte Wertschöpfungskette zu bedienen. Sie sollten sich also nicht allein auf Elektrolyseure und Brennstoffzellen konzentrieren, in denen Wasserstoff erzeugt und verbraucht wird. Die größeren Chancen für die Ausrüster biete das Equipment zur Produktion von erneuerbaren Energien sowie die Infrastruktur zur Speicherung und Verteilung des Wasserstoffs. Diese beiden Bereiche würden laut Studie zusammen rund 60 bis 70 % des gesamten Wertschöpfungspotenzials ausmachen.<sup>26</sup>

Das Landeswirtschaftsministerium Nordrhein-Westfalen sieht in seiner Studie ein Potenzial von rund 600.000 Arbeitsplätzen bis 2030 in Deutschland<sup>27</sup>, während die Strategieberatung Roland Berger rund

---

<sup>26</sup> <https://www.oliverwyman.de/presse/2021/apr/wasserstoff-boom-wachstumschancen.html>

<sup>27</sup> [https://wirtschaft.nrw/sites/default/files/documents/bericht\\_wasserstoffstudie\\_nrw-2019-04-09\\_komp.pdf](https://wirtschaft.nrw/sites/default/files/documents/bericht_wasserstoffstudie_nrw-2019-04-09_komp.pdf)

16.500 neue Jobs im Wasserstoffsektor bis 2030 allein für Baden-Württemberg prognostiziert<sup>28</sup>. Das Spektrum der neu entstehenden Arbeitsplätze in der Wasserstoffwirtschaft ist dabei breit gefächert mit neuem Berufen wie bspw. „Hydrogen plant operations manager“ oder auch „Director of hydrogen energy development“<sup>29</sup>.

Der steigende Bedarf an Fachkräften im Bereich der Wasserstoffwirtschaft lässt sich schon heute anhand von Auswertungen von Stellenanzeigen sichtbar machen. Gesucht werden vor allem Fachkräfte in den Bereichen Prozesstechnologie und Elektrochemie, aber auch in nahezu allen anderen Gewerken wie z.B. Handwerker und Ingenieure, sowie Fachleute im Marketing und Projektmanagement. Die Auswertung in Abbildung 4-15 zeigt die deutlich gestiegene Zahl an Stellenanzeigen und benötigten Fachkräften unter dem Stichwort „Wasserstoff“ in den letzten Jahren.

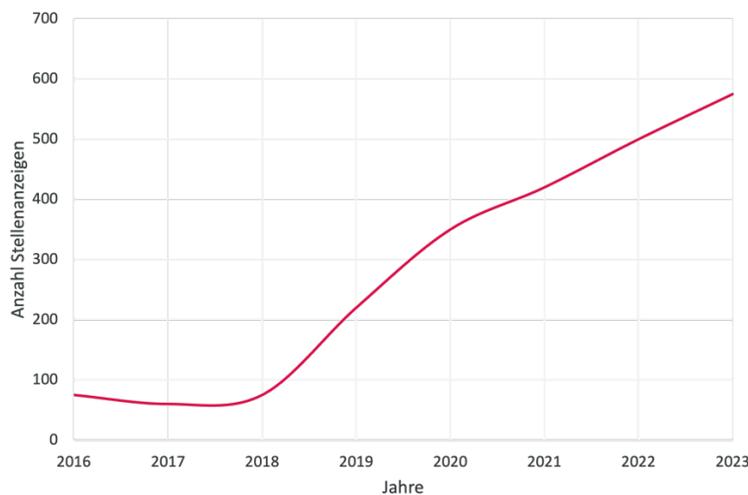


Abbildung 4-14: Auswertung für das Stichwort "Wasserstoff" auf Basis der Studie „Die Wasserstoffwirtschaft in Deutschland: Folgen für Arbeitsmarkt und Bildungssystem“ des Bundesinstituts für Berufsbildung (bibb) von 2022

Für den Landkreis mit seinen vielen Akteuren aus den Bereichen Maschinenbau und Erneuerbare Energien (vgl. Abbildung 2-5), sowie dem TZE Ruhstorf und der Universität Passau bietet die Wasserstoffwirtschaft eine große Zukunftschance. Eine große Zukunftschance sowohl in Hinblick auf die Dekarbonisierung des Landkreises als auch in Bezug auf die Schaffung neuer Arbeitsplätze.

<sup>28</sup> Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg, Roland Berger, 2020

<sup>29</sup> Die Wasserstoffwirtschaft in Deutschland: Folgen für Arbeitsmarkt und Bildungssystem, bibb, 2022

## 5. ENERGIE- UND MOBILITÄTSKONZEPT FÜR EINEN H<sub>2</sub>-MOBILITY HUB AM AUTOBAHNKREUZ A3/A94

Deutschland braucht ein flächendeckendes Wasserstofftankstellennetz, um den Anforderungen der Verkehrswende gerecht zu werden. Dies kann durch die Erweiterung bestehender Tankstelleninfrastruktur oder durch die Errichtung neuer Standorte geschehen. Über die letzten Jahre hat sich eine grundlegende Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland aufgebaut. Für eine lückenlose Versorgung ist diese derzeit aber noch nicht ausreichend. Insbesondere die Versorgung für schwere Nutzfahrzeuge in unmittelbarer Autobahnnähe ist noch nicht etabliert. Die Integration verschiedener Technologien an einem Standort als „Mobility Hub“ ist ein entscheidender Schritt für den emissionsfreien Verkehr in der Zukunft. In der Planung zukünftiger Mobility Hubs müssen die folgenden Leitfragen beantwortet werden:

- Wo soll der Mobility Hub errichtet werden?
- Welche H<sub>2</sub>-Tankstellenleistung wird errichtet?
- Welche H<sub>2</sub>-Erzeugungskapazitäten werden benötigt?
- Wie kann eine Ladeinfrastruktur integriert werden?
- Worauf ist bei einer Projektierung zu achten?

Im folgenden Kapitel wird die Projektierung eines Mobility Hubs für Wasserstoff auf einem Autohof am Beispiel des H<sub>2</sub>-Mobility Hubs am Autobahnkreuz A3/A94 dargestellt.

### 5.1. Standortanalyse für einen H<sub>2</sub>-Mobility Hub am Autobahnkreuz A3/A94

Die Wahl eines geeigneten Standorts wird von der gesamten Wertschöpfungskette beeinflusst. Ein umfassender Überblick ist elementar, um fundierte Entscheidungen in der Planung und Konzeptionierung der Anlage zu treffen. Im Rahmen der Standortsuche ist zunächst zu definieren, ob und wie welche Teile der Wertschöpfungskette am Standort integriert werden sollen. Hierbei muss geklärt werden, welche Schritte der Wertschöpfungskette am Standort abgedeckt und welche durch Anlieferung oder externe Anbieter realisiert werden können. Für sämtliche Elemente der Wertschöpfungskette, die am Standort realisiert werden sollen, müssen entsprechende Flächen vorhanden sein. Zudem ist zu prüfen, ob die Anlagen an diesem Standort genehmigungsfähig sind und alle benötigten Medienanschlüsse vorhanden oder herstellbar sind.

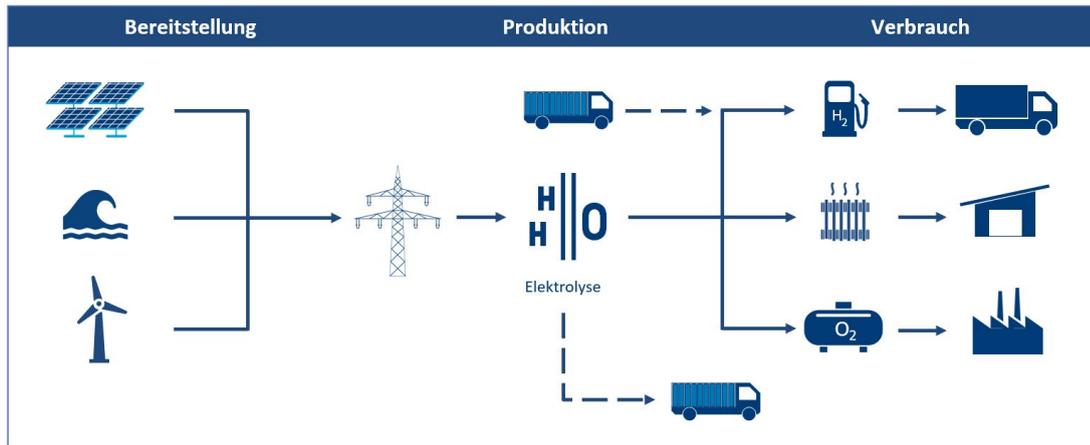


Abbildung 5-1: Darstellung der Wasserstoff-Wertschöpfungskette von der Stromerzeugung bis zum Wasserstoffverbrauch

Um die Eignung eines Standortes für den Bau und Betrieb von Wasserstoffinfrastruktur zu bestimmen, sollten die folgenden Punkte geprüft werden:

### Flächenbedarf

Der Flächenbedarf einer Elektrolyseanlage oder einer Wasserstofftankstelle skaliert mit ihrer jeweiligen Leistungsfähigkeit. Neben den Technikkomponenten sind Schutz- und Sicherheitsabstände und Zufahrtswege einzurechnen. Beispielhafte Flächenbedarfe verschiedener Leistungsklassen sind im weiteren Verlauf in Abbildung 5-3 und Abbildung 5-6 dargestellt. Sollen die Anlagen in mehreren Stufen errichtet werden, sind entsprechende Flächen freizuhalten.

### Allgemeines Baurecht

Für die Erlangung des Baurechts müssen vorab eine Reihe von Faktoren am Standort betrachtet werden, z.B.:

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

Die Produktion von Wasserstoff in einem **Elektrolyseur** vor Ort erfordert die Prüfung folgender Punkte:

### **Genehmigungsfähigkeit der Elektrolyse- & Speicheranlagen**

- Elektrolyseure sind nach § 10 BImSchG zu genehmigen und können als Industrieanlage derzeit in Industrie- und Sondergebieten errichtet werden. Eine Genehmigung in Gewerbe- oder Mischgebieten muss im Einzelfall geprüft werden.
- Speicheranlagen, die zwischen 3 und 5 Tonnen Wasserstoff lagern, erfordern eine Genehmigung nach § 19 BImSchG und eine standortbezogene Vorprüfung nach UVPG.
- Speicheranlagen, die über 5 Tonnen Wasserstoff lagern, müssen im Rahmen der Störfallverordnung genehmigt werden und erfordern ein umfassendes Sicherheitskonzept. Relevant ist dies besonders, wenn Mindestabstände von 200 m zu kritischer Infrastruktur, bspw. Kindergärten oder Autobahnen, nicht eingehalten werden können.
- Im Rahmen der Genehmigung ist eine allgemeine Vorprüfung nach UVPG durchzuführen.

### **Medienzufuhr**

Für den Betrieb der Elektrolyseanlage muss ein Anschluss an folgende Medien sichergestellt sein:

- Ein direkter Anschluss der Elektrolyse an eine Energieerzeugungsanlage oder an einen Mittelspannungsanschluss mit ausreichender Anschlussleistung. Strom kann direkt auf dem Gelände produziert werden, per Direktleitung aus der umliegenden Umgebung oder über einen Netzanschluss zur Verfügung gestellt werden. Entsprechend muss geprüft werden, ob ausreichend Flächen vorhanden sind, passende Anlagen in der Nähe lokalisiert sind oder ein ausreichend großer Netzanschluss existiert. Da die Stromzufuhr entscheidend ist für die Qualifikation als Erneuerbarer Wasserstoff, sollte dieser Schritt bereits zu Beginn der Projektierung in die Planung integriert werden.
- Wasserzufuhr (möglichst Trinkwasserqualität) & Einleitemöglichkeit für Abwasser: Die Produktion eines Kilogramms Wasserstoff erfordert je nach Hersteller ca. 20 l Wasser. Typischerweise wird dieses in Trinkwasserqualität zur Verfügung gestellt und in der Elektrolyseanlage weiter aufbereitet. Der Standort muss die Zuleitung und Ausleitung ermöglichen. Eine Rücksprache mit dem zuständigen Klärwerk ist zu empfehlen.
- Optional eine Straßenanbindung zur H<sub>2</sub>-Abgabe an Trailer
- Optional ein Anschluss für die H<sub>2</sub>-Einspeisung in ein potenzielles H<sub>2</sub>-Pipelinennetz
- Anschlüsse für eine Datenschnittstelle

Ein Elektrolyseur erzeugt Wasserstoff, Sauerstoff und Wärme. Je näher potenzielle Abnehmer dieser Produkte dem Standort sind, desto wirtschaftlicher ist eine Auskoppelung und die Vermarktung. Der Fokus im Mobility Hub liegt in der Betankung von Brennstoffzellenfahrzeugen an einer Wasserstofftankstelle.

Um die Eignung eines Standortes für den Bau und Betrieb einer **Wasserstofftankstelle** zu bestimmen, müssen die folgenden Punkte geprüft werden:

### **Genehmigungsfähigkeit der Tankanlage**

- Tankstellen und Abfüllanlagen erfordern ein Erlaubnisverfahren nach § 18 BetrSichV.
- Anlagen mit Speichermenge zwischen 3 und 5 Tonnen erfordern zusätzlich eine Genehmigung nach § 19 BImSchG und eine standortbezogene Vorprüfung nach UVPG.
- Speicheranlagen, die über 5 Tonnen Wasserstoff lagern, müssen im Rahmen der Störfallverordnung genehmigt werden und erfordern ein ausgeprägtes Sicherheitskonzept. Relevant ist dies besonders, wenn Mindestabstände von 200 m zu kritischer Infrastruktur, bspw. Kindergärten oder Autobahnen, nicht eingehalten werden können.

### **Medienzufuhr**

Für den Betrieb der Tankstelle muss ein Anschluss an folgende Medien sichergestellt sein:

- Ein ausreichend großer Stromnetzanschluss für den Betrieb der Tankstelle
- Eine Straßenanbindung für die Zufahrt der Fahrzeuge und die optionale H<sub>2</sub>-An- und Ablieferung durch Trailer
- Optional ein Anschluss für die H<sub>2</sub>-Entnahme aus einem H<sub>2</sub>-Pipelinennetz
- Anschlüsse für eine Datenschnittstelle

### **Fazit**

Für die Wahl eines geeigneten Standortes müssen die Einflussfaktoren auf alle Bestandteile der Wertschöpfungskette, wie eine gute Verkehrsanbindung, potenzielle Abnehmer der Produkte oder die direkte Anbindung an Stromerzeugungsanlagen geprüft und gegeneinander abgewogen werden. Ansprüche wie Flächenbedarfe oder Lagermengen müssen im Gesamtkontext des Projektes betrachtet werden. Eine integrierte Herangehensweise an diese Schritte ermöglicht eine optimierte Projektentwicklung und nachhaltige Etablierung derer Wasserstoffinfrastruktur.

### MOBILITY HUB AM AUTOBAHNKREUZ A3/A94

- Auf dem Grundstück ist ausreichend Platz für die geplante Infrastruktur. Diese steht allerdings in Konkurrenz mit anderen Vorhaben auf dem Gelände. Eine platzsparende Anordnung und eine sinnvolle Integration in die Verkehrswege sind zu empfehlen.
- Der Betrieb einer Tankstelle entspricht dem Bebauungsplan (§ 11 Sonstige Sondergebiete BauNVO), der Elektrolyseur kann mit einer Befreiung von den Festsetzungen des Bebauungsplans genehmigt werden. Auf die Einhaltung der Schallgrenzen ist bei der Errichtung und im Betrieb zu achten.
- Derzeit besteht ein Dialog mit den Behörden, in welchem Rahmen artenschutzrechtlichen Gutachten noch zu erbringen sind.
- Je nach Dimensionierung kann die Lage an der Autobahn gewissen Lagermengen entgegensprechen (Störfallverordnung bei Lagermengen > 5 t<sub>H2</sub>).
- Eine Aufstellung mit großem Abstand zur Autobahn kann die Genehmigung erleichtern.

## 5.2. Potenziale zur lokalen Erzeugung von Wasserstoff am gewählten Standort

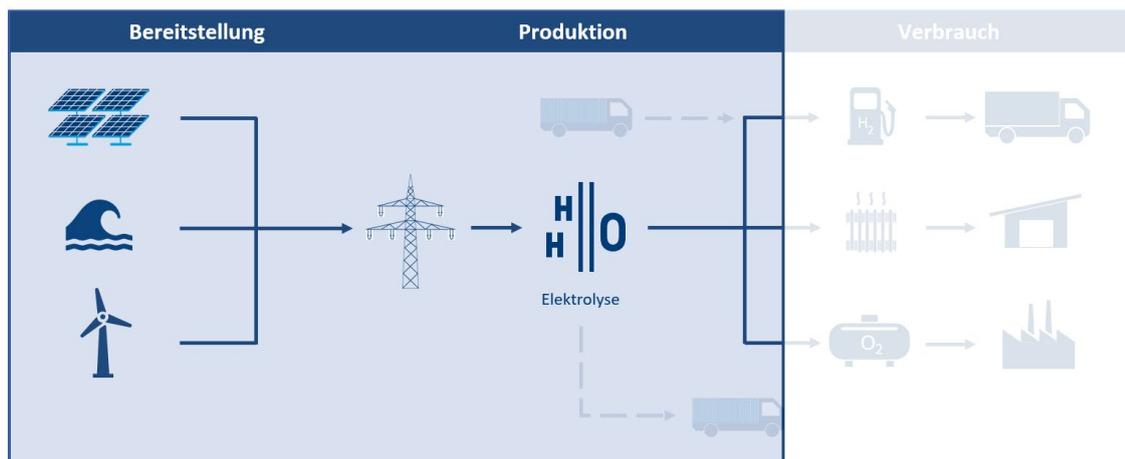


Abbildung 5-2: Darstellung der Wasserstoff-Wertschöpfungskette - Fokus Bereitstellung und Produktion

Mit der Verabschiedung des Delegierten Rechtsakts zur RED II (siehe Kapitel 3) und dessen erwarteten Umsetzung in der 37. BImSchV sind die Anforderungen an die Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff für die Mobilität definiert worden. Im Fokus steht hierbei die Erzeugung von Wasserstoff per Elektrolyse.

Eine On-site Elektrolyse ermöglicht die Erzeugung von Wasserstoff in direkter Verbindung mit einer Wasserstofftankstelle. Je nach Dimensionierung der Anlagen kann die Überproduktion von Wasserstoff zudem über eine Abfüllanlage und Trailer an andere Tankstellen geliefert werden. Sollte in Zukunft ein Pipelineanschluss zur Verfügung stehen, kann Wasserstoff auch auf diese Weise an- und abtransportiert werden. Die Produktion am Mobility Hub stellt eine stetige Versorgung der Tankstelle mit Wasserstoff sicher. Zudem fallen keine Transportaufwände an.

Im weiteren Verlauf wird zur Wasserstoffproduktion die PEM-Elektrolyse betrachtet. Sie eignet sich aufgrund ihres guten Lastwechselverhaltens zur Nutzung von fluktuierendem erneuerbarem Strom. Neben der eigentlichen Elektrolyseeinheit werden weitere technische Komponenten der Peripherie benötigt:

- Das Eingangswasser, typischerweise Trinkwasser oder gereinigtes Brunnenwasser, wird durch eine Wasserreinigung entmineralisiert. Je nach Wasserqualität sind mehrere Reinigungsstufen erforderlich.
- Ein Gleichrichter wandelt dreiphasige Wechselstromspannung (AC-Versorgungsspannung) in eine geregelte Gleichstromspannung (DC-Spannung) für die Elektrolysezelle um.
- Um die geforderte Gasreinheit für Wasserstoff in der Mobilität (z. B. DIN 17124) zu erreichen, wird der erzeugte Wasserstoff ebenfalls einem Reinigungsprozess unterzogen. Die gewünschte Reinheit des Wasserstoffs am Ausgang des Elektrolyseurs kann durch verschiedene Filter (z. B. Aktivkohlefilter), Abscheider (z. B. Wasserabscheider) und Gastrockner erreicht werden.

Typischerweise werden Elektrolyseanlagen mit der notwendigen Peripherie wie Trinkwasseraufbereitung, Gleichrichter und Wasserstoffreinigung in standardisierten Schiffscontainern installiert. Die Anzahl und Größe der Container variiert je nach Ausführung und Wasserstoffumsatz. Große Elektrolyseanlagen mit einer Leistung von 5 MW oder größer werden auch in eigens hierfür errichteten Hallen installiert.

Neben der Wasserstofferzeugungsanlage muss Infrastruktur auf dem Gelände geschaffen werden, um den benötigten Strom zur Verfügung zu stellen und den produzierten Wasserstoff zu speichern und gegebenenfalls abzufüllen. Sollen die Nebenprodukte Sauerstoff und Wärme genutzt werden, müssen für diese zusätzliche Auskopplungen geschaffen werden.

- Für die Stromversorgung eines Elektrolyseurs ist eine Transformatorstation erforderlich. Sie transformiert den Strom aus dem örtlichen Mittelspannungsnetz (110 kV / 20 kV / 10 kV) auf die für die Anlage erforderliche Spannung (400 oder 690 V). Der notwendige Leistungsbedarf hängt direkt von der Leistung des Elektrolyseurs sowie von der Größe und Leistungsfähigkeit der Kompressoreinheit ab.
- Je nach Elektrolysehersteller hat der Wasserstoff einen Ausgangsdruck von 1 bar - 40 bar. Dieser produzierte Wasserstoff wird in Speicher geleitet. Über Kompressoren wird der

Wasserstoff auf bis zu 500 bar komprimiert und entweder in der Tankstelle für die Betankung genutzt oder in der Abfüllstation in Trailer gefüllt.

- Eine Wasserstoffabfüllstation fungiert als Schnittstelle zwischen dem Elektrolyseur und dem Trailer. Typische Nenndrücke für Wasserstofftransporte in Europa liegen zwischen 200 und 500 bar. Idealerweise ist die Abfüllstation so ausgelegt, dass Trailer mit verschiedenen Druckniveaus befüllt werden können. Dadurch kann der Betrieb flexibel verschiedene Trailer integrieren. Neben der Trailerabfüllung kann der Wasserstoff auch durch Pipelines zu nahegelegenen Abnehmern transportiert oder in eine größeres Pipelinennetz gespeist werden.

Neben Wasserstoff entstehen in der Elektrolyse auch Sauerstoff und Wärme. Der Verkauf dieser Nebenprodukte kann die Wirtschaftlichkeit der Wasserstoffproduktion erhöhen. Die Höhe der erzielbaren Einnahmen ist dabei abhängig von den lokalen Rahmenbedingungen, wie beispielsweise der Präsenz von Abnehmern in der Industrie oder der Nähe zu Wärmenetzen.

- Der produzierte Sauerstoff ist für industrielle Prozesse als potenzielle Abnehmer nur begrenzt attraktiv. Die Produktmengen sind im Vergleich zu anderen industriellen Prozessen sehr gering und der Aufwand einer Kompression und Abfüllung und des Transportes ist hoch.
- Ein vielversprechendes Potenzial zur Sektorenkopplung im Gewerbegebiet ist die Nutzung der abgegebenen Wärme, vor allem im Bereich der internen betrieblichen Anwendungen. Das nutzbare Temperaturniveau liegt typischerweise bei ca. 50 bis 60°C. Insbesondere moderne Heizungsanlagen mit niedrigen Vorlauftemperaturen eignen sich für die Integration der Abwärme des Elektrolyseurs. Sofern die örtliche Infrastruktur entsprechend ausgelegt ist, kann die Anlage auch an das örtliche Niedertemperaturnetz angeschlossen werden.

### **Projektentwicklung für eine Elektrolyseanlage**

In Abbildung 5-3 sind die die Produktionskapazität und der Flächenbedarf verschiedener Elektrolyseurgrößen dargestellt. In Abhängigkeit von der Betriebsweise und dem Alter der Anlage erreichen PEM-Elektrolyseure einen Wirkungsgrad von bis zu 70 %. Dies entspricht einer stündlichen Produktionsrate von ca. 18 kg Wasserstoff je MW-Elektrolyseleistung. Die Produktionsmenge wird neben der Elektrolyseleistung von der Auslastung der Anlage über den Tag bzw. das Jahr bestimmt.

Die Kosten der Wasserstoffproduktion sind vor allem von der Versorgung der Elektrolyseanlage mit erneuerbarem Strom anhängig. Eine Versorgung des Elektrolyseurs mit günstigem, erneuerbarem Strom ist – neben einer hohen Auslastung – entscheidend für die Wirtschaftlichkeit der Anlage. Die

Vorgaben des delegiertes Rechtsaktes, insbesondere das Kriterium der Zeitgleichheit, werden in Zukunft eine aufwendige Zusammenstellung passender Strommarktprodukte erfordern. Die Planung der Stromversorgung sollte daher frühzeitig in die Vorbereitungen einbezogen werden.

| ELEKTROLYSEURGRÖÖE S   | ELEKTROLYSEURGRÖÖE M   | ELEKTROLYSEURGRÖÖE L  |
|--|--|---|
| <p><b>Elektrolyseurleistung 1 MW</b><br/>Produktionskapazität Max: ca. 0,4 t<sub>H2</sub><br/>Produktionskapazität Ø*: 0,15 – 0,25 t<sub>H2</sub><br/><br/>Ungefährer Flächenbedarf: 150 m<sup>2</sup></p> | <p><b>Elektrolyseurleistung 5 MW</b><br/>Produktionskapazität Max: ca. 2 t<sub>H2</sub><br/>Produktionskapazität Ø* : 0,75 – 1,2 t<sub>H2</sub><br/><br/>Ungefährer Flächenbedarf: 550 m<sup>2</sup></p> | <p><b>Elektrolyseurleistung 10 MW</b><br/>Produktionskapazität Max: ca. 4 t<sub>H2</sub><br/>Produktionskapazität Ø*: 1,5 – 2,5 t<sub>H2</sub><br/><br/>Ungefährer Flächenbedarf: 1.000 m<sup>2</sup></p> |

Abbildung 5-3: Elektrolysekennzahlen pro Tag bei einer Auslastung von 3.000–5.000 Volllaststunden

Sowohl in Zeiten fehlender Stromversorgung als auch für Wartungsarbeiten muss mit einigen Tagen Stillstand im Jahr gerechnet werden. Eine entsprechende Rückfallebene durch Lagerhaltung und alternative Wasserstoffquellen kann eine durchgehende Versorgung mit Wasserstoff sicherstellen.

Die für den Betrieb der Elektrolyse- & Speichieranlagen benötigten Genehmigungen sind in Kapitel 5.1 dargestellt. Eine besondere Herausforderung ist die Lagerung großer Mengen Wasserstoff. Auf dem Mobility Hub soll der Wasserstoff sowohl für die angeschlossene Tankstelle als auch für die Abfüllung in Trailer produziert werden. Hierbei ist allerdings darauf zu achten, welche Genehmigungsverfahren durch größere Speichermengen ausgelöst werden. In diesen Fällen ist zwischen der Leistungsfähigkeit der Anlagen und den zusätzlichen Aufwendungen im Genehmigungsprozess und im Sicherheitskonzept abzuwägen. Möglichkeiten, dies zu umgehen, sind die Trennung der Betreiberschaft oder der Betriebsgelände. Zudem gelten Wasserstoffmengen, die aus dem stationären Speicher in einen Trailer abgefüllt und gesondert abgestellt werden, nicht als Teil der Anlage und müssen entsprechend nicht der Gesamtlagermenge zugerechnet werden. Die Abfüllung und der Abtransport vom Gelände könnten entsprechend sicherstellen, dass örtliche Lagermengen nicht überschritten werden. Ein frühzeitiger Austausch mit den zuständigen Genehmigungsbehörden ist hierbei elementar.

Der Aufbau einer Elektrolyseanlage dauert zwischen 2 und 3 Jahren. Ausschlaggebend hierfür sind vor allem die Lieferzeiten der Komponenten und die Dauer der Genehmigungsverfahren. Sollten Fördergelder genutzt werden, kann der Zeitpunkt des Förderaufufes den Zeitplan entscheidend mitbestimmen. Darüber hinaus sollten zeitlich kritische Punkte wie die artenschutzrechtliche Prüfung und mögliche Änderungen im Bebauungsplan frühzeitig angestoßen werden.

### **MOBILITY HUB AM AUTOBAHNKREUZ A3/A94**

- In einer ersten Ausbaustufe könnte eine Elektrolyseanlage mit 5 MW Elektrolysekapazität errichtet werden. Dies würde ausreichen, um eine Tankstelle mit ca. einer Tonne Wasserstoff am Tag zu versorgen. Langfristig ist die Vervielfachung der Elektrolysekapazität möglich, um auch andere Tankstellen mit Wasserstoff zu versorgen. Entsprechende Flächen sollten mit eingeplant werden.
- Die Errichtung einer Trailerabfüllung ermöglicht die Lieferung an andere Tankstellen, solange die Nachfrage am Standort noch nicht entsprechend groß ist.
- Der Wasserstoff könnte per Pipeline direkt an Abnehmer im Gewerbegebiet geliefert werden, falls hier eine entsprechende Nachfrage besteht. Logistikunternehmen könnten erste Fahrzeuge am Mobility Hub betanken und später Wasserstoff für eine eigene Betriebshoftankstelle beziehen.
- Der produzierte Sauerstoff könnte an ein lokales Industrieunternehmen geliefert werden. Es ist zu prüfen, ob die Kosten der Abfüllung und des Transportes eine wirtschaftliche Lieferung ermöglichen.
- Die produzierte Wärme könnte als Teil der Wärmeversorgung des Autohofs oder des umliegenden Gewerbegebiets genutzt werden. Alternativ könnte eine benachbarte Gärtnerei die Wärme zur Beheizung ihrer Gewächshäuser nutzen. Es ist zu prüfen, ob die zur Verfügung stehenden Wärmekennlinien den Anforderungen der Nutzer genügen (Temperaturniveau, Wärmemenge, Wärmespitzen, Lastkurven). Da die Wärme als Nebenprodukt entsteht, ist ein Betrieb der Elektrolyse mit einem Fokus auf die Wärmeproduktion nicht wirtschaftlich. Wärme kann kurzzeitig in Pufferspeichern gespeichert werden. Eine langfristige Speicherung ist nicht sinnvoll.
- Die Potenziale zur Stromerzeugung auf dem Gelände sind nicht ausreichend hoch, um die Elektrolyse mit Strom zu versorgen. Ggf. könnten Strommengen von anderen Quellen im Gewerbegebiet genutzt werden. Da es in unmittelbarer Nähe keine großen Stromerzeugungsanlagen gibt, wird die Stromzufuhr voraussichtlich über das Stromnetz erfolgen. In Gesprächen wurde vom Stromversorger ein ausreichend großer Netzanschluss zugesagt. PV-Anlagen von Landwirten aus der Region, die aus der Förderung fallen, könnten ebenfalls genutzt werden. Auch Neuanlagen, die im entstehenden Gewerbegebiet installiert werden, könnten genutzt werden. Weitere Strommengen müssen über PPAs gesichert werden.
- Da der produzierte Wasserstoff im Straßenverkehr genutzt werden soll, können Erlöse durch den Verkauf von THG-Quoten erzielt werden. Diese Erlösmöglichkeit sollte genutzt werden. Hier ist insbesondere auf die Integration verschiedener Stromquellen zu achten.
- Um die Störfallverordnung zu umgehen, sollte die gelagerte Menge Wasserstoff unter 5 t liegen. Hierbei müssen die Lagermengen der sonstigen Kraftstoffe der Tankstelle mit eingerechnet werden. Verschiedene Ansätze, wie eine geteilte Betreiberschaft, der frühzeitige Abtransport des Wasserstoffs oder eine grundsätzliche Obergrenze in der Dimensionierung der Erzeugungsanlagen, sollten verfolgt werden.
- Die zuständigen Genehmigungsbehörden sind die:
  - Baugenehmigung: Kreisbauamt/Baurechtsämter
  - Erlaubnisnachtrag nach BetrSichV: Bezirksregierung
- Um eine Involvierung des Fernstraßenbundesamtes im Genehmigungsprozess zu vermeiden, ist eine Aufstellung mit mindestens 100 m Abstand zur Autobahn zu empfehlen.

### 5.3. Tankinfrastruktur für Wasserstoff

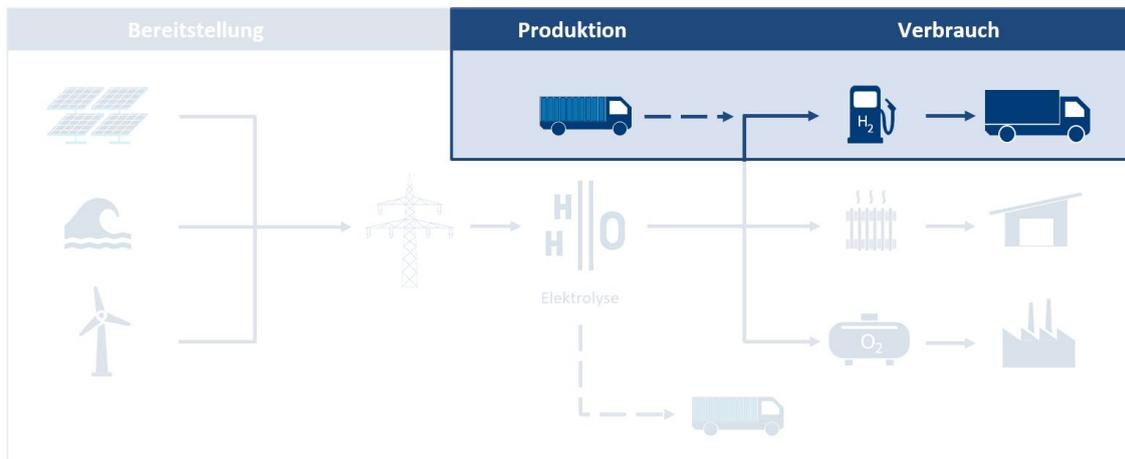


Abbildung 5-4: Darstellung der Wasserstoff-Wertschöpfungskette - Fokus Tankinfrastruktur

Wasserstoff wird einer der Kraftstoffe des modernen multi-technologischen Mobility Hubs der Zukunft sein. Die Betankung kann durch die Integration in eine existierende konventionelle Tankstellen oder durch einen separaten Standort realisiert werden. Für die weitere Entwicklung der Wasserstoff-tankstelleninfrastruktur haben sich das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union am 27. März 2023 auf nationale Mindestziele in der AFIR-Verordnung verständigt. Diese Ziele sind verbindlich für alle beteiligten Nationen und sollen den Ausbau und die Umsetzung der Wasserstofftechnologie fördern. Die Ziele der AFIR sehen vor, dass bis Ende 2030 entlang des transeuropäischen Verkehrsnetzes alle 200 km eine Wasserstofftankstelle errichtet wird. Zudem sollen an städtischen und multimodalen Knotenpunkten Infrastrukturen für die Betankung mit gasförmigem Wasserstoff aufgebaut werden. Hinsichtlich der Betankungskapazität werden bis zu zwei Tonnen pro Tag angestrebt. Ebenso wird die Schaffung von Tankoptionen zur Betankung mit flüssigem Wasserstoff angestrebt.

In den heutigen Wasserstofftankstellen wird zur Betankung von Brennstoffzellenfahrzeugen komprimierter Wasserstoff genutzt. Unterschiedliche Fahrzeugtypen werden mit unterschiedlichen Druckstufen betankt. Personenkraftwagen, leichte Nutzfahrzeuge und (teilweise) Müllfahrzeuge werden mit Wasserstoff mit einem Druck von 700 bar versorgt. Schwere Nutzfahrzeuge wie Busse, Lkw und Züge werden bei 350 bar betankt. Verschiedene Hersteller entwickeln derzeit zudem LKW, die mit 700 bar betankt werden können oder einen Wasserstoffverbrennungsmotor nutzen. Zukünftig wird auch die Betankung mit flüssigem Wasserstoff erwartet.

Für die Bereitstellung des benötigten Wasserstoffs an der Tankstelle gibt es verschiedene Möglichkeiten. Neben der Produktion vor Ort, die in Kapitel 5.2 erläutert wird, wird Wasserstoff derzeit vor allem mittels Trailer mit einem Druckniveau von typischerweise 200 bis 500 bar angeliefert. Diese können im Wechseltrailerprinzip in das Speichersystem integriert werden (siehe Abbildung 5-5). Auf diese Weise kann das Druckniveau im Trailer für die Betankung mittels Überströmung genutzt werden. Allerdings wird durch die dauerhaften Abladepositionen des Trailers der Platzbedarf erhöht.

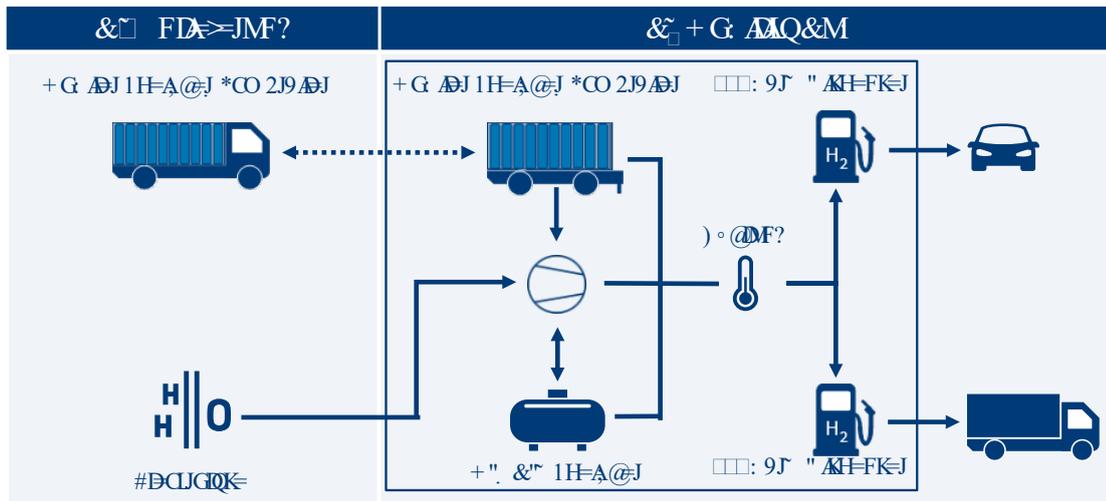


Abbildung 5-5 Verfahrensschemata einer Wasserstofftankstelle mit Wechseltrailer

Alternativ kann der Wasserstoff in einen Niederdruckspeicher überströmt werden. Dadurch wird weniger Aufstellfläche benötigt und die Standzeiten des Trailers minimiert (siehe Abbildung 5-6). Das gewählte Konzept muss mit den Platzverhältnissen, den Betriebsabläufen und dem Wasserstofflieferanten abgestimmt werden.

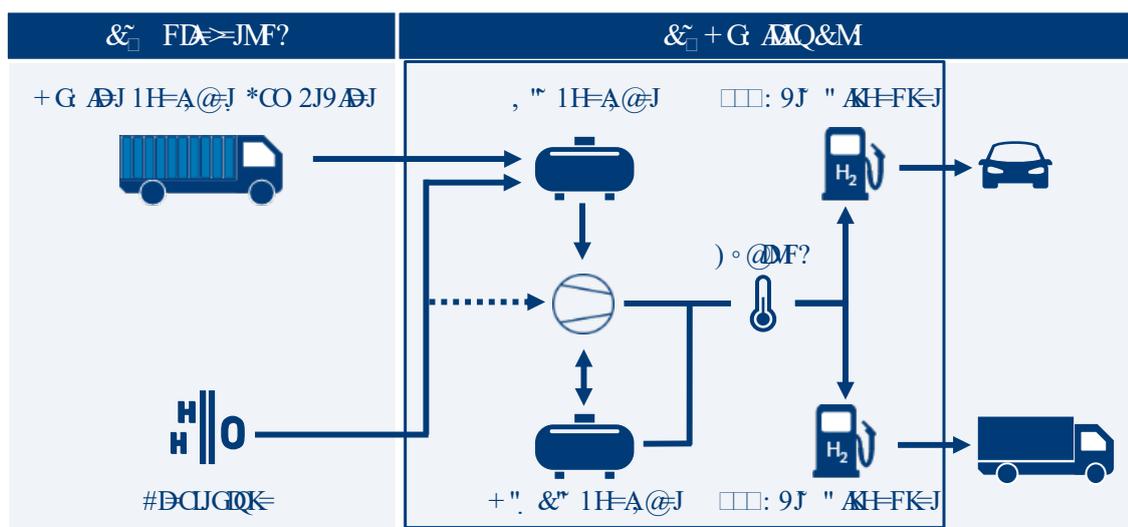


Abbildung 5-6 Verfahrensschemata einer Wasserstofftankstelle mit Niederdruckspeicher

In Zukunft soll der Aufbau eines deutschlandweiten Wasserstoffpipelinesetzes auch die Anlieferung

per Pipeline ermöglichen. Der angelieferte Wasserstoff wird durch Kompressoren verdichtet. Die Betankung erfolgt an der Zapfsäule (Dispenser). Je nach Tankstellenkonzept kann eine Kühleinheit genutzt werden, um schnelle Betankungsvorgänge sicherzustellen. Die Komponenten sind in standardisierten Schiffscontainern untergebracht, die je nach Ausführung und Wasserstoffumsatz in Anzahl und Größe variieren.

Bei der Wasserstoffspeicherung wird zwischen verschiedenen Speicherdrücken (30 bis 1.000 bar) und Tankmaterialien (Typ 1 bis 4) unterschieden. Diese beiden Faktoren bestimmen die Kosten und den benötigten Platzbedarf der Speicher. Hersteller von Tankstellen bevorzugen unterschiedliche Speicherkonzepte, die auch auf die Kompressoreinheit und das restliche Abfüllkonzept abgestimmt sind. Die Kompressoreinheit ist für die Steuerung und Verteilung des Wasserstoffs in einer Tankstelle zuständig und wird an den geplanten Wasserstoffumsatz angepasst. Sie wird für die Verdichtung, Zwischenspeicherung und Betankung verwendet. Bei der Verdichtung wird der Wasserstoff je nach gewünschtem Druckniveau und eingesetztem Verdichtertyp auf verschiedene Druckstufen komprimiert. Um die Leistungsfähigkeit der Tankstelle sicherzustellen und das Ausfallrisiko zu senken, kann eine redundante Ausführung der Kompressoren sinnvoll sein.

Eine zusätzliche Kühleinheit zur Vorkühlung ermöglicht die Betankung von großen Wasserstoffmengen in engen Zeitfenstern. Sie kann auch zur Verkürzung der Betankungszeit genutzt werden.

Der Dispenser (dt.: Zapfsäule) stellt die Schnittstelle zwischen der Tankstelle und dem zu betankenden Fahrzeug dar. Verschiedene Druckniveaus und Durchflussmengen nutzen unterschiedliche Kupplungsstutzen. In Aussehen und Bedienung unterscheidet sich eine Wasserstoffzapfsäule nicht wesentlich von einer konventionellen Zapfsäule bzw. eine CNG-Zapfsäule.

### Projektierung einer Wasserstofftankstelle

| TANKSTELLENGRÖßE S  | TANKSTELLENGRÖßE M  | TANKSTELLENGRÖßE L  |
|---|---|---|
| <b>Tankstellenkapazität: 200 kg <sub>H2</sub></b>                     | <b>Tankstellenkapazität: 500 kg <sub>H2</sub></b>                       | <b>Tankstellenkapazität: 1.000 kg <sub>H2</sub></b>                     |
| ca. 6 – 8 Busse / LKW<br>oder ca. 40 – 50 PKW pro Tag                 | ca. 15 – 20 Busse / LKW<br>oder ca. 100 – 125 PKW pro Tag               | ca. 30 – 40 Busse / LKW<br>oder ca. 200 – 250 PKW pro Tag               |
| Ungefäher Flächenbedarf:<br>500 m <sup>2</sup> – 1.000 m <sup>2</sup> | Ungefäher Flächenbedarf:<br>1.000 m <sup>2</sup> - 1.800 m <sup>2</sup> | Ungefäher Flächenbedarf:<br>1.800 m <sup>2</sup> - 3.000 m <sup>2</sup> |

Abbildung 5-7: Leistungskennzahlen verschiedener Tankstellengrößen

Die Dimensionierung der Wasserstofftankstelle richtet sich jeweils nach der benötigten Wasserstoffmenge, den Betankungsintervallen der Fahrzeuge sowie den erforderlichen Ausfallsicherheiten. In Abbildung 5-6 sind verschiedene Tankstellendimensionierungen dargestellt. Die meisten Tankstellenkomponenten werden in genormte Seecontainer eingebaut. Ein 20-Fuß-Container benötigt eine Fläche von ca. 15 m<sup>2</sup>, ein 40-Fuß-Container ca. 30 m<sup>2</sup>. Neben den Flächen für die Komponenten sind Schutz- und Sicherheitsabstände von 3 bis 5 m zu berücksichtigen, die durch Maßnahmen wie z. B. den Einbau einer Brandschutzwand oder eines Anfahrsschutzes reduziert werden können. Der Flächenbedarf ist abhängig vom Hersteller und dem Aufstellungskonzept. Maßnahmen wie eine vertikale Anordnung können den Flächenbedarf weiter reduzieren, sind aber aufwändig.

Je nach Kundenprofil werden unterschiedliche Anforderungen an die Tankstellenleistung gestellt. Eine öffentliche Tankstelle wird über den ganzen Tag ausgelastet. Fahrzeugflotten haben hingegen feste Zeitfenster, in denen mehrere Fahrzeuge direkt hintereinander betankt werden und hohe Leistungsspitzen von der Tankinfrastruktur gefordert werden. Im Markthochlauf können solche Flotten eine erste feste Abnahme sicherstellen. Frühzeitig auf potenzielle Abnehmer zuzugehen und deren Bedürfnisse in die Tankstellenplanung einzubeziehen kann die Auslastung der Tankstelle, besonders in den ersten Jahren, deutlich erhöhen. Momentan wird ein großes Abnahmepotential im Schwerlastverkehr gesehen (vgl. Abschnitt 4.2). Verschiedene Hersteller bringen derzeit Brennstoffzellenfahrzeuge auf den Markt. Diese können im Verteilerverkehr oder im Transitverkehr fahren. Der Verteilerverkehr eignet sich aufgrund planbarer Fahrten in einem festen Radius besonders für die Umstellung auf Wasserstoff. Zur Betankung der im Logistiktransport genutzten Schwerlastfahrzeuge werden je nach Fahrzeugtyp und -größe 30 bis 50 kg Wasserstoff in einem Zeitraum von 15 bis 25 Minuten benötigt. Der Mobilität-Hub sollte diesen Anforderungen entsprechen können. Da diese Fahrzeuge am Wochenende kaum fahren, ist mit deutlichen Schwankungen der Wasserstoffnachfrage zwischen Wochentagen und Wochenende zu rechnen.

Bei der Auslegung der Tankstellendimensionierung muss neben der Leistungsfähigkeit der Tankstelle auch deren Genehmigungsfähigkeit bedacht werden. Ab einer bestimmten gelagerten Wasserstoffmenge vor Ort (siehe Kapitel 5.1) können zusätzliche Genehmigungsverfahren wie z.B. die Störfall-Verordnung (StörfallV) ausgelöst werden. Die Überschreitung der Schwelle einer Lagermenge von 5 Tonnen kann somit einen deutlich höheren Aufwand für das Sicherheitskonzept erfordern. Unter diesen Umständen kann eine regelmäßige Anlieferung oder Nachproduktion von Wasserstoff wirtschaftlicher sein als die Vorhaltung großer Lagermengen am Standort. Hier können die in Kapitel 5.2 dargestellten Strategien zur Speichermenge ebenfalls betrachtet werden. Da sich die Wasserstofftechnologie noch im Markthochlauf befindet, ist ein modularer Aufbau der

Tankstelleninfrastruktur zu empfehlen. In der Planung sollten spätere Ausbaustufen von Beginn an mitgedacht werden.

Die Kosten für die Errichtung einer Wasserstofftankstelle werden durch die Leistungsfähigkeit und Ausfallsicherheit der Anlage bestimmt. Hinzu kommen die Kosten für die Tankstellenkomponenten sowie die Baukosten, z.B. für die Fundamente. Darüber hinaus ist die Errichtung eventueller Schutzmaßnahmen, wie z.B. Brandschutzwände, Lärmschutzwände und Anfahrtschutz, zu berücksichtigen. Ein weiterer Kostenblock sind die Planungs-, Architekten- und Genehmigungskosten sowie die für die Genehmigungsplanung erforderlichen Gutachten.

In Abbildung 5-7 ist eine mögliche Gestaltung des Mobility Hubs am Autobahnkreuz dargestellt. Die konkrete Umsetzung wird auch von vielen weiteren Faktoren auf dem Gelände, wie der Verkehrsplanung und der konventionellen Tankinfrastruktur beeinflusst werden. Eine mögliche Ausbaustufe ist bereits eingeplant und angedeutet.

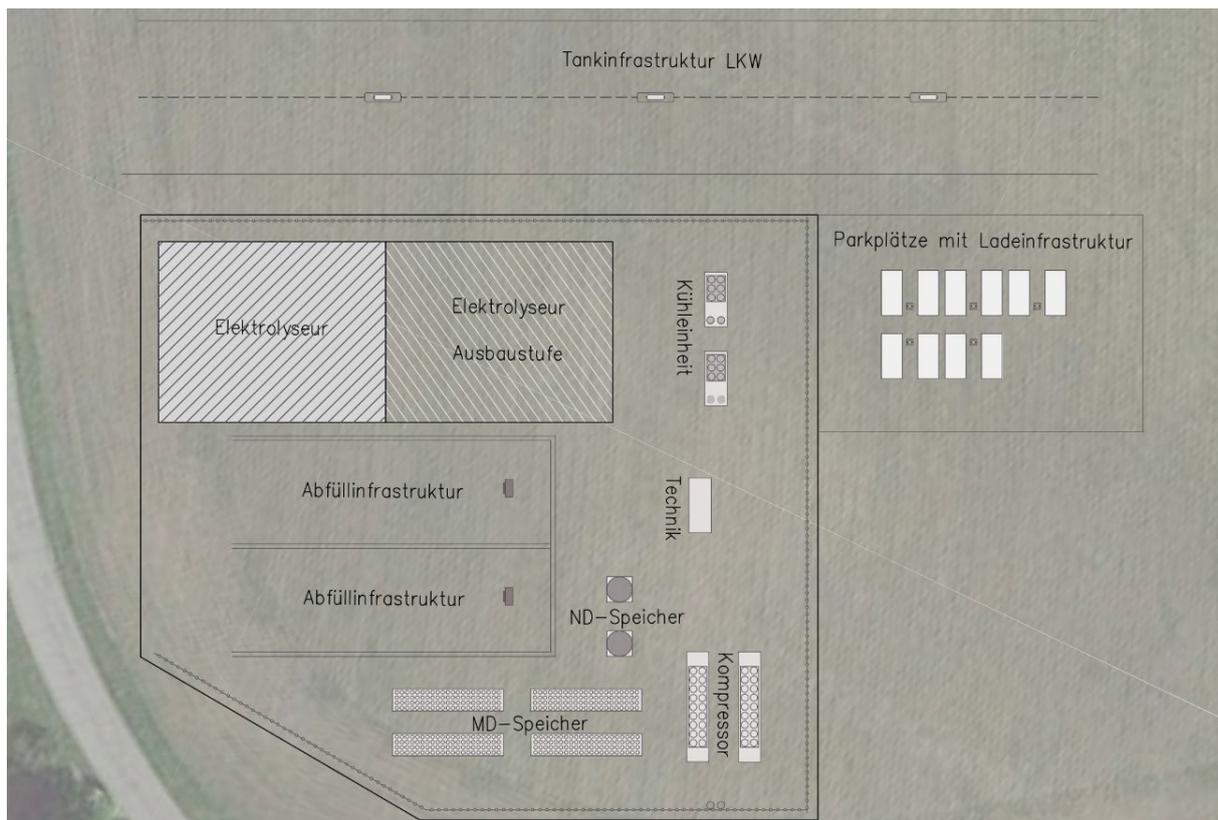


Abbildung 5-8 Möglicher Entwurf eines Mobility Hubs

### **MOBILITY HUB AM AUTOBAHNKREUZ A3/A94**

- Für die Tankstelle wird eine Auslegung entsprechend der AFIR-Vorgaben empfohlen. Eine Tankstellenkapazität von 1 Tonne pro Tag und die Betankung bei 350 bar und 700 bar sind an dem Standort sinnvoll. Langfristig ist auch eine tägliche Abnahmemenge von 2 Tonnen realistisch. Hierfür sollten entsprechende Flächen vorgesehen werden.
- Vor allem LKW und andere schwere Nutzfahrzeuge werden als erste Abnehmer erwartet. Hierauf sollte der Fokus der Tankstellenkonzeption liegen.
- Eine Staffelung erster regelmäßiger Abnehmer kann die Auslastung über den Tag verteilen und die Leistungsfähigkeit der Tankstelle steigern.
- Förderprogramme können die Errichtung der Tankstelleninfrastruktur erleichtern. Der nächste NIP II Förderaufruf für öffentliche Wasserstofftankstellen wird im ersten Quartal in 2024 erwartet.
- Um auch bei Stillstand der Elektrolyseanlage die Wasserstoffversorgung sicherzustellen, sollte eine Traileranlieferung integriert werden.
- Fahrer können die Betankungszeit nutzen, um andere Angebote des Autohofs zu nutzen.
- Das Speicherkonzept der Tankstelle muss mit dem der Trailerabfüllung harmonisiert werden. Die gesamte Lagermenge auf dem Gelände sollte 5 Tonnen Wasserstoff nicht überschreiten.
- Die zuständigen Genehmigungsbehörden sind die:
  - Baugenehmigung: Kreisbauamt/Baurechtsämter
  - Erlaubnisnachtrag nach BetrSichV: Bezirksregierung
  - Genehmigung nach BImSchG: Kreisverwaltung
- Um eine Beteiligung des Fernstraßen-Bundesamts im Genehmigungsprozess zu vermeiden, sollte die Tankstelle in mindestens 100 m Abstand zur Autobahn errichtet werden.

## 5.4. E-Ladeinfrastruktur am Mobility Hub

Neben der Erzeugung und Vermarktung von grünem Wasserstoff am Standort des Autobahnkreuz A3/A94 wurde weiterhin der Aufbau öffentlicher Ladeinfrastruktur (LIS) untersucht, um eine gesamtheitliche und technologieoffene Elektrifizierungsstrategie des Individual- und Lastverkehrs sicherzustellen. Sowohl batteriebetriebene Busse als auch Wasserstofffahrzeuge sind Teil einer klimaneutralen Verkehrs- und Antriebswende und damit von Bedeutung für eine nachhaltige Transformation.

Die Ermittlung eines Ausbaupotenzials für LIS erfolgte in vier Schritten, wobei zunächst eine qualitative Bewertung des Standortes erfolgte. Ausschlaggebende Faktoren wie die zu Verfügung stehende Fläche, Konkurrenzsituationen, Verkehrsanbindungen und das Ladeerlebnis wurden zunächst qualitativ mittels eines Ampelsystems bewertet. In einem zweiten Schritt lässt sich somit der Anwendungsfall der LIS verifizieren. Nach der qualitativen Einordnung des Standortes erfolgt die quantitative Bewertung des Standortes mittels Datenanalyse des zu erwartenden Verkehrsaufkommens sowie dem prognostizierten Hochlauf der E-Mobilität in Deutschland. Aufbauend auf den vorangegangenen Schritten lässt sich somit in einem vierten Schritt eine Empfehlung des zu wählenden LIS-Ausbaupfades ableiten. Die Elektrifizierungspotenziale des Standortes werden im Anschluss mit einer indikativen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung abgeschlossen. Das methodische Vorgehen der schrittweisen Bewertung des Standortes lassen sich der nachfolgenden Grafik entnehmen.

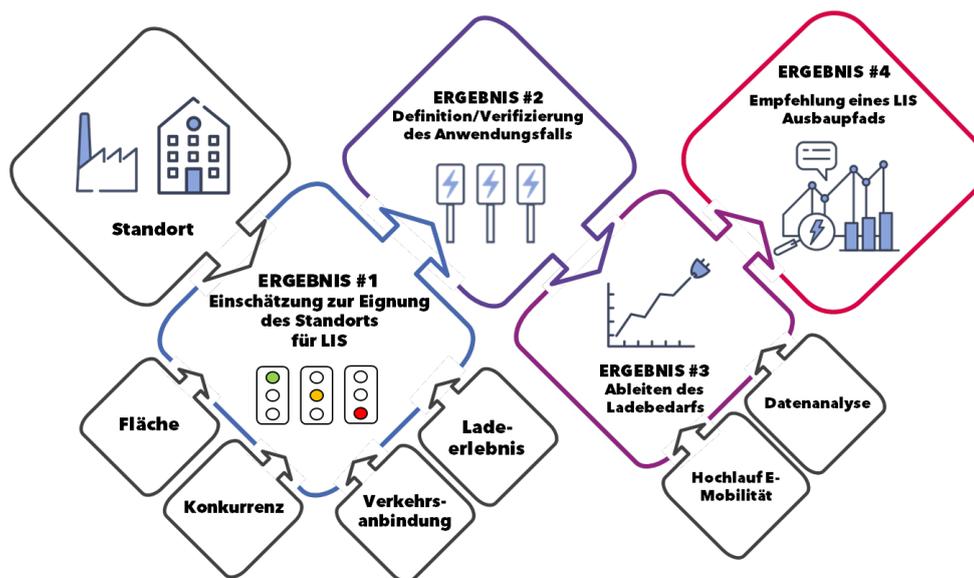


Abbildung 5-9: Methodik Prozess zur Bewertung des Elektrifizierungspotenzials

## Qualitative Bewertung

Die Qualitative Bewertung eines potenziellen LIS-Standortes lässt sich anhand von vier Kriterien einschätzen:

**Ladeerlebnis:** Das Ladeerlebnis gibt die Qualität der erlebten Zeit während des Ladevorgangs an. Sogenannte Points of Interest (POI) sind hierbei vorteilhaft damit die Zeit des Ladens anderweitig sinnvoll genutzt werden kann.

**Verkehrsanbindung:** Durch eine gute Verkehrsanbindung kann ein erhöhtes Verkehrsaufkommen und damit eine erhöhte Auslastung der LIS angenommen werden.

**Konkurrenzsituation:** Das Kriterium Konkurrenzsituation bewertet das Vorhandensein von bestehende LIS in Umgebung zum geplanten Standort. Durch bestehende LIS können Abzugseffekte für die zukünftige Auslastung der LIS angenommen werden, somit ist Bestands-LIS als negativ zu bewerten.

**Fläche:** Das Kriterium Fläche bewertet das die baulichen und verkehrstechnischen Gegebenheiten des Standortes. Der Flächenbedarf der LIS ist hierbei als minimal zu bewerten, da neben einer zu installierenden Trafostation kaum weiterer Flächen benötigt werden.

### MOBILITY HUB AM AUTOBAHNKREUZ A3/A94

- Für das Kriterium Ladeerlebnis kann voraussichtlich aufgrund der Errichtung von mehreren neuen POIs, wie z.B. Sanitären Einrichtungen, Imbissen und einer Raststätte mit 7 Tagen die Woche Öffnungszeiten eine uneingeschränkte Empfehlung ausgesprochen werden.
- Für das Kriterium Verkehrsaufkommen kann durch den bestehenden Verkehr auf der A3 sowie den zusätzlichen Ausbau der B12 zur A94 eine uneingeschränkte Empfehlung ausgesprochen werden.
- Im Falle des Kriteriums Konkurrenzsituation ist die nächste HPC-LIS (High Power Charging) in Passau in ungefähr 16 km Entfernung verortet und kann somit als unkritisch und damit uneingeschränkt positiv bewertet werden.
- Da Stellplätze für E-Fahrzeuge als Parkplätze ohnehin im Gesamtkonzept integriert sind und die weiteren baulichen Voraussetzungen, wie der verfügbare Anschluss ans MS-Netz und die Erreichbarkeit und Sichtbarkeit des Standortes, folgt für das Kriterium Fläche ebenfalls eine uneingeschränkte Empfehlung.
- Aufbauend auf den qualitativen Bewertungskriterien kann abgeleitet werden, dass der geplante Standort ideal ist für den Aufbau eines Schnelllade-Hubs. Der Anwendungsfall ist hierbei das HPC-Laden, da die Aufenthaltsdauer am Standort mit ca. 30 - 45 min angenommen werden kann und somit eine kurze und hochkapazitive Ladeleistung vorteilhaft ist. Das HPC-Laden ist hierbei definiert als eine Ladeleistung >150 kW.

## Ableiten des Ladebedarf & LIS-Ausbaupfad

Neben einer eingehenden qualitativen Bewertung ist die quantitative Ableitung des Ladebedarfs entscheidend für die Eignung eines Standortes als Ladepark. Der Ladebedarf lässt sich aus dem prognostizierten Hochlauf der E-Mobilität und der datenbasierten Erhebung des tatsächlichen Verkehrsaufkommens ableiten.

Für den prognostizierten Hochlauf der E-Mobilität kann auf verschiedene Studien der NOW (Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie) und des VDA zurückgegriffen werden. Zusammen mit einem Mittelwert ergeben sich drei verschiedene Hochlaufsznarien bis 2030, die für die weiteren Jahre extrapoliert werden (siehe Abbildung 5-9).

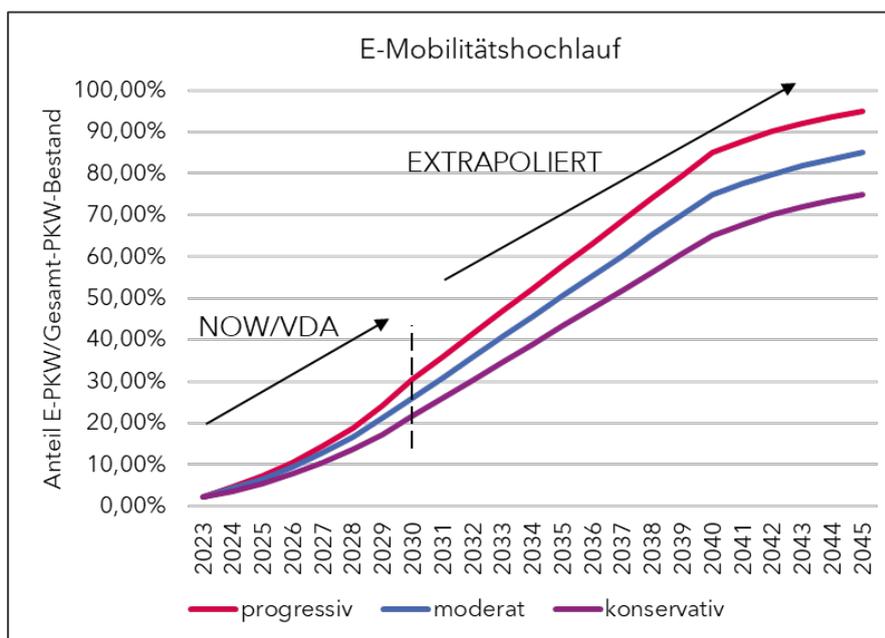


Abbildung 5-10: Hochlaufsznarien zur Elektromobilität

Zur weiteren Bestimmung des Ladebedarfs sind darüber hinaus Annahmen zum Energieumsatz pro Ladevorgang sowie die sogenannte „Serving Rate“, also die Anzahl an möglichen Ladevorgängen pro Ladepunkt pro Tag, zu treffen.

**MOBILITY HUB AM AUTOBAHNKREUZ A3/A94**

- Für den Standort in Pocking wird ein Verkehrsaufkommen von 42.000 Fahrzeugen pro Tag prognostiziert. Um dem Neubau der A94 zu berücksichtigen, kann weiterhin eine 20-prozentige Steigerung des Verkehrsaufkommens am Standort angenommen werden.
- Die Ladebedarfsprognose ist in Abbildung 5- aufgeführt.
- Abbildung 5- zeigt den zu empfehlende Ausbaupfad der LIS zur Deckung der nachgefragten Ladevorgänge pro Tag mit der definierten Serving Rate mit zunächst vier Ladepunkten und ab 2027 sechs Ladepunkten.
- Die Anzahl der Ladepunkte ließe sich bis 2043 stufenweise auf bis zu 16 Ladepunkte erweitern

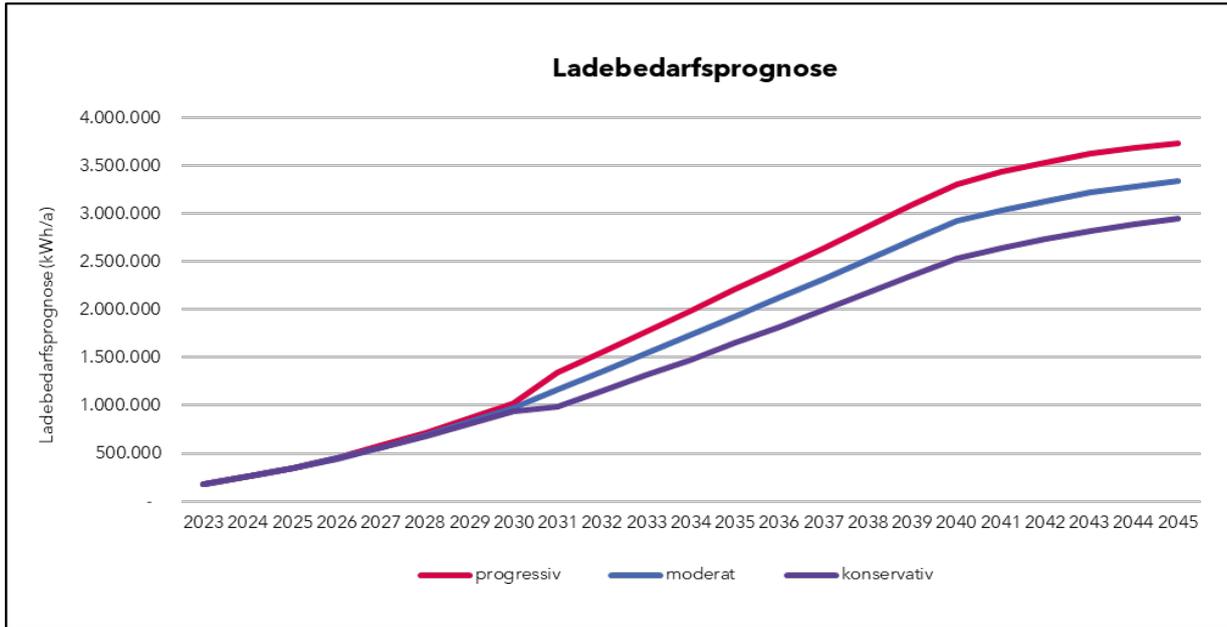


Abbildung 5-11: Abgeleiteter Ladebedarf abhängig von den Hochlaufszzenarien der E-Mobilität

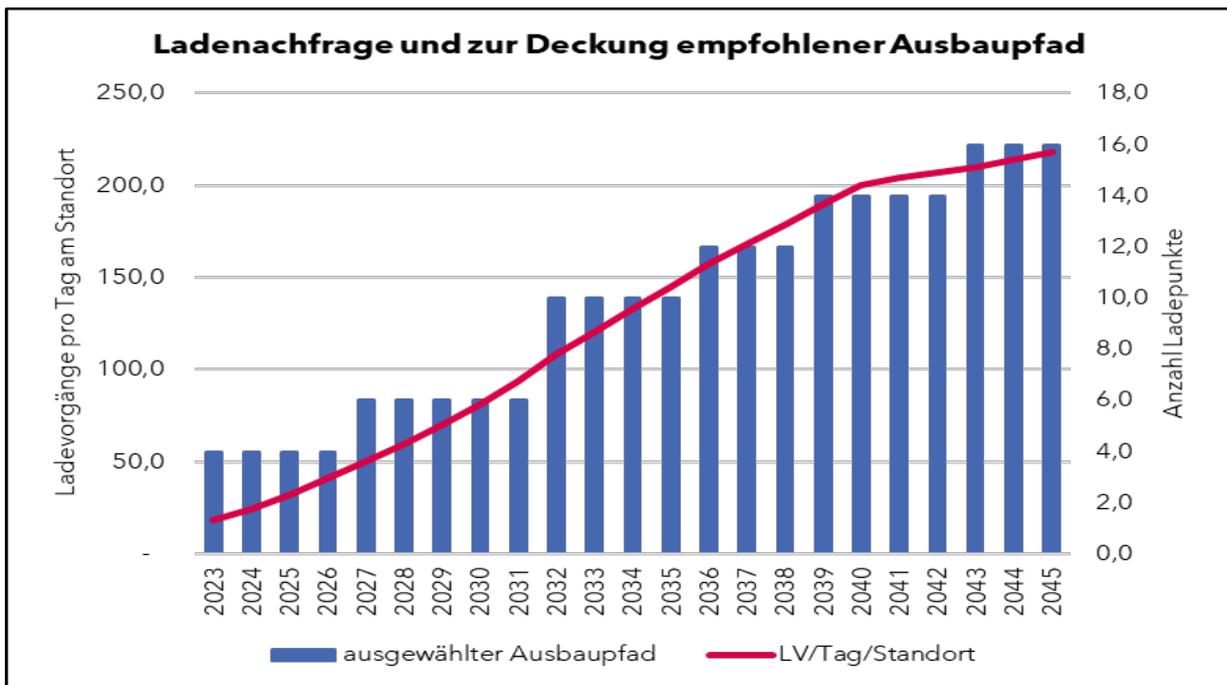


Abbildung 5-12: Prognostizierter Ladebedarf mit empfohlenem Ausbaupfad des Standorts

## Indikative Wirtschaftlichkeitsberechnung

Um die Rentabilität eines LIS-Standorts zu untersuchen, kann mithilfe der Kapitalwertmethode die ausschlaggebenden Kennzahlen *Kapitalwert*, *Interner Zinsfuß* sowie die Amortisationszeit berechnet werden (siehe Abbildung 5-13). Folgende grundsätzliche Annahmen können aufgrund in Ermangelung konkreter Rahmenbedingungen getroffen werden:

- Projektlaufzeit von 20 Jahren
- 100%ige Eigenkapitalfinanzierung.
- Der Strom 100%igem Netzbezug
- Vereinfachte Darstellung mit einem zweistufigen Ausbaupfad (Inbetriebnahme von 6 LP im Jahr 2024 Ausbau auf 12 LP im Jahr 2032).

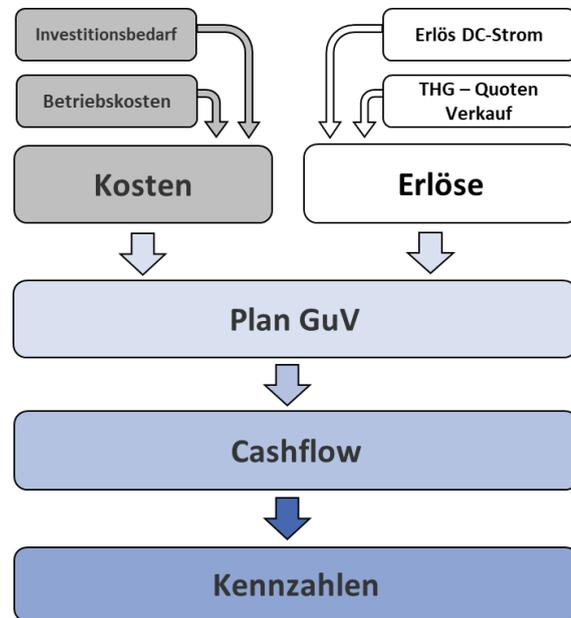


Abbildung 5-13: Schematische Darstellung Kapitalwertmethode

### MOBILITY HUB AM AUTOBAHNKREUZ A3/A94

- Unter Berücksichtigung aller Investitions- und Betriebskosten sowie errechneter Erlöspotenziale anhand der Ladenachfrage errechnet sich für den Standort ein Barwert nach 20 Jahren von 4,1 Millionen Euro
- Der interne Zinsfuß des Projekts beträgt 20,67 %
- Eine Amortisation des eingesetzten Kapitals ist mit den getroffenen Annahmen nach 6 Jahren gegeben.
- Grundsätzlich ist zu sagen, dass das veranschlagte LIS-Konzept somit wirtschaftlich tragbar ist.

## **5.5. Projektierung eines Mobility Hubs**

Die Planung und Umsetzung eines Wasserstoff-Mobility Hubs sind mit einigen Herausforderungen verbunden. Da sich der Markt noch in der Entwicklung befindet, gibt es noch kaum standardisierte Produkte, und Projekterfahrungen sind begrenzt. Dieses Kapitel soll als Orientierungshilfe für die ersten Schritte der Projektentwicklung dienen. Die folgenden Fragen sollen dabei helfen, die Stärken und Schwächen des Projektes zu definieren und Herausforderungen frühzeitig zu identifizieren.

### **Welcher Teil der Wertschöpfungskette soll abgedeckt werden?**

Nicht jedes Projekt muss alle Teile der Wasserstoffwertschöpfungskette erfüllen. Ein ganzheitlicher Ansatz erlaubt ein großes Maß an Kontrolle und Sicherheit, ist aber auch mit hohem Aufwand verbunden. Es ist wichtig zu identifizieren, welche Aspekte bereits von anderen Akteuren abgedeckt werden und welche Nachfrage existiert. Da die Wasserstoffinfrastruktur vielerorts noch schwach ausgeprägt ist, können strategische Partnerschaften mit anderen Wasserstoffakteuren zum Erfolg aller beitragen. Die eigenen Stärken und Kompetenzen sollten sich im Projektansatz widerspiegeln. Für alle nicht selbst abgedeckten Teile der Wertschöpfungskette sollte frühzeitig der Austausch mit möglichen Partnern in die Planung miteinbezogen werden.

### **Welche Kapazitäten sollen geschaffen werden?**

Da sich die Wasserstoffindustrie noch im Markthochlauf befindet, kann es schwierig sein abzuschätzen, welche Nachfrage langfristig existiert. Daher ist die Identifikation erster Abnehmer und deren Bedarfe ein wichtiger Schritt. Sowohl Wasserstofftankstellen als auch Elektrolyseure können modular erweitert werden. Ein stufenweiser Ausbau kann das wirtschaftliche Risiko verringern, ist allerdings auch mit einem erhöhten Aufwand verbunden. Zudem kann es sein, dass spätere Ausbaustufen nicht mehr förderfähig sind.

### **Welcher Grad der Involvierung wird angestrebt?**

Wasserstoffprojekte können auf verschiedene Weisen umgesetzt werden. Ein Bau in Eigenregie bedeutet volle Kontrolle von der Planung bis zum Betrieb, aber auch hohen Aufwand und Risikoübernahme. Demgegenüber steht die Auslagerung an einen Betreiber, der lediglich einen Wasserstoffbedarf zur Verfügung stellen soll. Ein Generalunternehmer stellt eine Zwischenstufe zwischen diesen beiden Extremen dar. Die Wahl des geeigneten Modells hängt von dem eigenen Know-How, der Einsatzbereitschaft und der langfristigen Wasserstoffstrategie für das Unternehmen oder die Kommune ab und kann sich von Projekt zu Projekt ändern.

### **Welchen Zeithorizont hat das Projekt? Gibt es Deadlines, die eingehalten werden müssen?**

Die Umsetzung eines Wasserstoffprojekts kann von der Planung bis zum Betrieb zwei bis drei Jahre dauern. Lieferzeiten und Genehmigungsverfahren bestimmen die Dauer des Projektes. Es ist wichtig, frühzeitig kritische Pfade zu identifizieren. Wenn das Projekt in Koordination mit einem anderen Wasserstoffprojekt entstehen soll, ist eine Synchronisierung dieser Projekte entscheidend. Förderprogramme können den Zeitplan stark beeinflussen. Einerseits bestimmt ihre Veröffentlichung und die Dauer des anschließenden Verfahrens den Start eines Projektes, andererseits können Deadlines, bis wann Fördergelder abgerufen werden müssen, einen Projektzeitraum stark eingrenzen.

### **Welche Genehmigungsverfahren kommen auf das Projekt zu?**

Je nach Lagermenge des Wasserstoffs und der Wasserstoffversorgung müssen verschiedene Genehmigungsverfahren durchlaufen werden. Die jeweiligen Genehmigungsverfahren besitzen eine „Konzentrationswirkung“, so dass jedes übergeordnete Genehmigungsverfahren alle anderen Genehmigungen miteinschließt. Für einen effizienten Projektverlauf sollte frühzeitig das Gespräch mit den zuständigen Behörden gesucht werden, um Missverständnisse zu vermeiden und Absprachen über den Genehmigungsablauf, Fristen, Dauer usw. zu treffen. Die Mindestbearbeitungszeit für die Prüfung der Dokumente beträgt je nach Verfahren zwischen drei und sieben Monate. Für Projekte in Autobahnnähe kann neben den Genehmigungsbehörden auch eine Einbeziehung des Fernstraßen-Bundesamts notwendig werden.

### **Wie soll die Wirtschaftlichkeit erreicht werden?**

Die Kosten für die Anschaffung der Infrastruktur können durch Förderprogramme gesenkt werden. Die Kosten für den Strom- oder Wasserstoffbezug sind allerdings entscheidend für die langfristige Wirtschaftlichkeit. Unterschiedlich klassifizierter Strom oder Wasserstoff geht mit entsprechenden Preisunterschieden einher. Zusätzliche Einnahmepotenziale, wie beispielsweise aus dem THG-Quotenhandel, können die Wirtschaftlichkeit verbessern, sind allerdings auch mit einem höheren Aufwand in der Strombeschaffung und Betriebsweise verbunden. Hier kann es entscheidend sein, welche Ansprüche lokal, ggf. aber auch von einem Förderprogramm, an die Klassifizierung des Wasserstoffs gestellt werden. Elementar sind die tatsächlichen Abnehmer, die den Wasserstoff in Verkehr bringen.

### **An welchem Standort soll die Infrastruktur errichtet werden?**

Der passende Standort kann großen Einfluss auf den Erfolg eines Projektes haben. Die direkte Nähe zu

Abnehmern aber auch eine mögliche Konkurrenzsituation zu anderen Projekten ist abzuwägen. Für die Bewertung eines potentiellen Standortes können die in Kapitel 5.1 dargestellten Kriterien herangezogen werden. Wichtig ist auch die Entscheidung, ob es sich um öffentliche oder betriebliche Infrastruktur handelt und wer Zugang hierzu hat. Entsprechend können unterschiedliche Förderprogramme genutzt werden.

### **Welche Rückfallebenen gibt es?**

Sowohl im Betrieb eines Elektrolyseurs als auch einer Tankstelle müssen Stillstände eingeplant werden. Eine Abwägung höherer Kosten für Redundanzen gegenüber geringeren Ausfallzeiten muss vorgenommen werden. Partnerschaften für alternativen Quellen für die Wasserstoffanlieferung oder Kapazitäten an anderen Tankstellen sind entscheidend für das Vertrauen der Verbraucher in die Alltagstauglichkeit der Technologie.

### **Fazit**

Die individuelle Betrachtung eines Projekts trägt entscheidend zum späteren Erfolg in der Umsetzung bei. Erfolgreiche Projekte profitieren von einem ganzheitlichen Ansatz über die gesamte Wertschöpfungskette, von der Strombereitstellung bis zum Brennstoffzellenfahrzeug. Der Aufbau eines partnerschaftlichen Wasserstoffbündnisses bildet die Basis für die erfolgreiche Etablierung einer Wasserstoffinfrastruktur in der Region. Erste Vorreiter erleichtern den Einstieg in die Technologie für andere Akteure. Als Solcher bietet der Aufbau eines Mobility Hubs nicht nur eine Tankmöglichkeit für Brennstoffzellenfahrzeuge und kann Wasserstoff an andere Verbraucher liefern. Als Proof of Concept stärkt er darüber hinaus das Vertrauen in die Technologie in der Region.

## 6. AUSBLICK UND MAßNAHMEN

### 6.1. Übertragbarkeit auf andere Regionen

Die Verwertung der Studienergebnisse in andere Regionen und Kommunen Deutschlands, insbesondere in Niederbayern, erfordert eine gezielte Koordination mit etablierten Institutionen wie der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW GmbH) und dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMDV), aber vor allem auch mit aktiven Akteuren und Netzwerken aus Niederbayern und Bayern.

Die Vernetzung innerhalb von H<sub>2</sub>-Netzwerken war für die Erstellung der HyPaLa-Studie von entscheidender Bedeutung. So konnte u. a. die Verbindung zum Projekt H<sub>2</sub>-Wunsiedel genutzt werden, um das Next Mobility Consortium aktiv bei der Beschaffung von Wasserstoff für die H<sub>2</sub>-Tankstelle in Sperrwies zu unterstützen.

Um die Studienergebnisse in Zukunft systematisch zu verbreiten, könnten gezielte Informationsveranstaltungen, Workshops und Schulungen in Niederbayern und anderen umliegenden Regionen organisiert werden. Diese Veranstaltungen könnten durch den Landkreis Passau organisiert und angestoßen werden, sowie Unternehmen und Bürger einbinden, um das Bewusstsein für die Potenziale von Wasserstoff in der Mobilität weiter zu schärfen und den Wissensaustausch zu fördern.

Zusätzlich können Pilotprojekte in Niederbayern gestartet werden, um die praktische Umsetzbarkeit der Studienergebnisse zu demonstrieren. Hier lohnt sich u. a. der Blick in die Region mit dem Vorhaben der Verkehrsgemeinschaft Landkreis Passau (VLP), welche derzeit an der Erstellung einer Machbarkeitsstudie zur Elektrifizierung der Busflotten arbeiten. Diese Projekte können als Vorbild für andere Regionen dienen und zeigen, wie die Anwendung von Wasserstoff in der Mobilität erfolgreich eingeführt werden können.

Mit staatlicher Hilfe durch die Bereitstellung von Fördermitteln können Pilotprojekte initiiert werden, um die Kosten für die Implementierung von Wasserstoffinfrastrukturen zu decken. Diese finanzielle Unterstützung erleichtert anderen Regionen den Einstieg in ähnliche Wasserstoffprojekte und sichert die nachhaltige Verwertung der HyPaLa Studie in ganz Deutschland.

### 6.2. Maßnahmen und Handlungsempfehlungen

Um auch nach Abschluss der vorliegenden Studie die entstehende Wasserstoffwirtschaft im Passauer Land erfolgreich weiter zu unterstützen, wurden aus dem Projekt heraus eine Reihe konkreter Maßnahmen und Handlungsempfehlungen definiert. Diese sollen dabei helfen, die nachhaltige

Entwicklung des Standorts weiter zu befördern. Die Umsetzung der Maßnahmen erfordert weiterhin ein Zusammenwirken der lokalen Politik und Verwaltung – sowohl auf Kreisebene also auch auf kommunaler Ebene – mit den Unternehmen vor Ort.

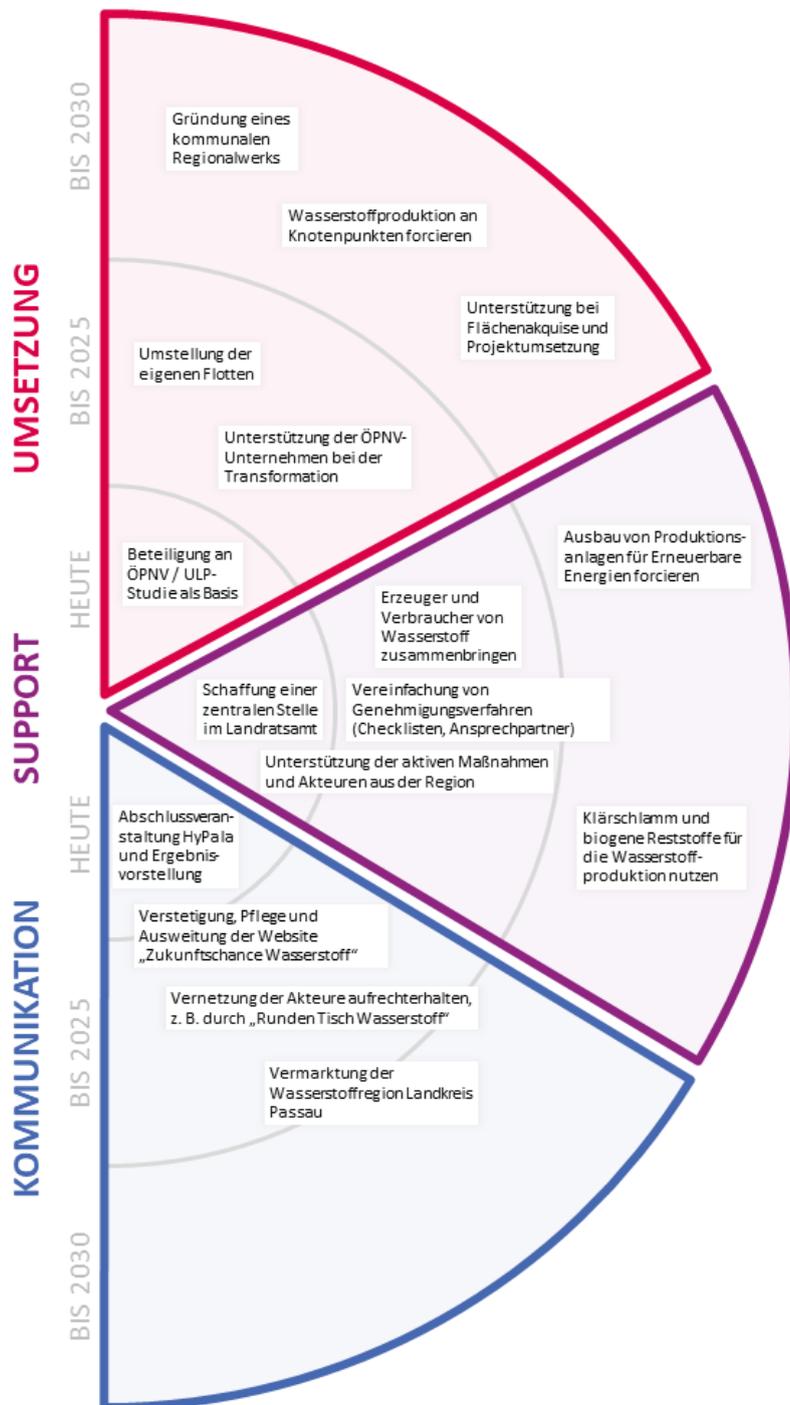


Abbildung 5-14: Maßnahmenplan des Landkreises Passau

## **Maßnahmen im Bereich Kommunikation**

**Verstetigung, Pflege und Weiterentwicklung der Website „Zukunftschance Wasserstoff“:** Die Projektwebsite "Zukunftschance Wasserstoff" sollte nach Projektende fortgeführt werden, um kontinuierlich zugängliche und aktualisierte Informationen bereitzustellen. Die Verstetigung gewährleistet, dass wertvolle Ressourcen nicht verloren gehen und das Wissen über Wasserstofftechnologien weiterhin für die Öffentlichkeit verfügbar ist. Durch regelmäßige Aktualisierungen kann die Website auch neue Entwicklungen und Erkenntnisse integrieren, wodurch sie eine zuverlässige Informationsquelle bleibt.

**Vernetzung der Akteure der Region aufrechterhalten und weiter intensivieren:** Auch nach der HyExpert Studie ist die kontinuierliche Vernetzung der einzelnen Aktivitäten im Landkreis und deren treibende Akteure von großer Bedeutung. Hierfür sollte eine dauerhafte Austauschplattform geschaffen werden, die es ermöglicht die Akteure in der Region miteinander im Gespräch zu halten. Dazu könnte ein „Runder Tisch“ in Leben gerufen werden, der in Regelmäßigen Abständen eine Austauschplattform in der Region schafft.

**Vermarktung der Wasserstoffregion Landkreis Passau:** Ab 2025 sollte der Landkreis Passau beginnen, die "Wasserstoffregion Landkreis Passau" aktiv zu vermarkten, um neue Projekte und Akteure anzuziehen. Dies fördert die regionale Wertschöpfung und den Wissensaustausch, indem vorhandenes Know-how gebündelt und erweitert wird.

## **Maßnahmen im Bereich Support**

**Schaffung einer zentralen Stelle im Landratsamt:** Zur Koordination der Wasserstoffaktivitäten im Landkreis sollte eine zentrale Stelle eingerichtet werden, die als zentraler Ansprechpartner für Unternehmen und Investoren dienen kann. So können Vorhaben besser koordiniert und Prozesse beschleunigt werden. Auch kann eine solche Stelle regelmäßig über aktuelle Förderprogramme informieren und die lokalen Unternehmen in der Antragsstellung unterstützen. Daneben sollte gezielt durch aktive Medienarbeit Informationen vermittelt, Best Practice-Beispiele aufgezeigt und Hemmnissen und Unsicherheit abgebaut werden. Die Präsenz des Landkreises als aktiver Akteur kann durch Unternehmensbesuche und Auftritte auf Messen unterstrichen werden.

**Erzeuger und Verbraucher von Wasserstoff zusammenbringen:** Für eine funktionierende Wasserstoffwirtschaft ist ein funktionierender Markt aus Angebot und Nachfrage entscheidend. Daher empfiehlt sich die Implementierung einer Plattform für regionale Erzeuger und Verbraucher von grünem Wasserstoff, um die potenziellen Nachfrage- und Angebotsmengen sowie deren Standorte zu

sammeln. Auf der Datenbasis kann dann bei zukünftigen Vorhaben agiert werden. So können neue Verbraucher (bspw. durch die Umstellung von ÖPNV-Busse im Rahmen der VLP-Studie) mit neuen Anbietern von grünem Wasserstoff (bspw. am H<sub>2</sub>-Mobility Hub am Autobahnkreuz A3/A94) zusammengebracht werden, was die Planungssicherheit für alle Akteure erhöht.

**Klärschlamm und biogene Reststoffe für die Wasserstoffproduktion nutzen:** Neben der Produktion von Wasserstoff aus Strom mittels Elektrolyse sollten auch alternative Verfahren in den Fokus rücken. Dabei bieten sich im Landkreis Passau die Nutzung von Klärschlamm sowie biogener Reststoffe an. Die Klärschlammstudie im Landkreis bietet eine gute Basis für die zukünftige Nutzung. Für die konkrete Umsetzung sollten idealerweise erste Anlagen alternativer Wasserstofferzeugungsvarianten besucht und auf ihre Anwendbarkeit im Landkreis beurteilt werden, wie bspw. die geplante blueFlux-Anlage im Landkreis Dachau. Sofern der Betrieb als erfolgreich beurteilt wird, sollten Gespräche mit den Gemeinden bzw. Betreibern der Kläranlagen folgen, um eine derartige Anlage ggf. mit einem Investor (aus dem Landkreis) zur Wasserstoffproduktion aus Klärschlamm im Landkreis umzusetzen.

### **Maßnahmen im Bereich Umsetzung**

**Umstellung der eigenen Flotten:** Für die vom Landkreis betriebenen kommunalen Flotten kann die Umstellung auf emissionsfreie Fahrzeuge gefördert und gefordert werden. Je nach Anwendungsfall kommen dafür dann neben batterieelektrischen Fahrzeugen auch Brennstoffzellenfahrzeuge in Frage. Insbesondere für Schwerlastfahrzeuge ist Wasserstoff eine Alternative. Diese Fahrzeuge schaffen Nachfrage nach Wasserstoff und erhöhen die Sichtbarkeit und das Vertrauen in die Technologie in der Öffentlichkeit. Die Teilumstellung kommunaler Flotten wird gesetzlich bereits durch das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetzes gefordert. Die Unterstützung des Landkreises kann die Übererfüllung dieser Quoten ermöglichen.

**Ausbau von Produktionsanlagen für Erneuerbare Energien forcieren:** Im Landkreis sollte ein möglichst diversifizierter und dezentraler Ausbau von Erneuerbaren Energien angegangen werden. Dabei sollten neben der kurzfristigen und kontinuierlichen Errichtung von PV-Dachanlagen sowohl im privaten als auch im öffentlichen Bereich ebenfalls PV-Freiflächenanlagen idealerweise mit innovativen Anlagendesigns wie bspw. vertikaler Ost-West-Ausrichtung und Windenergieanlagen in großer Höhe (über 180m) mit einem mittel- bis langfristigen Zeithorizont angegangen werden. Eine Planung der Anlagenstandorte in Abstimmung mit dem Netzbetreiber ist dabei Grundlage für einen betriebs- und volkswirtschaftlich sinnvollen Betrieb der Anlagen. Insbesondere die Kombination aus Wind- und Solarenergie ist für die notwendigen Vollaststunden für Elektrolyseanlagen entscheidend. In Verbindung mit Langzeitspeichern, versorgt über Großwärmepumpen aus Überschussstrom, kann

auch die Verbindung zum Wärmesektor hergestellt werden und eine größere Diversität erreicht werden.

**Wasserstoffproduktion an Knotenpunkten forcieren:** Für die lokale Erzeugung von grünem Wasserstoff sollten Standorte an den ermittelten Knotenpunkten (Pocking, Vilshofen und Hauzenberg) in der Region in den Fokus genommen werden. In Vilshofen und Pocking kann die Erzeugung und Abnahme des Wasserstoffs ideal zusammengebracht werden und bereits vorhandene Infrastruktur ideal genutzt werden. Die drei Standorte weisen eine hohe Dichte an Akteuren entlang der Wertschöpfungskette auf, verfügen über die notwendige infrastrukturelle Ausstattung und weisen ein hohes Aufkommen zur potenziellen Klärschlammverwertung auf. Auch die Kreisfreie Stadt Passau bietet sich für einen solchen Standort an.

**Gründung eines kommunalen Regionalwerks:** Durch die Gründung eines kommunalen Regionalwerks kann der Landkreis als Akteur in der Energiewende agieren. Insbesondere die Verzahnung kleinerer Wasserstoff-Projekte in der Region sowie die Integration verschiedener Energiequellen wie Klärschlamm, Abfall, Photovoltaik und Wind aus kommunaler Hand macht den Landkreis Passau unabhängiger, die lokale Wertschöpfung kann enorm gesteigert werden und langfristig kann der Betrieb der Anlagen und die eigene Vermarktung zu günstigeren Energiepreisen für die Bevölkerung und Unternehmen in der Region führen. Zudem kann perspektivisch durch das Managen eines eigenen Bilanzkreises die Flexibilität eines Elektrolyseurs zu zusätzlichen Vorteilen führen.

**Unterstützung von Verknüpfung privater Lösungen und erweiterter Infrastruktur:** Die Politik sollte die Integration von individuellen Lösungen mit einer erweiterten Wasserstoffinfrastruktur fördern. Die Initiativen privater Akteure sollten politisch und genehmigungsrechtlich unterstützt werden, um die Vorreiterrolle des Landkreises und seiner Akteure (Next Mobility Accelerator Consortium, Eichberger Reisen, u.v.a) weiter zu stärken. Im Landkreis werden in allen Wertschöpfungsstufen Best Practices geschaffen, die als Katalysator für andere Projekte dienen können.

### **6.3. Projektzusammenarbeit mit dem Landratsamt Passau**

Die Mitarbeit des Landkreises Passau bei der Erstellung der Wasserstoffstudie HyPaLa war von entscheidender Bedeutung und spielte eine wesentliche Rolle für den erfolgreichen Verlauf des Projekts. Die regelmäßige Teilnahme an Projekttreffen war ein zentraler Aspekt der Zusammenarbeit. Durch diese aktive Beteiligung konnte der Landkreis Passau seine Perspektiven, Bedenken und Ressourcen einbringen und somit sicherstellen, dass die Studie relevante und praxisnahe Ergebnisse liefert.

Darüber hinaus hat der Landkreis Passau durch das Einholen von Informationen und das Teilen von Daten und Wissen dazu beigetragen, eine fundierte Grundlage für die Studie zu schaffen. Dies schloss Informationen über die regionale Infrastruktur, örtliche Bedürfnisse und vorhandene Ressourcen ein.

Die Vernetzung mit regionalen und lokalen Akteuren war ein weiterer wichtiger Beitrag des Landkreises Passau. Durch die Schaffung von Kooperationsmöglichkeiten und die Einbindung von Unternehmen, Gemeinden und anderen Interessengruppen konnte das Projekt einen breiten Konsens und Unterstützung in der Region aufbauen. Dies schuf nicht nur eine breite Akzeptanz für das Projekt, sondern trug auch dazu bei, dass die Studie praxisorientierte Empfehlungen für die Implementierung von Wasserstofftechnologien in der Mobilität in der Region Passau entwickeln konnte.

Die kooperative Zusammenarbeit des Landkreises Passau war ein Schlüsselfaktor für den Erfolg des Projekts.

#### **6.4. Erfolgsfaktoren für die Umsetzung von H<sub>2</sub>-Projekten**

Der Erfolg eines Projekts im Bereich der Wasserstoffwirtschaft, insbesondere wenn mehrere Akteure beteiligt sind, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Hier sind einige der wesentlichen Erfolgsfaktoren:

**Klare Zielsetzung und Vision:** Ein gemeinsam definiertes und geteiltes Ziel ist von entscheidender Bedeutung. Die beteiligten Akteure sollten verstehen, warum sie an dem Projekt arbeiten und welche langfristigen Ziele sie erreichen möchten.

**Kooperation und Zusammenarbeit:** Eine enge Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen den Akteuren ist unerlässlich. Dies umfasst den Austausch von Informationen, Ressourcen und Fachwissen sowie die Bereitschaft, gemeinsam an Lösungen zu arbeiten.

**Klare Rollen und Verantwortlichkeiten:** Jeder Akteur sollte genau wissen, welche Rolle er im Projekt übernimmt und welche Verantwortlichkeiten damit verbunden sind. Dies minimiert Konflikte und Missverständnisse.

**Festgelegte Rahmenbedingungen:** Es ist wichtig, klare rechtliche, finanzielle und organisatorische Rahmenbedingungen festzulegen. Dazu gehören Vereinbarungen über Finanzierungsquellen, Eigentumsverhältnisse und Haftungsfragen.

**Technisches Know-how:** Wasserstoffprojekte erfordern spezielle technische Expertise. Die beteiligten Akteure sollten über das erforderliche Wissen und die Fähigkeiten verfügen oder Zugang dazu haben.

**Finanzielle Ressourcen:** Die Finanzierung ist ein kritischer Erfolgsfaktor. Es ist wichtig sicherzustellen, dass ausreichende finanzielle Mittel vorhanden sind, um das Projekt erfolgreich umzusetzen.

**Politische Unterstützung:** Die Unterstützung von Regierungen und politischen Entscheidungsträgern auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene ist von großer Bedeutung. Politische Rahmenbedingungen und Anreize können den Erfolg eines Projekts erheblich beeinflussen.

**Marktnachfrage:** Es ist wichtig sicherzustellen, dass es eine ausreichende Nachfrage nach den Produkten oder Dienstleistungen gibt, die aus dem Wasserstoffprojekt hervorgehen. Dies kann den wirtschaftlichen Erfolg sicherstellen.

**Innovationskultur:** Eine offene Einstellung gegenüber neuen Ideen und Innovationen ist entscheidend. H<sub>2</sub>-Projekte können neue Geschäftsmodelle erfordern, die die herkömmlichen Ansätze übersteigen.

**Nachhaltigkeit:** Nachhaltigkeitsaspekte, wie Umweltauswirkungen und soziale Verträglichkeit, sollten in das Projekt integriert werden, um langfristigen Erfolg sicherzustellen.

Insgesamt ist die erfolgreiche Umsetzung eines Wasserstoffprojekts mit mehreren beteiligten Akteuren eine komplexe Aufgabe, die eine sorgfältige Planung, Zusammenarbeit und eine klare Ausrichtung auf gemeinsame Ziele erfordert. Wenn diese Erfolgsfaktoren berücksichtigt werden, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass das Projekt seine Ziele erreicht und positive Auswirkungen auf die Wasserstoffwirtschaft und die Gesellschaft insgesamt hat.

## 7. SCHLUSSWORT

Die Mobilitätswende ist ein entscheidendes Thema für die Zukunft Deutschlands. Angesichts der Klimakrise und der Dringlichkeit, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu reduzieren, ist es von entscheidender Bedeutung, innovative Lösungen zu finden, um den Verkehrssektor nachhaltiger zu gestalten. Wasserstoff spielt dabei eine herausragende Rolle und kann als Schlüsseltechnologie betrachtet werden.

Wasserstoff ist ein vielseitiger Energieträger, der emissionsfrei erzeugt werden kann. Die Elektrolyse von Wasser mithilfe erneuerbarer Energiequellen wie Wind- und Solarenergie ermöglicht die Produktion von grünem Wasserstoff. Dieser kann dann in Brennstoffzellenfahrzeugen oder in der Industrie eingesetzt werden, um saubere Energie zu erzeugen. Deutschland hat das Potenzial, sich als führender Hersteller und Anwender von Wasserstofftechnologie zu etablieren. Hierbei nimmt der Aufbau von dezentralen Wasserstoffclustern eine zentrale Rolle ein. Die Mobilitätswende erfordert ein Umdenken und schnelles Handeln. Wir müssen bereits heute die Infrastruktur für Wasserstofftankstellen und Elektromobilität ausbauen, um die Akzeptanz von sauberen Verkehrsmitteln zu steigern. Die Wasserstofftechnologie bietet nicht nur umweltfreundliche Transportmöglichkeiten, sondern auch wirtschaftliche Chancen, auch im Landkreis Passau. Die Produktion von Wasserstoffanlagen, Brennstoffzellen und Wasserstofffahrzeugen kann zu einer Stärkung der deutschen Industrie und zur Schaffung von Arbeitsplätzen führen.

Um langfristig Erfolg bei der Mobilitätswende und der Energiewende zu haben, ist es unerlässlich, dass Deutschland frühzeitig Maßnahmen ergreift. Die Politik muss Anreize für Investitionen in Wasserstofftechnologie setzen und klare Zielvorgaben für den Ausstieg aus fossilen Brennstoffen im Verkehrssektor festlegen. Insgesamt ist die Mobilitätswende in Deutschland von entscheidender Bedeutung, und Wasserstoff kann einen entscheidenden Beitrag dazu leisten.

## 8. ANHANG UND VERZEICHNISSE

### ABBILDUNGSVERZEICHNIS

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1-1: Projektlandschaft Passau.....  | 2  |
| Abbildung 2-1: Teilnehmende der Akteursbefragung entlang der Wertschöpfungskette. Eigene Darstellung nach Erhebung und Auswertung CENTOURIS.....  | 6  |
| Abbildung 2-2: Teilnehmende der Akteursbefragung nach Kommunen. Eigene Darstellung nach Erhebung und Auswertung CENTOURIS.....  | 6  |
| Abbildung 2-3: Konzept strategische Akteursbeteiligung.....   | 7  |
| Abbildung 2-4: Zusammenfassendes Stimmungsbarometer der Bürgerinnen und Bürger im Landkreis Passau. Eigene Darstellung nach Erhebung und Auswertung CENTOURIS.....  | 8  |
| Abbildung 2-5: Auszug von H <sub>2</sub> -Akteuren im Landkreis Passau: Darstellung nach Aktivitätsgrad und Position entlang der Wertschöpfungskette .....  | 11 |
| Abbildung 3-1: Menge und Anteil an Erneuerbaren Energien im LK Passau – Quelle: LRA Passau.....   | 12 |
| Abbildung 3-2: Stromerzeugung im Landkreis Passau im September 2023 – Quelle: <a href="https://energiemonitor.bayernwerk.de/passau-landkreis">https://energiemonitor.bayernwerk.de/passau-landkreis</a> .....   | 13 |
| Abbildung 3-3: Stromerzeugung im Landkreis Passau über das vergangene Jahr und dessen Anteil an der regionalen Stromversorgung – <a href="https://energiemonitor.bayernwerk.de/passau-landkreis">https://energiemonitor.bayernwerk.de/passau-landkreis</a> .....  | 13 |
| Abbildung 3-4: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, Bayerischer Windatlas 2021.....   | 14 |
| Abbildung 3-5: Windvorranggebiete im Landkreis Passau – Quelle: Energieatlas Bayern.....  | 16 |
| Abbildung 3-6: Innovative Anlagendesigns wie bspw. von Next2Sun und deren Erzeugungsprofile - Quelle: enervis energy advisors GmbH.....   | 17 |
| Abbildung 3-7: Anforderungen aus dem delegierten Rechtsakt an den Strombezug für den Elektrolysebetrieb. Für Elektrolyseure, die vor Ende 2027 in Betrieb genommen werden, gelten Übergangsregelungen. Bspw. dürfen diese Anlagen bis 1.1.2038 auch Strom bereits geförderter EE-Anlagen nutzen. – Copyright: EMCEL GmbH..... | 19 |
| Abbildung 3-8: Schematische Darstellung der Elektrolyse mit entsprechenden Kennzahlen – Copyright: endura kommunal GmbH.....  | 22 |

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 3-9: Lokaler Anteil erneuerbarer Energien nach Kommunen im Landkreis Passau 2020 –<br>Quelle: Landratsamt Passau .....   | 25 |
| Abbildung 3-10: Anfallende Menge an Klärschlamm in Tonnen Trockenmasse pro Jahr, an den größten<br>Kläranlagen im Landkreis – Datenquelle: Interkommunaler Energienutzungsplan zur energetischen<br>Klärschlammverwertung für alle 38 Gemeinden im Landkreis Passau, IfE GmbH, 2022..... | 27 |
| Abbildung 3-11: Ausbaukarte und Importkorridore in und für Europa, European Hydrogen Backbone,<br>2022.....  | 30 |
| Abbildung 3-: Voraussichtliches Wasserstofftransportnetz in Südbayern bis 2030 gemäß HyPipe<br>Bavaria – The Hydrogen Hub” der bayernets GmbH .....  | 31 |
| Abbildung 3-: Vergleich der Kosten ausgewählter Wasserstofftransportoptionen gemäß Nationaler<br>Wasserstoffrat, 2021.....   | 32 |
| Abbildung 4-1: Stoffliche Nutzung von Wasserstoff - Quelle: Potenzialatlas Power to Gas, dena, 2016<br>.....   | 38 |
| Abbildung 4-: Schematische Darstellung der Lösung von Elektro Bauer aus dem Landkreis Passau<br>beispielhaft für ein Einfamilienhaus – Darstellung: endura kommunal GmbH .....   | 40 |
| Abbildung 4-: Wirtschaftlichkeit und Notwendigkeit zur Anwendung von Wasserstoff zur<br>Dekarbonisierung nach Sektoren.....  | 42 |
| Abbildung 4-: Nettokostenvergleich Erdgas/Wasserstoff (Industrielle Nutzung), sowie<br>Wasserstoff/Diesel für eine Sattelzugmaschine bei einem Wasserstoffpreis für Endkunden von 7,50<br>€ (netto).....   | 42 |
| Abbildung 4-: EU-Kernstraßennetz (rot) mit Wasserstofftankstellen und Kernrouten über den Landkreis<br>Passau (grün) – Quelle: endura kommunal GmbH.....   | 43 |
| Abbildung 4-: Verkehrsaufkommen vor allem an Autobahnen und Bundesstraßen im Landkreis Passau<br>– Quelle: <a href="https://geoportal.bayern.de/">https://geoportal.bayern.de/</a> , Darstellung: endura kommunal GmbH.....  | 44 |
| Abbildung 4-: TCO-Vergleich für Sattelzugmaschinen mit einer jährlichen Laufleistung von 125.000<br>km/Jahr.....   | 45 |
| Abbildung 4-: Schematischer Vergleich BET und FCET in Bezug auf Energieeffizienz, Nutzlast,<br>Betankungszeit und Infrastrukturkosten. Je ausgefüllter ein Balken, umso positiver ist das Kriterien<br>jeweils zu betrachten. ....   | 48 |
| Abbildung 4-: Schematischer Vergleich der Infrastrukturkosten je Fahrzeug für batterie- und  |    |

|  |    |
|--|----|
| brennstoffzellen-elektrische Fahrzeuge bei unterschiedlich großer Adaption, d.h. einer unterschiedlich großen Anzahl an Fahrzeugen auf den Straßen. ....   | 49 |
| Abbildung 4-: Logistiker und Standorte der ZAW Donauwald im Landkreis und der Stadt Passau .....   | 51 |
| Abbildung 4-: Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten einer 5 MW Elektrolyseanlage mit 5000 Volllaststunden – Berechnung und Darstellung: endura kommunal GmbH .....  | 55 |
| Abbildung 4-: Beispielhafter Strombezug je 1 MW Elektrolyseanlagen mit 2 MW <sub>p</sub> PV-Strom einer beispielhaften Anlage in Pocking und 2 MW Wind-Strom einer beispielhaften Vestas V164 nahe Hauzenberg – Quelle: endura kommunal GmbH ..... | 56 |
| Abbildung 4-: Wasserstoffgestehungskosten an der Zapfsäule einer beispielhaften Wasserstofftankstelle mit 45 % Investitionsförderung der Elektrolyse und 80 % Investitionsförderung der Tankstelle .....   | 57 |
| Abbildung 4-: Auswertung für das Stichwort "Wasserstoff" auf Basis der Studie „Die Wasserstoffwirtschaft in Deutschland: Folgen für Arbeitsmarkt und Bildungssystem“ des Bundesinstituts für Berufsbildung (bibb) von 2022 .....                   | 62 |
| Abbildung 5-1: Darstellung der Wasserstoff-Wertschöpfungskette von der Stromerzeugung bis zum Wasserstoffverbrauch .....   | 64 |
| Abbildung 5-2: Darstellung der Wasserstoff-Wertschöpfungskette - Fokus Bereitstellung und Produktion .....   | 67 |
| Abbildung 5-3: Elektrolysekennzahlen pro Tag bei einer Auslastung von 3.000–5.000 Volllaststunden .....  | 70 |
| Abbildung 5-4: Darstellung der Wasserstoff-Wertschöpfungskette - Fokus Tankinfrastruktur .....   | 72 |
| Abbildung 5-5 Verfahrensschemata einer Wasserstofftankstelle mit Wechseltrailer .....  | 73 |
| Abbildung 5-6 Verfahrensschemata einer Wasserstofftankstelle mit Niederdruckspeicher .....   | 73 |
| Abbildung 5-7: Leistungskennzahlen verschiedener Tankstellengrößen .....   | 74 |
| Abbildung 5-8 Möglicher Entwurf eines Mobility Hubs .....  | 76 |
| Abbildung 5-9: Methodik Prozess zur Bewertung des Elektrifizierungspotenzials .....  | 78 |
| Abbildung 5-10: Hochlaufszzenarien zur Elektromobilität .....  | 80 |
| Abbildung 5-11: Abgeleiteter Ladebedarf abhängig von den Hochlaufszzenarien der E-Mobilität .....  | 81 |
| Abbildung 5-12: Prognostizierter Ladebedarf mit empfohlenem Ausbaupfad des Standorts .....   | 81 |

Abbildung 5-13: Schematische Darstellung Kapitalwertmethode ..... 82

Abbildung 5-14: Maßnahmenplan des Landkreis Passau..... 87

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Potenziale und Bedenken der Akteure im Zusammenhang mit dem Einsatz von H<sub>2</sub>..... 10

Tabelle 2: Übersicht über die Potenziale erneuerbarer Stromproduktion im Landkreis mit Vorteilen und Hemmnissen..... 21

Tabelle 3: Vergleich der Wasserstoffstrategien in Deutschland, Bayern und Österreich..... 29

Tabelle 4: Unterschiedliche Use Cases in der Logistik..... 36

Tabelle 5: Übersicht über die Mindestanforderungen der Clean Vehicle Directive; Erklärung: \* Die Hälfte der beschafften Busse muss emissionsfrei sein, d.h. weniger als 1 g CO<sub>2</sub>/km ausstoßen, z.B. Elektro- bzw. Brennstoffzellenfahrzeuge. – Quelle: BMDV ..... 46

Tabelle 6: Motivatoren und Hemmnisse gemäß der im Rahmen der HyExpert-Studie durchgeführten Unternehmensumfrage..... 50

Tabelle 7: Übersicht über den Verbrauch und die CO<sub>2</sub>-Einsparungen unterschiedliche Fahrzeugtypen - \*Annahmen: 30 Liter Diesel/100 km (Sattelzug, sowie ÖPNV-Bus), 24 Liter Diesel/100 km (Mittelschwerer LKW), 10 Liter Diesel/100 km (Sprinter)..... 52

Tabelle 8: Annahmen zur Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten - Kapitalwertmethode..... 54

## ANHANG

### Ergebnisse der Akteursbefragung

**Zur besseren Einordnung Ihres Betriebs/Unternehmens bitten wir Sie kurz um einige statistische Angaben. Welcher Gruppe kann Ihre Organisation zugeordnet werden?**

|         |                                    | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|------------------------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | Privatwirtschaftliches Unternehmen | 13         | 81,3    | 86,7                | 86,7                   |
|         | Unternehmen der öffentlichen Hand  | 2          | 12,5    | 13,3                | 100,0                  |
|         | Gesamt                             | 15         | 93,8    | 100,0               |                        |
| Fehlend | 0                                  | 1          | 6,3     |                     |                        |
| Gesamt  |                                    | 16         | 100,0   |                     |                        |

**Wie groß ist Ihr Betrieb / Unternehmen? Hinweis: Bitte geben Sie die Größe anhand der Anzahl beschäftigter Personen an.**

|        |                        | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|--------|------------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig | 1 bis 10 Mitarbeiter   | 4          | 25,0    | 25,0                | 25,0                   |
|        | 11 bis 50 Mitarbeiter  | 3          | 18,8    | 18,8                | 43,8                   |
|        | 51 bis 250 Mitarbeiter | 8          | 50,0    | 50,0                | 93,8                   |
|        | über 250 Mitarbeiter   | 1          | 6,3     | 6,3                 | 100,0                  |
|        | Gesamt                 | 16         | 100,0   | 100,0               |                        |

**Produziert Ihr Unternehmen / Ihre Organisation bereits selbst erneuerbare Energien?**

|        |        | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|--------|--------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig | Ja.    | 10         | 62,5    | 62,5                | 62,5                   |
|        | Nein.  | 6          | 37,5    | 37,5                | 100,0                  |
|        | Gesamt | 16         | 100,0   | 100,0               |                        |

**Bitte geben Sie an, in welchem Umfang Sie zum heutigen Stand Ihren Energiebedarf aus erneuerbaren Quellen decken. Wir decken derzeit ...**

|        |   | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|--------|---|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig | ...50% - 79% aus erneuerbaren Energien. | 2          | 12,5    | 12,5                | 12,5                   |
|        | ...20% - 49% aus erneuerbaren Energien. | 3          | 18,8    | 18,8                | 31,3                   |
|        | ...unter 20% aus erneuerbaren Energien. | 11         | 68,8    | 68,8                | 100,0                  |
|        | Gesamt                                  | 16         | 100,0   | 100,0               |                        |

**Wir planen derzeit einen Ausbau an eigenproduzierten Erneuerbaren Energien.**

|        |        | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|--------|--------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig | Ja.    | 12         | 75,0    | 75,0                | 75,0                   |
|        | Nein.  | 4          | 25,0    | 25,0                | 100,0                  |
|        | Gesamt | 16         | 100,0   | 100,0               |                        |

**Produziert Ihr Unternehmen / Ihre Organisation bereits selbst erneuerbare Energien? \* Wir planen derzeit einen Ausbau an eigenproduzierten Erneuerbaren Energien. Kreuztabelle**

Anzahl

|   |       | Wir planen derzeit einen Ausbau an eigenproduzierten Erneuerbaren Energien. |       | Gesamt |
|---|-------|---|-------|--------|
|   |       | Ja.   | Nein. |        |
| Produziert Ihr Unternehmen / Ihre Organisation bereits selbst erneuerbare Energien? | Ja.   | 8   | 2     | 10     |
|   | Nein. | 4   | 2     | 6      |
| Gesamt  |       | 12  | 4     | 16     |

**Im Folgenden sind wir nun an Ihrer Einstellung bzw. an Ihren potenziellen (zukünftigen) Nutzungsabsichten von Wasserstoff(-technologien) interessiert. Ist die Nutzung Wasserstoff(-technologien) für Ih**

|  | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|--|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig Ja, wir haben bereits (erste) Erfahrungen im Bereich Wasserstoff gesammelt. | 4          | 25,0    | 25,0                | 25,0                   |
| Ja, dies ist zukünftig von Interesse.  | 10         | 62,5    | 62,5                | 87,5                   |
| Nein, dies ist zukünftig nicht von Interesse.                                      | 2          | 12,5    | 12,5                | 100,0                  |
| Gesamt   | 16         | 100,0   | 100,0               |                        |

### Deskriptive Statistiken

|                             | N  | Mittelwert |
|-----------------------------|----|------------|
| Technik                     | 16 | 2,56       |
| Wirtschaftlichkeit          | 16 | 2,63       |
| Regulatorik                 | 16 | 2,19       |
| Gültige Werte (listenweise) | 16 |            |