H_2ALL

Schlussbericht über das
Forschungsvorhaben

Die Ländliche Region als Treiber für die Umsetzung von Wasserstoffanwendungen durch innovative Ansätze in der Logistik

Institut LOGWERT

Hochschule Heilbronn

Fraunhofer IAO

Hochschule Heilbronn

Institut LOGWERT

Bildungscampus 9

74076 Heilbronn

www.hs-heilbronn.de/logwert

Verfasser*innen:

Prof. Dr. Jens Hujer
Leonie Lesemann
Sabrina Pletz

Fraunhofer IAO

Verfasser:

Felix Zimmermann
Timo Stöhr
Benedikt Wohlmuth

Das Vorhaben H_2ALL wird gefördert durch:

Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg

Heilbronn, 31.03.2023

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis II
Tabellenverzeichnis III
Abkürzungsverzeichnis IV
1 Einführung und Studienansatz 1
1.1 Management Summary 1
1.2 Ausgangssituation, Untersuchungsansatz und Notwendigkeit 2
1.3 Festlegung der Untersuchungsraumschaften 5
1.4 Methodik und Vorgehen 7
1.4.1 Auswahl der Interviewpartner*innen 7
1.4.2 Durchführung der Interviews 8
1.4.3 Durchführung des Expertenworkshops 9
1.4.4 Entwicklung der Zukunftsszenarien 9
2 Untersuchungsraumschaften 10
2.1 Hohenlohekreis 10
2.2 Bodenseekreis 13
2.3 Main-Tauber-Kreis 16
3 Zentrale Ergebnisse aus Desk Research, Interviews und Workshop 20
3.1 Good Practice-Ansätze 20
3.2 Interviews 21
3.3 Workshop 24
3.4 Implikationen für die Logistik 27
4 Mögliche H_2-Versorgungskonzepte für den ländlichen Raum 30
4.1 Transportwege für H_2 im ländlichen Raum 30
4.2 Grundlagen Versorgungskonzepte 34
5 Simulation der Konzepte 36
5.1 Vorbereitung 36
5.2 Beschreibung der Szenarien 37
5.3 Ergebnisse und Auswertung 46
6 Entwicklung von Umsetzungspfaden 50
6.1 Schlüsselfaktoren für die Entwicklung von Zukunftsszenarien 50
6.1.1 Raumstruktur 51
6.1.2 Sharing Economy 51
6.1.3 Technikakzeptanz 52
6.1.4 Gesetzliche Rahmenbedingungen 53

6.1.5 Umweltbelastungen 53
6.1.6 Fair Logistics 54
6.1.7 Infrastrukturmaßnahmen 55
6.1.8 Preisentwicklungen 55
6.1.9 Verfügbarkeiten von grünem Wasserstoff 57
6.1.10 Stand der Technik 57
6.2 Zukunftsszenarien 58
6.2.1 Szenario 1 (Zeitraum 2023-2028) 58
6.2.2 Szenario 2 (Zeitraum 2028-2033) 61
6.2.3 Szenario 3 (Zeitraum 2033-2043) 63
7 Fazit und Ausblick 66
8 Erfolgskontrollbericht 68
Quellenverzeichnis V
Anhang XIII
Anhang 1: Interviewleitfaden Produzent / Handling & Transport / Verbraucher XIII
Anhang 2: Interviewleitfaden Intermediäre XVIII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Arbeitsplan 5
Abbildung 2 Untersuchungsraumschaften 6
Abbildung 3 Hindernisse und Risiken für die Entstehung einer H_2-Wirtschaft im ländlichen Raum 22
Abbildung 4 Mögliche Verwendung von (grünem) H_2 im Unternehmen 23
Abbildung 5 Zusammenstellung der Simulationsszenarien 38
Abbildung 6 Übersicht Simulation Hohenlohekreis - Hub 40
Abbildung 7 Übersicht Simulation Hohenlohekreis - Dezentral 41
Abbildung 8 Übersicht Simulation Hohenlohekreis - Import 41
Abbildung 9 Übersicht Simulation Bodenseekreis - Hub 42
Abbildung 10 Übersicht Simulation Bodenseekreis - Dezentral 43
Abbildung 11 Übersicht Simulation Bodenseekreis - Import 43
Abbildung 12 Übersicht Simulation Main-Tauber-Kreis - Hub 45
Abbildung 13 Übersicht Simulation Main-Tauber-Kreis - Dezentral 45
Abbildung 14 Übersicht Simulation Main-Tauber-Kreis - Import 46
Abbildung 15 Übersicht über das Szenario für den Zeitraum 2023-2028 59
Abbildung 16 Übersicht über das Szenario im Zeitraum 2028-2033 62
Abbildung 17 Übersicht über das Szenario für den Zeitraum 2033-2043 64
Abbildung 18 Projektzeitplan 68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Rollenzuteilung der Interviewpartner*innen 8
Tabelle 2 Bewertung der Speicherarten von Wasserstoff 30
Tabelle 3 Überblick über Transportwege für H_2 32
Tabelle 4 Bewertung der Transportwege für den ländlichen Raum (Momentaufnahme) 32
Tabelle 5 Vor- und Nachteile der Versorgungssysteme 35
Tabelle 6 Symbolbedeutung in AnyLogistix 37
Tabelle 7 Akteure der Simulation im Hohenlohekreis 39
Tabelle 8 Akteure der Simulation im Bodenseekreis 42
Tabelle 9 Akteure der Simulation im Main-Tauber-Kreis 44
Tabelle 10 Energieverbräuche von CO_2-Emissionen unterschiedlicher Brennstoffe 47
Tabelle 11 Notwendige Speichergrößen der unterschiedlichen Versorgungsszenarien 48
Tabelle 12 Schlüsselfaktoren für eine Wasserstoffwirtschaft 50
Tabelle 13 Schlüsselfaktoren Szenario 1 59
Tabelle 14 Schlüsselfaktoren Szenario 2 61
Tabelle 15 Schlüsselfaktoren Szenario 3 63

Abkürzungsverzeichnis

BW	Baden-Württemberg
BY	Bayern
BZ	Brennstoffzelle
C	Kohlenstoff
CO_2	Kohlenstoffdioxid
ct/kWh	Cent pro Kilowattstunde
EW/km^2	Einwohner pro Quadratkilometer
Hub	Hauptumschlagbasis
H_2	Wasserstoff (molekular)
K	Kelvin
kg/d	Kilogramm pro Tag
kWh/d	Kilowattstunden pro Tag
kWh/l	Kilowattstunde pro Liter
Lkw	Lastkraftwagen
LOHC	Liquid organic hydrogen carriers (flüssige organische Wasserstoffträger)
N_2	Stickstoff
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PV	Photovoltaik
SAF	Sustainable Aviation Fuel
SEL	Süddeutsche Erdgasleitung
t/d	Tonne pro Tag
$\%_{gew}$	Gewichtsprozent
€/kg	Euro pro Kilogramm
€/kWh	Euro pro Kilowattstunde

1 Einführung und Studienansatz

1.1 Management Summary

Grüner Wasserstoff ist ein wichtiger Baustein für die Erreichung der nationalen und europäischen Klimaschutzziele. Eine Versorgung über Pipelines und H_2-Hubs soll in den kommenden 15 Jahren entstehen, hierbei werden jedoch zunächst vor allem stark besiedelte Wirtschaftsregionen fokussiert. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde anhand von drei Beispielregionen in Baden-Württemberg untersucht, wie ländliche Regionen die Umsetzung von Wasserstoffanwendungen im Bereich der Logistik vorantreiben können und wie der Markthochlauf und eine Versorgung dort umgesetzt werden könnten. Dabei wurden folgende zentralen Ergebnisse erarbeitet:

- Die **Einsatzmöglichkeiten von Wasserstoff in der Logistik** sind vielfältig und erstrecken sich von Antrieben für den Schwerlastverkehr, Wasser- und Schienenverkehr bis zu intralogistischen Verbrauchern, wie Flurförderzeuge. Möglichkeiten zur schnellen Betankung und die hohe gravimetrische Energiedichte sowie Möglichkeiten zur systemischen Kopplung von Sektoren bieten in vielen Anwendungsfällen Vorteile gegenüber anderen Technologien.
- **Der ländliche Raum bietet Potenzial**, den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft voranzutreiben. Eine lokale Erzeugung kann aufgrund der generell besseren Verfügbarkeit von Flächen für die Erzeugung und Speicherung einfacher erfolgen als in dicht besiedelten Gebieten. Wasserstoff bietet dort zudem als Energiespeicher die Möglichkeit, Energienetze zu entlasten.
- Dem Einsatz von Wasserstoff in der Logistik im ländlichen Raum stehen jedoch noch einige Hemmnisse im Weg. Akteure aus den untersuchten Regionen nannten im Rahmen von Experteninterviews insbesondere **politische/regulatorische Hemmnisse, Finanzierung, Infrastruktur, Akzeptanz** und den **Stand der Technik** als hinderliche Faktoren. Viele Logistiker fühlten sich unsicher, auf welche Technologie sie setzen sollen, zumal Brennstoffzellen-Lkw bisher nicht serienreif am Markt verfügbar sind. In den kommenden Jahren müssen regionale sowie überregionale Netzwerke aufgebaut werden, um gemeinsame (Versorgungs-)Strategien entwickeln zu können.
- Aus insgesamt 550 analysierten H_2-Projekten in Europa lassen sich für die Versorgung mit Wasserstoff unterschiedliche Ansätze ableiten: Das **Hub-Konzept** basiert auf einem zentralen Wasserstoffzentrum, von welchem ausgehend eine Verteilung zu den Abnehmern erfolgt. Beim **dezentralen Konzept** erfolgt die Verteilung an die Abnehmer über eine größere Anzahl an kleineren Wasserstoffverteilzentren. Beim **lokalen Konzept** erfolgt (beispielsweise ergänzend) eine Erzeugung in unmittelbarer Nähe der Verbraucher. Darüber hinaus ist auch ein direkter **Import** von einem Versorger außerhalb der Region zum Verbraucher ohne weitere Verteilung denkbar und kurzfristig umsetzbar.
- Der **Transport von Wasserstoff** muss zunächst in der Regel **mit Lkw** erfolgen, da alternative Infrastrukturen wie Pipelines, Schienen oder Wasserstraßen im ländlichen Raum in absehbarer Zeit nicht, bzw. nur eingeschränkt verfügbar sind. Bei der Wahl des geeigneten Transportwegs müssen die I**nvestitionsstärke der Akteure, Trans-**

portvolumina, der zeitliche Umsetzungshorizont, die Verfügbarkeit von Verkehrsinfrastruktur, Zukunftsaussichten und eine Umweltverträglichkeit basierend auf **CO_2-Emissionen** berücksichtigt werden.

- In allen drei untersuchten Regionen wird der Einsatz von Wasserstoff als relevant angesehen. Während eine vorwiegende lokale Erzeugung im **Hohenlohekreis** aufgrund der begrenzten Ausbaupotenziale für erneuerbare Energien als eher unwahrscheinlich angesehen wird, wird im **Main-Tauber-Kreis** eine lokale Produktion forciert. Ebenso steht hier der Ausbau von erneuerbaren Energien in Form von Wind- und Solarparks im Vordergrund. Im **Bodenseekreis** wird primär von einer Versorgung durch Import ausgegangen. Dennoch wird in allen Untersuchungsregionen die lokale Erzeugung sowie ein Aufbau von Wertschöpfungsketten als eine relevante Ergänzung zum Import gesehen. Eine Versorgung über ein dezentrales Konzept wird in den Regionen durch die Akteure vor Ort als geeigneter Ansatz präferiert.
- In den **2030er Jahren** ist damit zu rechnen, dass eine Wasserstoffwirtschaft im ländlichen Raum in weiten Zügen aufgebaut ist. Eine lokale Erzeugung ergänzt den Import von Wasserstoff über Pipelines, welche einen Import ermöglichen. Logistische Anwendungen werden flächendeckend ermöglicht.

1.2 Ausgangssituation, Untersuchungsansatz und Notwendigkeit

Grüner Wasserstoff (H_2) bietet großes Potenzial und ist ein entscheidender Baustein für das Erreichen der nationalen und europäischen Klimaschutzziele. Nicht nur die Bundesregierung steht hinter der nationalen Wasserstoffstrategie, auch für das Land Baden-Württemberg wurde im Jahr 2020 eine H_2-Roadmap vorgestellt. Als zentrale Herausforderung, mit Blick auf die angestrebte Dekarbonisierung von Sektoren wie Energie, Industrie und Verkehr, gilt die bisher geringe Verfügbarkeit von grünem H_2 sowie der Mangel von leistungsfähigen und zuverlässigen Transport- und Verteilstrukturen. Lösungsansätze hierfür sind unter anderem Pipelinenetze sowie H_2-Hubs, deren Aufbau derzeit geplant wird. Mit Hilfe dieser Ansätze kann Wasserstoff aus erzeugungsstarken Gebieten, sowohl aus dem Inland wie auch dem Ausland, in die großen Wirtschaftsregionen Deutschlands transportiert und verteilt werden.[1] Hierfür wird im europäischen Kontext der schrittweise Ausbau eines Backbone-Netzes forciert, darüber hinaus befindet sich die Süddeutsche Erdgasleitung (SEL) in Bau.[2] Dabei ist jedoch vor allem der Umsetzungshorizont, der mit mindestens 15 Jahren angegeben wird, als problematisch einzustufen.[3] Dies stellt vor allem vor dem Hintergrund der nationalen Klimaziele eine große Herausforderung dar, da bis zum Jahr 2030 bereits eine Minderung der nationalen Treibhausgasemissionen um 65 % gegenüber dem Jahr 1990 angestrebt wird. Bis zum Jahr 2040 sollen die Emissionen um mindestens 88 % sinken und das Ziel der Treibhausgasneutralität in Deutschland bis zum Jahr 2045 erreicht sein.[4] Aufgrund dessen werden dezentrale Lösungen bis zu diesem Zeitpunkt zwingend notwendig sein. Ein anderes Problem stellt der ländliche Raum dar. Dieser wird oftmals trotz zahlreicher wirtschaftsstarker Unternehmen in den entwickelten Konzepten außer Acht gelassen. Ein direkter Anschluss an die H_2-Infrastruktur für Unternehmen und unter anderem auch logistische Verteilzentren werden zunächst kaum zu realisieren sein.

[1] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020), S. 7; vgl. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, S. 15f.
[2] Vgl. terranets bw GmbH (2023a), online; vgl. Umweltbundesamt (2023), S. 72
[3] Vgl. Umweltbundesamt (2023), S. 73
[4] Vgl. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (2023), online

Bereits im Jahr 2019 konnte die Studie “Innovationen für die Zukunft logistischer Transportdienstleistungen in ländlich geprägten Räumen in Baden-Württemberg” durchgeführt werden. Hierbei wurden Zukunftsszenarien für Logistikinnovationen im ländlichen Raum erarbeitet. Die Studie konnte aufzeigen, dass bei Unternehmen der Logistikbranche grundsätzlich die Bereitschaft vorhanden ist, Wasserstoffanwendungen zu nutzen. Somit könnten auch im ländlichen Raum in Baden-Württemberg Erfolge bei der Dekarbonisierung der Wirtschaft erzielt werden. Der ländliche Raum hat spezielle Anforderungen an die Logistik, was andere Konzepte als im städtischen Umfeld erforderlich macht. Verglichen mit dem städtischen Umfeld unterscheiden sich die Fahrtenprofile mitunter stark. Neben längeren Strecken und Landstraßen sowie der Topografie mit Wäldern und Naturschutzgebieten, Bergen und Hügeln ist oftmals keine direkte Anbindung an die Schiene oder Wasserstraßen gegeben. Der Transport von Gütern via Straße spielt für die Gewährleistung der Versorgungssicherheit im ländlichen Raum somit eine zentrale Rolle, da es sich hier in vielen Regionen um den einzig verfügbaren Transportweg handelt. Daneben ist die Infrastruktur zum Tanken bzw. Laden im ländlichen Raum weniger gut ausgebaut. Hier könnten die Vorteile von Schwerlastfahrzeugen mit H_2-Antrieb zum Tragen kommen, da diese Fahrzeuge eine höhere Reichweite und kürzere Betankungszeiten als batterieelektrische Antriebe aufweisen.

Eine Umsetzung von “grüner” Logistik durch Wasserstoffanwendungen kann nur gelingen, wenn zuverlässige und resiliente Infrastrukturen entwickelt werden, welche die gesamte Wertschöpfungskette von Wasserstoff berücksichtigen und als Ergänzung der zentralen Versorgungssysteme eine dezentrale Versorgung mit grünem Wasserstoff ermöglichen. Zudem müssen Wasserstoffanwendungen in der Logistik im Rahmen von innovativen Ansätzen neu gedacht werden, damit eine mehrwertstiftende Umsetzung ermöglicht werden kann. Deshalb soll im Rahmen der vorliegenden Studie untersucht werden, ob und unter welchen Umständen ländliche Regionen die Umsetzung von Wasserstoffanwendungen im Bereich der Logistik vorantreiben können.

Anhand von drei Untersuchungsraumschaften in ländlichen Räumen werden gemeinsam mit Akteuren vor Ort in einem partizipativen Ansatz die Potenziale, geeignete Ansätze zur H_2-Nutzung und Versorgung sowie mögliche Zukunftsbilder für eine Wasserstoffwirtschaft aufgezeigt. Als Kernergebnis sollen ein dezentrales Versorgungskonzept für Wasserstoff entwickelt und wesentliche Maßnahmen zur Umsetzung anhand einer Roadmap zur Skalierung konkretisiert werden.

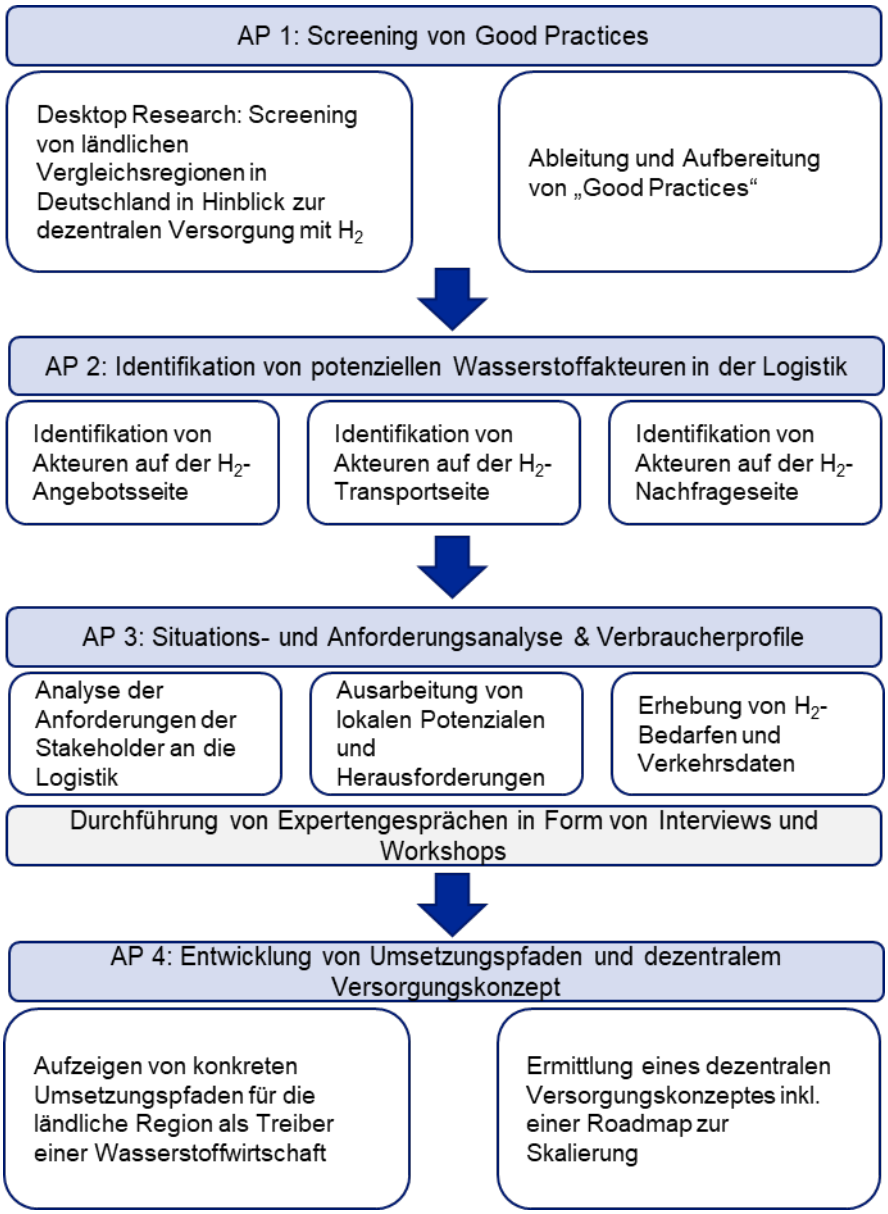
Die folgenden zentralen Forschungsfragen werden im Rahmen der Studie betrachtet:

- Welche Ansätze zur dezentralen Versorgung mit Wasserstoff werden auf Bundesebene bereits geplant und/oder umgesetzt und unter welchen Bedingungen können diese auf die Untersuchungsraumschaften übertragen werden?
- Welche Versorgungskonzepte werden für die dezentrale Versorgung mit Wasserstoff im ländlichen Raum im Rahmen von ersten (Pilot-)Projekten konzipiert, getestet oder befinden sich bereits in der Umsetzung und welche Erkenntnisse lassen sich hieraus ableiten?
- Welche potenziellen Akteure/Stakeholder einer Wasserstoffwirtschaft im Bereich Logistik sowie in weiteren damit zusammenhängenden Bereichen können in den unterschiedlichen Untersuchungsraumschaften identifiziert werden?

- Welche Anforderungen, Bedarfe und Verbraucherprofile haben die potenziellen Stakeholder/Akteure?
- Welche speziellen Herausforderungen gibt es für den Bereich Logistik im ländlichen Raum kombiniert mit Wasserstoff als Energieträger?
- Für welche speziellen logistischen Anwendungsfälle (basierend auf Strecken-/Verkehrsprofilen, Distanzen etc.) sind Wasserstoffantriebe besonders geeignet und welche (innovativen) Ansätze sind hier denkbar?
- Welche der identifizierten Anwendungsfälle sind lokalspezifisch, welche können auf andere ländliche Regionen übertragen werden?
- Welche weiteren Ansätze und Anwendungsfälle (z. B. über Sektorkopplung) sind in Kombination mit den identifizierten logistischen Anwendungsfällen besonders geeignet?
- Welche zentrale/dezentrale Infrastruktur muss gegeben sein, dass sich Wasserstoff als alternativer Energieträger etabliert?
- Wie muss beim Aufbau und der Skalierung einer Versorgungsinfrastruktur und bei H2-Anwendungsfällen in der Logistik im ländlichen Raum vorgegangen werden?

Die Studie sieht folgenden Arbeitsplan vor:

Abbildung 1 Arbeitsplan



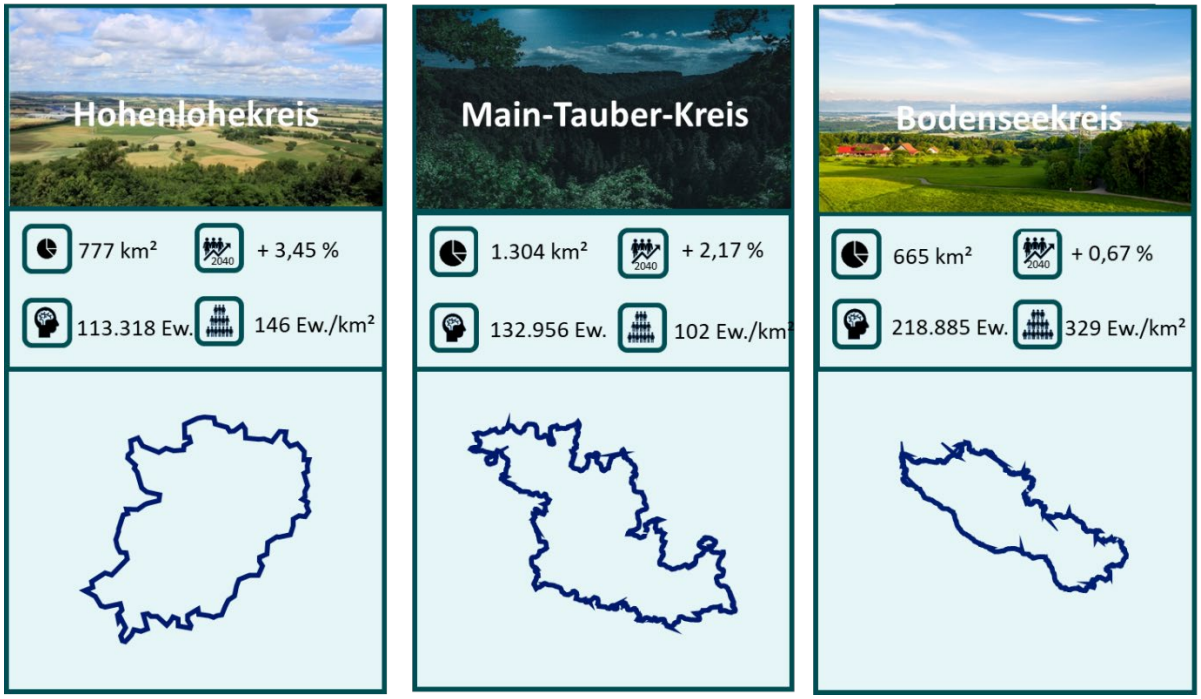
Quelle: eigene Darstellung

1.3 Festlegung der Untersuchungsraumschaften

Für die Betrachtung des ländlichen Raums wurde auf das Vorgehen der Studie „Innovationen für die Zukunft logistischer Transportdienstleistungen in ländlich geprägten Räumen in Baden-Württemberg“ (LILA) zurückgegriffen. Da der ländliche Raum spezielle Anforderungen an die Logistik aufweist, sind andere Konzepte notwendig als im städtischen Umfeld. Längere Strecken und Landstraßen, sowie die Umgebungsgegebenheiten, meist gekennzeichnet durch Wälder und Naturschutzgebiete, benötigen andere Fahrtenprofile als im städtischen Raum. Direkte Anbindungen an die Schiene oder Wasserstraßen besteht oftmals nicht. Deshalb wurden für die nähere Betrachtung innerhalb der Untersuchung in Abstimmung mit dem Zuwendungsgeber drei Untersuchungsraumschaften ausgewählt. Diese stehen jeweils für ländliche

Raumschaften, die typische strukturelle Merkmale des ländlichen Raums in Baden-Württemberg aufweisen. Zudem wurde versucht, mit der Auswahl die Vielfalt der Regionen Baden-Württembergs möglichst gut abzubilden.

Abbildung 2 Untersuchungsraumschaften



Quelle: eigene Darstellung

Der **Main-Tauber-Kreis** ist Teil der Region Heilbronn-Franken, gehört zur Metropolregion Stuttgart und grenzt mit Nürnberg, Rhein-Main und Rhein-Neckar an drei weitere Metropolregionen. Zudem grenzt der Landkreis nördlich an die A3, die A81 führt zwischen Heilbronn und Würzburg direkt durch den Kreis hindurch. Hier sitzen innovative, mittelständische Unternehmen und viele Unternehmen im Handwerksbereich. Der Binnen- bzw. Mainhafen Wertheim ist an das europäische Wasserstraßennetz angeschlossen. Im Main-Tauber-Kreis sind mehrere kleine und mittelständische Speditionen anzutreffen. Der **Bodenseekreis** liegt im Süden Baden-Württembergs. Das Gebiet ist besonders durch eine intensive landwirtschaftliche Nutzung geprägt. Eine direkte Anbindung der Region an das Autobahnnetz ist nicht vorhanden. Dennoch haben sich verschiedene größere Unternehmen angesiedelt, die als Versender und Empfänger von Waren jeweils spezifischen logistischen Bedarf haben, dies gilt vor allem für das Oberzentrum Friedrichshafen. Das Gebiet des **Hohenlohekreises** liegt in der Region Heilbronn-Franken und ist im Westen durch die A81 sowie im Süden durch die A6 abgegrenzt und erstreckt sich bis zur bayerischen Landesgrenze. Neben großen Mittelständlern mit erheblichem Logistikbedarf, finden sich auch zahlreiche Kleinverlader und -empfänger. In Hohenlohe haben sich u. a. aufgrund der dort angesiedelten Unternehmen auch mehrere Logistikdienstleister und Transportunternehmen von erheblicher Größe im ländlichen Raum angesiedelt, Beispiele hierfür sind Krautheim und Künzelsau.

1.4 Methodik und Vorgehen

1.4.1 Auswahl der Interviewpartner*innen

Untersuchungsraumschaften

Zur Auswahl der Interviewpartner*innen aus den Untersuchungsraumschaften wurden potenzielle Wasserstoff-Akteure mithilfe einer umfassenden Desk-Research auf Basis von Kartenmaterial, Informationen zu laufenden H_2-Projekten und Informationen von Wirtschaftsverbänden und -vereinigungen identifiziert. Darüber hinaus wurden geeignet erscheinende, aus den Untersuchungsraumschaften „Hohenlohe“ sowie „Bodenseekreis“ stammende Akteure aufgenommen, die bereits im Rahmen der Vorstudie „Innovationen für die Zukunft logistischer Transportdienstleistungen in ländlich geprägten Räumen in Baden-Württemberg“ beteiligt waren. Erhoben wurden potenzielle H_2-Hersteller und Hersteller von regenerativ erzeugtem Strom, möglichen Wasserstoffhändler bzw. -Importeure, Transporteure von Wasserstoff, Logistikdienstleister und Industrieunternehmen sowie Intermediäre wie Wirtschaftsförderungen sowie Forschungseinrichtungen. Somit fand die gesamte Supply Chain von Wasserstoff, vom Angebot über den Transport bis zur Nachfrage Berücksichtigung, um ein möglichst repräsentatives Bild einer potenziellen Wasserstoffwirtschaft im ländlichen Raum zu erhalten und die jeweiligen Anforderungen der Stakeholder zu analysieren. Insgesamt wurden für den Main-Tauber-Kreis 42, für den Hohenlohekreis 66 und für den Bodenseekreis 97 potenziell relevante Akteure identifiziert, die in einer Tabelle kategorisiert und dokumentiert wurden.

Die Bewertung und Auswahl der geeigneten Akteure für die Interviews fanden auf qualitativer Basis statt. Schwerpunktmäßig wurden die Kriterien Größe der Unternehmen, bisherige Erfahrungen mit H_2, Verwendungsmöglichkeiten von H_2 sowie die Kundenstruktur der Unternehmen berücksichtigt. Ebenfalls flossen der Standort der Akteure und bereits vorhandene Erfahrungen mit Gefahrgut in die Bewertung ein. Bei der Auswahl wurde außerdem auf die Abbildbarkeit der gesamten H_2-Wertschöpfungskette geachtet. In Anbetracht der nicht abschätzbaren Rücklaufquote bzw. Bereitschaft pro Raumschaft wurden zwischen 13 und 21 Akteure mit hohem Potenzial für eine potenzielle H_2-Wirtschaft für eine Anfrage ausgewählt. Diese wurden ebenfalls mit dem Fördergeber abgestimmt und auf Vollständigkeit geprüft. Im Rahmen der Kontaktaufnahme konnten 20 Unternehmen als Teilnehmer für die Interviews gewonnen werden.

Good Practices

Um die Erkenntnisse der mit Akteuren aus den Untersuchungsraumschaften durchgeführten Interviews zu ergänzen, fand ebenfalls ein Screening von „Good Practice“-Akteuren statt. Für die qualitative Bewertung und Auswahl der potenziellen Interviewpartner*innen wurden schwerpunktmäßig ein regionaler Projektbezug bzw. Anwendbarkeit der Konzepte, gesammelte (Projekt-) Erfahrungen in Bezug auf H_2 sowie der aktuelle Projektstatus als relevante Kriterien berücksichtigt. Auch hier wurde auf eine Abbildbarkeit der gesamten H_2-Wertschöpfungskette geachtet. Unter geringerem Ausmaß flossen ebenfalls der Standort der Akteure sowie die Unternehmensgröße und -Reichweite in die Auswahl ein. Insgesamt wurden zwölf Akteure für eine Anfrage ausgewählt. Im Rahmen der Kontaktaufnahme konnten vier Akteure für die Interviews gewonnen werden.

1.4.2 Durchführung der Interviews

Anhand von leitfadengestützten Interviews wurden insgesamt 24 Interviewpartner*innen von Unternehmen und Institutionen aus unterschiedlichen Branchen befragt, welche, mit Ausnahme der Good Practices sowie einiger Intermediäre, alle in den drei betrachteten Untersuchungsraumschafen ansässig sind. Die Akteure können unter anderem den Branchen Maschinenbau, Ventil-, Mess- und Regelsysteme, Antriebs- und Energielösungen, Gasversorgung, Energieversorgung sowie Spedition und Lager- und Logistikservice zugeordnet werden. Durch diese Heterogenität konnte ein umfassendes Meinungsbild zu einer möglichen H_2-Wirtschaft im ländlichen Raum entstehen. Der standardisierte Leitfaden für die Interviews wurde auf Basis von Erfahrungen aus vorherigen Projekten sowie ergänzenden Literaturrecherchen erstellt. Dabei wurden neben den unterschiedlichen Rollen der Akteure innerhalb einer Wasserstoffwirtschaft auch regionalspezifische Faktoren berücksichtigt. Insgesamt wurden drei unterschiedliche Versionen mit angepassten Fragen für die jeweiligen Rollen der Interviewpartner*innen ausgearbeitet: Akteure innerhalb der H_2-Wertschöpfungskette mit spezifischen Fragen für potenzielle Produzenten, Handling- und Transportunternehmen, Verbraucher (Industrie) sowie Verbraucher (Logistik); Intermediäre und Forschungseinrichtungen sowie Good Practices. Die Leitfäden sind im Anhang unter 1 und 2 einsehbar. Die Zuordnung der Akteure in die passende Gruppe fand teilweise vor und teils während der Gespräche statt. Die nachfolgende Tabelle (Tabelle 1) zeigt die finale Rollenzuteilung der Interviewpartner*innen.

Tabelle 1 Rollenzuteilung der Interviewpartner*innen

Rolle in der H_2-Wirtschaft	Anzahl der dazugehörigen Akteure
Produzent	3
Handling & Transport	3
Verbraucher (Industrie)	4
Verbraucher (Logistik)	4
Intermediär / Forschung	6
Good Practice	4

Quelle: eigene Darstellung

Ein besonderer Fokus in den Interviews lag auf den spezifischen Anforderungen der Stakeholder und insbesondere der der ländlichen Logistik, den besonderen lokalen Potenzialen und Herausforderungen in den drei Untersuchungsräumen und den rollenspezifischen Sichtweisen der Akteure. Mithilfe bereits bestehender Konzepte zur H_2-Versorgung und Nutzung, die innerhalb der Good Practice-Interviews vertieft wurden, konnte der aktuelle Stand der Forschung und Entwicklung bei der Projektdurchführung berücksichtigt werden. Darüber hinaus wurden Erfahrungswerte gesammelt und Vernetzungspotenziale aufgedeckt. Außerdem konnten die innerhalb der Good Practices erhobenen Beispiele von erfolgreichen H_2-Pilotierungsansätzen für die Entwicklung der Umsetzungspfade innerhalb der Studie herangezogen werden.

Die im Schnitt 60-minütigen Interviews fanden aufgrund der unsicheren Bedingungen durch die COVID-19-Pandemie sowie zur Sicherstellung einer möglichst effizienten und ressourcenschonenden Durchführung in einem virtuellen Format mithilfe von MS-Teams statt. Neben den befragten Personen waren die befragende Person sowie eine weitere, für die Transkription zuständige Person, anwesend.

1.4.3 Durchführung des Expertenworkshops

Zur Diskussion und Validierung der Interviewergebnisse sowie lokalspezifischer Anforderungen und Profile des ländlichen Raums Baden-Württemberg am Beispiel der Untersuchungsraumschaften fand am 06.10.2022 ein vierstündiger, virtueller Expertenworkshop mittels „WebEx“ statt. Für den interaktiven Meinungsaustausch wurde das virtuelle Whiteboard „Conceptboard“ gewählt.[5]

Neben der Identifizierung von regionsübergreifenden Unterschieden und Gemeinsamkeiten der H_2-Wertschöpfungskette im ländlichen Raum sollte das Format den Teilnehmer*innen Gelegenheit zur Vernetzung zum Thema Wasserstoff bieten. Der Workshop hatte die Erarbeitung von Visionen und Möglichkeiten für eine Wasserstoffwirtschaft im ländlichen Raum am Beispiel der Untersuchungsraumschaften zum Ziel. Daneben sollten Erkenntnisse für Umsetzungspfade und mögliche Versorgungskonzepte gewonnen werden. Darüber hinaus sollte die überregionale und regionale Transparenz und Zusammenarbeit durch den gemeinsamen Austausch gefördert werden. Bei der Veranstaltung waren insgesamt acht Akteure aus allen drei Untersuchungsraumschaften sowie aus den Good Practices vertreten:

- 2 Teilnehmer*innen aus der Politik
- 3 Teilnehmer*innen aus Versorgungsunternehmen
- 2 Teilnehmer*innen aus Industrieunternehmen
- 1 Teilnehmer*in aus Verkehrsunternehmen

Neben Präsentationen der Interviewergebnisse in anonymisierter Form sowie zwei Impulsvorträgen von Akteuren, mit denen zuvor im Rahmen der Good Practice-Gespräche stattgefunden hatten, wurden acht verschiedene, aus den Interviewergebnissen abgeleitete Thesen unter Verwendung von Conceptboard gemeinsam betrachtet und diskutiert. Die Thesen waren zuvor innerhalb eines internen Workshops gebildet worden. Unterteilt wurde die Veranstaltung in zwei Blöcke. Während der Fokus im ersten Block die Potenziale von Wasserstoff fokussierte, wurde im zweiten Block die regionale H_2-Wertschöpfung diskutiert.

1.4.4 Entwicklung der Zukunftsszenarien

Die Ergebnisse aus Recherchen, den Interviews, dem Workshop sowie die Analyse vorhergehender Studien wurden in Form von Umsetzungspfaden zusammengeführt. Hierbei wurden Möglichkeiten für eine Wasserstoffwirtschaft im ländlichen Raum sowie mögliche Entwicklungen in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussfaktoren aufgezeigt und Umsetzungen abgeleitet. Als Grundlage wurden deshalb Schlüsselfaktoren und Prämissen aus vorangegangenen Studien analysiert und für die vorliegende Studie neu definiert. Diese Faktoren beschreiben somit Annahmen über geltende Rahmenbedingungen für die jeweils definierten Zeiträume.

Die Umsetzungspfade wurden in drei zeitliche Dimensionen unterteilt:

- Phase 1 = kurzfristig, in den nächsten 5 Jahren (2023-2028)
- Phase 2 = mittelfristig, in 5 bis 10 Jahren (2028-2033)
- Phase 3 = langfristig, in 10 bis 20 Jahren (2033-2043)

Die Umsetzungspfade wurden innerhalb interner Workshops vom Projektteam entwickelt.

[5] Vgl. Conceptboard Cloud Service GmbH (2023), online

2 Untersuchungsraumschaften

2.1 Hohenlohekreis

Geografische Lage

Der im Nordosten Baden-Württembergs gelegene Hohenlohekreis ist Teil der Region Heilbronn-Franken und erstreckt sich von den Ausläufern des Schwäbisch-Fränkischen Waldes über die Jagst hinein ins Bauland. Im Norden der Region schließt der Main-Tauber-Kreis an und im Osten und Süden der Landkreis Schwäbisch Hall. Westlich liegt der Landkreis Heilbronn, im Nordwesten der Neckar-Odenwald-Kreis.[6] Der Hohenlohekreis weist eine Gesamtfläche von 77.676 Hektar auf.[7] Insgesamt umfasst die Raumschaft 16 Gemeinden mit den Mittelzentren Öhringen (große Kreisstadt) und Künzelsau.[8]

Bevölkerung

Im Hohenlohkreis lebten im Jahr 2021 113.318 Menschen.[9] Gemessen an der Einwohnerzahl gilt die Region als kleinster Landkreis in Baden-Württemberg.[10] Die Bevölkerungsdichte beträgt 146 Einwohner / km^2 und ist damit deutlich dünner besiedelt als das Land Baden-Württemberg mit 312 Einwohnern / km^2.[11] Hierbei lassen sich jedoch innerhalb des Kreises deutliche Unterschiede feststellen. Die höchsten Bevölkerungsdichten weist der Südwesten mit Öhringen und den Gemeinden Bretzfeld und Pfedelbach auf, von denen aus sowohl das Oberzentrum Heilbronn als auch die Bundesautobahn A6 und die S-Bahnlinie Öhringen-Heilbronn gut erreichbar sind. Ein weiteres dichter besiedeltes Gebiet ist Künzelsau als Wirtschaftsstandort sowie die im Westen angrenzenden Gemeinden im Kochertal und dem südlich gelegenen Kupferzell mit direktem Anschluss an die B19. Der Norden des Hohenlohekreises, insbesondere das Jagsttal, ist hingegen dünner besiedelt.[12] Hervorzuheben sind hierbei nochmals das Mittelzentrum Öhringen, das mit 25.049 Einwohnern im gesamten Kreis sowohl die höchste Einwohnerzahl als auch die größte Einwohnerdichte mit 370 Einwohnern / km^2 aufweist. Die nördlich von Öhringen gelegene Gemeinde Zweiflingen hat mit 1.735 die wenigsten Einwohner. Die im Nordosten der Raumschaft gelegene Gemeinde Mulfingen ist mit 46 Einwohnern / km^2 am dünnsten besiedelt.[13]

Für die Zeit bis 2040 wird im Rahmen der Bevölkerungsvorausrechung des Landes Baden-Württemberg für den Hohenlohekreis ein Bevölkerungswachstum von 3,5 % prognostiziert, die Region liegt damit über dem berechneten Landesdurchschnitt mit 2,7 %.[14] Innerhalb des Hohenlohekreises werden bis 2040 keine Bevölkerungsrückgänge prognostiziert, jedoch weisen acht Gemeinden ein relativ starkes Wachstum von über 4 % auf. Diese umfassen die Gemeinden Pfedelbach und Waldenburg mit einem Zuwachs von jeweils 4 %, Weißbach mit einem

[6] Vgl. Landratsamt Hohenlohekreis (2023a), online
[7] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023a), online
[8] Vgl. Malburg-Graf, M. / Voith, D. (2018a), S. 4f.
[9] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023a), online
[10] Vgl. Malburg-Graf, M. / Voith, D. (2018a), S. 4
[11] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023a), online
[12] Vgl. Malburg-Graf, M. / Voith, D. (2018b), S. 12-13
[13] Statistisches Landesamt BW
[14] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023a), online; vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023b), online; vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023c), online; vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023d), online

Wachstum von 4,2 %, Bretzfeld mit einem Zuwachs von 4,4 %, Neuenstein (Zuwachs 4,5 %), Dörzbach (Zuwachs 4,6 %) und Mulfingen (Zuwachs 4,8 %). Für Zweiflingen, welches Stand 2021 die geringste Einwohnerzahl aufweist, wird mit einem Zuwachs von 8,7 % das größte Wachstum prognostiziert.[15]

Verkehr

Der Landkreis ist gut an das überregionale Verkehrsnetz angebunden. Er liegt im Zentrum der Autobahnen A6 Heilbronn-Nürnberg, der A81 Heilbronn-Würzburg sowie der A7 Würzburg-Ulm. Darüber hinaus wird durch die Bundesstraße B19 und die Eisenbahnlinie Heilbronn-Nürnberg der Austausch von Gütern mit den im Umkreis gelegenen Wirtschaftszentren Heilbronn, Mannheim, Stuttgart, Würzburg und Nürnberg begünstigt.[16]

Straßenverkehr

Durch die Raumschaft selbst verlaufen die Autobahn A6 sowie die Bundesstraße B19 als überregional angebundene Verkehrswege. Die A6 verläuft dabei als zentrale Verkehrsachse als Ost-West-Verbindung im Süden des Hohenlohekreises, die B19 fungiert als Nord-Süd-Verbindung.[17] Neben den beiden Verkehrswegen innerhalb der Raumschaft gibt es in Nord-Süd-Richtung ebenfalls eine Anschlussmöglichkeit an die westlich der Raumschaft verlaufende A81. Die östlichen Teilgebiete des Hohenlohekreises haben ebenfalls Anschluss an die A7, die jedoch nicht unmittelbar an die Region angrenzt. Während die Mittelzentren Künzelsau und Öhringen sowie Bad Mergentheim den nächstgelegenen Autobahnanschluss in maximal 20 Minuten erreichen, muss insbesondere bei Gemeinden im Kocher- und Jagsttal (u.a. Mulfingen) mit Anfahrtswegen von mehr als 30 Minuten gerechnet werden.[18]

Auch wenn der Hohenlohekreis ein sehr dichtes Straßennetz und einen überdurchschnittlichen Verkehrsflächenanteil aufweist, verzeichnen sowohl die A6 als auch die B19 auch ein überdurchschnittlich hohes Verkehrsaufkommen. Zurückzuführen ist dies unter anderem auf die Siedlungsstruktur. Das ÖPNV-Angebot richtet sich stark nach den Zentren Öhringen und Künzelsau aus, während die Verfügbarkeit des Öffentlichen Nahverkehrs für weiter entfernte Ortschaften als unzureichend eingestuft wird. Daneben spielen die Attraktivität des Hohenlohekreises als Wirtschafts- und Arbeitsstandort, die unterschiedliche Erreichbarkeit von Infrastruktur sowie Auspendlerströme eine Rolle. Einen großen Einfluss auf das hohe Verkehrsaufkommen auf den überregionalen Verkehrswegen A6 und B19 hat ebenfalls der den Landkreis passierende Pkw- und Schwerlastverkehr.[19] Für die B19 wurde im Jahr 2021 an der Dauerzählstelle Künzelsau eine Verkehrsbelastung mit 16.865 Fahrzeugen am Tag gemessen mit einem Schwerlastverkehrsanteil von 6,7 % werktags.[20] Auf der A6 wurde an der im Westen der Raumschaft gelegenen Dauerzählstelle Schwabbach im Jahr 2021 67.762 Fahrzeuge pro Tag gemessen mit einem Schwerlastverkehrsanteil von 32 % an Werktagen. Die östlich außerhalb der Raumschaft gelegene Dauerzählstelle Reussenberg verzeichnete 2021 57.721 Fahrzeuge am Tag mit einem Schwerlastverkehrsanteil (werktags) von 39,7 %.[21] Insgesamt nahm der

[15] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023e), online
[16] Vgl. Landratsamt Hohenlohekreis (2023b), online
[17] Vgl. Malburg-Graf, M. / Voith, D. (2018b), S. 13
[18] Vgl. Malburg-Graf, M. / Voith, D. (2018a), S. 80
[19] Vgl. Malburg-Graf, M. / Voith, D. (2018b), S. 13
[20] Vgl. Regierungspräsidium Tübingen (2022), S. 8
[21] Vgl. Regierungspräsidium Tübingen (2022), S. 6

Schwerlastverkehr auf der A6 im Jahr 2021 um 5,6 % zu, die Autobahn hatte damit im Jahresschnitt das höchste Schwerlastverkehrsaufkommen in Baden-Württemberg.[22] Aufgrund der hohen und stark zunehmenden Verkehrsbelastung auf der A6 wird die Erweiterung auf sechs Fahrstreifen zwischen dem Autobahnkreuz Weinsberg und der bayerischen Landesgrenze realisiert und wird im Bundesverkehrswegeplan im vordringlichen Bedarf mit Engpassbeseitigung aufgeführt.[23] Westlich des Abschnittes ist die A6 bereits ausgebaut.[24]

Schienenverkehr

Innerhalb des Hohenlohekreises weist der Süden gegenüber der nördlichen Region eine bessere Schienenanbindung auf.[25] Die Hohenlohebahn verbindet Öhringen über Waldenburg und Schwäbisch Hall mit Crailsheim. Anschlussmöglichkeiten gibt es in Schwäbisch Hall-Hessental an die Murrbahn, in Crailsheim an die Jagstbahn, die Tauberbahn und die Strecke nach Nürnberg. Die Heilbronner Stadtbahn fährt seit 2005 ebenfalls auf der Strecke der Hohenlohebahn. Mit dieser ist es möglich, von Öhringen über Heilbronn sowohl den Schwarzwald als auch die französische Grenze zu erreichen. Ein regelmäßiger Busverkehr im Rahmen des integralen Taktfahrplanes des Nahverkehrs Hohenlohekreis, u.a. zu den Bahnhöfen in Bad Mergentheim und Schwäbisch Hall-Hessental, bietet weitere Möglichkeiten zur ÖPNV-Nutzung für Bahn-Fernreisende. Innerhalb des Landkreises wird vornehmlich das dichte Netz aus Landes- und Kreisstraßen genutzt.[26]

Industrie und Gewerbe

Der Hohenlohekreis zeichnet sich durch eine, an der Einwohnerzahl gemessene, vergleichsweise hohe Dichte an Weltmarktführern in Deutschland aus und nimmt hier eine der führenden Positionen unter den Stadt- und Landkreisen in Baden-Württemberg ein. Hierdurch stellt die Raumschaft einen erfolgreichen Wirtschaftsstandort dar. Insbesondere entlang der A6 sowie der A81 haben sich Clusterstrukturen weltweit operierender Unternehmen gebildet. Schwerpunkte stellen hierbei die Branchen elektrotechnische Industrie, metallverarbeitendes Gewerbe (insbesondere im Fahrzeug- und Maschinenbau), Mess-, Steuer und Regeltechnik, chemische Industrie, Kunststofftechnik sowie das Textilsegment dar.[27] Dies hat ebenfalls Auswirkungen auf die überproportional hohen Beschäftigtenzahlen im produzierenden Gewerbe in diesem Landkreis. Während der Landesdurchschnitt in Baden-Württemberg etwa 35 % beträgt, sind im Hohenlohekreis rund 47 % der Erwerbstätigen in diesem Bereich tätig.[28] Dabei sind die Gemeinden Öhringen, Künzelsau, Ingelfingen, Waldenburg und Mulfingen die Standorte mit den meisten Beschäftigten am Arbeitsort.[29]

Ein ebenfalls großer Anteil der Beschäftigten im Hohenlohekreis ist in den Bereichen Handel, Verkehr und Gastgewerbe tätig (29,6 %). Auch dieser liegt über dem Landesdurchschnitt von

[22] Vgl. Regierungspräsidium Tübingen (2022), S. 3; S. 6
[23] Vgl. Die Autobahn GmbH des Bundes (2023), online
[24] Vgl. Heilbronner Stimme GmbH & Co. KG (2022), online
[25] Vgl. Malburg-Graf, M. / Voith, D. (2018a), S. 80
[26] Vgl. Landratsamt Hohenlohekreis (2023b), online
[27] Vgl. Landratsamt Hohenlohekreis (2023c), online
[28] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023f), online; vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023g), online
[29] Vgl. Malburg-Graf, M. / Voith, D. (2018a), S. 28

19,9 %.[30] Arbeitgeber sind dabei bekannte Handelsunternehmen, u.a. in der Montage- und Befestigungstechnik, eine Vielzahl an Handwerksbetrieben sowie Dienstleistungsunternehmen. Besonders geprägt ist die Wirtschaftsstruktur des Hohenlohekreises durch mittelständische Unternehmensstrukturen.[31]

Eine weitere wichtige Rolle spielt für den Hohenlohekreis die Land- und Forstwirtschaft. Die Waldfläche fällt hierbei eher gering aus, weshalb der Hohenlohekreis zu den Landkreisen mit dem geringsten relativen Waldanteil in Baden-Württemberg zählt. Grund hierfür ist u.a. die günstige Voraussetzung der Region für eine landwirtschaftliche Flächennutzung, bedingt durch hochwertige Böden und gute klimatische Verhältnisse, welche eine ideale Grundlage zum Betreiben von Ackerbau bieten.[32]

Der Hohenlohekreis stellt für die Neuansiedlung von Unternehmen einen attraktiven Standort dar. Jedoch ist die Verfügbarkeit von geeigneten Gewerbeflächen begrenzt. Betriebe außerhalb des Kreises, häufig mit flächenintensiven Anforderungen, können im Raum Stuttgart oftmals keine passenden Flächen finden. Diese sind jedoch meist auf der Suche nach Gewerbeflächen in Autobahnnähe bzw. im stärker verdichteten Teil der Region. Häufig stehen diesen Vorhaben jedoch Reservierungen ansässiger Unternehmen entgegen, welche die gefragten Flächen bereits für Erweiterungen einplanen. Weiter abgelegene Flächen in der Region gelten hingegen eher als unattraktiv und sind schwerer zu vermarkten. Daneben werden Gewerbeflächen angeboten, die in Bezug auf Lage, Zuschnitt oder Ausstattung ungeeignet für die (Neu-) Ansiedlung von Unternehmen sind.[33] Auch gegenläufige Flächennutzungsanforderungen wie z.B. Naturschutz oder Land- und Forstwirtschaft können der Neuansiedlung von Unternehmen entgegenstehen.[34]

2.2 Bodenseekreis

Geografische Lage

Der Bodenseekreis liegt im Süden Baden-Württembergs und bildet gemeinsam mit den Landkreisen Ravensburg und Sigmaringen die Region Bodensee-Oberschwaben. Die Untersuchungsraumschaft erstreckt sich entlang des Nordufers des Bodensees mit einem Anschluss an das Oberschwäbische Hügelland und im Osten an das Westallgäu. Im Westen grenzt der Kreis an die Landkreise Konstanz, Sigmaringen und Ravensburg, die alle in Baden-Württemberg liegen sowie an den Landkreis Lindau, der in Bayern liegt. Der Bodensee bildet im Süden die natürliche Grenze zu Österreich mit dem Bundesland Vorarlberg und zur Schweiz mit den Kantonen St. Gallen und Thurgau. Insgesamt weist der Bodenseekreis eine Gesamtfläche von 66.477 Hektar auf.[35] Die Raumschaft umfasst 23 Städte und Gemeinde, hervorzuheben sind hier das Mittelzentrum Überlingen (große Kreisstadt) sowie Friedrichshafen, das gemeinsam mit Ravensburg und Weingarten ein Oberzentrum bildet.[36]

---

[30] Vgl. Malburg-Graf, M. / Voith, D. (2018a), S. 26; vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023f), online; vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023g), online
[31] Vgl. Landratsamt Hohenlohekreis (2023c), online
[32] Vgl. Malburg-Graf, M. / Voith, D. (2018a), S. 35-38
[33] Vgl. Malburg-Graf, M. / Voith, D. (2018a), S. 58
[34] Vgl. Malburg-Graf, M. / Voith, D. (2018b), S. 12
[35] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023h), online
[36] Vgl. Landratsamt Bodenseekreis (2011), S. 12

Bevölkerung

Im Bodenseekreis lebten im Jahr 2021 218.885 Menschen.[37] Die Bevölkerungsdichte beträgt 329 Einwohner/km², damit ist der Landkreis etwas mehr besiedelt als das Land Baden-Württemberg mit 312 Einwohnern/km².[38] Innerhalb des Kreises lassen sich jedoch einige Unterschiede feststellen. Die größte Bevölkerungsdichte, ebenso wie die größte Einwohnerzahl, weist das Oberzentrum Friedrichshafen mit 61.561 Einwohnern und einer Bevölkerungsdichte von 880 Einwohner/km² auf.[39] Weitere dicht besiedelte Städte und Gemeinden sind Immenstaad mit 702 Einwohner/km², Daisendorf (643 Einwohner/km²), Uhldingen-Mühlhofen (529 Einwohner/km²) und Langenargen (501 Einwohner/km²).[40] Im Bodenseekreis liegen allerdings auch einige dünn besiedelte Gebiete. Sechs Gemeinden weisen Bevölkerungsdichten von unter 200 Einwohner pro km² auf. Dies wird vor allem in Neukirch (102 Einwohner/km²) und Heiligenberg (77 Einwohner/km²) deutlich.[41] Am dünnsten besiedelt ist die Gemeinde Deggenhausertal mit 71 Einwohner/km², welche im Norden des Bodenseekreises liegt.[42]

Für das Jahr 2040 wird im Rahmen der Bevölkerungsprognosen für den Bodenseekreis ein Zuwachs von 0,67 % prognostiziert.[43] Damit liegt der Bodenseekreis unter dem prognostizierten Landesdurchschnitt von 2,7 %. Im Bodenseekreis werden neben besonders hohem Zuwachs in Oberteuringen (Zuwachs von 5,34 %) und Deggenhausertal (Zuwachs von 4,03 %) auch einige Rückgänge in der Bevölkerung vorausgesagt. In Markdorf (Abwanderung von 1,20 %) und Immenstaad (Abwanderung von 2,96 %) wird sich die Bevölkerung verkleinern. Der größte Rückgang wird, laut Vorausrechnung, in Hagnau (Abwanderung von 6,68 %) prognostiziert.[44]

Verkehr

Der Bodenseekreis ist durch bedeutsame Verkehrsachsen an das überregionale Netz angebunden. Das Gebiet des Landkreises wird von keiner Bundesautobahn berührt. Der Landkreis selbst wird durch Bundes-, Landes- und Kreisstraßen erschlossen. Der Fährbetrieb verbindet den Bodenseekreis von Friedrichshafen aus in die Schweiz und von Meersburg aus in Richtung Konstanz. Zudem verbindet der Flughafen Friedrichshafen den Bodenseekreis mit verschiedenen Zielen im In- und Ausland.

Straßenverkehr

Durch die Raumschaft verlaufen die Bundesstraße 30, 31 und 33, die zum Teil von überregionaler Bedeutung sind.[45] Im südlichen Teil des Landkreises verläuft die Bundesstraße 31, diese fungiert als Zubringer bis zur Anschlussstelle Sigmarszell zur Autobahn A96. Über die A96 besteht somit auch der Anschluss in Richtung Autobahn A7. Die Anschlussstelle ist vom Oberzentrum Friedrichshafen innerhalb von 30 Minuten zu erreichen. Die Bundesstraße ermöglicht aber auch Verbindungen in östliche Richtung nach Lindau und Bregenz (Voralberg).

[37] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023h), online
[38] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023c), online
[39] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023h), online
[40] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023h), online
[41] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023h), online
[42] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023h), online
[43] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023i), online
[44] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023i), online
[45] Vgl. Landratsamt Bodenseekreis (2011), S. 12

Mit ihrem Verlauf parallel zum Seeufer verbindet sie innerhalb der Raumschaft die Zentren Überlingen, Salem, Markdorf, Friedrichshafen und Kressbronn. Besonders an Wochenenden, Feiertagen und in den Ferienzeiten kommt es häufig zu Staus und damit einhergehenden Ausweichverkehren in die umliegenden Siedlungsgebiete, weshalb ein mehrspuriger Ausbau des Straßenabschnittes im Bundesverkehrswegeplan bereits als vordringlicher Bereich klassifiziert wurde.[46] Im Osten stellt die sogenannte Hauptachse Oberschwabens (Bundesstraße 30) eine Verbindung in nördliche Richtung dar. Sie dient zur Erschließung der Zentren Friedrichshafen, Meckenbeuren/Tettnang und über die Untersuchungsraumschaft hinaus nach Ravensburg/Weingarten.[47] Nicht weit von der Westseite des Landkreises entfernt liegt die A98, diese stellt einen Anschluss an die A81 in nördliche Richtung (Richtung Donaueschingen-Stuttgart) dar, in südliche Richtung ist ein Anschluss in Richtung Schaffhausen-Zürich gegeben.

Schienenverkehr

Eine zentrale Bahnverbindung durch die Untersuchungsraumschaft ist die sogenannte Bodenseegürtelbahn von Radolfzell nach Friedrichshafen und Lindau. Im Untersuchungsgebiet gelegene Haltepunkte sind insbesondere Überlingen, Uhldingen-Mühlhofen, Salem, Markdorf und Friedrichshafen. Der Abschnitt zwischen Friedrichshafen und Radolfzell soll in den kommenden Jahren ausgebaut und elektrifiziert werden. Somit kann ein wichtiger Lückenschluss für einen leistungsfähigeren Bahnbetrieb zwischen der Hochrheinbahn und der Südbahn gewährleistet werden. Ein Ausbau sowie die Elektrifizierung der Bodenseegürtelbahn sind Voraussetzungen für ein deutlich verbessertes Angebot im regionalen Schienenverkehr, welches auch klimaschonende Aspekte berücksichtigt. Daraus resultieren dann, neben dem großen Nutzen, auch deutliche Entlastungen im Straßennetz, wodurch ebenfalls die Attraktivität der Bodenseeregion gesteigert wird.[48]

Im Jahr 2022 wurde das Projekt „BODANRAIL“ neu aufgesetzt. Dieses hat eine Verbesserung des Schienenpersonennahverkehrs im Bodenseeraum zum Ziel. Das Verkehrsangebot auf der Schiene soll für Ausflugs-, Einkaufs- und Berufsverkehr zur Verfügung stehen und dem Großraum Bodensee somit ein umweltfreundliches, nachhaltiges und leistungsfähiges Verkehrsangebot bereitstellen. Dies wird vor allem durch die Hauptzielsetzungen kürzere Reisezeiten, mehr Direktverbindungen, abgestimmte Anschlüsse, verbesserte Pünktlichkeit und eine auf das Angebot abgestimmte Infrastruktur unterstützt. Um alle Planungen und Belange zu berücksichtigen, hat es sich die Kommission Verkehr der Internationalen Bodensee-Konferenz zur Aufgabe gemacht, die Abstimmung der nationalen Planungen zu intensivieren. Es soll ein langfristiges Zielbild erarbeitet werden, welches dann in der Umsetzungsphase kontinuierlich überwacht wird.[49]

Industrie und Gewerbe

Der Bodenseekreis gilt als eine wirtschaftlich innovative Region in Baden-Württemberg. Im Kreis ansässig sind unter anderem Automobilzulieferer und Maschinenbauer sowie zahlreiche Unternehmen in der Luft- und Raumfahrttechnik, die sich wesentlich auf den Raum Friedrichshafen konzentrieren und sich überwiegend entlang des Nordufers des Bodensees befinden.

[46] Vgl. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2020)
[47] Vgl. Landratsamt Bodenseekreis (2011), S.12
[48] Vgl. Land Baden-Württemberg (2022), online
[49] Vgl. Internationale Bodensee-Konferenz (2022), S. 5

Im Regionalplan Bodensee-Oberschwaben sind für den Bodenseekreis die Kommunen Friedrichshafen, Meckenbeuren, Salem, Tettnang und Überlingen als Vorranggebiete mit regionalbedeutsamen Schwerpunkten für Industrie und Gewerbe festgelegt worden.[50] Die Beschäftigtenanzahl im produzierenden Gewerbe liegt im Landkreis bei 44,5 % was im Jahr 2021 eine Anzahl von 42.177 Beschäftigten bedeutete. Somit übersteigt die Anzahl der im produzierenden Gewerbe beschäftigten den Landesdurchschnitt Baden-Württembergs (35 %) um knapp 10 Prozentpunkte.[51]

In den Bereichen Handel, Verkehr und Gastgewerbe sind im Bodenseekreis 17,3 % aller sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten angestellt. Hier liegt man knapp unter dem Landesdurchschnitt von 19,9 % der Beschäftigten in ganz Baden-Württemberg. Im Bereich der sonstigen Dienstleistungen finden knapp 37,2 % eine Beschäftigung.[52]

Eine weitere wichtige Rolle im Bodenseekreis spielt die Land- und Fortwirtschaft. Im Jahr 2020 wurden 33.060 Hektar Fläche landwirtschaftlich genutzt.[53] Die Flächen werden von 1.500 landwirtschaftlichen Betrieben im Haupt- und Nebenbetrieb bewirtschaftet. Eine zentrale Rolle spielt, neben der Viehhaltung, der Anbau von Sonderkulturen wie Obst, Hopfen und Wein.[54]

Des Weiteren wird deutlich, dass der Tourismus im Bodenseekreis eine wichtige wirtschaftliche Funktion einnimmt, vor allem in den am Bodensee bzw. in der unmittelbaren Nähe gelegenen Kommunen von erheblichem Umfang. Dies betrifft vor allem die Kommunen Sipplingen, Überlingen, Uhldingen-Mühlhofen, Meersburg, Hagnau, Immenstaad, Friedrichshafen, Langenargen und Kressbronn, welche zudem an das Schifffahrtsnetz am Bodensee angebunden sind und somit eine hohe Attraktivität für Besucher aus dem In- und Ausland darstellen.[55] Für den Einzelhandel und die weiteren Entwicklungen stellt der Tourismus einen großen Faktor dar. So konnte beispielsweise bei einer Passantenbefragung in Friedrichshafen festgestellt werden, dass mehr als 20 % der Befragten außer der Region Bodensee-Oberschwaben leben. Zudem bildet die Nachbarschaft zur Schweiz und Österreich eine Wettbewerbs- / Konkurrenzsituation für den Einzelhandel.[56]

2.3 Main-Tauber-Kreis

Geografische Lage

Der Landkreis Main-Tauber-Kreis ist der nördlichste Landkreis Baden-Württembergs und grenzt an Bayern. Er wird durchzogen von den beiden namensgebenden Flüssen Main und Tauber. Es gehört dem Regierungskreis Stuttgart an und grenzt an die Regierungskreise Karlsruhe (BW), Unterfranken (BY) und Mittelfranken (BY). [57] Der Untersuchungsraum umfasst 18 Gemeinden und erstreckt sich über eine Fläche von 130.412 Hektar.[58] Damit ist er flächenmäßig der achtgrößte Kreis in Baden-Württemberg und setzt sich zusammen aus 10,4 % Siedlungs- und Verkehrsfläche, 0,5 % Erholungsfläche, 58,7 % Landwirtschaftsfläche, 29,6

[50] Vgl. Regionalverband Bodensee-Oberschwaben (2021), S. 17
[51] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023j), online
[52] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023j), online
[53] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023k), online
[54] Vgl. Landratsamt Bodenseekreis (2023), online
[55] Vgl. Acocella, D. – Stadt- und Regionalentwicklung (2018), S. 7
[56] Vgl. Acocella, D. – Stadt- und Regionalentwicklung (2018), S. 7 + 8
[57] Vgl. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2019), online
[58] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023l), online

% Waldfläche und 0,8 % Wasserfläche.[59] Die großen Städte sind Bad Mergentheim, Lauda-Königshofen, Tauberbischofsheim und Wertheim. Hier befindet sich auch ein Großteil der Industrie.

Bevölkerung

Auf der Fläche leben 132.956 Menschen, was einer Bevölkerungsdichte von 102 Einwohnern pro km² entspricht. Dies entspricht ungefähr einem Drittel des landesweiten Durchschnitts von 312 EW/km², somit gilt der Kreis als weniger gut besiedelt und ist in Baden-Württemberg sogar der Kreis mit der geringsten Bevölkerungsdichte.[60] Die vier bevölkerungsmäßig größten Städte sind beginnend bei der niedrigsten Zahl Tauberbischofsheim mit 13.238, Lauda-Königshofen mit 14.469, Wertheim mit 22.777 und Bad Mergentheim mit 24.247 Einwohnern.[61]

Die Bevölkerung wird sich laut statistischer Hochrechnung, ausgehend von 132.684 (Stand 2020) in den nächsten Jahren vergrößern. Dabei werden 2030 ungefähr 134.300 Personen erreicht, was eine relative Steigung von 1,2 % bedeutet. Bis 2040 werden ca. 135.800 Einwohner vorhanden sein, was ausgehend vom Stand von 2030 einen Anstieg um 1,1 % bedeutet. In Summe wird damit ausgehend von 2020 eine ungefähre Steigung von 2,4 % erreicht, was verglichen mit Baden-Württemberg im Gesamten unterhalb des Schnitts von 2,9 % liegt. Damit ist das Bevölkerungswachstum als relativ schwach zu bezeichnen.[62]

Im Vergleich dazu liegt die Arbeitslosenquote im Main-Tauber-Kreis bei 2,8 %, was 2.182 Personen entspricht.[63] Im Land Baden-Württemberg im Gesamten wurde hingegen eine Quote von 3,5 % ermittelt, was in der Summe 223.119 Individuen umfasst.[64] Somit ist die relative Arbeitslosenzahl deutlich geringer als im landesweiten Durchschnitt. Dies spricht für eine arbeitnehmerfreundliche Umgebung und eine gute berufliche Auslastung.

Verkehr

Straßenverkehr

Die Autobahn A81 durchzieht den Main-Tauber-Kreis mittig und stellt damit einen wichtigen Versorgungspfad dar, da hiermit eine direkte Verbindung mit der Landeshauptstadt Stuttgart und Würzburg besteht. Weiterhin befindet sich auf Höhe der Stadt Wertheim ein Stück der Autobahn A3, welches Frankfurt und Nürnberg verbindet. Ergänzend gibt es im Main-Tauber-Kreis ein Netz der Bundesstraßen B27, B290, B292 und B19, die mehrheitlich in der Nähe der Autobahn A81 verlaufen und eine Alternative zu dieser darstellen. Sie eignen sich sehr gut, um Waren von der Autobahn zu den Endkunden zu transportieren.

Die Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge im Main-Tauber-Kreis nimmt seit 2010 stetig mit zwischen 1.000 und 2.000 Fahrzeugen im Jahr zu. Im Jahr 2020 erreichte der Bestand erstmalig die Marke von 120.016 Fahrzeugen. Der Großteil der Fahrzeuge entfällt auf den Pkw-Sektor

[59] Vgl. Landratsamt Main-Tauber (2023), online
[60] Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2008), online; vgl. Landratsamt Main-Tauber (2023), online
[61] Vgl. City Population (2021), online
[62] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023p), online
[63] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023r), online
[64] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023s), online

mit 91.107 Vehikeln. Dazu kommen 10.570 Krafträder, 99 Kraftomnibusse, 5.493 Lastkraftwägen, 12.225 Zugmaschinen und 522 sonstige Fahrzeuge.[65]

Schienenverkehr

Der Main-Tauber-Kreis wird von zwei Bahnen durchzogen. Die Frankenbahn, welche den Kreis von Nordost nach Südwest durchzieht, verbindet den Heilbronner Raum mit Würzburg und ist an den Knotenpunkten Lauda und Königshofen mit der Tauberbahn verbunden. Diese verläuft von Nordwest nach Südost und verbindet dabei die wirtschaftsstarken Standorte Wertheim, Lauda-Königshofen und Bad Mergentheim miteinander.[66] Für den Güterverkehr sind diese Bahnlinien jedoch ungeeignet.[67]

Schiffsverkehr

Der Main wird als Wasserstraße für die Güterschifffahrt genutzt. Er entspricht von seiner Kapazität dem Neckar mit einer maximalen Schifflänge von 110 m, einer Breite von 11,4 m, einem maximalen Tiefgang von ca. 2,8 m und eignet sich damit für das Große Rheinschiff.[68] Somit ist ein Gütertransport über Wertheim möglich.

Industrie und Gewerbe

Der Main-Tauber-Kreis zeichnet sich durch einige besondere Gegebenheiten aus. Zum einen ist hier die strategisch günstige Lage nördlich des Industrieraums Heilbronn und in direkter Nähe der Autobahnen A81 und A3 zu nennen. Dies ermöglichte die Entstehung einzigartiger Industriestandorte, zum Beispiel in Wertheim. Ansässig sind hier beispielsweise das Outletcenter Wertheim Village, welches an der A3 liegt, sowie insgesamt 17 Weltmarktführer, die sich über den kompletten Main-Tauber-Kreis verteilen. Die Mehrheit kommt aus dem technischen Bereich, darunter viele Maschinenbauer, Anlagenbau und energieintensive Industrien wie die Glasherstellung.[69] Zum anderen ist in diesem Kontext die Wasserstoff-Allianz Main-Tauber zu nennen. Hier soll die Industrie nachhaltig durch die Verwendung von Wasserstoff gestaltet werden und es sollen neue Projekte mit Pioniercharakter entstehen.

Insgesamt gab es im Jahr 2021 56.132 sozialversicherte Beschäftige im Main-Tauber-Kreis.[70] Das entspricht im Baden-Württembergischen Vergleich (4.781.049[71]) 1,174 % der insgesamt sozialversicherungspflichtig Beschäftigten.

Im Main-Tauber-Kreis teilen sich diese Beschäftigten in die Bereiche Produzierendes Gewerbe, Handel, Verkehr und Gastgewerbe sowie Sonstige Dienstleistungen auf. Dabei entfallen 25.448 auf Produktion, was 45,3 % der im Kreis Beschäftigten sind und damit die Mehrheit der Arbeitnehmer ausmacht. Damit liegt der Fokus in diesem Kreis auf dem Produzierenden Gewerbe. Weiterhin entfallen 10.973 Beschäftigte auf Handel, Verkehr und Gastgewerbe, was weitere 19,5 % bedeutet und 19.433 auf Sonstige Dienstleistungen, welche weitere 34,6 %

[65] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023q), online
[66] Vgl. Lok Report (2022), online
[67] Vgl. Landratsamt Main-Tauber (2023), online
[68] Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2008), online
[69] Vgl. Landratsamt Main-Tauber (2023), online
[70] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023m), online
[71] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023n), online

darstellen. Die verbleibenden 0,6 % sind dabei unter Sonstige zu verbuchen und nicht weiter spezifiziert.[72]

Das verfügbare pro Kopf Einkommen lag 2017 im Bereich zwischen 23.000 € und 24.000 € und gehört damit im Vergleich mit den anderen Kreisen in Baden-Württemberg eher zu den finanzschwächeren Gebieten. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei Betrachtung der angesparten Vermögen je Einwohner, welches sich Stand 2018 auf zwischen 58.000 € und 62.000 € beläuft. Auch hier ist die Einordnung in Baden-Württemberg eher auf der niedrigeren Seite, was auf den geringeren Verdienst und das damit verbundene geringere Sparpotenzial zurückzuführen ist.[73]

[72] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023m), online
[73] Vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023o), online

3 Zentrale Ergebnisse aus Desk Research, Interviews und Workshop

In diesem Kapitel werden die Kernaussagen und -erkenntnisse aus der Good Practice-Recherche zu bestehenden Projektansätzen sowie der Interviews und die Ergebnisse der Thesendiskussion innerhalb des Workshops dargestellt. Diese bilden die Grundlage für die Simulation und die Ableitung von Umsetzungspfaden für eine Wasserstoffwirtschaft im Ländlichen Raum sowie das dezentrale Versorgungskonzept.

3.1 Good Practice-Ansätze

Zu Beginn der Studie fand eine umfassende Recherche und Analyse von bestehenden und abgeschlossenen dezentralen Versorgungsansätzen und -konzepten von H_2 in ländlichen Vergleichsregionen statt. Betrachtet wurden schwerpunktmäßig H_2-Projekte im Bereich der Logistik und insbesondere Aktivitäten in ländlich geprägten Raumtypologien. Darüber hinaus wurden Konzepte für eine dezentrale H_2-Versorgung ermittelt.

Insgesamt wurden mehr als 550 Projekte mit H_2-Bezug analysiert, davon 219 Projekte als Verbundprojekte mit grenzüberschreitendem Bezug. Während sich die identifizierten Projekte auf europäischer Ebene mehrheitlich auf Grundlagenforschung konzentrieren, weisen die Projekte auf rein deutscher Ebene dagegen eine höhere praktische Orientierung und angewandte Forschung auf. Untersuchungsgegenstände der Projekte sind unter anderem Brennstoffzellen, Akzeptanz und Normierung, Elektrolyse, Distribution, Logistikanwendungen sowie sonstige Anwendungen von H_2. Im Bereich Logistik wurden insgesamt 120 Projekte mit Wasserstoffbezug identifiziert. Hierbei handelt es sich mehrheitlich um Projekte mit starkem Bezug auf nationaler Ebene und nur wenige länderübergreifende Projekte. Der Großteil der Forschung findet hier im Bereich Straßenverkehre (Lkw, Busse und Kommunalfahrzeuge) statt, daneben zu einem geringeren Anteil auch intralogistische Anwendungen. Die Bereiche Luft-, Wasser- und Schienenverkehre finden in den erhobenen Projekten kaum Berücksichtigung. Bei allen betrachteten H_2-Fahrzeugtypen gibt es bislang mit Ausnahmen von kleineren Transportern keine Serienfertigungsreife.

Basierend auf dieser umfassenden Sammlung von bestehenden Projektansätzen konnten allgemeine Konzepte für eine dezentrale H_2-Versorgung abgeleitet werden. Eine erste Unterscheidung ergibt sich aus der Bezugsquelle von Wasserstoff, welche sich in überregionalen Import oder **regionale Produktion** gliedern lassen. Bei Projektansätzen mit überregionalen **Import** wird der Wasserstoff außerhalb der betrachteten Projektregion oder sogar außerhalb Deutschlands produziert. Einer der Gründe hierfür sind die höhere Verfügbarkeit von vor allem regenerativen Stromquellen, beispielsweise aus Teilen Afrikas und die dadurch bedingten niedrigeren Produktionskosten von grünen Wasserstoff.[74] Bei Projekten mit regionaler Produktion hingegen wird die Produktion von Wasserstoff häufig mit in den Projektkontext integriert bzw. die Einbindung vorhandener Wasserstoffquellen aus bestehenden Produktionskapazitäten forciert. Eine weitere Unterscheidung bestehender dezentraler H_2-Versorgungskonzepte lässt sich anhand der Distributionsstrukturen treffen. Im Rahmen der Recherche konnten

[74] Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2023a), online

hierzu drei sich unterscheidende Ansätze identifiziert werden – das Hub-Konzept, das dezentrale Konzept und ein lokales Konzept. Projektansätze mit einem **Hub-Konzept**, wie beispielsweise das Projekt „H2Rivers“,[75] setzen auf ein zentrales Wasserstoffzentrum für die Verteilung an in der Projektregion angesiedelte Tankstellen oder Endabnehmer. Es erfolgt eine Bündelung der Aktivitäten an einem Standort, von welchem die nachgelagerte Versorgung sichergestellt und organisiert wird. Beim **dezentralen Konzept** hingegen erfolgt die Verteilung an die Abnehmer über eine größere Anzahl an kleineren (teils miteinander vernetzten) Wasserstoffverteilzentren innerhalb der Projektregion. Die Struktur ist exemplarisch in Projekten wie z.B. dem Projekt „eFarm“[76] zu finden. Im Gegensatz zu einem zentralen Verteilzentrum für die gesamte Region erfolgt die Verteilung im Projekt über eine Anzahl von kleineren Zentren an insgesamt zwei Wasserstofftankstellen und weitere Abnehmer. Beide Projekte eint, dass die Produktion in Deutschland erfolgt und der Projektkontext die Verteilstrukturen über die Projektregion umfasst. Der letzte Ansatz, das **lokale Konzept**, weicht im Gegensatz hiervon ab, indem im Projektkontext ein einzelnes Unternehmen oder eine lokal eng eingegrenzte (Teil-)Region untersucht wird, ohne sich intensiver mit größeren regional anschließenden Verteilstrukturen zu beschäftigen. Als Beispiel hierfür lassen sich Projekte wie beispielsweise das Projekt „H2Intra-Driver“[77] nennen, in welchem Produktion und Verteilung eine untergeordnete Rolle im Projektkontext spielen und der Fokus auf dem testweisen Betrieb von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen für die Intralogistik innerhalb eines einzelnen Unternehmens liegt.

3.2 Interviews

Durch die Interviews konnten wichtige Erkenntnisse zu den Themen Potenzial einer Wasserstoffwirtschaft im ländlichen Raum sowie Hindernissen und Risiken gewonnen werden. Aber auch weitere essenzielle Punkte wie die aktuellen Aktivitäten der Unternehmen in Bezug auf alternative Energieträger, mögliche Anwendungsbereiche von (grünem) Wasserstoff, Distributionswege und Verteilkonzepte von Wasserstoff sowie die Herstellung von grünem Wasserstoff im ländlichen Raum konnten generiert werden. Die zentralen Ergebnisse der Interviews werden im Folgenden vorgestellt.

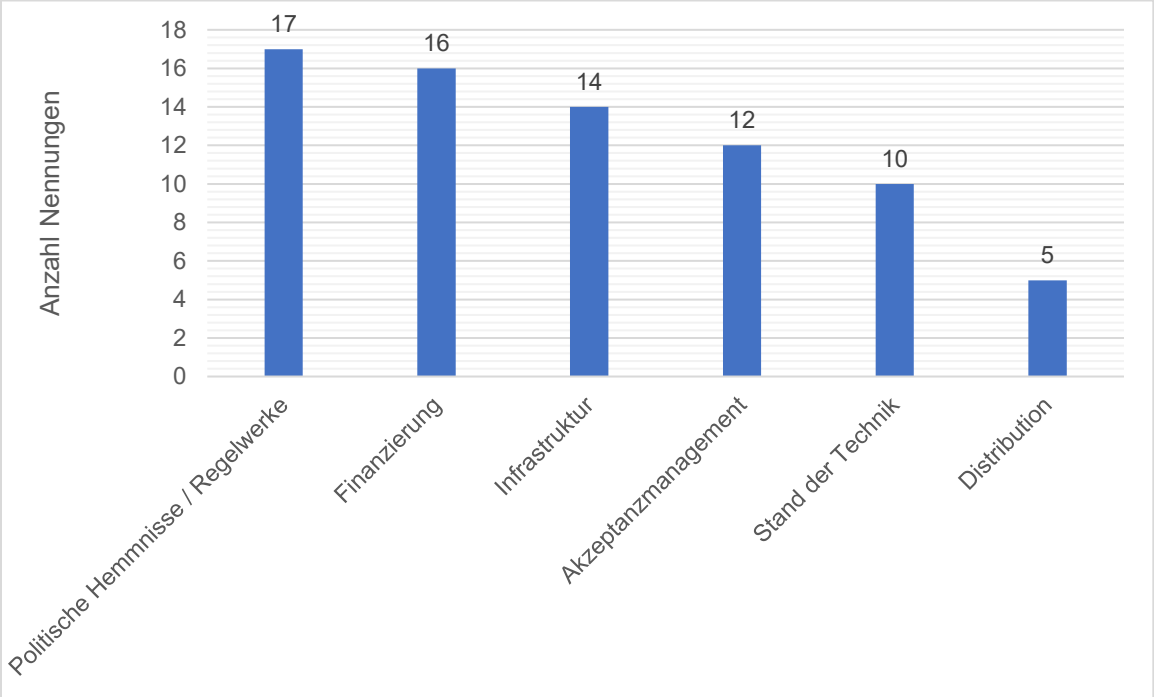
Aufgrund der hohen Dichte an Weltmarktführern wird Wasserstoff als wichtige Alternative im **Hohenlohekreis** angesehen. Die Ausbaupotenziale für die Erzeugung von grünem Strom werden hingegen als gering eingeschätzt. Des Weiteren sollte das Potenzial von Kooperationen in Projekten genutzt werden, um Innovationen im Bereich Wasserstoff voranzutreiben. Im **Main-Tauber-Kreis** besteht hinsichtlich des Aufbaus einer Wasserstoffwirtschaft enormes Interesse, wobei das Potenzial beim Einsatz der H_2-Technologie als mittelmäßig eingestuft wird, was vermehrt damit zusammenhängt, dass die Technologie aufgrund der Verluste bei Herstellung, Transport und Verbrauch bisher meist als ineffizient betrachtet wird. Ein Aufbau einer Wasserstoffwertschöpfungskette wird bereits in der Wasserstoff-Allianz, einem informellen Zusammenschluss verschiedener regionaler Akteure, die seit 2021 gemeinsam den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft im Main-Tauber-Kreis anstrebt, diskutiert. Der **Bodenseekreis** weist, vor allem durch die Grenznähe zu Österreich und der Schweiz einen Vorteil gegenüber anderen Regionen auf. In den Nachbarländern befinden sich bereits erste Pilotprojekte in der Umsetzung und können somit als beispielhafte Vorhaben verwendet werden, zudem können auch grenzübergreifende Kooperationen angestrebt werden. Der Import von Wasserstoff wird als

[75] Vgl. e-mobil BW (2023), online
[76] Vgl. eFarming (2023), online
[77] Vgl. Now GmbH (2023), online

notwendig angesehen, da H_2 nicht in ausreichender Menge produziert werden könnte. Dennoch wird Wasserstoff als Ersatz zu den fossilen Energieträgern gesehen.

Im Rahmen der Interviews wurden ebenfalls konkrete Hindernisse und Risiken für die Entstehung einer Wasserstoffwirtschaft im ländlichen Raum abgefragt. Die Antworten wurden in sechs Kategorien zusammengefasst, die der nachfolgenden Abbildung (Abbildung 3) entnommen werden können.

Abbildung 3 Hindernisse und Risiken für die Entstehung einer H_2-Wirtschaft im ländlichen Raum



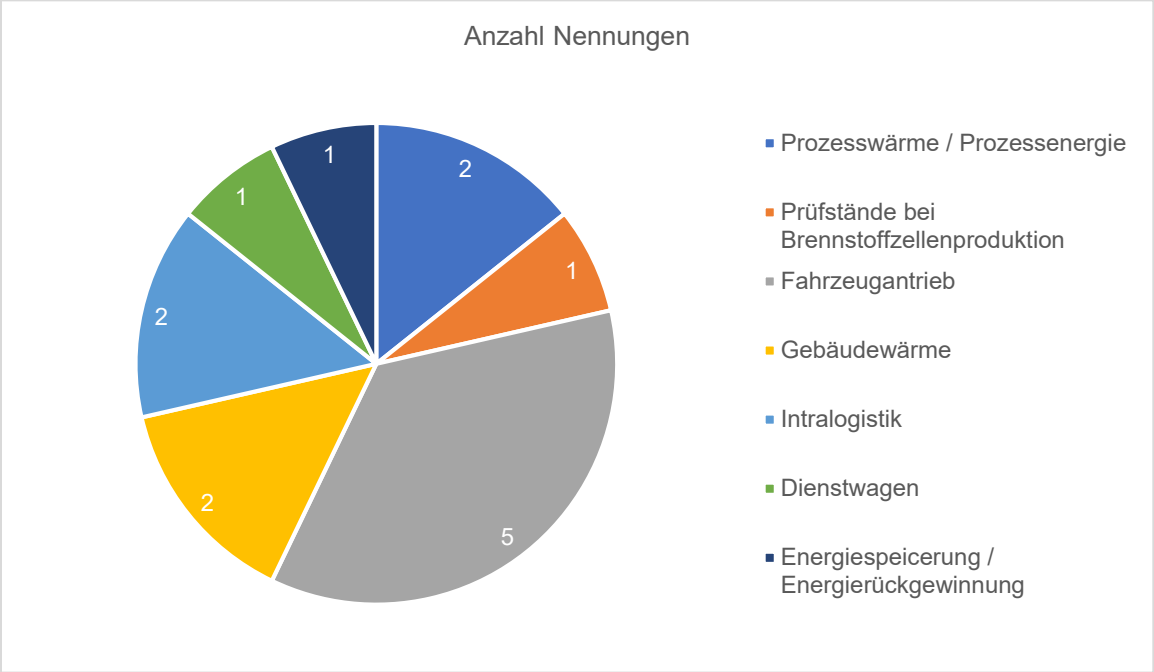
Quelle: eigene Darstellung

Besonders häufig wurden hier **Politische Hemmnisse und Regelwerke** genannt. So wurde deutlich, dass eine Anpassung von Normen und Vorgaben zwingend notwendig ist. Zudem wurde auf den hohen Genehmigungsaufwand sowie die strengen Regularien hingewiesen. Auch die lange Dauer der Genehmigungsverfahren für den Aufbau von Erzeugungsanlagen von grünem Strom wurden als Hemmnis für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft genannt. Ebenfalls von vielen Akteuren wurde die große Relevanz der **Finanzierung** aufgeführt. Da hohe Kosten für Wasserstoff erwartet werden, ist die Technologie nach dem Empfinden der befragten Akteure nur für große Unternehmen tragbar. Förderungen sind häufig nicht oder nicht ausreichend vorhanden, Förderverfahren werden als intransparent und zeitaufwändig beschrieben. Ebenfalls ist eine langfristige Finanzierung der Wasserstofftechnologie noch unklar. Als weiterer Punkt wurde das **Akzeptanzmanagement** aufgeführt. Das Wissen der Bevölkerung und der Unternehmen ist zum Teil noch nicht weit verbreitet und in den meisten Fällen noch nicht vorhanden. Aus diesem Grund müssten begleitende Aktivitäten zur Erhöhung der Akzeptanz stattfinden. Ebenfalls als Hindernis bei der Einführung einer Wasserstoffwirtschaft wurde die vorhandene **Infrastruktur** genannt. Das vorhandene Erdgasnetz kann nicht überall auf Wasserstoff umgestellt werden, auch stellen die Verfügbarkeit von H_2 und die Versorgungsinfrastruktur der Endkunden ein generelles Problem dar. Häufig wurde auch der **Stand der Technik** als Hindernis genannt. Hier wurden vor allem Sicherheitsaspekte und die Ineffizienz der Technologie, in Bezug unter anderem auf Energieverluste bei der Produktion

von H_2, als große Kritikpunkte angeführt. Bezüglich der **Distribution** wurde vor allem der Pipeline-Ausbau genannt, welcher sich im ländlichen Raum oftmals als schwierig gestaltet. Zudem ist ein Transport zwischen Quelle und Abnehmer aufgrund der hohen Distanzen oft unwirtschaftlich. Zudem entstehen bei einem Transport via Diesel-Lkw weiterhin schädliche Emissionen.

Die Gruppe der **Verbraucher** wurde im Rahmen der Interviews nach aktuellen Umstellungen auf alternative Kraftstoffe bzw. Energieträger befragt. Hier gibt es bereits zahlreiche Aktivitäten, die von den Unternehmen umgesetzt werden. So wird bereits eigener Strom sowie Wärme produziert. Zudem werden PV-Anlagen betrieben, Erweiterungen in diesem Bereich sind ebenfalls bereits in Planung. Hinzu kommt, dass im Fuhrpark zukünftig alternative Antriebe forciert werden und die Erprobung von batterieelektrischen Antrieben bei Lkw durchgeführt wird. Außerdem erfolgt ein aktiver Einsatz von batterieelektrischen Flurförderfahrzeugen. Eine mögliche Verwendung von (grünem) Wasserstoff könnte in den Unternehmen vor allem im Bereich der Prozesswärme/Prozessenergie, dem Fahrzeugantrieb oder auch in der Gebäudewärme erfolgen. Weitere mögliche H_2-Anwendungen kommen aber auch in der Intralogistik zum Tragen, hier unter anderem im Bereich der mit Wasserstoff betriebenen Stapler. Die Anzahl der Nennungen der möglichen Anwendungsbereiche von Wasserstoff innerhalb der befragten Unternehmen kann der nachfolgenden Abbildung (Abbildung 4) entnommen werden.

Abbildung 4 Mögliche Verwendung von (grünem) H_2 im Unternehmen



Quelle: eigene Darstellung

Die Akteure, die der Gruppe **Handling und Transport** zugeordnet sind, konnten einige Aussagen zu möglichen Distributionswegen und Verteilkonzepten von H_2 im ländlichen Raum tätigen. Hier wird vor allem der Import aufgrund von geringen Verfügbarkeiten von erneuerbaren Stromquellen als unausweichlich angesehen. Aufgrund des hohen logistischen Aufwands hinsichtlich Genehmigung und Platz wird ein eigener Hub zumeist ausgeschlossen und der Import über die Straße präferiert. Eine dezentrale Versorgung wird aus Sicht der Akteure notwendig werden. Die langfristige Mischung von zentraler und dezentraler Versorgung soll angestrebt

werden – ein zentrales Pipelinenetz wird durch dezentrale Produktion im ländlichen Raum ergänzt. Im Umgang mit Wasserstoff bestehen unter anderem auch schon eigene Erfahrungen im Bereich Handling, was den Vertrieb von H_2 in Flaschen betrifft. Zudem beschäftigt sich ein befragter Akteur mit Tankstellen, diese sollen als Servicecenter für verschiedene Energieangebote genutzt werden und befinden sich derzeit bereits im Aufbau. Des Weiteren erlauben die aktuellen Leitungen laut den befragten Akteuren eine Beimischung von Wasserstoff von maximal 20 bis 30 %, deshalb werden, aus Sicht der Interviewpartner, Investitionen für eine Umrüstung für höhere Beimischungen als eher gering eingeschätzt.

Die **Produzenten** tätigten im Rahmen der Interviews Aussagen zur Herstellung von grünem Wasserstoff im ländlichen Raum. Bereits heute werden Windparks und PV-Anlagen betrieben, beispielsweise konnten in der Region Hohenlohe einige Windparks realisiert werden. Hier gilt es vor allem im Bereich der PV-Anlagen das vorhandene Potenzial der Hausdächer weiter zu nutzen und auszubauen. Zudem werden Kooperationen zwischen den Unternehmen angestrebt. Allerdings sind die erzeugten Strommengen zu gering für eine zusätzliche Produktion von Wasserstoff. Ein generelles Interesse an der Erzeugung von grünem Wasserstoff ist jedoch vorhanden.

3.3 Workshop

Wie bereits in Kapitel 1.4.3 beschrieben, wurde ein Expertenworkshop zur Diskussion und Validierung der Interviewergebnisse sowie lokalspezifischer Anforderungen und Profile des ländlichen Raums Baden-Württemberg am Beispiel der Untersuchungsraumschaften durchgeführt. Kern der Veranstaltung bildeten acht aus den Interviewergebnissen abgeleitete Thesen, die im Rahmen des Workshops diskutiert wurden. Die Thesen sowie die zentralen Ergebnisse der Diskussion werden im Folgenden dargestellt.

<u>These 1: “Ob grüner oder grauer Wasserstoff ist zu Beginn egal.”</u>

Diese These konnte im Rahmen der Veranstaltung teilweise validiert werden. Kernergebnis der Diskussion war die Erkenntnis, dass grauer Wasserstoff zwar übergangsweise in bestimmten Bereichen verwendet werden kann, langfristig jedoch der grüne Ansatz verfolgt werden sollte. Grauer Wasserstoff ist aktuell der am häufigsten vorkommende Wasserstoff, welcher durch Dampfreduktion aus fossilen Brennstoffen ohne weitere Techniken gewonnen wird. Somit wird das Kohlendioxid direkt in die Atmosphäre abgegeben. Grundsätzlich ist grüner Wasserstoff, erzeugt durch einen Elektrolyseur mit grünem Strom, aus ökologischen Gründen zu bevorzugen.[78] Nach Meinung der Akteure fließen regionale Unterschiede in diese Debatte ein. Beispielsweise wird im Bodenseekreis ein Hindernis bei der Erzeugung von grünem Strom gesehen, da nicht genügend Fläche vorhanden ist. Hier könnte entweder ein Import den Bedarf decken oder die Erzeugung von grauem Wasserstoff übergangsweise eine Lösung darstellen. Die Experten gaben darüber hinaus an, dass der Ansatz mit grünem Wasserstoff bereits in mehreren Modellregionen in Baden-Württemberg verfolgt wird. Allerdings wurde angezweifelt, dass dies auf ganz Baden-Württemberg übertragbar sein wird. Auch wenn ein Konsens darin herrschte, dass die benötigte Menge von Industrie und Verkehr nur mit grünem H_2 realisiert werden kann, wird als mögliche Zwischenlösung neben grauem Wasserstoff auch blauer H_2 gesehen. Dieser wird per Dampfreformierung von Erdgas gewonnen. Das dabei entstehende CO_2 muss über Carbon Capture Storage (CCS) oder Carbon Capture Usage (CCU)

[78] Vgl. Köllner, C. (2021), online

abgefangen werden.[79] Oftmals stellt das Stromnetz einen limitierenden Faktor für den Ausbau erneuerbarer Energien dar. Hier sehen die Experten eine Chance für H_2. Reicht das Stromnetz nicht aus, so könnten Elektrolyseure den überschüssigen Strom der erneuerbaren Energieanlagen aufnehmen.

<u>These 2: “Der Erfolg von Wasserstoff hängt einzig vom Preis ab.”</u>

Auch wenn der Preis beim Erfolg von Wasserstoff eine große Rolle spielt, wurde im Rahmen des Workshops auf die Unterschiede je nach Anwendungsfall hingewiesen. Neben den Energiekosten wurde ebenfalls die Relevanz der Anschaffungs- und Infrastrukturkosten genannt. Nach Einschätzung der Experten ist die Technologie in der Mobilität bereits weiter ausgereift als in anderen Bereichen, weshalb die Kosten und die Eignung des Einsatzgebietes eine entscheidende Rolle spielen. Außerdem ist nicht allein die Gegenüberstellung des Preises von H_2 und dem konventioneller Technologien entscheidend, da bei diesen zusätzlich noch die Kosten für CO_2-Abgaben, z.B. im Rahmen des Emissionshandels, hinzugerechnet werden müssen. Daher spielt der Preis hier keine entscheidende Rolle. Darüber hinaus wurden neben dem Preis unter anderem auch die Notwendigkeit einer verlässlichen, planbaren Verfügbarkeit von H_2, gesetzliche Vorgaben und Idealismus als erfolgskritische Kriterien genannt.

<u>These 3: “Auf Grund mangelnder Infrastruktur wird sich Wasserstoff im ländlichen Raum nicht durchsetzen können.”</u>

Dieser These konnten die Experten nicht zustimmen, da einstimmig die Notwendigkeit für H_2 im ländlichen Raum gesehen wird. Diese Notwendigkeit für grünen H_2 besteht unter anderem aufgrund einer hohen Nachfrage und dem Sitz von Weltmarktführern im ländlichen Raum. Kritisch für die Durchsetzbarkeit wird gesehen, dass im Verteilnetz bisher kein H_2 angekommen ist, weshalb seitens der Politik keine Planungsgrundlage, z.B. für die Umstellung von Heizungen, besteht. Aufgrund dessen wurde gefordert, einen strukturierten Dialog zwischen den Akteuren und der Politik für eine bessere Planungsgrundlage auszubauen. Auch bei der Umstellung bzw. beim Aufbau dezentraler Anlagen für die H_2-Erzeugung wird politische Unterstützung in Form von Förderungen sowie Bebauungsplanänderungen als notwendig angesehen. Da eine zentrale Versorgung für den ländlichen Raum eher als unwahrscheinlich eingestuft wird, werden dezentrale Anlagen als wichtige Voraussetzung für die Verfügbarkeit von Wasserstoff im ländlichen Raum gesehen.

<u>These 4: “ Es muss eine komplette Wertschöpfungskette in der Region aufgebaut werden.”</u>

Auch hier waren sich die Experten weitestgehend darin einig, dass ein ganzheitlicher Ansatz zumindest forciert werden sollte. Auch wenn beispielsweise für den Bodenseekreis ein Import als notwendig angesehen wird, sollte es dennoch auch eine regionale Produktion geben. Insgesamt wird eine komplette Wertschöpfung innerhalb einer Region als wirtschaftlicher und effizienter eingeschätzt. Bei Bedarf könnte H_2 sogar an benachbarte Landkreise bzw. Städte exportiert oder Schwerlastverkehr auf der Durchreise zur Verfügung gestellt werden. Die H_2-Wertschöpfung wird generell als Stadtumland-Thema gesehen. Während in Ballungsräumen ein hoher Energiebedarf herrscht, bietet der ländliche Raum in der Regel ausreichend Platz für PV- und Windkraftanlagen. Darüber hinaus wurden bei einer ganzheitlichen regionalen Wertschöpfung auch die Kriterien Versorgungssicherheit und Wettbewerbsfähigkeit als Vorteile genannt. In ländlichen Regionen ist der Import von H_2 voraussichtlich nicht in den nächsten Jahren zu erreichen. Jedoch wurde ebenfalls angemerkt, dass die Geschwindigkeit des

[79] Vgl. Köllner, C. (2021), online

Aufbaus durchaus eine Rolle spielt, weshalb notfalls auch übergangsweise eine externe Abhängigkeit in Kauf genommen werden sollte.

These 5: “Ganz oder gar nicht – einige Windparks sollten nur der Elektrolyse dienen, eine Teilnutzung ist nicht vorgesehen.”

Kernergebnis dieser Thesendiskussion war, dass in der Energieversorgung systemische Lösungen anstelle von Insellösungen forciert werden sollten. So wird eine Teilnutzung von Windparks für die Elektrolyse als sinnvoll erachtet, daneben sollten Windparks jedoch weiter Strom in das Netz einspeisen können. Obwohl Elektrolyseure auch in Teillast arbeiten können, ist eine hohe Auslastung für deren Wirtschaftlichkeit entscheidend. Ein Betrieb ausschließlich mit Überschussstrom ist wahrscheinlich nur zeitweise möglich, beispielsweise am Wochenende oder bei hohem Windaufkommen. Zu diesen Spitzenzeiten könnten Elektrolyseure in Volllast betrieben werden, zu normalen Zeiten zusätzlich in Teillast. Das Netzentgelt spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. Wird von Stromerzeugern trotz einer vollständigen Auslastung Strom in das Netz eingespeist, drohen Geldstrafen. Zukünftig ist daher mit einer großen Bandbreite an Kosten zu rechnen. Wird das Netzentgelt gespart und Strom für die H_2-Produktion verwendet, könnten hierdurch dessen Produktionskosten gesenkt werden.

These 6: “Eine zentrale Anlaufstelle für Wasserstoff ist für die Region ausreichend.”

Dieser These konnten die Experten nicht zustimmen. So wurde einstimmig eine Mischung aus zentralem und dezentralem Konzept für den ländlichen Raum als Ideallösung genannt. Bei der Verortung der Anlaufstellen wurde dabei auf die Branchenabhängigkeit hingewiesen. So sind im Mobilitätssektor mehrere Bezugsstellen sinnvoll, da Wasserstoff im ländlichen Raum aufgrund der geringen Bevölkerungsdichte sonst nicht praktikabel wäre. Außerdem werden mehrere Anlaufstellen als hilfreich erachtet, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Auch wenn „größere“ Quellen möglicherweise sinnvoll sind, sollten dennoch Alternativen vorhanden sein. Eine Lösung, die allein auf einer Versorgung des ländlichen Raumes mit H_2 aus lokaler Produktion auf dem Transportweg basiert, kann die Versorgungssicherheit nach Meinung der Experten nicht gewährleisten. Hier wurde unter anderem auf mögliche Witterungsausfälle hingewiesen, während leitungsgebundene Transporte weitaus weniger störanfällig sind.

These 7: “Die Logistik ist kein Treiber für die Einführung von Wasserstoff im ländlichen Raum.”

Im Rahmen der Diskussion dieser These wurde darauf hingewiesen, dass es nach wie vor Unsicherheiten gibt, welches der Treibstoff der Zukunft sein wird, unter anderem können auch E-Fuels im Verkehrssegment eine Rolle spielen. Notwendig ist eine Unterscheidung nach Einsatzbereich, hierbei ist die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Kraftstoffe entscheidend. Der Preis hat neben der Technologiereife und Effizienz einen großen Einfluss auf die Durchsetzbarkeit von Antriebsalternativen in der Logistik und ist insbesondere für kleine Logistikunternehmen ausschlaggebend. Wasserstoff wird von den Experten erst dann als lohnenswert eingeschätzt, wenn die Preise dem Dieseläquivalent nahe kommen. Auf die separate Betrachtung von Intralogistik und Transportlogistik wurde ebenfalls hingewiesen. So sind in der Intralogistik jederzeit kleine Insellösungen möglich, während in der Transportlogistik regionale Gegebenheiten berücksichtigt werden müssen. So wird der Wasserstoffantrieb in bestimmten Regionen durchaus als vorteilhaft gesehen.

These 8: “Wasserstoff wird zusätzlich auch für Kurzstrecken eine echte Alternative sein.”

Dieser These konnte im Rahmen der Diskussion nicht vollständig zugestimmt werden. Auch wenn Potenzial für Wasserstoff auch auf der Kurzstrecke gesehen wird, sollte dessen Wirtschaftlichkeit in diesem Einsatzbereich berücksichtigt werden. Auf der Kurzstrecke wird der batterieelektrische Antrieb als vorteilhafter eingeschätzt, da dieser hier bereits etabliert und weiter entwickelt ist als der H_2-Antrieb. So werden die Vorteile des Einsatzes von Wasserstoff im Transportsegment eher auf der Langstrecke gesehen. Eine Ausnahme könnten gemischte Fuhrparks darstellen, wenn bereits eine Wasserstofftankstelle für Fahrzeuge auf der Langstrecke vorhanden ist. Möglicherweise könnten in diesem Fall ebenfalls die Kurzstreckenfahrzeuge auf Wasserstoff umgestellt werden. Potenzial wird außerdem nicht elektrifizierten Zugstrecken sowie Bereichen mit unzureichender elektrischer Infrastruktur, z.B. Verteilnetzten und Stromanschlüssen, beigemessen. Wird hier eine H_2-Infrastruktur aufgebaut, könnten davon gegebenenfalls auch weitere Akteure profitieren, beispielsweise könnten neu entstandene Tankstellen für Wasserstoffzüge auch für den Straßenverkehr genutzt werden.

3.4 Implikationen für die Logistik

Auf Basis der Interview- und Workshopergebnisse sowie ergänzenden Informationen aus Literaturrecherchen konnten acht verschiedene mögliche Anwendungsbereiche von Wasserstoff in der Logistik identifiziert werden, deren Eignung im Rahmen der Gespräche diskutiert wurde. Um die Rolle der Logistik für den H_2-Markthochlauf besser einordnen zu können, werden die Diskussions- und Rechercheergebnisse zu den einzelnen logistischen Anwendungsbereichen im Folgenden kurz erläutert.

Straßenverkehre verursachen einen Großteil der verkehrsbedingten Emissionen, weshalb eine rasche Dekarbonisierung durch die Implementierung alterativer, insbesondere elektrischer Antriebe von größter Dringlichkeit ist.[80] Ein Vorteil des Wasserstoffantriebes gegenüber dem batterieelektrischen Antrieb besteht in perspektivisch schnellen Betankungsvorgängen sowie nur geringen bis keinen Reichweiten- und Zuladungsrestriktionen gegenüber dem etablierten Dieselantrieb.[81] Als besonders geeignet wird der Brennstoffzellenantrieb für schwere Lkw bzw. Fahrzeuge mit hoher Auslastung, insbesondere auf der Langstrecke, gesehen sowie überall dort, wo die Ladeinfrastruktur nicht ausreichend ausgebaut ist. Als weiteres Anwendungsgebiet mit Potenzial wurde der Bereich der Lebensmittellogistik beim Einsatz von Kühlfahrzeugen genannt. Für brennstoffzellenbetriebene Lkw ist derzeit jedoch noch keine Serienreife vorhanden. Erste Serienfahrzeuge wurden von den entwickelnden Herstellern für die zweite Hälfte dieses Jahrzehnts angekündigt.[82] So plant Mercedes Benz die Markteinführung des „GenH2 Truck“ mit 1.000 km Reichweite.[83] Im Bereich der **Wasserverkehre** wird ebenfalls Potenzial für Wasserstoffanwendungen gesehen. Als Grund hierfür wurde die fehlende Eignung des batterieelektrischen Antriebes genannt, da Batterien bei einer solchen Variante zu groß und zu schwer ausfallen würden. Zudem könnten Schiffe, die ohnehin für den Transport von H_2 eingesetzt werden, diesen auch ebenfalls nutzen. In den Untersuchungsraumschaften werden allerdings nur wenige Anwendungsfälle gesehen. Eine Möglichkeit für den Wasser-

[80] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022), S. 34
[81] Vgl. Göckeler, K. et al. (2022), S. 33f.; vgl. Bernecker, T. et al. (2020), S. 96
[82] Vgl. Göckeler, K. et al. (2022), S. 33
[83] Vgl. DVV Media Group GmbH (2022), online

stoffeinsatz könnten evtl. Fährverkehre auf dem Bodensee darstellen. Bei **Schienenverkehren** könnte der Wasserstoffantrieb insbesondere bei Rangierloks sowie auf nicht elektrifizierten Streckenabschnitten seine Wirkung entfalten. Gerade Nebenstrecken haben häufig keine Oberleitungen und der Ausbau ist dort aufgrund geringerer Auslastungen oftmals nicht wirtschaftlich.[84] Im Bereich der **Luftverkehre** wäre langfristig aufgrund hoher Abnahmemengen von Flughäfen evtl. auch der Einsatz von H_2 denkbar. Allerdings werden synthetische Kraftstoffe (Sustainable Aviation Fuels SAF) mehrheitlich als geeignetere Alternative für die zukünftige Dekarbonisierung gesehen. Dies gilt vor allem auf der Langstrecke, wo bisher kein alternativer Antrieb als realistisch gesehen wird. Bis 2030 können für regionale Flüge voraussichtlich kleine, vollelektrische Flugzeuge eingesetzt werden, z.B. vom schwedischen Flugzeughersteller Heart Aerospace mit einer vollelektrischen Reichweite von 200 km und einer Reichweite von 400 km als Hybrid.[85] Für den alternativen Flugzeugantrieb mit H_2 besteht jedoch noch weiter Weg zu einer Serienreife. Derzeit werden Flugtests von Airbus für das Ende des Jahres 2026 geplant.[86] Darüber hinaus wird jedoch auch ein möglicher Einsatzbereich für H_2 bei Bodenverkehren an Flughäfen gesehen.[87] In den betrachteten Untersuchungsraumschaften bestehen für das Luftverkehrssegment keine Anwendungsfälle. Für die Anwendung von Wasserstoff in der **Intralogistik** ist eine Serienreife im Bereich von Flurförderfahrzeugen vorhanden. Neben einer schnellen Betankung sind Ausfälle leicht durch einen Tausch der Brennstoffzelle kompensierbar. Für eine Wasserstoffanwendung in der Intralogistik sind auch Inselösungen möglich. Besonders geeignet ist der Brennstoffzellenantrieb für Flottengrößen ab 20 Fahrzeugen im Zwei- oder idealerweise Dreischichtbetrieb. Im **ÖPNV** wird der batterieelektrische Antrieb in den meisten Fällen als technisch überlegen gesehen. Oftmals ist hierfür keine neue Infrastruktur notwendig. In bergigen Regionen und auf langen Strecken, z.B. bei Überlandbussen, könnte H_2 jedoch möglicherweise seine Vorteile ausspielen.[88] Als Hemmnis für den Einsatz von Wassersoff im ÖPNV-Segment wurden die Bindung an die Ausschreibungszeiträume und lange Vorlaufzeiten bei der Planung genannt. Aufgrund einer fehlenden Technologiereife bzw. einem unzureichenden politischen Rahmen wird daher vorzugsweise auf bereits bewährte Technologien zurückgegriffen. **Kommunalanwendungen** könnten aufgrund des fehlenden Wettbewerbsdrucks eine Vorreiterrolle beim Einsatz von Wasserstoff übernehmen. Zusätzlich besteht bei ÖPNV-Anbietern der gesetzliche Druck zur Umstellung der Flotten auf saubere Fahrzeuge durch die Clean Vehicles Directive der EU, die national im Rahmen des Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetzes umgesetzt wird.[89] Im Falle des Einsatzes von H_2 wird die gute Verbindung mit den Stadtwerken für die Versorgung als vorteilhaft gesehen. Mögliche Einsatzgebiete wären unter anderem Baumaschinen oder Radlader, die aufgrund fehlender Lademöglichkeiten auf Baustellen evtl. mit H_2 betrieben werden könnten. Darüber hinaus werden Fahrzeuge mit hohem Kraftstoff- bzw. Energieverbrauch, z.B. Sammelfahrzeuge oder Müllpressen, als Anwendungsbereiche mit Potenzial gesehen. Daneben werden auch bei **Straßen- und Autobahnmeistereien** aufgrund der großen Fuhrparks und der Notwendigkeit kurzer Ladezeiten, die vor allem im Winter notwendig sind, Potenziale für Wasserstoffantriebe zugesprochen.

---

[84] Vgl. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2021), online
[85] Vgl. Ebner, U. (2023), online
[86] Vgl. Steinke, S. (2022), online
[87] Vgl. Palla, D. (2021), online
[88] Vgl. envia Mitteldeutsche Energie AG (2023), online
[89] Vgl. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2022), online; vgl. Europäische Union (2019), online

Aus diesen Ergebnissen können für den **Einsatz von Wasserstoff in der Logistik im ländlichen Raum** verschiedene **Hemmnisse** abgeleitet werden, die sich wiederum auf die Rolle der Logistik für den H_2-Markthochlauf auswirken. Im Fokus dieser Betrachtung steht dabei vor allem der Schwerlastverkehr, da dem Straßentransport für die Gewährleistung der Versorgungssicherheit im ländlichen Raum eine tragende Rolle zukommt (vgl. Kapitel 1.2). Ein zentrales Hemmnis für den H_2-Einsatz im Schwerlastverkehr ist derzeit, dass bislang noch keine Serienreife der Fahrzeuge vorhanden ist, auch wenn ab ca. 2025 mit den ersten serienreifen Wasserstoff-Lkw zu rechnen ist.[90] Darüber hinaus werden hohe Kosten für den Kauf und Betrieb von H_2-Lkw befürchtet.[91] Ein weiteres Hemmnis ist, dass Speditionen oftmals zu klein sind, um hohe Investition tätigen zu können. Außerdem wird angenommen, dass ihnen häufig die personelle Kapazität zur Beantragung von Förderungen fehlt. Dies konnte auch im Rahmen der Suche nach möglichen Interviewpartnern innerhalb der drei ländlichen Untersuchungsraumschaften beobachtet werden. Die Regionen werden geprägt durch eine Vielzahl an kleinen Speditionen ohne eigenen Internetauftritt und mit weniger als fünf Fahrzeugen. Daneben waren die Rücklaufquoten der Anfragen für ein Interview bei den ausgewählten Speditionen sehr gering. Gründe hierfür könnten neben fehlendem Interesse an Wasserstoffantrieben auch die Unternehmensgröße bzw. zeitliche Restriktionen aufgrund des Tagesgeschäftes und fehlender personeller Kapazitäten sein. Darüber hinaus ist es denkbar, dass innerhalb der Speditionen andere Strategien verfolgt werden und andere alternative Antriebsarten für die individuelle Unternehmenssituation als vorteilhafter gesehen werden.

[90] Vgl. Göckeler, K. et al. (2022), S. 33
[91] Vgl. Bernecker, T. et al. (2020), S. 96

4 Mögliche H_2-Versorgungskonzepte für den ländlichen Raum

In diesem Kapitel werden die im Rahmen der Studie betrachteten Versorgungkonzepte des ländlichen Raumes mit Wasserstoff dargestellt. Grundlegend wird auf die existierenden Transportwege und insbesondere auf das dezentrale Konzept eingegangen. Das Ergebnis ist eine Bewertung der Eignung für den ländlichen Raum.

4.1 Transportwege für H_2 im ländlichen Raum

Ein wichtiger Aspekt für den Transport und die Lagerung von Wasserstoff ist die Art der Speicherung. In nachfolgender Tabelle 2 ist eine Auswahl der im Augenblick wichtigsten und bekanntesten Speicherformen dargestellt und bewertet. Der Fokus hierbei liegt auf einer allgemeinen Bewertung, einer Darstellung der relevanten chemischen Eigenschaften und der zur Verwendung notwendigen Infrastruktur.

Tabelle 2 Bewertung der Speicherarten von Wasserstoff

Technologie	Bewertung	Eigenschaften	Infrastruktur (intern, extern)
Gas (350 bar)	• Standardverfahren • Gut geeignet bei kleinen Mengen • Hohes Speichervolumen	Dichte: ca. 24 kg/m³ Energiegehalt: 0,8 kWh/l	<u>Intern:</u> Tanklagerstruktur mit Ladeinfrastruktur • Containersystem, verbunden mit Leitungen, welche zur BZ führen • Großer Tank inkl. Ladestruktur (vgl. Tankstelle) <u>Extern:</u> Lieferantenstruktur • Externe Lieferanten • Lokale/Eigenproduktion
Gas (700 bar)	• Hoher technischer Aufwand • Niedrigeres Speichervolumen als 350 bar	Dichte: ca. 40 kg/m³ Energiegehalt: 1,33 kWh/l	<u>Intern:</u> Tanklagerstruktur mit Ladeinfrastruktur • Containersystem, verbunden mit Leitungen, welche zur BZ führen • Großer Tank inkl. Ladestruktur (vgl. Tankstelle) <u>Extern:</u> Lieferantenstruktur • Externe Lieferanten • Lokale/Eigenproduktion
Flüssig-H_2	• Sehr hoher Herstellaufwand/Kosten/Lagerkosten	Dichte: ca. 71 kg/m³	

	• Sehr niedriges Speichervolumen • Nur für spezielle Anwendungen sinnvoll	Energiegehalt: 2,4 kWh/l Kühlenergie (Min): 3,9 kWh/kg Kühlenergie: 12 - 15 kWh/kg	
LOHC	• Exotherm bei Speicherung, benötigt Energie und Katalysator, um H_2 freizugeben • Der organische Träger muss erst gewonnen werden • Neben Antransport ist der Abtransport des Trägers notwendig	Energiedichte: 2 kWh/kg Wasserstoffdichte: 57 kg/m³	<u>Intern:</u> Lagertank für LOHC • Reaktor zur Rückgewinnung von H_2 • 2. Lagertank für verbrauchtes LOHC • Rohrleitungssysteme zum Verbinden der Anlagen • Prozesswärme für Reaktor (ca. 300 °C) <u>Extern:</u> • Versorger/Entsorger für LOHC
Ammoniak	• Hoher Energiebedarf zur Erzeugung (ca. 200 bar und 723,15 °K) • Reines N_2 muss aus Luft gewonnen werden • Giftig, umweltgefährdend, ätzend	Dichte (Norm, Gas): ca. 0,73 kg/m³ Dichte (flüssig): 680 kg/m³ Energiegehalt: 6,25 kWh/kg (wird direkt verbrannt, also keine Rückumwandlung in H_2)	<u>Intern:</u> • Anliefersystem (einfach) • Lagertank für Giftstoffe • Rohrleitungssystem <u>Extern:</u> • Lieferanten (mehrheitlich Chemieindustrie) • Unproblematisch, da Standard-Gut
MOF/ Metallhydride	• Sehr hohes Gewicht des Tanks wg. poröser Metallfüllung • Vorteil: H_2 kann unter geringem Druck eingebracht werden und aufgrund der Sorption sehr lange und sicher gelagert werden • Für mobile Anwendungen unbrauchbar, Bsp. für Metallhydrid: PowerPaste (FhG)	H_2-Speicherkapazität: 1 - 2 $\%_{gew}$ (konventionelle. Hydride) H_2-Speicherkapazität: 3 - 15 $\%_{gew}$ (komplexe Hydride)	<u>Intern:</u> • Anliefersystem (gasförmig) • Kompressorsystem • "Reaktor" mit Heizsystem für Adsorption und Desorption <u>Extern:</u> • Lieferung über Gasflaschen oder Tankzüge (Gas)

Quelle: eigene Darstellung, Datenquellen: National Institute of Standards and Technology (2021), online; AMBARtec AG (2023), online; Wirtschaftsverband Fuels und Energie e.V. (2021), online

Für den Transport von Wasserstoff stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Jede davon hat Vorteile und Nachteile, weshalb sie für die Eignung für den ländlichen Raum geprüft werden müssen. In Tabelle 3 ist ein allgemeiner Überblick über die Transportmöglichkeiten von H_2 dargestellt.

Tabelle 3 Überblick über Transportwege für H_2

	H_2-Formen	Umsetzungs-horizont	Transport-kapazitäten	Transport-distanz	Informationen
Pipeline	gasförmig	langfristig, hohe Investitionen	>= 100 t/d	200 – 3.000 km	Netz hat Speicherwirkung
Straße	gasförmig, flüssig, chemisch gebunden	kurzfristig, schrittweise Investitionen	500 – 1.000 kg (g) 4.000 kg (l)	Bis ca. 80 km	Container oder Tanker möglich, bisher nur konventionelle Antriebe
Schiene	gasförmig, flüssig	mittelfristig, schrittweise Investitionen	11 t (g) 44 t (l)	Ca. 500 km	Entladeterminal und Schieneninfrastruktur müssen vorhanden sein
Wasser-straße	gasförmig, flüssig, chemisch gebunden	langfristig, hohe Investitionen	Ca. 75 t (l)	> 20.000 km	passende Infrastruktur und Anbindung notwendig

Quelle: eigene Darstellung

Der ländliche Raum weist, wie in Kapitel 1 erklärt, oft eine Infrastrukturschwäche auf, daher müssen die genannten Transportmöglichkeiten vor diesem Hintergrund bewertet werden. Diese Einschätzung stellt eine Momentaufnahme zum jetzigen Zeitpunkt (2023) dar.

Tabelle 4 Bewertung der Transportwege für den ländlichen Raum (Momentaufnahme)

	Bewertung für ländlichen Raum	Kommentar
Pipeline	mittel	Zu hohe Investitionen, eventuell, wenn Pipeline schon durch die Region führt. Gute Zukunftsaussichten
Straße	gut	Straßen vorhanden, können ausgebaut werden. Kapazitäten eventuell begrenzt.
Schiene	mittel	Falls vorhanden inkl. Güterbahnhof. Gute Möglichkeit viel Wasserstoff in die Region zu bringen. Last Mile mit Lkw.
Wasserstraße	mittel	Falls schiffbare Gewässer vorhanden, (Güter-) Hafen von Vorteil. Hohe und langfristige Investition.

Quelle: eigene Darstellung

Aufgrund der hohen Investitionskosten für den Aufbau von Pipelines und der oft nicht vorhandenen schiffbaren Wasserwege sind Straße und Schiene die wichtigsten und wahrscheinlichsten Transportwege, um den Wasserstoff in die Region zu bekommen. Die Last Mile wird über Lkw abgedeckt werden, da diese die größte Flexibilität bei gleichzeitig akzeptablem Transportvolumen bieten. Diese Erkenntnisse decken sich mit den Einschätzungen der Akteure der einzelnen Untersuchungsraumschaften, welche Schiene und Lkw zunächst als die sinnvollsten Transportmöglichkeiten genannt haben.

Zur Auswahl des passenden Transportwegs für eine Region können folgende Faktoren zur Bewertung herangezogen werden:

1. **Investitionsstärke**
   Wie hoch ist die finanzielle Stärke der Akteure in der Region, können große Investitionen getätigt werden oder muss ein enger Rahmen eingehalten werden? Lkw sind hier die günstigere Lösung im Bereich Anschaffung, jedoch wird der Wasserstoff beim Transport über größere Wegstrecken unwirtschaftlich.

2. **Transportvolumina**
   Wie viel Wasserstoff muss in die Region transportiert werden und wie regelmäßig? Handelt es sich um Kleinstmengen (bis 500 kg/d), reicht ein Lkw aus, bei höheren Mengen werden andere Wege wie bspw. die Schiene interessant.

3. **Zeithorizont bis zur Verfügbarkeit**
   Muss der Wasserstoff schnell verfügbar sein (wenige Wochen bis Monate)? Es bieten sich Lkw an, da diese vorhanden sind und den Wasserstoff über Druckbehälter transportieren können. Bei langfristigen Zeiträumen von einem bis mehreren Jahren kann ein optimierter Transportweg wie Schiene oder Pipeline sinnvoller sein.

4. **Verfügbarkeit von Verkehrsinfrastruktur**
   Wie gut ist die Region mit bspw. Umschlagshäfen und Güterbahnhöfen ausgebaut? Liegen die Verbraucher in deren Radius, bietet sich das korrespondierende Transportmedium an. Falls es die Straßensituation und Auslastung zulassen, kann auch der Transport mit Lkw sinnvoll sein.

5. **Zukunftsaussichten**
   Wie langfristig ist das Szenario ausgelegt? Große Investitionen, wie beispielsweise in ein Schiff sind nur sinnvoll, wenn der Abschreibungszeitraum überschritten wird. Dabei ist zu beachten, wie die Region in Zukunft ausgebaut wird. Wird bspw. in einigen Jahren eine Erdgas- / H_2-Pipeline direkt durch die Region verlaufen, ist eine Investition in ein Schiff nicht sinnvoll.

6. **CO_2-Emissionen**
   Wie viel Wert wird auf Emissionen gelegt? Ist das Ziel „Zero-Emission“, sollte auf Lkw möglichst verzichtet werden.

4.2 Grundlagen Versorgungskonzepte

Ein **dezentrales Versorgungssystem** beinhaltet mehrere Verteilzentren oder andere Verteilmöglichkeiten für Wasserstoff wie beispielsweise Tankstellen. Ziel ist es, eine resiliente Infrastruktur für eine Verteilung zu erhalten. Bei der Planung und Evaluation eines solchen Netzwerks gibt es einige Punkte, die betrachtet werden müssen:

1. **Ermittlung der Potenziale (Bedarf, Erzeugung)**
   Wo können innerhalb der Region Strom und Wasserstoff erzeugt werden? Wo wiederum liegen die Verbraucher und welche Mengen werden benötigt?

2. **Positionierung der Verteilzentren**
   Strategische Position, um eine gute logistische Anbindung zu erhalten und eine örtliche Nähe zu Verbrauchern sicherzustellen.

3. **Versorgung der Zentren**
   Welche Möglichkeiten der Anbindung gibt es? Lkw, Zug, Schiff, Pipeline oder gibt es sogar einen lokalen Lieferanten? Notfalls muss der H_2 von außerhalb der Region importiert werden.

4. **Schaffung von Alternativen (Lieferanten)**
   Möglichst verschiedene Versorgungsmöglichkeiten sollten etabliert werden. Falls ein Anbieter oder Lieferweg ausfällt, kann dieser schnell ersetzt werden. Solche Alternativen können ein Pool von Anbietern sein, aber auch flexibel aufgestellte Versorger, wie bspw. Tankstellen, die auch größere Mengen direkt verkaufen können.

Wie bereits in Kapitel 3.1 beschrieben, gibt es weitere Möglichkeiten eine Versorgung mit Wasserstoff zu realisieren. Ein **zentrales Versorgungssystem** besteht primär aus einem großen einzelnen Versorgungszentrum, das die gesamte Region versorgt. Der **Import** aus anderen Regionen ist eine weitere Möglichkeit. Hierdurch bestehet keine Notwendigkeit für den Unterhalt von Versorgungszentren besteht, jedoch hat der Import eine größere Unsicherheit und Abhängigkeit bei der Versorgung zur Folge. Zudem kann der Wasserstoff auch **lokal produziert** werden. Dazu müssen allerdings mehrere Faktoren beachtet werden. Beispielsweise muss hierzu auch eine korrespondierende, dedizierte Produktion von erneuerbaren Energien aufgebaut werden, welche sich in direkter Nähe zur Wasserstofferzeugungsanlage befindet. Weiterhin sind die Anlagen sehr teuer, was ein Konsortium mit vertraglicher Bindung der Partner erforderlich macht. Dies kann zum Beispiel eine verpflichtete Abnahme bestimmter Wasserstoffmengen beinhalten. Daher wird im ersten Schritt das lokale Szenario nur als Ergänzung zum Import gesehen.

Im Vergleich mit zentralem Konzept und Import weist ein dezentrales Versorgungssystem einige Vor- und Nachteile auf (Tabelle 5).

Tabelle 5 Vor- und Nachteile der Versorgungssysteme

	Dezentral	Zentral	Import
Vorteile	• Sehr ausfallresilient • Kleinere Speicher beim Endverbraucher • Anbieterdiversität • Lokal produzierte Mengen können gespeichert werden	• Lagerung der Hauptmenge Wasserstoff obliegt dem Hub • Versorgung unabhängig von weit entfernten Importeuren • Bessere Ausfallsicherheit als beim Import • Lokal produzierte Mengen können gespeichert werden	• Keine größeren Investitionen (z. B. in Infrastruktur) • Einfache Abwicklung
Nachteile	• Höhere Investitionen (mehrfache Hubs) • Weniger Skaleneffekte wegen niedrigerer Größe der Hubs • Komplexere Belastung der Transportwege	• Nur ein Hub, wenig Diversität • Mögliche Lieferschwierigkeiten oder Ausfall eines Hubs → Risiko für Kunden	• Sehr große Transportwege • Abhängigkeit von Extern • Probleme bei Lieferausfall • Große Speicher beim Endverbraucher notwendig

Quelle: eigene Darstellung

Bewertung eines dezentralen Versorgungskonzepts

Ein dezentrales Versorgungskonzept kann verschiedentlich aufgebaut werden. Die Basisidee ist eine Verteilung der einzelnen Versorger zu errichten, um bei Ausfall einzelner Akteure weiterhin den Bedarf decken zu können. Dabei sind folgende Möglichkeiten für eine Flexibilisierung besonders zu beachten:

- Mehrere strategisch verteilte Versorgungszentren
- Verteilte, lokale Wasserstoffproduktion, um vom Import weniger abhängig zu sein
- Einbindung von Unternehmen (bspw. Abkauf von erzeugtem Wasserstoff/Strom)
- Mobile Versorgungsmöglichkeiten (z. B. mobile H_2-Tankstellen)
- Analyse und Planung der Kundenstruktur und der Bedarfe

Je besser diese Punkte erfüllt und je ausführlicher diese umgesetzt wurden, desto flexibler ist das entstehende System und desto widerstandsfähiger ist es gegen Ausfälle. Außerdem wird die Möglichkeit gegeben, lokale Gegebenheiten zu testen und bei besonders profitablen Stellen auszubauen, wohingegen, speziell bei mobilen Tankstellen, ein unprofitabler Standort gewechselt werden kann. Speziell auf den ländlichen Raum bezogen sind diese Punkte besonders wichtig. Aufgrund der großen Entfernungen und der Weitläufigkeit, muss ein stabiles und resilientes System entstehen und Standorte sollten mit großer Sorgfalt gewählt werden. Zu diesem Zweck wird im nächsten Kapitel eine Simulation möglicher Szenarien durchgeführt. Somit soll eine Einschätzung vereinfacht und die Vor- und Nachteile der jeweiligen Versorgungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

5 Simulation der Konzepte

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Durchführung der Simulation der verschiedenen Versorgungskonzepte. Der Fokus liegt dabei auf der Bewertung hinsichtlich der Eigenheiten des ländlichen Raums.

5.1 Vorbereitung

In diesem Kapitel werden die für die Simulation notwendigen Voraussetzungen eingeführt. Der Fokus hierbei liegt auf den grundsätzlichen Überlegungen wie zum Beispiel der Zielsetzung sowie den weiteren Voraussetzungen wie Datensammlung und Informationen zur verwendeten Software.

Zielsetzung

Die Entwicklung der Simulationen soll helfen die Möglichkeiten in der Region abzuschätzen und mögliche Handlungspfade bewerten zu können. Anhand der zugrundeliegenden Daten kann eine reale Logistik mit dem Transportgut Wasserstoff virtuell aufgebaut und auf Funktionalität getestet werden. Die dabei erhaltenen Daten wie beispielsweise die Anzahl der notwendigen Lkw, die gefahrene Strecke und der CO_2-Ausstoß, ermöglichen zusätzlich einen Vergleich zwischen den Szenarien und damit eine Bewertung der zugrundeliegenden logistischen Struktur. Die Basis der Simulation besteht dabei aus den Ergebnissen der Interviews und des Workshops und basiert damit auf den Erwartungen und Einschätzungen der Akteure der jeweiligen Raumschaft. Soweit vorhanden wurden die angegebenen Energieverbräuche der an der Studie teilnehmenden Unternehmen verwendet, ergänzend wurden entsprechende Abschätzungen auf Basis von CSR- und Klimaberichten, sowie Erfahrungswerten getroffen.

Vorbereitung (Datensammlung)

Zur Vorbereitung diente die Auswertung der Interviews und des Workshops. Dabei wurden logistische Verteilkonzepte, Verbraucher sowie potenzielle Wasserstofferzeuger identifiziert. Bei Verbrauchern, die einen konkreten Wasserstoffbedarf genannt hatten, wurde dieser übernommen. Bei den restlichen Akteuren wurde anhand der potenziellen Energiemengen ein theoretischer Wasserstoffbedarf abgeschätzt. Bei einer Tankstelle beispielsweise werden 90 kg Wasserstoff pro Tag angesetzt, da dies die Rentabilitätsgrenze darstellt.

Beschreibung der Software

AnyLogistix ist eine Software zur Planung und Simulation von Logistik. Diese bildet die verschiedenen berücksichtigten Rollen der Wasserstoffverteilung ab (siehe Tabelle 6):

Tabelle 6 Symbolbedeutung in AnyLogistix

Symbol	Rolle	Beschreibung
	Supplier	Lieferant von Ausgangsgütern, eine unendliche Quelle. Hier der Import in die Region
	Factories	Lokale Produzenten von Wasserstoff
	Warehouses	Funktionsweise zum einen als Lager für die Verbraucher und zum anderen als Hub (Zentrallager/Versorger)
	Customers	Verbraucht den im angeschlossenen Lager liegenden Wasserstoff

Quelle: eigene Darstellung

Somit kann ein Ökosystem aus Sicht der Logistik aufgebaut werden.

5.2 Beschreibung der Szenarien

Betrachtet werden bei der Simulation die drei Untersuchungsraumschaften Hohenlohekreis, Main-Tauber-Kreis und Bodenseekreis. Jedes dieser Gebiete wurde mit einer Anzahl Verbraucher, Warenhäuser und Versorger aufgebaut. Diese wurden in Form von je drei Versorgungskonzepten (Hub, dezentral und reiner Import) aufbereitet:

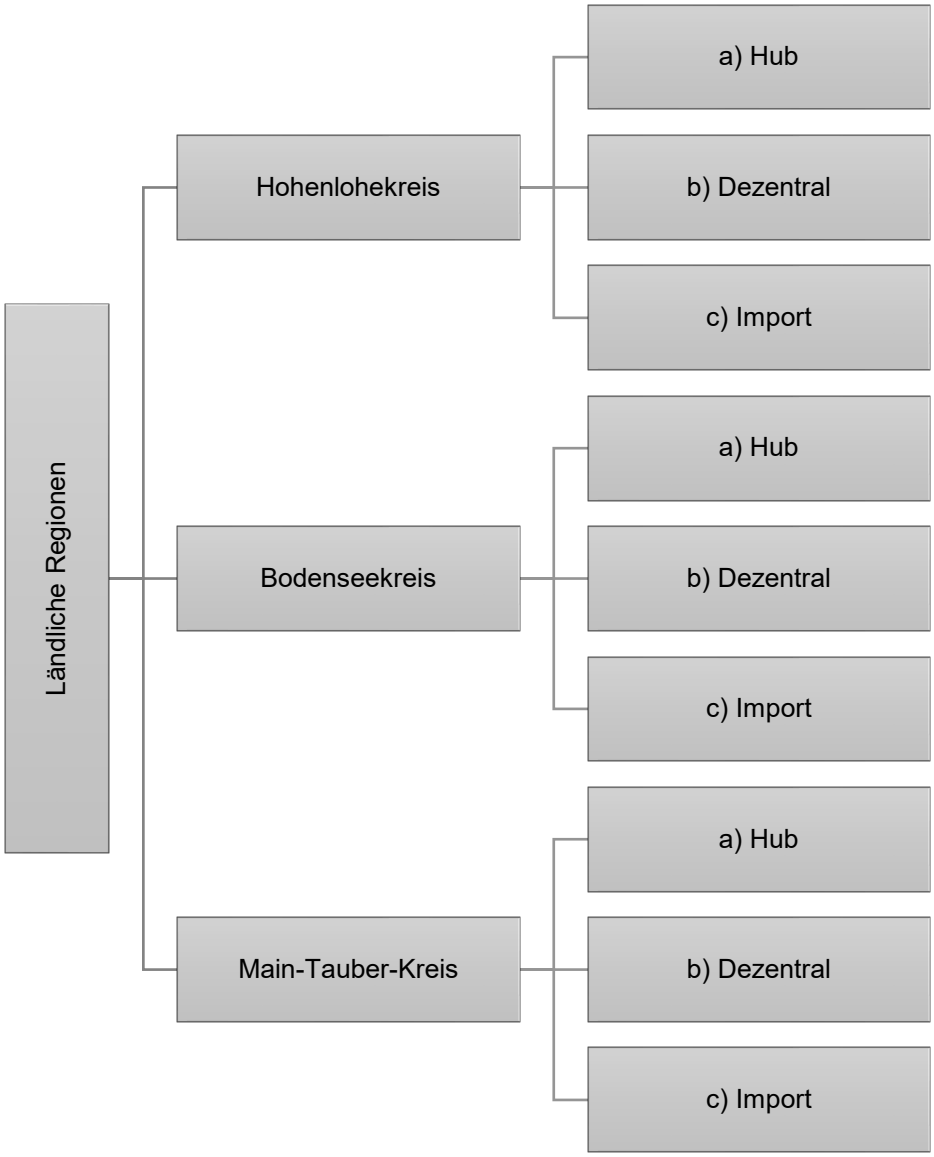
- **Hub:**
  Verteilung des Wasserstoffs von einem zentralen Versorgungszentrum (Hub) ausgehend. Dieser wird wiederum von einer lokalen Quelle und als Backup, falls die Produktion vor Ort nicht ausreicht, durch Import versorgt. Die Verbraucher bekommen ihren Bedarf durch Ordern vom Hub gedeckt.

- **Dezentral:**
  Verteilung des Wasserstoffs von mindestens zwei zentralen Versorgungszentren (Subhubs). Diese werden wiederum von einer lokalen Quelle und als Backup, falls die Produktion vor Ort nicht ausreicht, durch Import versorgt. Die Verbraucher bekommen ihren Bedarf durch Ordern von den Subhubs gedeckt. Entscheidend ist hier zum einen die Entfernung zwischen Verbraucher und Hub, zum anderen aber auch die vorhandene Menge Wasserstoff. Diese muss ausreichen, um die Order abzudecken. Anhand dieser Faktoren wird der beliefernde Hub ausgewählt.

- **Import:**
  Belieferung der Verbraucher durch Import des Wasserstoffs von außerhalb der Region. Hier gibt es keine Zwischenlagerung. Die Bevorratung obliegt allein den Kunden, dieses Szenario dient als Standard für den Vergleich.

Somit ergibt sich folgende Darstellung der Szenarien (Abbildung 5):

Abbildung 5 Zusammenstellung der Simulationsszenarien



Quelle: eigene Darstellung

Szenariengruppe 1 - Hohenlohekreis

In Gruppe 1 wurde folgendes Setup aus Verbrauchern, Verteilzentren und Produzenten gewählt (Tabelle 7):

Tabelle 7 Akteure der Simulation im Hohenlohekreis

Art	Anzahl	Gebiete	Kommentar
Verbraucher	3	• 2 Industrie • 1 Spedition	Alle Szenarien
Verteilzentren	1	• Hub	Nur Hub
	2	• 2 Subhubs	Nur dezentral
Versorgung	1	• 1 Produzent	Hub und dezentral
	1	• 1 Import	Alle Szenarien

Quelle: eigene Darstellung

Diese Akteure wurden je nach Szenario, wie in der Kommentarspalte angegeben, verwendet. Die Positionen wurden zwischen den Szenarien beibehalten, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

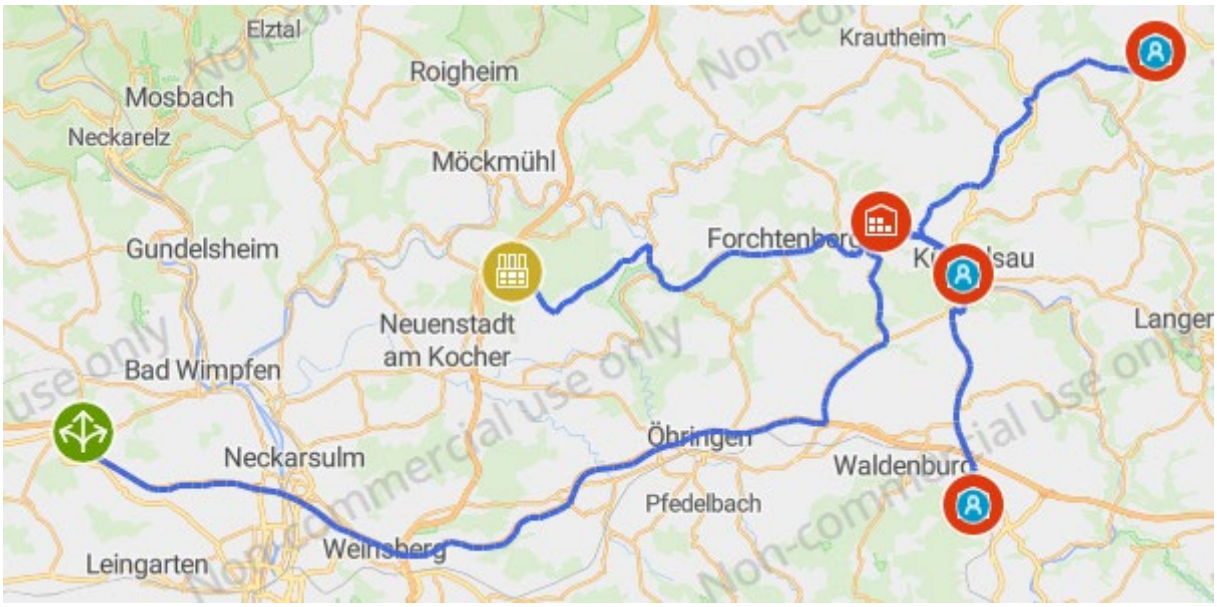
a) Hub

In diesem Szenario wurde eine zentrale Versorgungsstelle zwischen Niedernhall und Ingelfingen gelegt. Dieser Ort bietet sich gut an, da Freiflächen vorhanden sind und die Anbindung an die Verkehrsader Kochertalstraße gegeben ist, welche den Großraum Heilbronn mit Künzelsau verbindet. Verbraucher sind wie in Tabelle 5 beschrieben aus den Bereichen Spedition und Industrie, vornehmlich Maschinenbau. Weiterhin wurde ein existenter Wasserstoff-Produzent[92] im Bereich Hardthausen lokalisiert, welcher als lokale Quelle dient. Der Standort wurde gewählt, da hier eine Nähe zum Bürgerwindpark Hardthausen[93] existiert, womit eine Produktion von grünem H_2 möglich wird. Dieser lokale Produzent wird durch eine externe Quelle (grünes Symbol) ergänzt. Jeglicher Bedarf, der nicht lokal gedeckt werden kann, wird von hier importiert.

[92] Vgl. Plattform h2bw (2022), online
[93] Vgl. ZEAG Energie AG (o.J.), online

Die genaue Verteilung ist in Abbildung 6 zu sehen. Die benutzten Verkehrswege sind in blau dargestellt.

Abbildung 6 Übersicht Simulation Hohenlohekreis - Hub



Quelle: eigene Darstellung

b) Dezentral

Zentrale Komponenten in diesem Szenario sind die beiden Verteilzentren (Subhubs), welche im Vergleich zum vorhergehenden Fall den Zentralhub ersetzen. Diese befinden sich strategisch positioniert in Krautheim, das auf der Hauptverkehrsstraße ins Jagsttal liegt und in Kupferzell, in der Nähe der Autobahn A6.

Die Verbraucher sind dieselben wie in Szenario a) und befinden sich daher auch an derselben Position. Gleiches gilt für den Wasserstoffproduzenten und die Import-Quelle.

In nachfolgender Grafik (Abbildung 7) sind die Zusammenhänge dargestellt:

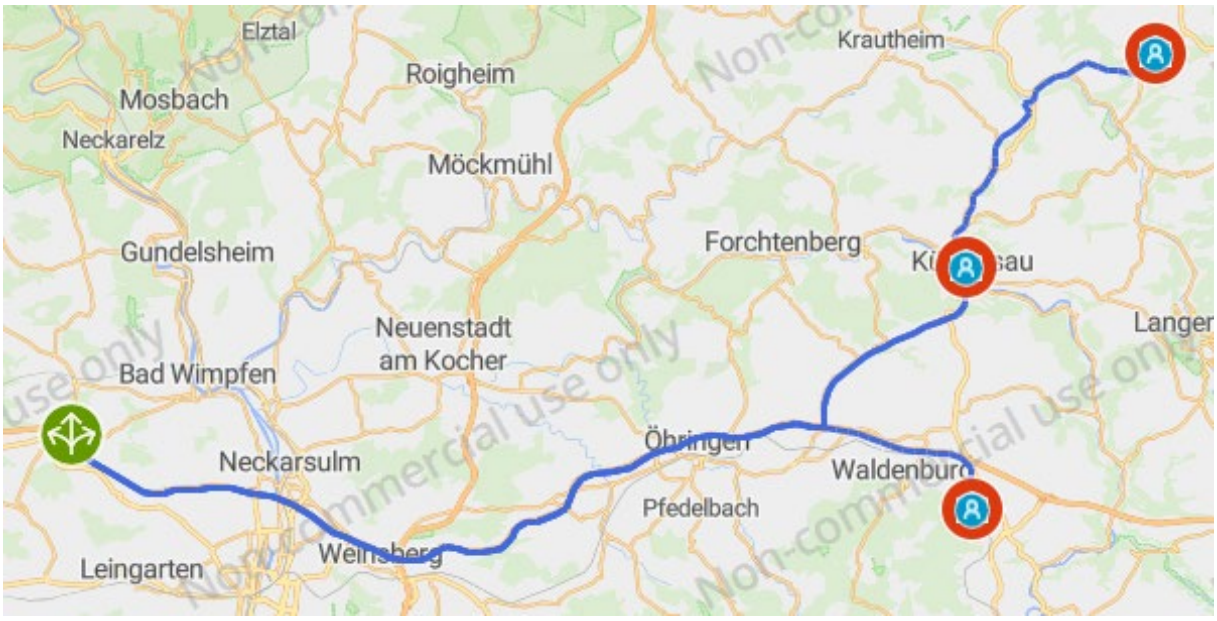
Abbildung 7 Übersicht Simulation Hohenlohekreis - Dezentral

Quelle: eigene Darstellung

c) Import

In diesem letzten Szenario der ersten Gruppe ist der reine Import als Vergleich dargestellt. In nachfolgender Grafik (Abbildung 8) ist erkennbar, dass die Verbraucher und der Standort für den Import gleichgeblieben sind:

Abbildung 8 Übersicht Simulation Hohenlohekreis - Import



Quelle: eigene Darstellung

Szenariengruppe 2 – Bodenseekreis

In Gruppe 2 wurde folgendes Setup aus Verbrauchern, Verteilzentren und Produzenten gewählt (Tabelle 8):

Tabelle 8 Akteure der Simulation im Bodenseekreis

Art	Anzahl	Gebiete	Kommentar
Verbraucher	3	• 3 Industrie	Alle Szenarien
Verteilzentren	1	• Hub	Nur Hub
	3	• 3 Subhubs	Nur dezentral
Versorgung	1	• 1 Produzent	Hub und dezentral
	1	• 1 Import	Alle Szenarien

Quelle: eigene Darstellung

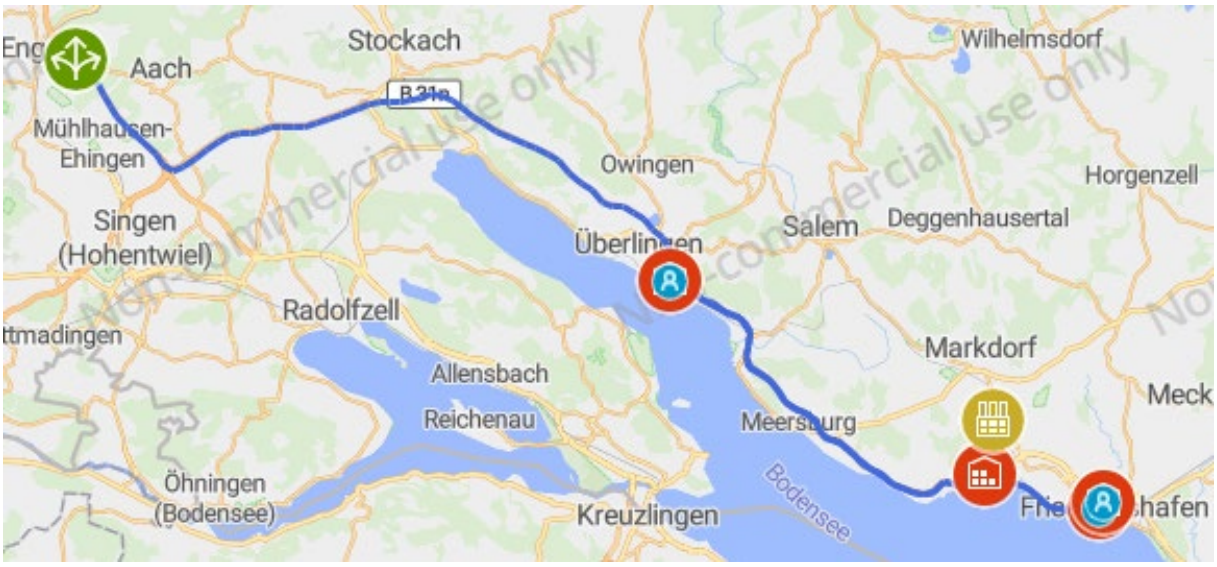
Es wurden hier keine Speditionen ausgewählt, da es hier nur wenige gibt und diese nicht für ein Interview zur Verfügung standen.

Die Akteure wurden je nach Szenario, wie in der Kommentarspalte angegeben, verwendet. Die Positionen wurden zwischen den Szenarien beibehalten, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

a) Hub

Im Hub-Szenario wurde das zentrale Verteilzentrum zwischen Immenstaad am Bodensee und Fischbach, an der Hauptverkehrsader B31, verortet. Er liegt somit relativ zentral zwischen den Verbrauchern, die in Überlingen und Friedrichshafen liegen und dem lokalen Wasserstoffproduzenten, der aufgrund der Nähe und sonst fehlender Anhaltspunkte in Kluftern angesiedelt wurde. Ergänzt wird das System durch einen externen Importeur auf der Seite der Autobahn A81. Das Netz ist in nachfolgender Abbildung 9 dargestellt:

Abbildung 9 Übersicht Simulation Bodenseekreis - Hub

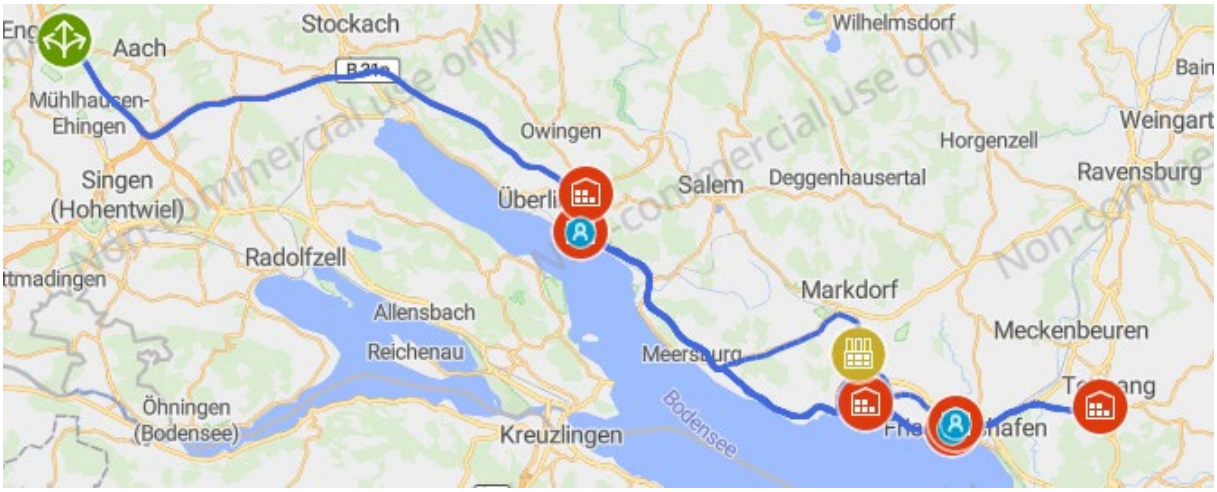


Quelle: eigene Darstellung

b) Dezentral

Im dezentralen Versorgungskonzept wurden in diesem Fall drei Subhubs gewählt. Der Grund ist die spezielle Lage zwischen den beiden Nord-Süd-Autobahnen A81 und A7. Positioniert sind diese in der Nähe von Überlingen, zwischen Immenstaad am Bodensee und Fischbach sowie bei Tettnang. Die Verbraucher sind wie im Hub-Szenario verteilt, ebenso ist die Position der beiden Wasserstoffquellen, Produzent und Importeur, gleich. In Abbildung 10 kann dies eingesehen werden:

Abbildung 10 Übersicht Simulation Bodenseekreis - Dezentral

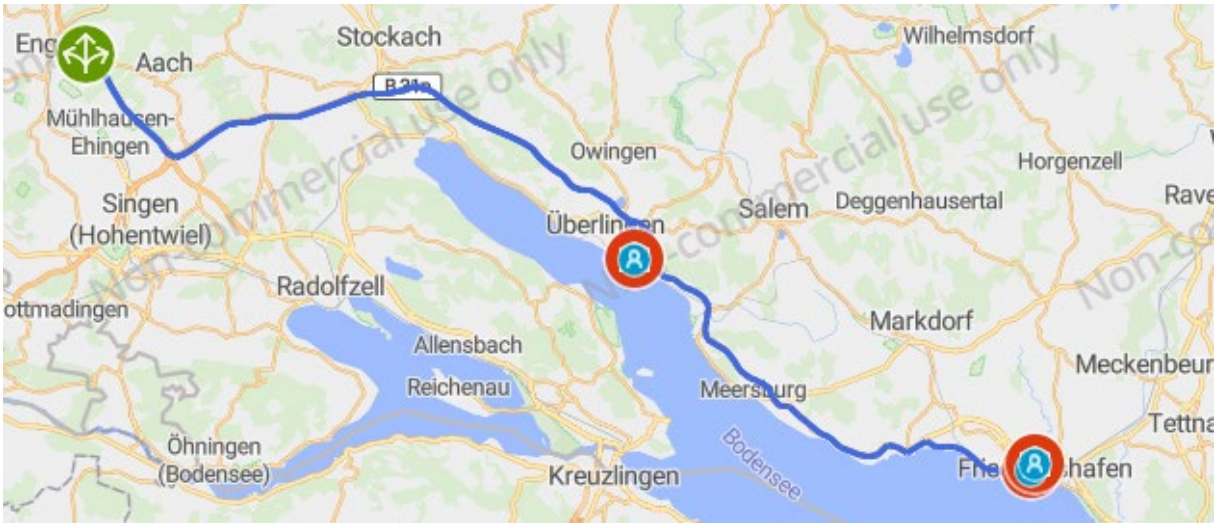


Quelle: eigene Darstellung

c) Import

Das Vergleichsszenario Import umfasst in diesem Fall wieder die drei Verbraucher und die externe Wasserstoffquelle, welche an der A81 platziert wurde. Dazu kann folgende Grafik eingesehen werden (Abbildung 11):

Abbildung 11 Übersicht Simulation Bodenseekreis - Import



Quelle: eigene Darstellung

Szenariengruppe 3 – Main-Tauber-Kreis

In Gruppe 3 wurde folgendes Setup aus Verbrauchern, Verteilzentren und Produzenten gewählt (Tabelle 9):

Tabelle 9 Akteure der Simulation im Main-Tauber-Kreis

Art	Anzahl	Gebiete	Kommentar
Verbraucher	4	• 2 Industrie • 1 Spedition • 1 Tankstelle	Alle Szenarien
Verteilzentren	1	• Hub	Nur Hub
	2	• 2 Subhubs	Nur dezentral
Versorgung	1	• 1 Produzent	Hub und dezentral
	1	• 1 Import	Alle Szenarien

Quelle: eigene Darstellung

Die Akteure wurden je nach Szenario, wie in der Kommentarspalte angegeben, verwendet. Die Positionen wurden zwischen den Szenarien beibehalten, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

a) Hub

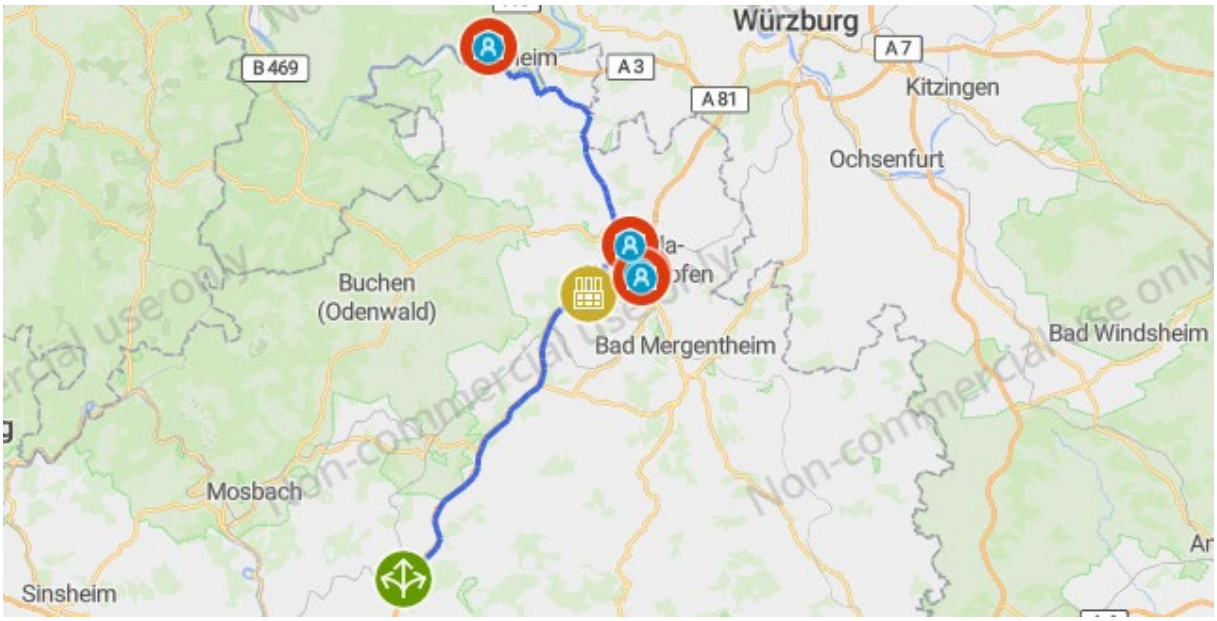
Der zentrale Hub in diesem Szenario wurde in Lauda-Königshofen lokalisiert. Hier ansässig ist die Firma Herm, welche die Wasserstoff-Allianz Main-Tauber gegründet hat.[94] In dieser Region sind auch weitere Wasserstoffaktivitäten geplant und die Lage ist sehr zentral und autobahnnah.

Verbraucher sind hier eine Tankstelle und ein Versorgungszentrum für Lkw, sowie ein lokales Industrieunternehmen. Dazu kommt ein Verbraucher im Industriegebiet Wertheim.

Wasserstoff-Quellen sind hier wieder ein lokaler Produzent, welcher in der Nähe eines Solarparks platziert wurde und ein externer Importeur aus Richtung Heilbronn. In nachfolgender Abbildung 12 ist das System dargestellt.

[94] Vgl. SWR (2022), online

Abbildung 12 Übersicht Simulation Main-Tauber-Kreis - Hub



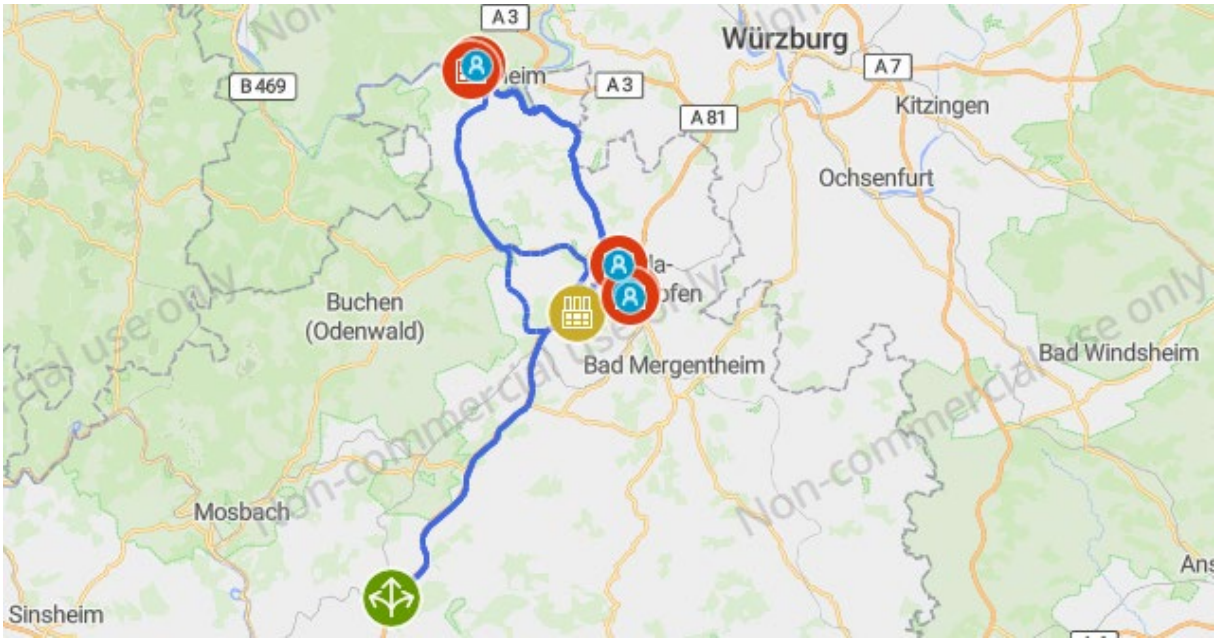
Quelle: eigene Darstellung

b) Dezentral

Der zentrale Hub aus Szenario a) wurde hier durch zwei Subhubs ersetzt. Der eine befindet sich an der gleichen Stelle wie der Zentralhub und der andere in Wertheim, da hier ein Industriegebiet mit mehreren potenziellen Verbrauchern existiert.

Die Verbraucher für den Wasserstoff wurden wieder an der gleichen Stelle, in Lauda-Königshofen und Wertheim belassen. Gleiches gilt für die Quelle aus Richtung Heilbronn. Das genaue Netzwerk ist nachfolgender Grafik (Abbildung 13) zu entnehmen:

Abbildung 13 Übersicht Simulation Main-Tauber-Kreis - Dezentral

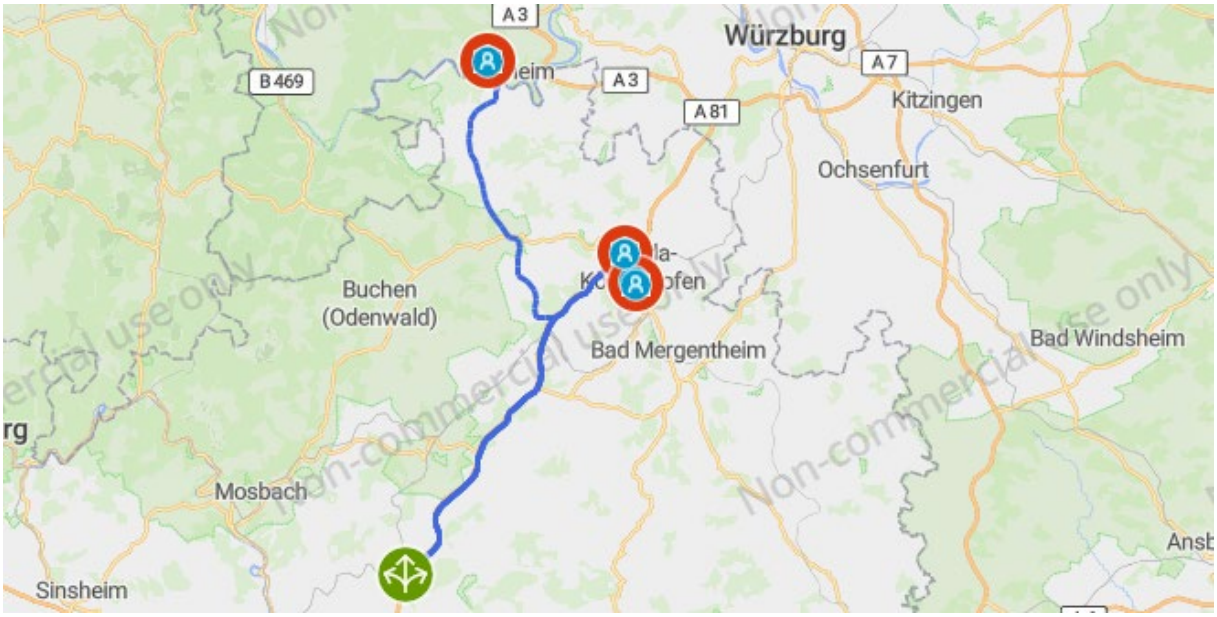


Quelle: eigene Darstellung

c) Import

Das Importszenario für den Main-Tauber-Kreis besteht aus den bekannten vier Verbrauchern und der Wasserstoff-Import-Quelle aus Richtung Heilbronn (siehe Abbildung 14).

Abbildung 14 Übersicht Simulation Main-Tauber-Kreis - Import



Quelle: eigene Darstellung

5.3 Ergebnisse und Auswertung

Anhand der Ergebnisse der Simulationen kann man ableiten, dass jedes Szenario verschiedene Vor- und Nachteile hat. Allgemein ist die Anzahl der fahrenden Lkw bei den Importszenarien am geringsten, was auf die nicht vorhandene Speicherung in lokalen Versorgungszentren zurückzuführen ist. Überschlagsweise kann man annehmen, dass pro Strecke jeweils ein Lkw gebraucht wird. Da sich die Anzahl der Strecken bei zwischengeschalteten Versorgungszentren verdoppelt, werden auch mehr Lkw gebraucht. Weitere wichtige Punkte der Betrachtung sind wie folgt:

Komplexität

In diesem Abschnitt wird der infrastrukturelle Aufwand bewertet, um die Szenarien umzusetzen. Das am einfachsten umzusetzende Konzept ist der Import. Hier werden abgesehen von der Lagerinfrastruktur der Verbraucher keine weiteren infrastrukturellen Erweiterungen benötigt. Die Umsetzung kann daher sehr schnell stattfinden und benötigt wenig Investitionen.

Das Hub-Konzept ist vom Komplexitätsgrad etwas aufwändiger als der reine Import. Hier muss weitere Infrastruktur in Form eines Zentrallagers für die Region geschaffen werden. Dieses muss entsprechend des potenziellen (und sich entwickelnden) Bedarfs dimensioniert sein und eine entsprechende Lade-/Entladestruktur aufweisen, um einen ausreichenden Güterumschlag zu gewährleisten.

Das dezentrale Szenario ist das komplizierteste und benötigt am meisten Aufwand zur Umsetzung. Hierbei müssen mehrere strategisch gut gelegene Standorte identifiziert werden, die Flächen erworben und mit mittelgroßen Versorgungszentren bebaut werden, wobei jeweils

eine eigene Infrastruktur und Anbindung notwendig ist. Der Aufwand steigt also mit der Zahl der angestrebten Umschlagsplätze.

CO_2-Emissionen

Der CO_2-Ausstoß hängt nicht allein von der Anzahl der Lkw ab, sondern von der Menge der gefahrenen Kilometer. Diese sind aufgrund der weiten Distanzen für einen Import beim zentralen und dezentralen Versorgungskonzept deutlich höher, was folglich zu deutlich höheren CO_2-Emissionen führt. In Bezug auf die Aspekte Nachhaltigkeit und Versorgungssicherheit sind das Hub-Szenario und das dezentrale Szenario zu bevorzugen. Insgesamt ist aufgrund von Ausfallsicherheit und der Versorgungsdistanz das dezentrale Konzept besser geeignet, verursacht jedoch aufgrund mehrerer Bauprojekte höhere Investitionskosten und benötigt mehr Platz. Die untersuchten Fälle bauen darauf, dass abgesehen vom Importszenario immer eine lokale Produktion von grünem Wasserstoff aufgebaut wird. Somit sind die Regionen mit den ermittelten Werten für die H_2-Produktion weitestgehend autark, was zu einer Minimierung der Fahrstrecken und damit der Emissionen führt. Dabei hat das dezentrale Szenario einen minimalen Vorteil gegenüber dem Zentrallager, da hier die Strecken potenziell stärker verkürzt werden können.

Durch die Substitution des fossilen Brennstoffs durch Wasserstoff auf Seiten der Verbraucher können weiter CO_2-Emissionen reduziert werden. Die Einsparungen bei der reinen Nutzung sind in Tabelle 10 dargestellt:

Tabelle 10 Energieverbräuche von CO_2-Emissionen unterschiedlicher Brennstoffe

	Verbrau-cher	Energie-verbrauch	H_2- Äqui-valent	CO_2 H_2	Erdgas	CO_2 Erdgas	Öl	CO_2 Öl
		[kWh/d]	[kg/d]	[kg/d]	[kg/d]	[kg/d]	[kg/d]	[kg/d]
Hohenlohe	Masch. bau	2.664	80	0	242	538	234	733
	Industrie	3.663	110	0	333	740	321	1.007
	Spedition	13.320	400	0	1211	2.691	1.168	3.663
Bodensee	Motoren-bau	3.996	120	0	363	807	351	1.099
	Chemie	1.998	60	0	182	404	175	549
	Masch. bau	6.660	200	0	605	1.345	584	1.832
Main-Tauber	Tankstelle	2.997	90	0	272	605	263	824
	Getränke	1.665	50	0	151	336	146	458
	Industrie	6.660	200	0	605	1.345	584	1.832
	Versor-gung	7.026,3	211	0	639	1.419	616	1.932

Quelle: eigene Darstellung

Diese Einsparung von CO_2 ist mit einer Kostenreduktion im Sinne der CO_2-Besteuerung verbunden, ebenso entfallen Nebenkosten im Bereich der Abgasnachbehandlung und Wartung.

Kosten

Die zu erwartenden Kosten erhöhen sich mit der Komplexität und dem Aufwand der Szenarien. Während der reine Import nur einen Speicher bei den Verbrauchern vor Ort notwendig macht, brauchen die anderen Szenarien zusätzliche Infrastruktur, die erst gebaut werden muss. Je dezentraler das Konzept, desto mehr Kosten entstehen. Zudem muss ein höherer Aufwand betrieben werden, um die Lagerzentren aufzubauen. Dafür wird jedoch eine relative Autarkie der Region erreicht, sollte ein ausreichend großer Elektrolyseur zur Wasserstofferzeugung installiert werden. Dieser macht jedoch auch Investitionen notwendig. Aktuell wird in der Wirtschaft grob der Wert von 2 Mio. €/MW Leistung des Elektrolyseurs gerechnet.[95] Dafür können jedoch die Folgekosten des CO_2-Ausstoßes minimiert werden.

Speicher

Für alle Szenarien sind Speicher notwendig. Zum einen, um die Produktion bei den Verbrauchern zu sichern, zum anderen, um bei lokaler Produktion und Verteilung eine optimale Ausnutzung in Form von Speicherung des Wasserstoffs zu erzielen. Dabei gestaltet sich die Verteilung der benötigten Speicherflächen wie folgt (Tabelle 11):

Tabelle 11 Notwendige Speichergrößen der unterschiedlichen Versorgungsszenarien

Szenario	Speichergröße	
	Verbraucher	Lager
Import	hoch	-
Hub	mittel	groß
Dezentral	klein	mittel

Quelle: eigene Darstellung

Beim Importszenario ist die notwenige Fläche für das Lager am größten. Hier müssen lange Lieferzeiten und Versorgungssicherheit bei einem Ausfall der Lieferung mit einbezogen werden, was zu einer großen Bevorratung führt. Beim Hub-Szenario wiederum muss das Zentrallager sehr groß gewählt werden, um die Bedarfe und Produktionskapazitäten in der Region abdecken zu können. Hier sollte der Verbraucher auch zumindest einen kleinen bis mittelgroßen Speicher aufweisen, um einen Ausfall oder eine Beeinträchtigung des Hubs zu kompensieren. Das dezentrale Szenario weist aufgrund der vielen einzelnen Warenzentren eine große Ausfall-Resilienz auf, was auf Verbraucherseite zu sehr kleinen notwendigen Lagertanks führt. Auch die einzelnen Verteilzentren müssen nicht überdimensioniert sein, da der Bedarf zwischen den Zentren aufgeteilt werden kann.

Versorgungssicherheit

Die Versorgungssicherheit muss in besonderem Maße sichergestellt werden. Falls kein Verteilzentrum vorliegt, müssen die Verbraucher diese selbst sicherstellen. Dies erfolgt zumeist über einen ausreichend groß dimensionierten lokalen Speicher, über den der Energiebedarf für eine gewisse Zeit sichergestellt werden kann. Somit ist die einzige Sicherheit hier der lokale

[95] Vgl. Experteninterviews H2-Innovationslabor

Speicher, da eine Reaktion auf spontane Lieferengpässe nur mühsam ausgeglichen werden kann.

Liegen Versorgungszentren vor, wird es für die Verbraucher nicht mehr notwendig sein, große eigene Speicher vorzuhalten. Es muss nur die Wasserstoffmenge für einen bzw. zwei Tage gespeichert werden, um eine ununterbrochene Verwendung zu gewährleisten. Der Versorgungssicherheitsaspekt liegt hierbei bei den Versorgungszentren selbst. Diese müssen entsprechende Mengen vorhalten, um die Versorgung der Verbraucher zu gewährleisten. Auch können diese bei Lieferausfall gezielter und schneller reagieren, da im Optimalfall ein Lieferantennetzwerk besteht, auf das zugrückgegriffen werden kann.

6 Entwicklung von Umsetzungspfaden

6.1 Schlüsselfaktoren für die Entwicklung von Zukunftsszenarien

Basierend auf den Ergebnissen aus Interviews, Workshop, vorangegangenen Studien und weiteren Recherchen wurden Schlüsselfaktoren entwickelt, die für die Bildung einer Wasserstoffwirtschaft im ländlichen Raum relevant sind. Die Schlüsselfaktoren bilden die Rahmenbedingungen für die anschließende Entwicklung von Szenarien und sind somit essenziell notwendig. Dabei werden die angenommenen Entwicklungen in 5, 10 und 20 Jahren betrachtet.

Tabelle 12 Schlüsselfaktoren für eine Wasserstoffwirtschaft

Schlüsselfaktor	Beschreibung
Raumstruktur	• Steigende Attraktivität von gut angebundenen Standorten im ländlichen Raum aufgrund hoher Kosten und zunehmender Flächenknappheit in Städten.
Sharing Economy	• Bereitschaft der Akteure, Ressourcen (z.B. Flächen oder Elektrolyseure) zu teilen oder zu vermieten.
Technikakzeptanz	• Akzeptanz der H_2-Technologie und Bereitschaft der Akteure und der Bevölkerung, in die neue Technologie zu investieren.
Gesetzliche Rahmenbedingungen	• Entwicklung gesetzlicher Rahmenbedingungen mit Auswirkungen auf den Einsatz von Wasserstoff in Industrie und Logistik (Förderungen, Steuererleichterungen etc.).
Umweltbelastungen	• Entwicklung der Umweltbelastungen im ländlichen Raum, die durch Luftverschmutzung und Lärmbelastung durch Wirtschaftsverkehre verursacht wird.
Fair Logistics	• Entwicklung einer fairen, nachhaltigen Logistik als relevanter Wettbewerbsfaktor.
Infrastrukturmaßnahmen	• Ausbau des Pipelinenetzes für Wasserstoff, daneben auch Ausbau der alternativen Transportwege (z. B. Wasserstraßen, Schienen).
Preisentwicklungen	• Erwartete Preissenkungen für (grünen) Wasserstoff durch sinkende Stromgestehungskosten oder kostengünstige Transportoptionen; Skaleneffekte durch große Erzeugungsanlagen von H_2. • Höhe der Transportkosten beim Einsatz eines H_2-Lkw vs. Transportkosten mit Diesel-Lkw.
Verfügbarkeiten	• Entwicklung der Erzeugung von grünem Strom und des Aufbaus von Elektrolyseuren; alternative Bezugsquellen (Import); Entwicklung des Aufbaus (dezentraler) Versorgungsnetze; Aufbau von Tankstellen.
Stand der Technik	• Entwicklungen im Brennstoffzellenbereich und bei der Effizienz der Erzeugung, der Speicherung und des Transports von Wasserstoff.

Quelle: eigene Darstellung

6.1.1 Raumstruktur

Dieser Schlüsselfaktor fokussiert die Ansiedlung von Unternehmen im ländlichen Raum. Der Trend zur sogenannten Urbanisierung führt dazu, dass die Bevölkerungsdichte in den Städten weiter zunimmt und diese auch räumlich weiter wachsen. Jedoch zeigt sich u.a. in den Metropolregionen des Landes auch mehr und mehr ein gegenläufiger Trend. Aufgrund von hohen Mietkosten und Immobilienpreisen sowie Wohnungsmangel und Flächenknappheit gewinnen ländliche Regionen sowohl als Wohnort als auch als Unternehmenssitz zunehmend an Attraktivität. Dies gilt insbesondere für Standorte mit einer guten Verkehrsanbindung in die Städte.[96] Es wird angenommen, dass sich diese Entwicklung weiter fortsetzen wird. Dennoch ist die Unternehmensdichte im ländlichen Raum in den Jahren **2023-2028** noch relativ gering. Aufgrund der wachsenden Problematik für Unternehmen, neue Flächen als Standorte in urbanen Gebieten zu finden, wird angenommen, dass sich im Zeitraum **2028-2033** insbesondere Firmen mit hohen Flächenbedürfnissen vermehrt auf Gebiete in ländlichen Räumen bewerben. Hier sind jedoch vorerst Flächen an Standorten mit einer besser ausgebauten Infrastruktur, z.B. einer guten Anschlussmöglichkeit an überregionale Verkehrswege, attraktiv. Die Verfügbarkeiten solcher Flächen jedoch begrenzt und stehen in Konkurrenz zu bereits ansässigen Unternehmen, die Erweiterungen planen.[97] Daher wird für den beschriebenen Zeitraum lediglich von einer gestiegenen Unternehmensansiedlung gegenüber der aktuellen Situation ausgegangen. Zur Förderung regionaler, insbesondere strukturschwacher Wirtschaftsstrukturen soll auch in ländlichen Regionen die wirtschaftsnahe Infrastruktur zunehmend ausgebaut werden. Dies könnte zukünftig für Unternehmen auch die Attraktivität von solchen Standorten erhöhen, die bislang weniger gut angebunden waren.[98] Da hierdurch weitere Flächen für Gewerbegebiete erschlossen werden könnten, wird für die Jahre **2033-2043** bereits eine höhere Unternehmensansiedlung im ländlichen Raum erwartet. Einhergehend mit der Ansiedlung von Unternehmen des produzierenden Gewerbes werden auch zunehmend Logistikunternehmen in den Regionen Niederlassungen bauen.

6.1.2 Sharing Economy

Der Begriff Sharing Economy befasst bezeichnet das Leihen, Teilen, Tauschen, Verschenken und Vermieten von Ressourcen. Zugunsten des Erwerbs von Nutzungsrechten wird hier der Verzicht auf Eigentum zu einem zentralen Merkmal. Hierbei können unterschiedliche Ressourcen im Fokus stehen, u.a. Güter, Räume oder Flächen. Hierdurch kann auch ein idealer Umgang mit Knappheit erzielt werden. Entscheidend für den Erfolg einer Sharing Economy ist die Bereitschaft der Akteure zur Teilung von Ressourcen. Internetbasierte Plattformen können das Konzept als Drehscheiben für eine Vermittlung zwischen Angebot und Nachfrage zusätzlich unterstützen.[99] Für den Aufbau einer H_2-Wirtschaft wird das Teilen von Ressourcen, z.B. eines Elektrolyseurs vor Ort, als zentraler Erfolgsfaktor gesehen, da Kooperationen insbesondere kleinen Unternehmen mit einer geringen Investitionskraft eine Teilhabe ermöglichen könnten.[100] Wie bereits in Kapitel 3.4 beschrieben, wurde in den Untersuchungsraumschaften gerade im Bereich der Logistikdienstleister eine große Anzahl an kleinen Unternehmen festge-

[96] Vgl. Birkmann, J. et al. (2020), S. 4; S. 7; S. 138; vgl. Mallwitz, G. (2022), online
[97] Vgl. Malburg-Graf, M. / Voith, D. (2018a), S. 58
[98] Vgl. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2020), S. 66f.; vgl. Kempermann, H. et al. (2020), S. 53f.
[99] Vgl. Bendel, O. (2021), online
[100] Vgl. Wiesecker Group (2021), online

stellt. Die Möglichkeit zur Implementierung einer Sharing Economy im Rahmen von Kooperationen geht jedoch auch einher mit der Dichte von Akteuren an einem Standort bzw. mit der Verkehrsanbindung und Erreichbarkeit der Kooperationspartner untereinander, die im ländlichen Raum zum aktuellen Zeitpunkt oftmals nicht gegeben ist (vgl. Kapitel 6.1.1).[101] Aufgrund dessen wird für die Jahre **2023-2028** zunächst von einer geringen Ausprägung der Sharing Economy ausgegangen, zumal für eine Feststellung der Kooperationsmöglichkeiten zunächst eine Vernetzung der interessierten Unternehmen stattfinden muss. Einhergehend mit der angenommenen gestiegenen Unternehmensansiedlung im ländlichen Raum wird für die Jahre **2028-2033** von einer wachsenden Durchsetzungsfähigkeit der Sharing Economy ausgegangen. Erste internetbasierte Plattformen unterstützen die Vernetzung und Kooperation von Unternehmen, um gemeinsame Verbundprojekte im Rahmen einer H_2-Wirtschaft voranzutreiben. Durch die zunehmende Unternehmensdichte und verbesserte Verkehrsanbindungen in den ländlichen Regionen sowie positive Erfahrungen im Rahmen von Verbundprojekten wird eine hohe Ausprägung der Sharing Economy für den Zeitraum **2033-2043** erwartet. Hierbei kann es sich u.a. um die gemeinsame Nutzung regional aufgebauter Elektrolyseure handeln.

6.1.3 Technikakzeptanz

Die Durchsetzungsfähigkeit einer neuen Technologie hängt stark von der Akzeptanz der potenziellen Nutzer bzw. Dritter ab. Daher ist auch für den erfolgreichen Hochlauf einer H_2-Wirtschaft eine frühzeitige Herstellung von Akzeptanz wesentlich. Dennoch wird aufgrund vieler Unsicherheiten und wirtschaftlicher Risiken für den Zeitraum **2023-2028** die Bereitschaft der Akteure, in die H_2-Technologie zu investieren und eine Umstellung auf den neuen Energieträger zu forcieren, zunächst als eher gering eingeschätzt. Sowohl die Technologieanwendungen als auch grüner Wasserstoff selbst sind derzeit noch mit hohen Kosten verbunden. Darüber hinaus besteht eine Skepsis der Akteure bezüglich der Zuverlässigkeit der Technologie, der Versorgungssicherheit und der benötigten Infrastruktur. Ein Abbau solcher Unsicherheiten könnte die Bereitschaft erhöhen. Neben der Gabe von Fördergeldern zur Senkung des finanziellen Risikos kann die Entwicklung von technologischen Lösungen und gesetzlichen Rahmenbedingungen, die einen zuverlässigen und resilienten Betrieb von H_2-Technologien ermöglichen, eine akzeptanzsteigernde Wirkung haben. Zudem schaffen die Stärkung des Vertrauens in handelnde Akteure sowie eine technologieübergreifende Wissensvermittlung, z.B. durch eine öffentliche Stelle, eine wichtige Basis. Wichtig ist es dabei, Wasserstoff in den Gesamtkontext der Energiewende einzuordnen und dessen Potenziale aufzuzeigen. Jedoch sollten auch Herausforderungen und mögliche negative Effekte transparent und zielgruppengerecht kommuniziert werden. Einen positiven Einfluss auf die gesamtgesellschaftliche Akzeptanz kann darüber hinaus ein geförderter dezentraler Hochlauf einer H_2-Wirtschaft haben. Der Aufbau lokaler Wertschöpfungsketten kann durch das „Erlebbar-Machen“ von H_2-Technologien zu einem Abbau von Vorbehalten führen. Daneben werden Beteiligungsmöglichkeiten bei Projekten, z.B. Bürgerenergieparks, eine positive Wirkung beigemessen.[102] Für den Zeitraum **2028-2033** wird durch ein gezieltes Akzeptanzmanagement und Aufklärungsarbeit sowie durch eine zunehmende Verbreitung von H_2-Technologieanwendungen davon ausgegangen, dass die Technikakzeptanz in der Bevölkerung und Nutzungsbereitschaft der Akteure bereits gestiegen ist. Neben dem Vorhandensein von realen regionalen Best-Practices und dem steigenden Angebot in Verbindung mit dem Fortschritt der H_2-Technologien wird der Druck auf Unternehmen, ihre Prozesse CO_2-neutral zu gestalten, immer größer. In Kombination mit ei-

[101] Vgl. Kempermann, H. et al. (2020), S. 53
[102] Vgl. Nationaler Wasserstoffrat (2021a), S. 42

nem sinkenden Preisniveau sowie dem Ausbau der Versorgungsinfrastruktur wird das Interesse an der Umstellung auf H_2-Anwendungen grundsätzlich bestehen. Mit einer flächendeckenden Verfügbarkeit von H_2 und dessen Integration in den Alltag wird für die Jahre **2033-2043** angenommen, dass Wasserstofftechnologien auf eine breite Akzeptanz in der Gesellschaft stoßen. Voraussetzung ist, dass zu diesem Zeitpunkt ein wirtschaftlicher, sicherer und resilienter Betrieb der Anwendungen sowie eine Versorgungssicherheit mit grünem H_2 gewährleistet sind.

6.1.4 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die zukünftige Entwicklung gesetzlicher Rahmenbedingungen und Vorschriften stellt einen wichtigen Rahmen für den Aufbau einer künftigen Wasserstoffwirtschaft dar. Wie bereits in Kapitel 3.2 beschrieben, wurden die derzeitigen politischen Rahmenbedingungen im Rahmen der Interviews häufig als Hemmnis aufgeführt. Bemängelt wurden unter anderem die unklare Entwicklung politischer Zielsetzungen bezüglich H_2, aufwändige und intransparente Förderverfahren sowie lange und umfangreiche Genehmigungsverfahren, z.B. für den Aufbau von Windkraftanlagen, Tankstellen, die H_2-Produktion oder die Lagerung größerer Mengen H_2 auf dem Betriebsgelände. Weitere Regelungen, z.B. aktuelle Gefahrstoffverordnungen und das Verbot des Einsatzes von H_2-betriebenen Lkw für den Transport von Wasserstoff, stellen zusätzliche Hürden für den Aufbau einer H_2-Wertschöpfungskette dar. Die genaue zukünftige Entwicklung der gesetzlichen Lage ist nach aktuellem Stand nicht vorherzusagen. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass sich der Rechtsrahmen günstig für den Energieträger und dessen Anwendungen entwickeln wird. Vor dem Hintergrund der 2020 beschlossenen Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung[103] sowie der politischen Zielsetzung einer Klimaneutralität bis zum Jahr 2040[104] steigt der Druck, die gesetzlichen Rahmenbedingungen an die Bedürfnisse derjenigen Technologien anzupassen, die zur Erreichung der Dekarbonisierungsziele als zentral gelten. Für die Jahre **2023-2028** wird dennoch davon ausgegangen, dass der Rechtsrahmen noch nicht vollständig angepasst sein wird. Jedoch ist für die Erreichung der Klimaziele ein schnelles Handeln erforderlich, weshalb erwartet wird, dass die gesetzlichen Rahmenbedingungen ab dem Zeitraum **2028-2033** an die technischen Möglichkeiten angepasst sein werden, was dementsprechend auch für die Jahre **2033-2043** gelten wird.

6.1.5 Umweltbelastungen

Die Entwicklung der Umweltbelastung hat einen direkten Einfluss auf die Lebensqualität der Menschen. Auch wenn im ländlichen Raum die negativen Auswirkungen durch Luftverschmutzung und Lärmbelastung insbesondere aufgrund des geringeren Verkehrsaufkommens geringer ausfallen als in urbanen Gebieten, stellt die politische Zielsetzung bezüglich des Klimas und Umwelt einen entscheidenden Faktor dar, der den Druck zur Entwicklung und schnellen Einführung umweltfreundlicher Technologien erhöht. Mit der zwingend erforderlichen Implementierung „sauberer“ Technologien wird voraussichtlich auch der Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft begünstigt. Bis 2030 wird eine Minderung der nationalen Treibhausgasemissionen um 65 % gegenüber dem Jahr 1990 angestrebt, bis zum Jahr 2040 um mindestens 88 %. Bis zum Jahr 2045 soll Deutschland Treibhausgasneutralität erreichen, nach dem Jahr 2050 werden negative Emissionen angestrebt.[105] In der Vergangenheit wurde beispielsweise im

[103] Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2023b), online
[104] Vgl. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (2023), online
[105] Vgl. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (2023), online

Verkehrssektor auch auf alternative Antriebe gesetzt, die lokale Lärm-, Luft- und CO_2-Emissionen zwar einsparen, jedoch nicht vollständig vermeiden, z.B. Erdgasantriebe oder Biokraftstoffe.[106] Um eine vollständige Dekarbonisierung zu gewährleisten, rückten jedoch, auch im Schwerlastverkehr, zunehmend elektrische Antriebsoptionen in den Vordergrund, da über die Nutzung erneuerbaren Stroms ein CO_2-neutraler Betrieb ermöglicht wird und elektrische Fahrbetriebe ebenfalls keine Luftschadstoffe emittieren. Bis 2030 soll etwa ein Drittel der Fahrleistung im Straßengüterverkehr elektrisch erfolgen.[107] Neben der direkten Stromnutzung ist hierfür der Einsatz von Wasserstoff eine Alternative.[108] Für die Jahre **2023-2028** wird jedoch nach wie vor von hohen Umweltbelastungen ausgegangen. So wurden beispielsweise im Jahr 2021 bereits die Klimaziele des Verkehrssektors verfehlt, der einen hohen Anteil an den Gesamtemissionen hat.[109] Jedoch wird aufgrund der gesetzlichen Vorgaben und einhergehend durch den Fortschritt umwelt- und klimafreundlicher Technologien erwartet, dass die Umweltbelastungen im Zeitraum **2028-2033** bereits weniger hoch ausfallen. Vor dem Hintergrund der erforderlichen Treibhausgasneutralität bis 2040 werden in den Jahren **2033-2043** voraussichtlich „saubere“ Technologien und Energieträger bereits weitestgehend flächendeckend implementiert sein, weshalb hier tendenziell geringe Umweltbelastungen angenommen werden.

6.1.6 Fair Logistics

Die Faktoren der fairen Logistik spielen eine immer größere Rolle. Hierunter fällt einerseits eine verantwortliche Lieferantenauswahl beispielsweise unter Berücksichtigung von Sozial- und Umweltstandards. Andererseits zählen aber auch Innovationen dazu, die zu mehr Fairness in der Logistik beitragen. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn gefahrgeneigte oder gesundheitsgefährdende Tätigkeiten durch Logistikinnovationen automatisiert werden könne. Geht man von einer Zunahme der potenziellen Wettbewerbsintensität aus, so hat sich auch der Faktor einer fairen Logistik zu einem relevanten Wettbewerbsfaktor entwickelt.[110] Dennoch ist davon auszugehen, dass die Relevanz einer fairen Logistik im Zeitraum **2023-2028** als gering einzuschätzen ist.

Negative Auswirkungen in der Massenproduktion und des Massenkonsums auf die Gesellschaft und die Umwelt machen es schwieriger eine nachhaltige Zukunft zu schaffen.[111] Weshalb die Faktoren Nachhaltigkeit und wirtschaftlicher Erfolg eng miteinander verbunden sind. Neben der Intensivierung der bereits genannten Aspekte spielt auch der ökologische Fußabdruck für die Unternehmen in der Logistikbranche eine wichtigere Rolle. Deshalb ist davon auszugehen, dass das Interesse an einer fairen Logistik im Zeitraum **2028-2033** zunehmen wird.

Im Zeitraum **2033-2043** haben sich die Leitprinzipien einer fairen Logistik in allen Bereichen durchgesetzt und gehören fortan zur Strategie der Logistikunternehmen.

---

[106] Vgl. Altenburg, S. et al. (2017), S. 22; vgl. Göckeler, K. et al. , S. 15; vgl. Hacker, F. et al. (2020), S. 79
[107] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022), S. 37; vgl. Göckeler, K. et al. (2022), S. 27
[108] Vgl. Göckeler, K. et al. (2022), S. 15; S. 27
[109] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022), S. 34
[110] Vgl. Bernecker, T. et al. (2021) S. 20
[111] Vgl. e-commerce magazin (2015), online

6.1.7 Infrastrukturmaßnahmen

Derzeit befindet sich die Süddeutsche Erdgasleitung (SEL) in Bau. Diese Leitung ist auf einer Strecke von 250 km von Lampertheim in Hessen über Heidelberg, Heilbronn, Ludwigsburg, Esslingen, Göppingen, Heidenheim bis nach Bissingen in Bayern geplant.[112] Im Zeitraum **2023-2028** ist ein Anschluss an die SEL für den ländlichen Raum nur zum Teil realisiert. Darüber hinaus ist in diesem Zeitraum noch keine vollständige Umstellung auf Wasserstoff geplant.

Im Zeitraum von **2028-2033** wird die SEL von terranets bw voraussichtlich fertiggestellt sein. Die Süddeutsche Erdgasleitung soll ab dem Jahr 2030 Wasserstoff in die Region Rhein-Neckar und in den Großraum Stuttgart bringen. Für den ländlichen Raum sollten vor allem zunächst andere Transportwege in den Fokus gestellt werden.[113] Es ist davon auszugehen, dass für den ländlichen Raum in den nächsten 10 Jahren ein entsprechendes Verteilkonzept erarbeitet werden muss.

Die Umstellung der SEL auf Wasserstoff ist abgeschlossen. Für Regionen, die nicht über die SEL angeschlossen werden können, befinden sich weitere Lösungen im Zeitraum **2033-2043** im Ausbau und sind in Fertigstellung.

6.1.8 Preisentwicklungen

Für den Zeitraum von **2023-2028** sind im Durchschnitt voraussichtlich keine deutlichen Preissenkungen bei grünem Wasserstoff im Vergleich zum Preisniveau von 2023 in Deutschland zu erwarten. Für eine deutliche Preisreduzierung müssen die Stromentstehungskosten in Deutschland deutlich gesenkt werden. Die aktuellen Produktionskosten von grünem Wasserstoff liegen zwischen 7,2 ct/kWh und 21,5 ct/kWh und weisen damit eine große Bandbreite auf.[114] Als mittlerer Preis werden in Deutschland für das Jahr 2019 16,5 ct/kWh angegeben. Dies entspricht ungefähr 5,50 €/kg.[115]

Der Preis für den Transport von Wasserstoff ist insbesondere vom Transportweg abhängig, dieser sollte deshalb nach Distanz und Menge ausgewählt werden. Für den Transport von Wasserstoff stehen daher unterschiedliche Optionen zur Verfügung. Kleine Mengen von Wasserstoff können flexibel über Lkw-Trailer transportiert werden. Für Distanzen von bis zu 10.000 km ist der Transport in Pipelines die wirtschaftlichste Möglichkeit.[116]

Die Transportkosten via Lkw variieren ebenfalls je nach Transportweg und Transportmittel. Bei der Nutzung eines 500 bar Multiple Elements Gas Container (MEGC) werden für kürzere Strecken beispielhaft 1,51 €/kg angegeben. Für die Nutzung eines 300 bar MEGC werden 1,80 €/kg veranschlagt. Für den Transport via Schiene werden je nach Typ des Güterwagens zwischen 1,74 €/kg und 2,25 €/kg beziffert. Ein Wasserstofftransport via Schiff stellt, aus heutiger Sicht, insbesondere für größere Distanzen eine Alternative dar.[117]

---

[112] Vgl. terranets bw GmbH (2023a), online
[113] Vgl. terranets bw GmbH (2023b), online
[114] Vgl. Jungl, C. et al. (2019), S. 26
[115] Vgl. Hohmann, M. (2021), online
[116] Vgl. Nationaler Wasserstoffrat (2021), online
[117] Vgl. DB Energie GmbH (2020), online

Neben den Transportkosten fallen ebenfalls, je nach Endanwendung, auch Bereitstellungskosten an. Diese belaufen sich an einer Wasserstofftankstelle auf circa 3,00 €/kg.[118] Es ergeben sich somit durchschnittliche Preise von 29 ct/kWh (rund 9,50 €/kWh) für grünen Wasserstoff.[119] Hinzu kommen bei der Berechnung des (Brutto-)Abgabepreises Margen und Steuern, die es zu berücksichtigen gilt.

Da sich die Gaspreise auf den internationalen Märkten seit Beginn des Ukraine-Kriegs im Februar 2022 um mehr als 70 % gesteigert haben, sind auch die Herstellkosten von Wasserstoff aus fossilen Brennstoffen deutlich angestiegen. In Europa liegen die Produktionskosten von diesem grauen Wasserstoff aus fossilen Brennstoff etwa 50 % über den durchschnittlichen Kosten für grünen Wasserstoff.[120] Insgesamt kann gesagt werden, dass grüner Wasserstoff im betrachteten Zeitraum noch keine wirtschaftliche Alternative zu den fossilen Energieträgern darstellt.

Für den Zeitraum **2028-2033** (genauer gesagt für das Jahr 2030) ist von einer Senkung im Mittel von rund 20 % für die Produktionskosten von grünem Wasserstoff auszugehen. Das bedeutet, dass die Kosten im Jahr 2030 schätzungsweise bei circa 12 ct/kWh (entspricht 4,00 €/kg) liegen werden.[121] Weitere Studien prognostizieren unter anderem aber auch ein Absinken auf unter 8 ct/kWh, also 2,66 €/kg. Das bedeutet, dass sich die Preise von grünem und aus fossilen Brennstoffen erzeugtem Wasserstoff aneinander annähern. Zuletzt genannter Brennstoff könnte im Jahr 2030 in der Erzeugung bei ungefähr 2,40 €/kg liegen.[122]

Grundsätzlich sind wirtschaftliche Preise für grünen Wasserstoff im Zeitraum 2028-2033 in Deutschland möglich. Sie sind jedoch von der Anbindung an zentrale Versorgungsinfrastrukturen und einer erzeugungsnahen Nutzung abhängig. Zudem kann eine deutliche Verteuerung der CO_2-Emmissionszertifikate ab dem Jahr 2028 die wirtschaftliche Attraktivität von grünem Wasserstoff im Vergleich zu den fossilen Energieträgern deutlich steigern.

Die Erzeugungskosten von grünem Wasserstoff werden im Zeitraum **2033-2043** in Deutschland voraussichtlich im Durchschnitt auf circa 3,00 €/kg sinken und auf diesem Niveau etabliert sein. Somit wird voraussichtlich eine Wirtschaftlichkeit gegeben sein.[123] Da der nationale Bedarf an Wasserstoff weiterhin deutlich ansteigen wird, sind zusätzlich interkontinentale Importe von großer Relevanz. Aufgrund der deutlich besseren Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien aus Wind- und Solarenergie, werden die Erzeugungskosten weiterhin unter den Erzeugungskosten in Deutschland liegen, die Transportkosten werden währenddessen einen höheren Anteil am Gesamtpreis aufweisen. Mit dem zunehmenden Ausbau des Pipelinenetzes werden die Transportkosten nur noch einen geringen Anteil des Gesamtpreises (ca. 16 ct/kWh pro 1.000 km[124]) haben. Zudem ist davon auszugehen, dass die Bereitstellungskosten aufgrund der Weiterentwicklungen von Technologien und aufgrund des Ausbaus der Tankstelleninfrastruktur weiter sinken werden. Zu betrachten ist auch weiterhin die potenziell steigende Preisentwicklung der fossilen Brennstoffe. Darüber hinaus könnten politische Maßnahmen die Nutzung von fossilen Brennstoffen deutlich einschränken.

---

[118] Vgl. Pratt, J. et al. (2015), online
[119] Vgl. Auto Zeitung (2022), online
[120] Vgl. Chestney, Nina (2022), online
[121] Vgl. Prognos AG (2019), S. 12
[122] Vgl. Hohmann, M. (2021), online
[123] Vgl. Prognose AG (2019), S. 12
[124] Vgl. Enagás et al. (2019), S. 14

6.1.9 Verfügbarkeiten von grünem Wasserstoff

Im Zeitraum von **2023-2028** wird sich die Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff im ländlichen Raum und vor allem in den betrachteten Untersuchungsraumschaften nur leicht erhöhen. Bis zum jetzigen Zeitpunkt sind keine großen Elektrolyseure in den Regionen geplant. In Baden-Württemberg sind aber bereits Elektrolyseure gebaut oder in Planung, beispielsweise in Waiblingen (Projekt H_2-Rivers[125]) und Esslingen (Neue Weststadt-Klimaquartier[126]). Der erzeugte Wasserstoff wird allerdings mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit durch Akteure in der unmittelbaren Umgebung verbraucht werden. Deshalb bleibt es weiterhin dabei, dass Wasserstoff in geringen Mengen via Container per Binnenschiff, Bahn oder Lkw importiert werden muss. In den Untersuchungsraumschaften sind bisher keine Wasserstoff-Tankstellen vorhanden.[127] In den nächsten 5 Jahren werden die Planungen für erste Wasserstoff-Tankstellen, auch vermehrt im ländlichen Raum, stattfinden.

Im Zeitraum **2028-2033** können in den ländlichen Räumen Baden-Württembergs neue Windkraftanlagen geschaffen werden. Dadurch wird mehr grüner Strom vorhanden sein, mit dem auch Wasserstoff produziert werden kann, wenn ein direkter Verbrauch nicht stattfindet. Um unter anderem den Genehmigungsprozess von Windrädern zu beschleunigen, wurde in Baden-Württemberg eine entsprechende Task Force eingerichtet.[128] Potenzial für die Erzeugung von grünem Strom ist durchaus vorhanden. In den letzten Jahren konnten zudem Windkraft- und PV-Anlagen im Norden Baden-Württembergs ausgebaut werden, die für die Gewinnung von erneuerbaren Energien sorgen. Die hier anfallende ausgekoppelte Leistung, beispielsweise von Windkraftanlagen bei Sturm, kann dazu verwendet werden, grünen Wasserstoff zu erzeugen. Das führt zu einer höheren Ausnutzung und damit Effizienz der erneuerbaren Energien. In rund 10 Jahren ist davon auszugehen, dass einige Förderprojekte, die sich mit der Anwendung von Wasserstoff beschäftigen, vorhanden sind. Zudem ist davon auszugehen, dass weitere H_2-Tankstellen in Betrieb genommen werden können. Die Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff wird in 10 Jahren in Deutschland weiter gestiegen sein. Dafür spricht beispielsweise, dass im Rahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie bis 2030 in Deutschland Erzeugungsanlagen von bis zu 5 GW Gesamtleistung entstehen sollen, was einer grünen Wasserstoffproduktion von 14 TWh entspricht.[129]

Im Zeitraum **2033-2043** werden voraussichtlich dezentrale sowie zentrale Versorgungsnetze von grünem Wasserstoff auch im ländlichen Raum vorhanden sein. Einige ländliche Regionen können durch das geplante Wasserstoffnetz von terranets bw mit Wasserstoff versorgt werden. Ab 2035 soll dann auch der Raum Bodensee/Oberschwaben an das Netz angeschlossen sein.[130]

6.1.10 Stand der Technik

In den nächsten 5 Jahren (Zeitraum **2023-2028**) ist von Entwicklungen im Grundlagenbereich auszugehen. Je nach Anwendungsbereich ist der Stand der Technik sehr unterschiedlich. Im Bereich der Energieerzeugung sowie dem Transport findet derzeit bereits Forschung statt.

[125] Vgl. Stadtwerke Waiblingen (2022), online
[126] Vgl. Neue Weststadt-Klimaquartier (2023), online
[127] Vgl.H2.live (2023), online
[128] Vgl. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2021), online
[129] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020), S. 5
[130] Vgl. terranets bw GmbH (2023c), online

Im Zeitraum von **2028-2033** konnten erste Erfolge in der Grundlagenforschung erzielt werden. Die Entwicklungen gehen somit über ein Entwicklungs- und Prototypstadium hinaus. Diese Technologien werden in Form von Piloten und Kleinlösungen in die Anwendung gebracht. Zudem werden weitere Analysen zur Wirtschaftlichkeit oder eine Langzeitdatenauswertung vorhanden sein, um für eine optimale Verteilung des H_2 zu sorgen.

Die Kleinlösungen und Piloten gehen im Zeitraum **2033-2043** in große Anwendungen über. Die Technologie wird für die breite Masse tauglich gemacht. Das bedeutet unter anderem großflächig nutzbare Heizungen und komplexe Anwendungsfelder. Die Anwendungen im Bereich Wasserstoff stehen somit der breiten Bevölkerung zur Verfügung. Die Integration in die Energiewirtschaft wird voll umfänglich erfolgt sein. Durch weitere Forschungsvorhaben kann die Effizienz der Technologie verbessert werden. Hinzu kommen weitere Neuentwicklungen, die dafür sorgen, dass Wasserstoff noch marktfähiger gemacht wird.

6.2 Zukunftsszenarien

Im Folgenden werden drei Zukunftsszenarien beschrieben, welche einen Einblick geben, wie sich die Wasserstoffwirtschaft in den nächsten 5, 10 bzw. 20 Jahren in ländlichen Räumen in Baden-Württemberg entwickeln könnte. Die beschriebenen Szenarien sind abgeleitet aus den zuvor aufgeführten Projektergebnissen und geben auf dieser Basis eine Abschätzung zukünftiger Entwicklungen. Sie beschreiben zum einen notwendige Rahmenbedingungen, die seitens der Politik geschaffen werden müssen, als auch Aktivitäten, die seitens der Wirtschaft erfolgen müssen, sowie notwendige Aktivitäten von Wissenschaft und Intermediären, um einen erfolgreichen Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft gewährleisten zu können. Die Schlüsselfaktoren (vgl. Kapitel 6.1) werden nicht explizit genannt, ihr Einfluss auf das jeweilige Szenario wurde jedoch beachtet.

6.2.1 Szenario 1 (Zeitraum 2023-2028)

Das erste beschriebene Szenario gibt die potenziellen Entwicklungen für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in ländlichen Räumen in Baden-Württemberg in einem kurzfristigen Zeitraum wieder, der die nächsten 5 Jahre umfasst.

Die jeweiligen Annahmen bzw. Schlüsselfaktoren (vgl. Kapitel 6.1) für diesen Zeitrahmen sind in der folgenden Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13 Schlüsselfaktoren Szenario 1

Schlüsselfaktor	Ausprägung
Raumstruktur	Geringe Unternehmensansiedlung
Sharing Economy	Gering
Technikakzeptanz	Gering - mittel
Umweltbelastungen	Hohe Belastungen
Gesetzliche Rahmenbedingungen	Noch nicht angepasst
Fair Logistics	Gering
Infrastrukturmaßnahmen	Befindet sich noch im Ausbau
Preisentwicklungen	Hoch
Verfügbarkeiten	Gering
Stand der Technik	Noch nicht ausgereift

Quelle: eigene Darstellung

Die nachfolgende Abbildung (Abbildung 15) gibt eine Übersicht über die Aktivitäten, die im Rahmen des vorgestellten Szenarios im Zeitraum von 2023-2028 stattfinden. Unterteilt wird hierbei in die Rubriken Versorgung und Verbrauch sowie übergeordnete und lokale Rahmenbedingungen.

Abbildung 15 Übersicht über das Szenario für den Zeitraum 2023-2028

Versorgung und Verbrauch

- Erste **Insellösungen** in Form von Pilotprojekten
- Kleine **lokale Produktion**, geringer **lokaler Verbrauch**
- **Bedarfe** von Unternehmen erheben in Bezug auf Energie und Infrastruktur
- Hochlauf und **Marktfähigkeit** von Brennstoffzellenfahrzeugen und Technologien beobachten
- BZ-Busse in der **Beschaffungsplanung** von Verkehrsbetrieben berücksichtigen
- Flächen für Erzeugungsanlagen von grünem Strom vorhanden, jedoch zunächst **keine Überkapazitäten** für die Erzeugung von H_2 verfügbar
  - **Kapazitäten** zur Erzeugung von grünem Strom untersuchen und Potenziale für den Ausbau erheben (Standorte, Flächen etc.)
- **Verteilnetze** noch ein limitierender Faktor für die Herstellung von grünem Strom
  - Verteilnetze untersuchen und Potenziale zur Erweiterung erheben, insbesondere Verteilung von H_2 und grünem Strom, Wärmenetze zur Versorgung von Unternehmen und Haushalten
- Einsatz von **mobilen Tankstellen**, um erste Pilotaktivitäten zu versorgen

Rahmenbedingungen

- Überprüfung **rechtlicher Rahmenbedingungen**
- Schaffung von **Standards und Normen** bezüglich H_2 (z. B. Speicherung, mobile Tankstellen)
- Beschleunigung von **Genehmigungsverfahren** für Erzeugungsanlagen von grünem Strom
- Aufbau von **Schulungskonzepten** im Umgang mit H_2-Technologien (z.B. Wartung, Speicherung)
- Durchführung von Marketing-, Dialog- und Infoveranstaltungen zur **Akzeptanzsteigerung**

Lokale Rahmenbedingungen

- **Kooperationsmöglichkeiten** ausloten und Vernetzung vorantreiben unter Akteuren vor Ort sowie in angrenzenden Regionen und auf politscher Ebene Bedarfe anmelden

Quelle: eigene Darstellung

In den nächsten 5 Jahren sind die Rubriken Versorgung und Verbrauch noch eng miteinander verwoben und können nur gemeinsam, zum Beispiel in Pilotprojekten, realisiert werden. Es wird erwartet, dass erste Insellösungen in Form von Pilotprojekten entstehen. Vor allem die Bereiche Mobilität und Logistik spielen hier eine zentrale Rolle. Unter anderem kann die Erprobung von H_2-Bussen im ÖPNV, von Müllsammelfahrzeugen im Kommunalbereich, die Nutzung von ersten H_2-Lkw im Nahverkehr und Schwertransport durch Speditionen oder auch von Fahrzeugen in der Intralogistik umgesetzt werden. Zudem gibt es bereits Vorreiter auf dem Gebiet der Wasserstoffbeimischungen im Erdgasnetz, ein Beispiel hierfür ist die Wasserstoffinsel Öhringen. Es wird davon ausgegangen, dass weitere Leitprojekte in diesem Bereich folgen werden. Die bestehenden und künftigen Pilotprojekte führen dazu, dass auch im ländlichen Raum erste Mengen an CO_2 eingespart werden können.

Grundlegend ist im ländlichen Raum allerdings von einer lokalen Produktion in kleinem Umfang auszugehen. Diese geht einher mit einem noch geringen lokalen Verbrauch. Um einen Überblick über die Gesamtsituation zu bekommen, gilt es zunächst, die Bedarfe von Unternehmen in Bezug auf Energie und Infrastruktur zu erheben. Auch ist es wichtig, den Hochlauf und die Markfähigkeit von Brennstoffzellenfahrzeugen und Technologien zu beobachten und das Gesamtangebot danach auszurichten. Im Bereich der Mobilität gilt es alternative Lösungen in der Beschaffungsplanung der Verkehrsbetriebe zu berücksichtigen, hierzu zählen vor allem Brennstoffzellen-Busse, die durchaus vermehrt zum Einsatz kommen können.

In den ländlichen Regionen in Baden-Württemberg sind durchaus Flächen für Erzeugungsanlagen vorhanden, jedoch sind keine Überkapazitäten von grünem Strom für die Erzeugung von Wasserstoff verfügbar. Deshalb gilt es auch hier die Kapazitäten zur Erzeugung von grünem Strom zu analysieren und auszuwerten sowie Potenziale abzuleiten, die für einen Ausbau notwendig sind. Dies bezieht sich vor allem auf die Standorte sowie die Erhebung von Flächen. Zudem stellen die Verteilnetze einen, derzeit noch, limitierenden Faktor für die Herstellung von grünem Strom dar. Eine Untersuchung der Verteilnetze hinsichtlich der Kapazitäten ist notwendig, um Potenziale für eine Erweiterung auszuloten, insbesondere mit Blick auf die Verteilung von Wasserstoff und grünem Strom zur Versorgung von Unternehmen und Haushalten. Zudem werden im Bereich der Versorgung erste mobile Tankstellen zum Einsatz kommen, diese sind für die Versorgung von ersten Pilotaktivitäten eine wichtige und skalierbare Alternative zu stationären Tankstellen.

Neben der Versorgung und dem Verbrauch gilt es auch einige Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Dabei sollten vor allem die rechtlichen Rahmenbedingungen geprüft werden. Die geschaffenen Standards und Normen für eine Wasserstoffwirtschaft werden in den nächsten Jahren in den Bereichen Speicherung und mobile Tankstellen relevant sein. Um einen zuverlässigen Rahmen zu schaffen ist es zudem erforderlich die Genehmigungsverfahren für Erzeugungsanlagen auch in den nächsten Jahren weiter zu beschleunigen. Parallel dazu müssen Schulungskonzepte aufgebaut werden, die den Umgang mit den H_2-Technologien betreffen und für eine entsprechende Sicherheit und Erfahrung bei der Anwendung sorgen können. Dies ist zunächst vor allem in den Bereichen Wartung und Speicherung sinnvoll. Um die Akzeptanz in der Bevölkerung für die neue Technologie zu erhöhen, sind Marketing-, Dialog- und Informationsveranstaltungen durchzuführen. Es ist davon auszugehen, dass diese zu einer erheblichen Akzeptanzsteigerung führen werden.

Auch auf lokaler Ebene gibt es einige Rahmenbedingungen, die zunächst geschaffen werden müssen. Zunächst sollte ein Rahmen für Kooperationsmöglichkeiten ausgelotet werden um eine Vernetzung der Akteure vor Ort voranzutreiben. Dies ist dabei ebenso wichtig, wie der

Netzaufbau in angrenzende Regionen. Daneben sollten auf politischer Ebene erste Bedarfe angemeldet werden.

6.2.2 Szenario 2 (Zeitraum 2028-2033)

Das zweite Szenario beschreibt die Entwicklungen in einem mittelfristigen Zeithorizont der Jahre 2028 bis 2033. Die entsprechenden Ausprägungen der Schlüsselfaktoren für diesen Zeitrahmen sind zusammengefasst in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14 Schlüsselfaktoren Szenario 2

Schlüsselfaktoren	Ausprägung
Raumstruktur	Gestiegene Unternehmensansiedlung
Sharing Economy	Mittel
Technikakzeptanz	Mittel mit Tendenz zu hoch
Umweltbelastungen	Hohe-mittlere Belastungen
Gesetzliche Rahmenbedingungen	Angepasst
Fair Logistics	Mittel
Infrastrukturmaßnahmen	Etwas ausgebauter, weitere Schritte in Planung
Preisentwicklungen	Mittel
Verfügbarkeiten	Mittel
Stand der Technik	Etwas ausgereifter

Quelle: eigene Darstellung

Die nachfolgende Abbildung (Abbildung 16) gibt eine Übersicht über die Aktivitäten, die im Rahmen des beschriebenen Szenarios im Zeitraum 2028-2033 stattfinden. Unterteilt wird hier in die Bereiche Versorgung, Verbrauch sowie Rahmenbedingungen.

Abbildung 16 Übersicht über das Szenario im Zeitraum 2028-2033

Versorgung

- **Ausbildung einzelner Akteure** im Bereich Versorgung
- Stärkung von **gemeinsamen Verbundprojekten**
- Aufbau von **regionalen Elektrolyseuren**
- Aufbau von **Windparks und PV-Anlagen** zur regionalen Erzeugung von grünem Strom
- Errichtung von **Umschlags-Hubs** und von **H_2-Zwischenspeichern** im ländlichen Raum
- **Tankstellen-Standorte** sind identifiziert

Verbrauch

- **Ausbildung einzelner Akteure** im Bereich Verbrauch
- Stärkung von **gemeinsamen Verbundprojekten**
- Ausweitung von **H_2-Anwendungen** im Bereich Industrie, Mobilität und Logistik, Gebäudetechnik und Energieerzeugung
- **Überschüssiger Strom** aus der Region wird in Form von Wasserstoff gespeichert

Rahmenbedingungen

- **Rechtliche Rahmenbedingungen** an technische Möglichkeiten angepasst
- **Standards und Normen** bezüglich H_2 sind etabliert
- **Schulungen** zum Umgang mit H_2-Techologien sind etabliert
- Anschluss an die **Süddeutsche Erdgaspipeline** wird geprüft
- **Akzeptanz** zur Nutzung von H_2 steigt

Quelle: eigene Darstellung

In 10 Jahren haben sich voraussichtlich bereits erste regionale Akteure sowohl im Segment der H_2-Versorgung als auch im Verbrauch ausgebildet, dennoch liegen die beiden Bereiche nach wie vor eng beieinander. Durch in den Vorjahren erfolgte Vernetzungsaktivitäten der Akteure und die Evaluierung von Kooperationsmöglichkeiten können gemeinsame Verbundprojekte nun verstärkt umgesetzt werden.

Ab dem Jahr 2030 steigt der Bedarf an H_2 voraussichtlich stark an. Um die Versorgung der ländlichen Regionen bis zur Umstellung der SEL sowie der weiteren Erdgasleitungen auf Wasserstoff sicherzustellen, müssen neben dem Import von H_2 auch lokal die Kapazitäten zur nachhaltigen Energieerzeugung in Form von Windparks und PV-Anlagen ausgebaut und Elektrolyseure dezentral aufgebaut werden. Auch nach der Umstellung der SEL auf H_2 sorgen diese für eine Reduktion der Importe und der damit verbundenen Kosten sowie für Autarkie. Je mehr H_2 lokal produziert wird, desto geringer ist der Einfluss ausländischer Staaten auf Deutschland. In den Jahren von 2028-2033 wird der Import und größtenteils auch die Verteilung von H_2 in ländlichen Regionen hauptsächlich per Lkw möglich sein. Außerdem wird der Ausbau des Pipelinenetzes innerhalb der nächsten 10 Jahre abgeschlossen sein, jedoch wird in der Regel für den ländlichen Raum zunächst kein direkter Anschluss bestehen. Daher sind Übergangslösungen notwendig, bis die Versorgung mit H_2 durch die Verteilnetze gesichert ist. Für die regionale Versorgung und Verteilung des Wasserstoffs innerhalb des ländlichen Raumes werden zunehmend lokale Umschlags-Hubs und H_2-Zwischenspeicher aufgestellt. Die Identifikation geeigneter Standorte für H_2-Tankstellen konnte durch die erfolgten Pilotaktivitäten abgeschlossen werden. Infolge des erwarteten höheren Bedarfs im Mobilitätssektor wird das Tankstellennetz für Wasserstoff auf dieser Basis in den kommenden 10 Jahren voraussichtlich weiter ausgebaut.

Im Bereich des Verbrauchs werden die Anwendungen von Wasserstoff im Bereich der Industrie, Mobilität und Logistik, Gebäudetechnik und Energieerzeugung zunehmend ausgeweitet. So besitzen u.a. Speditionen erste H_2-Lkw, ÖPNV-Betriebe setzen erste H_2-Busse ein und Brennstoffzellen-Heizungen werden in Gebäuden etabliert, außerdem findet H_2 immer häufiger industrielle Anwendung im Bereich der Prozesswärme und -energie. Auch Heizkraftwerke können zu diesem Zeitpunkt möglicherweise schon zu einem Anteil mit Wasserstoff betrieben werden. Darüber hinaus besteht nun auch die Möglichkeit, überschüssigen Strom aus der Region, z.B. aus größeren Windkraft- und PV-Anlagen, in Form von Wasserstoff zu speichern.

Es wird angenommen, dass die rechtlichen Rahmenbedingungen für H_2-Anwendungen in 10 Jahren an die technischen Möglichkeiten angepasst wurden und auch Standards und Normen bezüglich H_2 etabliert sind. Durch die wachsende Präsenz von H_2-Anwendungen und die Aufklärung der Gesellschaft zur H_2-Technologie durch die durchgeführten Informations- und Dialogveranstaltungen ist auch die Akzeptanz in der Bevölkerung und bei den Anwendern gestiegen. Zudem sind Schulungs- und Qualifizierungsangebote für Personal zum Umgang mit H_2-Techologien in den Bildungseinrichtungen etabliert. Darüber hinaus werden für die einzelnen ländlichen Regionen die Anschlussmöglichkeiten an die Süddeutsche Erdgaspipeline geprüft. Es wird angenommen, dass das bestehende Versorgungsnetz in Form von Erdgasleistungen auf H_2 umgestellt wird, sobald der Ausbau der Pipeline abgeschlossen ist.

6.2.3 Szenario 3 (Zeitraum 2033-2043)

Das dritte Szenario beschreibt die Entwicklungen in einer langfristigen Zeitdimension in bis zu 20 Jahren. Eine Zusammenfassung der Schlüsselfaktoren für dieses Szenario kann der nachfolgenden Tabelle (Tabelle 15) entnommen werden.

Tabelle 15 Schlüsselfaktoren Szenario 3

Schlüsselfaktor	Ausprägung
Raumstruktur	Höhere Unternehmensansiedlung
Sharing Economy	Hoch
Technikakzeptanz	Hoch
Umweltbelastungen	Mittlere-geringe Belastungen
Gesetzliche Rahmenbedingungen	Angepasst
Fair Logistics	Hoch
Infrastrukturmaßnahmen	Fast ausgebaut, vor der Fertigstellung
Preisentwicklungen	Niedrig
Verfügbarkeiten	Hoch
Stand der Technik	Ausgereift

Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 17 gibt eine Übersicht über die Aktivitäten, die im Rahmen des Szenarios im Zeitraum 2033-2043 stattfinden. Unterteilt wird hierbei in die Kategorien Versorgung, Verbrauch und Rahmenbedingungen.

Abbildung 17 Übersicht über das Szenario für den Zeitraum 2033-2043

Versorgung

- **Grüne Energieerzeugung** im ländlichen Raum ausgebaut
- Regionale (auch gemeinsam nutzbare) **Elektrolyseure** sind ausgebaut
- Zusätzlicher **Import in Abhängigkeit der Bedarfe** einzelner Verbraucher notwendig
- Anschluss an die **Süddeutsche Erdgaspipeline** festgelegt
- **Umschlags-Hubs** im ländlichen Raum vorhanden
- **Speicherinfrastruktur** für H_2 ausgebaut
- **Tankstellen-Netz** für H_2 ist ausgebaut
- Bei Überschüssen von H_2 **Export** in urbane Gebiete möglich

Verbrauch

- Regelbetrieb von **H_2-Anwendungen** (Industrie, Mobilität und Logistik, Gebäudetechnik, Energieerzeugung)
- **Überschüssiger Strom** aus der Region wird in Form von Wasserstoff gespeichert

Rahmenbedingungen

- **Rechtliche Rahmenbedingungen** an technische Möglichkeiten angepasst
- **Standards und Normen** bezüglich H_2 sind etabliert
- **Schulungen** zum Umgang mit H_2-Technologien in Bildungseinrichtungen verankert
- **Akzeptanz** zur Nutzung von H_2 vorhanden

Quelle: eigene Darstellung

Ab dem Jahr 2033 wird eine Wasserstoffwirtschaft, auch im ländlichen Raum, voraussichtlich weitestgehend bestehen. Neben einer gesicherten Versorgung sind nun auch die Anwendungen auf den neuen Energieträger umgestellt.

In 20 Jahren wird die grüne Energieversorgung im ländlichen Raum vollständig ausgebaut sein, daneben bestehen regionale Elektrolyseure, die von Akteuren gemeinsam genutzt werden können. Auch der ländliche Raum ist nun an die Süddeutsche Erdgaspipeline angeschlossen, bei der bedarfsweise H_2 entnommen aber auch eingespeist werden kann und die primär die Versorgung mit Wasserstoff sicherstellt. Die Erdgasleitungen sind auf H_2 umgestellt. Dennoch wird davon ausgegangen, dass für Verbraucher mit hohen Bedarfen und keiner direkten Anschlussmöglichkeit an die Pipeline sowie ohne Nutzungsmöglichkeit eines regionalen Elektrolyseurs, ggf. ein zusätzlicher Import von H_2 mit dem Lkw erforderlich ist. Hier kommt den regional errichteten Umschlags-Hubs eine wichtige Rolle zu. Für überschüssigen Strom besteht nun im ländlichen Raum auch eine Speicherinfrastruktur für H_2. Bei Überschüssen von H_2 ist ebenfalls ein Export in urbane Gebiete möglich, bei denen keine Möglichkeit zur regionalen Erzeugung von grünem Strom besteht. Es wird angenommen, dass in 20 Jahren das Tankstellen-Netz für H_2 vollständig ausgebaut ist.

Im vorliegenden Szenario werden H_2-Anwendungen in der Mobilität, Logistik, Industrie und Gebäudetechnik voraussichtlich ganzheitlich technisch ausgereift sein. Es wird angenommen, dass durch die sektorenübergreifende Nutzbarkeit des Wasserstoffs die Anwendungen nun das Standardbild auf den Straßen und in Unternehmen sind. Auch Heizkraftwerke können nun vollständig mit Wasserstoff betrieben werden. Darüber hinaus dient Wasserstoff als Speichermedium für überschüssigen Strom aus der Region.

Die Akzeptanz und Bereitschaft der Bevölkerung und Wirtschaft ist vollständig vorhanden und die Schulungen zur Qualifizierung des Personals im Umgang mit H_2-Technologien sind fest in den Bildungseinrichtungen verankert. Auch die rechtlichen Rahmenbedingungen sind an die technischen Möglichkeiten angepasst worden. Die Standards und Normen bezüglich des Wasserstoffs sind ebenfalls vollständig etabliert und angepasst.

7 Fazit und Ausblick

In der vorliegenden Studie wurde anhand von drei Beispielregionen in Baden-Württemberg untersucht, ob und wie die ländlichen Regionen ein Treiber für die Umsetzung von Wasserstoffanwendungen in der Logistik darstellen können. Dabei konnte aufgezeigt werden, dass der ländliche Raum hohes Potenzial bietet eine Wasserstoffwirtschaft voranzutreiben, jedoch ist die Logistikbranche noch kein sichtbarer Treiber. Sie bietet aber schon heute große Potenziale. Grundsätzlich sind die Einsatzmöglichkeiten von Wasserstoff in der Logistik vielfältig und reichen von Antrieben für den Schwerlastverkehr sowie dem Wasser- und Schienenverkehr bis hin zu intralogistischen Verbrauchern. Dem Einsatz von Wasserstoff in der Logistik stehen jedoch noch einige Hemmnisse im Weg, diese gilt es in den nächsten Jahren abzubauen. Um in einem gerade hochlaufenden Markt Unsicherheiten und Hemmnisse beseitigen zu können, benötigt es eine ganzheitliche Strategie, Planung und Umsetzung mit allen relevanten Akteuren. Hierbei kann der ländliche Raum als Innovationstreiber fungieren. Im Zuge der aktuellen Entwicklungen durch die Energiekrise hat der Transformationsdruck auf die Energie- und Logistikbranche noch einmal deutlich zugenommen. Die größte Herausforderung wird es sein, die komplette Wertschöpfungskette (Produktion – Transport – Speicherung – Verwendung) aufzubauen. Neben der kontinuierlichen Schaffung und Anpassung von strukturellen Rahmenbedingungen müssen deshalb in den kommenden Jahren besonders die Erforschung und Entwicklung von Lösungskonzepten und Technologie vorangetrieben werden. Dabei ist es für den ländlichen Raum wichtig, dezentrale Versorgungslösungen aufzubauen, um so den Markthochlauf bereits in den nächsten Jahren voranzutreiben.

Wichtig wird es sein, eine Organisation aufzubauen, die sich als „Kümmerer“ versteht und mit den betroffenen Akteuren zusammenarbeitet. Die Aufgabengebiete sollten Beteiligungs-, Aufklärungs-, Akzeptanz- sowie Anforderungsmanagement umfassen. Um den gewünschten Effekt zu erzielen, ist es notwendig, dass ein Konsortium gemeinsam agiert. So ist es möglich Risiken zu streuen und zu minimieren. So kann die Organisation ebenfalls als „Nachfragebündler“ agieren und als Anlaufstelle für Förderanträge fungieren.

Weiterer Forschungsbedarf

Erheblicher Forschungsbedarf ergibt sich bei den weiteren Schritten zum Aufbau eines H_2-Ökosystems. Beispielhaft kann hier der Main-Tauber-Kreis diskutiert werden, da dort im Laufe des Projektes eine große Dynamik zum Thema Wasserstoff beobachtet werden konnte. Mit seiner Lage an den großen Verkehrsachsen A3, A7 und A81 sowie der Nähe zum geplanten Wasserstoffnetz durch die Süddeutschen Erdgasleitung (SEL) birgt der Main-Tauber-Kreis einige Standortvorteile, um ein Wasserstoffökosystem aufzubauen. Die Region Wertheim, die sich durch viele Industriegebiete, einen hohen Energiebedarf, hohes Erzeugungspotenzial für grüne Energie, einen Zugang zur Autobahn A3 sowie ansässige Händler für tiefgekühlte Gase auszeichnet, ist hierbei von besonderem Interesse.

Die Wasserstoff-Allianz, eine Kooperation von verschiedenen Akteuren der Region (u.a. Verkehrsbetriebe, Banken und Tankstellenbetreiber), wurde im März 2023 mit der Gründung der H_2 Main-Tauber GmbH institutionalisiert. Somit sind weitere Voraussetzungen geschaffen, bei den anstehenden Herausforderungen in einem gerade hochlaufenden Markt, die bestehenden Hemmnisse möglichst schnell und koordiniert abzubauen. Konkrete Projekte der gesamten Wertschöpfungskette können so besser strategisch geplant, gebündelt und koordiniert werden und die Kommunikation zwischen den Akteuren verbessert werden. Derzeit sind in der Region

Wertheim verschiedene potenzielle Umsetzungsprojekte in der Diskussion, u.a. der Aufbau eines 50 MW Elektrolyseurs, ein Ausbau erneuerbarer Energien durch PV- und Windkraftanlagen, eine Umstellung des Energiebedarfs lokaler Unternehmen auf Wasserstoff, eine Versorgung des Wertheim Village, die Versorgung von Autobahnraststätten mit H_2 sowie die Einspeisung bzw. der Bezug von grünem H_2 aus der geplanten Pipeline (Europäisches H_2-Backbone).

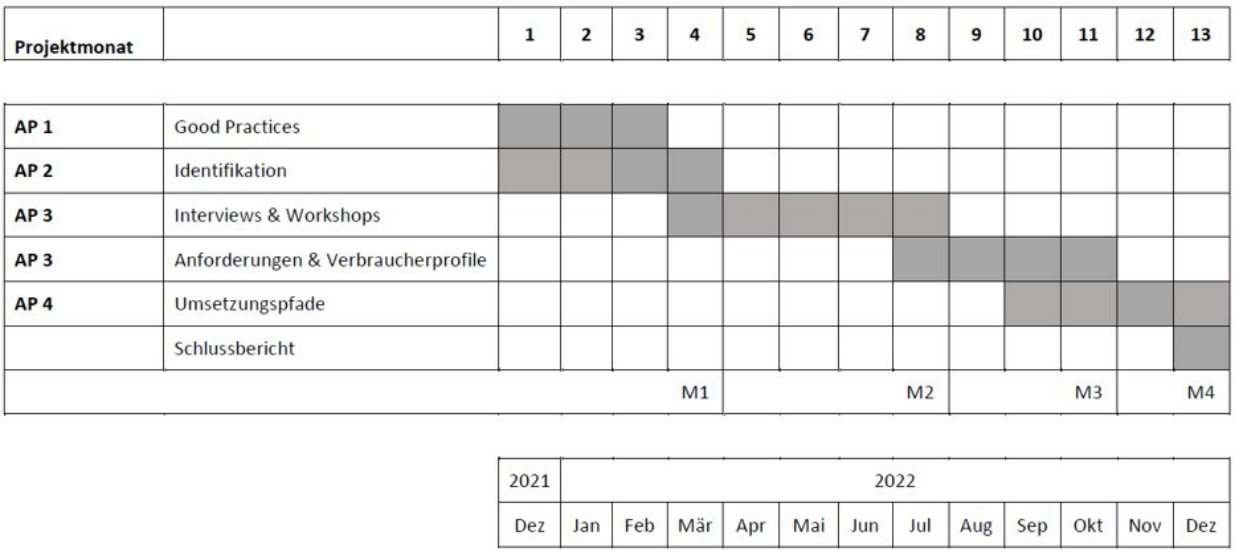
8 Erfolgskontrollbericht

Projektergebnisse

Die zentralen Projektergebnisse sind der vorliegenden Studie zu entnehmen.

Meilensteine (Soll/Ist-Abgleich)

Abbildung 18 Projektzeitplan



Quelle: eigene Darstellung

Meilenstein 1 (03/2022) konnte wie geplant umgesetzt werden.

Meilenstein 2 (07/2022): Der Zwischenbericht konnte wie geplant am 29.07.2022 umgesetzt werden. Die Workshop-Ergebnisse lagen im Oktober 2022 vor, da zum geplanten Zeitpunkt im Juli 2022 noch nicht alle Interviews durchgeführt waren.

Meilenstein 3 (10/2022) konnte wie geplant umgesetzt werden.

Meilenstein 4 (12/2022) konnte aufgrund von terminlichen Überschneidungen im Januar 2023 umgesetzt werden. Die Abschlusspräsentation fand am 25.01.2023 statt. Der Abschlussbericht wurde dem Zuwendungsgeber planmäßig drei Monate nach Projektende, am 31.03.2023, zugestellt.

Einhaltung des Zeitplans (ggf. Erläuterung von Abweichungen)

Die Ziele des Vorhabens konnten aus Sicht des Zuwendungsempfängers gegenüber dem ursprünglichen Antrag unverändert eingehalten werden.

Der im Rahmen des Vorhabens geplante Workshop wurde in Abstimmung mit dem Fördermittelgeber von Juli auf Anfang Oktober 2022 verlegt. Da die Inhalte auf den Interviewergebnissen aufbauen sollten und zum Zeitpunkt Juli 2022 noch nicht alle Interviews durchgeführt waren, wurde dieser Schritt als sinnvoll erachtet und mit dem Fördermittelgeber abgestimmt. Zudem

wurden die vier geplanten Workshops in einer Veranstaltung gebündelt, somit war eine bessere und intensivere Vernetzung der beteiligten Akteure möglich.

Verwertung der Ergebnisse

Wissenschaftliche Vorträge und Publikationen: An der Erstellung von wissenschaftlichen Fachpublikationen und Präsentationen waren alle Teammitglieder aus verschiedenen Fachdisziplinen beteiligt. Dies spielt auch den inter- und transdisziplinären Forschungsansatz wider. Im Sinne der Verstetigung des gesellschaftlichen Diskurses erfolgte im Rahmen von Tagungen und Veranstaltungen die regelmäßige Teilnahme, wann immer möglich.

Medien und Presse: Über H_2ALL wurde mehrfach in den lokalen und regionalen Medien berichtet.

Weitere Fördermöglichkeiten: Es wird geprüft, welche weiteren Fördermöglichkeiten für Folgeprojekte in Frage kommen. Dabei werden Forschungsprogramme der öffentlichen Hand ebenso wie Kooperationen mit der privaten Wirtschaft und kommunale Entwicklungsprogramme anvisiert. Im Abschlussbericht zum Projekt H_2ALL wurden weiterführende Forschungsfragen thematisiert. Diese werden umfänglich in einem Folgevorhaben an das Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg adressiert. Mögliche Forschungsbedarfe umfassen:

Umsetzungsbegleitung von Projekten im Main-Tauber-Kreis:

- Sammlung und Auswertung relevanter Daten für konkrete Umsetzungsvorhaben, z.B. bezüglich benötigter H_2-Volumina für eine Tankstelle
- Begleitung einer Geschäftsmodellentwicklung durch ökonomische Bewertungen
    - Durchführung von TCO-Berechnungen von H_2-Versorgungsfahrzeugen oder H_2-Bussen im ÖPNV
    - Entwicklung eines Finanzierungsmodells für dezentrale Hubs sowie wissenschaftliche Untersuchung der ökonomischen Analyse des Langzeitbetriebs

Konkretisierung von z.B. Versorgungskonzepten oder Potenzialen im Main-Tauber-Kreis:

- Erstellung einer detaillierten Potenzialkarte einer Region
    - Übersicht über alle potenziellen Verbraucher, Stromerzeuger und H_2-Erzeuger
    - Aufzeigen der Potenziale bei lokalen Akteuren
    - Übersichtliche Darstellung möglicher Hubs, Versorgungslinien und wesentlicher Verwender
- Analyse von Versorgungskonzepten
    - Detaillierte Untersuchung spezifischer Versorgungsmöglichkeiten mit Betrachtungen zu möglichen:
        - Versorgungsarten (z.B. Straße, Schiene oder Pipeline)
        - Kapazitäten
        - Auswirkungen (auf Umwelt, Nachhaltigkeit oder Verkehr)
        - Langfristigen Wirkungen und Zukunftssicherheit
        - Kommunikationskonzepten mit Akteuren vor Ort (z.B. Wasserstoffallianz Main-Tauber)

Nutzen bzw. Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Wirtschaft

Mit dem Projekt H_2ALL werden die folgenden Schritte ermöglicht:

- Verbesserung und Erweiterung der Analysen zu den Potenzialen von Wasserstoff im ländlichen Raum unter Berücksichtigung des Gesamtmarkts. Besondere Berücksichtigung sollen dabei neben industriellen Anwendungen auch Anwendungen in der Logistik erfahren.
- Aufzeigen von konkreten, praxistauglichen Umsetzungspfaden für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft im ländlichen Raum. Es sollen Handlungserfordernisse anhand von konkreten Umsetzungsbeispielen mit Unternehmenspartnern assoziiert werden.
- Identifikation von wesentlichen Einflussgrößen und Empfehlungen zu Rahmenbedingungen unter stärkerer Berücksichtigung der tatsächlichen Verhältnisse innerhalb einer Wasserstoffwirtschaft.

Anzahl der am Projekt beteiligten Unternehmen

- Anzahl der Unternehmen insgesamt: 17
- Anzahl der kleinen und mittleren Unternehmen (KMU): 9

Quellenverzeichnis

Acocella, D. – Stadt- und Regionalentwicklung (2018): Gutachten zur Fortschreibung des Regionalen Einzelandelkonzepts für die Region Bodensee-Oberschwaben, Lörrach 2018

Altenburg, S./Auf der Maur, A./Labinsky, A./Eckert, S./Faltenbacher, M./ Reuter, B. (2017): Nullemissionsnutzfahrzeuge. Vom ökologischen Hoffnungsträger zur ökonomischen Alternative, Stuttgart 2017

AMBARtec AG (2023): HyCS-Technologie: einfach und wirkungsvoll, URL: https://www.ambartec.de/technologie/ [23.03.2023]

Auto Zeitung (2022): So funktioniert Wasserstofftanken, URL: https://www.autozeitung.de/wasserstofftankstellen-karte-kosten-197731.html [21.02.2023]

Bendel, O. (2021): Sharing Economy. Definition: Was ist „Sharing Economy"?, URL: https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/sharing-economy-53876/version-384536 [20.02.2023]

Bernecker, T./Kuch, F./Speiser, J./Heinzelmann, J./Neumann, L./Burg, R./Koch, J./ Kocholl, T./Wühlhüter, M./Knorr, N./Roth, J./Röhling, W./Paulson, J./ Doderer, H. (2020): Güterverkehrs-konzept Baden-Württemberg. Grundlagen und Empfehlungen, Stuttgart 2020

Bernecker, T. et al. (2021): LILA – Logistikinnovationen in ländlich geprägten Agglomerationen

Birkmann, J./Junesch, R./Lauer, H./Siedentop, S./Fina, S./Rusche, K./Scholz, B./Schulwitz, M./Schmitz, J. (2020): Entwicklung der Ländlichen Räume in Baden-Württemberg. Forschungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. Projekt-Nr. 611. Abschlussbericht. Revidierte Fassung vom 10.2.2020, Stuttgart/Dortmund 2020

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2019): Verwaltungskarte Deutschland – Länder, Regierungsbezirke, Kreise, URL: https://www.bundeswahlleiter.de/dam/jcr/c65e1a56-8a6a-4ca0-b06f-ab794829755c/vk2500-lrk.png [14.02.2023]

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2023a): Wasserstoffleitprojekte: Wie der Potenzialatlas eine deutsch-afrikanische Energie-Partnerschaft vorbereitet, URL: https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/partner_projekte/potenzialatlas [13.02.2023]

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2023b): Nationale Wasserstoffstrategie: Grüner Wasserstoff als Energieträger der Zukunft, URL: https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-und-nachhaltiges-wirtschaften/nationale-wasserstoffstrategie/nationale-wasserstoffstrategie_node.html [13.02.2023]

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2021): Mit der Elektrobahn klimaschonend in die Zukunft – Das Bahn-Elektrifizierungsprogramm des Bundes, URL:

https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/E/schiene-aktuell/elektrobahn-klima-schonend-zukunft-bahn-elektrifizierungsprogramm.html [08.02.2023]

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2022): FAQ zur Umsetzung der Clean Vehicles Directive (CVD) in Deutschland, URL: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/clean-vehicles-directive-faq.html [21.02.2023]

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2020): Das Land lebt! Dritter Bericht der Bundesregierung zur Entwicklung ländlicher Räume, Berlin 2020

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2008): Bundeswasserstrassen – Klassifizierung der Binnenwasserstraßen des Bundes, URL: https://www.binnenschiff.de/wp-content/uploads/2018/08/Bundeswassertrassen.pdf [14.02.2023]

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2020): Projektinformationssystem (PRINS) zum Bundesverkehrswegeplan 2023, URL: https://www.bvwp-projekte.de/strasse/B31-G10-BW/B31-G10-BW.html [09.02.2023]

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie, Berlin 2020

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022): Klimaschutz in Zahlen. Aktuelle Emissionstrends und Klimaschutzmaßnahmen in Deutschland – Ausgabe 2022, Berlin 2022

Chestney, Nina (2022); URL: https://www.reuters.com/business/energy/high-gas-prices-spur-green-hydrogen-investment-report-2022-10-19/ [06.03.2023]

City Population, Main-Tauber-Kreis (2021), URL: https://www.citypopulation.de/de/germany/badenwurttemberg/08128__main_tauber_kreis/ [16.02.2023]

Conceptboard Cloud Service GmbH (2023): Das Online Whiteboard für all Deine Ideen, URL: https://conceptboard.com/de/ [20.03.2023]

DB Energie GmbH (2020): Potenzialbeschreibung – Wasserstofftransport über das Schienennetz, URL: https://blog.lea-hessen.de/wp-content/uploads/2020/08/Potenzialbeschreibung-Wasserstofftransport-%C3%BCber-das-Schienennetz.pdf [21.02.2023]

Die Autobahn GmbH des Bundes (2023): A 6. Sechsstreifige Erweiterung zwischen dem AK Weinsberg und der Landesgrenze BW/BY, URL: https://www.autobahn.de/die-autobahn/projekte/detail/sechsstreifige-erweiterung-zwischen-dem-ak-weinsberg-und-der-landesgrenze-bw/bayern [08.02.2023]

DVV Media Group GmbH (2022): Daimlers Wasserstoff-Lkw: Bis zur Serienreife dauert es noch, URL: https://www.dvz.de/rubriken/test-technik/alternative-antriebe/detail/news/daimler-truck-plant-wasserstoff-lkw-mit-1000-kilometern-reichweite.html [21.02.2023]

Ebner, U. (2023): Heart Aerospace plant den hybriden 30-Sitzer, URL: https://www.flugrevue.de/flugzeugbau/heart-aerospace-schwedischer-hybrid/ [21.02.2023]

e-commerce magazin (2015): DHL-Studie fordert faire und verantwortungsbewusste Logistik, URL: https://www.e-commerce-magazin.de/dhl-studie-fordert-faire-und-verantwortungsbewusste-logistik/ [21.02.2023]

eFarming (2023): eFarm Nordfriesland – Wasserstoff echt nordisch, URL: https://www.efarm.nf/efarm-nordfriesland/ [27.02.2023]

e-mobil BW (2023): H2Rivers_H2Rhein-Neckar: Schaufenster für Brennstoffzellenmobilität, URL: https://www.e-mobilbw.de/ueber-uns/projektaktivitaeten/h2rivers-h2rhein - neckar [27.02.2023]

Enagás et al. (2021): Extending the European Hydrogen Backbone. A European Infrastructure Vision covering 21 Countries, Brüssel 2021

envia Mitteldeutsche Energie AG (2023): Wasserstoff, URL: https://www.enviam-gruppe.de/energiezukunft-ostdeutschland/erzeugung/wasserstoff [08.02.2023]

Europäische Union (2019): Richtlinie (EU) 2019/1161 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 zur Änderung der Richtlinie 2009/33/EG über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge, URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L1161&from=DE [21.02.2023]

Experteninterviews H2-Innovationslabor (2022)

Göckeler, K./Hacker, F./Mottschall, M./Ziegler, L./Heinzelmann, J./Lesemann, L./Bernecker, T. (2022): Anforderungen der Logistikbranche an einen Umstieg auf klimaschonende Fahrzeugtechno-logien. Ergebnisbericht einer standardisierten Befragung. Zweiter Teilbericht des Forschungs- und Dialogvorhabens „StratES: Strategie für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehr“, Berlin 2022

H2.live (2023): H_2 tanken – Wasserstoffmobilität beginnt jetzt, URL: https://h2.live/ [21.02.2023]

Hacker, F./Blanck, R./Görz,W./Bernecker, T./Speiser, J./Röckle, F./Schubert, M./ Nebauer, G. (2020): StratON - Bewertung und Einführungsstrategien für oberleitungs-gebundene schwere Nutzfahrzeuge. Endbericht, Berlin 2020

Heilbronner Stimme GmbH & Co. KG (2022): Straßenbauprojekt fertig: A6 an wichtiger Stelle ausgebaut, URL : https://www.stimme.de/regional/region/strassenbauprojekt-fertig-a6-an-wichtiger-stelle-ausgebaut-art-4708510 [08.02.2023]

Hohmann, M. (2021): Produktionskosten von Wasserstoff nach Wasserstofftyp in Deutschland im Jahr 2019 und Prognosen für die Jahre 2030 und 2050, URL: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1195863/umfrage/produktionskosten-von-wasserstoff-nach-wasserstofftyp-in-deutschland/ [21.02.2023]

Internationale Bodensee-Konferenz (2022): Zielbild BODANRAIL 2045, Bericht, Konstanz 2022

Jungl, C. (Deutsche Energie-Agentur GmbH) et al. (2019): Dialogprozess Gas 2030. Hintergrundpapier, Berlin 2019

Kempermann, H./Krause, M./Demary, V./Röhl, K. (2020): Die Bedeutung der Familienunternehmen für ländliche Räume. Beitrag zum Wohlstand und Zusammenhalt, München 2020

Köllner, C. (2021): Was verbirgt sich hinter der H_2-Farbpalette?, URL: https://www.springer-professional.de/wasserstoff/verfahrenstechnik/was-verbirgt-sich-hinter-der-h2-farbpalette-/19739370 [20.03.2023]

Land Baden-Württemberg (2022): Ausbau der Bodenseegürtelbahn vorantreiben, URL: https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/lenkungskreis-ausbau-der-bodenseeguertelbahn-vorantreiben-1 [09.02.2023]

Landratsamt Bodenseekreis (2011): Nahverkehrsplan des Bodenseekreises, Friedrichshafen 2011

Landratsamt Bodenseekreis (2023): Landwirtschaft, URL: https://www.bodenseekreis.de/umwelt-landnutzung/landwirtschaft/ [09.02.2023]

Landratsamt Hohenlohekreis (2023a): Im Nordosten Baden-Württembergs, URL: https://www.hohenlohekreis.de/de/landkreis/unser-kreis/geografische-lage [08.02.2023]

Landratsamt Hohenlohekreis (2023b): Hervorragende Anbindung, URL: https://www.hohenlohekreis.de/de/landkreis/unser-kreis/verkehrssituation [08.02.2023]

Landratsamt Hohenlohekreis (2023c): Wirtschaftsstruktur, URL: https://www.hohenlohekreis.de/de/landkreis/unser-kreis/wirtschaftsraum [08.02.2023]

Landratsamt Main-Tauber (2023): Daten und Fakten zum Main-Tauber-Kreis, URL: https://www.main-tauber-kreis.de/Landkreis-Politik/Landkreis/Daten-und-Fakten/ [16.02.2023]

Landratsamt Main-Tauber (2023): Daten und Fakten zum Main-Tauber-Kreis, URL: https://www.main-tauber-kreis.de/Landratsamt/Service/Was-erledige-ich-wo-/Lebenslagen/Verkehr-und-Verkehrswege/G%C3%BCterverkehr/?kat=%2C [16.02.2023]

Lok Report (2022): Baden-Württemberg/Bayern: Machbarkeitsstudie Frankenbahn - Ausbau zwingend erforderlich, URL: https://www.lok-report.de/news/deutschland/aus-den-laendern/item/33158-baden-wuerttemberg-bayern-machbarkeitsstudie-frankenbahn-ausbau-zwingend-erforderlich.html [20.02.2023]

Malburg-Graf, M. / Voith, D. (2018): Strukturanalyse des Hohenlohekreises im Rahmen von ZukunftHOK – Kreisentwicklungs- und Strategiekonzept, Weissach im Tal 2018

Malburg-Graf, M. / Voith, D. (2018): Strukturanalyse des Hohenlohekreises im Rahmen von ZukunftHOK – Kreisentwicklungs- und Strategiekonzept. Kurzfassung, Weissach im Tal 2018

Mallwitz, G. (2022): Trendwende: Die Menschen zieht es aufs Land, URL: https://kommunal.de/landlust-studie-trendwende [20.02.2023]

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2020): Wasserstoff-Roadmap Baden-Württemberg. Klimaschutz und Wertschöpfung kombinieren, Stuttgart 2020

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2021): Kabinett beschließt Einrichtung einer Task Force zur Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien, URL: https://um.baden-wuerttemberg.de/de/presse-service/presse/pressemitteilung/pid/kabinett-beschliesst-einrichtung-einer-task-force-zur-beschleunigung-des-ausbaus-erneuerbarer-energie/ [21.02.2023]

Nationaler Wasserstoffrat (2021a): Wasserstoff Aktionsplan Deutschland 2021-2025, Berlin 2021

Nationaler Wasserstoffrat (2021b): Der NWR positioniert sich zur Frage von Transportoptionen und –bedingungen von Wasserstoff, URL: https://www.wasserstoffrat.de/aktuelles/pressemitteilung-vom-16072021 [21.02.2023]

National Institute of Standards and Technology (2021): Innovation Unleashed. Working with industry and academia to enhance economic security and improve our quality of life, URL: https://www.nist.gov/ [23.03.2023].

Neue Weststadt-Klimaquartier (2023): Energiekonzept, URL: https://neue-weststadt.de/energiekonzept/#wasserstoffnutzung [21.02.2023]

Now GmbH (2023): H2IntraDrive – Einsatz von wasserstoffbetriebenen Flurförderzeugen in der Intralogistik unter Produktionsbedingungen, URL: https://www.now-gmbh.de/projektfinder/h2-intradrive/ [28.02.2023]

Palla, D. (2021): Airport Hamburg startet Wasserstoff-Forschungsprojekt, URL: https://www.contextcrew.de/airport-hamburg-startet-wasserstoff-forschungsprojekt/ [21.02.2023]

Plattform H2BW (2022): H2ORIZON, URL: https://www.plattform-h2bw.de/projekte-im-land/h2orizon [25.11.2022]

Pratt, J. et al. (2015): H_2FIRST Reference Station Design Task Project Deliverable 2-2. National Renewable Energy Laboratory (NREL), URL: https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64107.pdf, [21.02.2023]

Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (2023): Klimaschutzgesetz. Generationenvertrag für das Klima, URL: https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672 [04.01.2023]

Prognos AG (2019): Kosten für strombasierte Energieträger. Vortragspräsentation

Regierungspräsidium Tübingen (2022): Automatische Straßenverkehrszählungen in Baden-Württemberg. Ergebnisse Jahr 2021, Tübingen 2022

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben (2021): Regionalplan Bodensee-Oberschwaben – Fortschreibung des Regionalplans, Ravensburg 2021

Stadtwerke Waiblingen (2022): hy.waiblingen baut regionale grüne Wasserstoff-Infrastruktur auf, URL: https://www.stadtwerke-waiblingen.de/news-details/hy-waiblingen-baut-regionale-gr%C3%BCne-wasserstoff-infrastruktur-auf.html [21.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023a): Bevölkerung, Gebiet und Bevölkerungsdichte. Landkreis Hohenlohekreis, URL: https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/GebietFlaeche/01515020.tab?R=KR126 [08.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023b): Bevölkerungsvorausberechnung nach Altersgruppen. Landkreis Hohenlohekreis, URL: https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/Vorausrechnung/98015021.tab?R=KR126 [08.02.2023}

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023c): Bevölkerung, Gebiet und Bevölkerungsdichte. Land Baden-Württemberg, URL: https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/Bevoelkerung/01515020.tab?R=LA [08.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023d): Bevölkerungsvorausberechnung nach Altersgruppen. Land Baden-Württemberg, URL: https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/Vorausrechnung/98015021.tab?R=LA [08.02.2023}

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023e): Vorausberechnung, URL: https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/Vorausrechnung/ [08.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023f): Beschäftigte seit 1999 nach ausgewählten Wirtschaftsbereichen. Landkreis Hohenlohekreis, URL: https://www.statistik-bw.de/Arbeit/Beschaeftigte/03025015.tab?R=KR126 [08.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023g): Beschäftigte seit 1999 nach ausgewählten Wirtschaftsbereichen. Land Baden-Württemberg, URL: https://www.statistik-bw.de/Arbeit/Beschaeftigte/03025015.tab?R=LA [08.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023h): Bevölkerung, Gebiet und Bevölkerungsdichte. Landkreis Bodenseekreis, URL: https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/GebietFlaeche/01515020.tab?R=KR435 [09.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023i): Bevölkerungsvorausberechnung nach Altersgruppen. Landkreis Bodenseekreis, URL: https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/Vorausrechnung/98015021.tab?R=KR435 [09.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023j): Beschäftigte seit 1999 nach ausgewählten Wirtschaftsbereichen. Landkreis Bodenseekreis, URL: https://www.statistik-bw.de/Arbeit/Beschaeftigte/03025015.tab?R=KR435 [09.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023k): Landwirtschaftlich genutzte Fläche seit 1979 nach Hauptnutzungsarten. Landkreis Bodenseekreis, URL: https://www.statistik-bw.de/Landwirtschaft/Bodennutzung/05025033.tab?R=KR435 [09.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023l): Gemeindegebiet, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte seit 1961, Landkreis Main-Tauber-Kreis, URL: https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/GebietFlaeche/01515020.tab?R=KR128 [14.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023m): Beschäftigte seit 1999 nach ausgewählten Wirtschaftsbereichen Main-Tauber-Kreis, URL: https://www.statistik-bw.de/Arbeit/Beschaeftigte/03025015.tab?R=KR128 [24.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023o): Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Arbeitsort in Baden-Württemberg seit 1977 nach Geschlecht, Ausländern sowie Vollzeit- und Teilzeitbeschäftigten, URL: https://www.statistik-bw.de/Arbeit/Beschaeftigte/LRt0504.jsp [24.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023n): Geldvermögen und Einkommen in den Kreisen des Landes Baden-Württemberg, URL: https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Monatshefte/PDF/Beitrag20_05_04.pdf [24.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023p), Voraussichtliche Bevölkerungsentwicklung in den Stadt- und Landkreisen Baden-Württembergs 2020 bis 2040, URL: https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/Vorausrechnung/Kreisdaten.jsp [24.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023q): Bestand an Kraftfahrzeugen in den Kreisen seit 1976 nach Fahrzeugart, URL: https://www.statistik-bw.de/Verkehr/KFZ-Belastung/10023020.tab?R=KR128 [24.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023r): Arbeitslosenquoten ab 2005 im Jahresdurchschnitt Main-Tauber-Kreis, URL: https://www.statistik-bw.de/Arbeit/Arbeitslose/03033015.tab?R=KR128 [24.02.2023]

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023s): Arbeitslosenquoten ab 2005 im Jahresdurchschnitt Land Baden-Württemberg, URL: https://www.statistik-bw.de/Arbeit/Arbeitslose/03033015.tab?R=LA [24.02.2023]

Landkreis Main-Tauber-Kreis

Steinke, S. (2022): Der erste A380 wird zum Wasserstoff-Testflugzeug, URL: https://www.flugrevue.de/zivil/fuenftes-triebwerk-am-oberdeck-airbus-a380-prototyp-wird-wasserstoff-testflugzeug/ [21.02.2023]

SWR (2022): Aus Sonne und Wind im Harthäuser Wald wird Wasserstoff, URL: https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/heilbronn/wasserstoff-hybrid-park-widdern-windenergie-solar-dlr-zukunft-energiewende-100.html#:~:text=Im%20Main%2DTauber%2DKreis%20gibt,dabei%2C%20eine%20GmbH%20zu%20gr%C3%BCnden. [25.11.2022]

terranets bw GmbH (2023a): Wasserstoff für Baden-Württemberg. Eine Initiative der terranets bw, URL: https://www.h2-fuer-bw.de/ [21.02.2023]

terranets bw GmbH (2023b): Süddeutsche Erdgasleitung – SEL, URL: https://www.terranets-bw.de/unsere-netze/netzausbauprojekte/sueddeutsche-erdgasleitung [21.02.2023]

terranets bw GmbH (2023c): SEL – Fragen und Antworten, URL: https://www.terranets-sel.de/#fragenundantworten [21.02.2023]

Umweltbundesamt (2023): Transformation der Gasinfrastruktur zum Klimaschutz. Abschlussbericht, Dessau-Roßlau 2023

Wiesecker Group (2021): Sharing Economy im B2B: Der nächste Schritt für Unternehmen?, URL: https://www.brainguide.de/Sharing-Economy-im-B2B-Der-naechste-Schritt-fuer-Unternehmen [20.02.2023]

Wirtschaftsverband Fuels und Energie e.V.(2021): Wasserstoff speichern mit LOHC, URL: https://futurefuels.blog/in-der-praxis/wasserstoff-speichern-mit-lohc/ [23.03.2023]

ZEAG Energie AG (o.J.): HARTHÄUSER WALD. Ein Projekt mit Vorzeigecharakter., URL: https://www.zeag-energie.de/energie-zukunft/windkraft/harthaeuser-wald.html [25.11.2022]

Anhang

Anhang 1: Interviewleitfaden Produzent / Handling & Transport / Verbraucher

Kurze Projektvorstellung:

Die Wasserstofftechnologie hat das Potenzial, eine Schlüsselrolle bei der Erreichung der weltweiten Klimaschutzziele zu spielen und wird durch die Bundesregierung bereits in mehreren Projekten in Deutschland gefördert. Während die Planung einer zentralen Pipelineinfrastruktur diskutiert wird, fallen insbesondere ländlich geprägte Regionen ohne direkten Anschluss an ein nationales Wasserstoffnetz zurück.

Um ländliche Regionen an zukünftigen Förderinitiativen und damit in der Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft zu unterstützten, wurde im Dezember 2021 das Projekt »H2-ALL« gestartet. Ziel der Studie ist es zu untersuchen, unter welchen Umständen ländliche Regionen die Umsetzung von Wasserstoffanwendungen im Bereich Logistik vorantreiben können. Ausgehend von den gewonnenen Erkenntnissen werden Handlungspfade erarbeitet, die angepasst an die speziellen Anforderungen und infrastrukturellen Gegebenheiten von Logistik und Wirtschaft im ländlichen Raum, konkrete Ansätze zum Aufbau von H2-Anwendungsfällen für Politik und Unternehmen bieten.

Durchgeführt wird das Projekt von der Hochschule Heilbronn und dem Fraunhofer IAO mit Förderung durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg.

Allgemeine Fragen:

1) Wie schätzen Sie das Potenzial der Wasserstofftechnologie im Allgemeinen ein? (*Anm. Anwendungsfelder: Synthetischer Treibstoff, Brennstoffzelle, Material/Energieträger in Industrie, Gebäude*)

2) Wie schätzen Sie das Potenzial einer Wasserstoffwirtschaft in Ihrer (lokalen) Region ein? Warum? *(Hier definieren, wie der Akteur „Region“ abgrenzt – definierte Raumschaften oder anders?)*

3) In welcher Funktion sehen Sie Ihr Unternehmen in der (zukünftigen) Wasserstoffwirtschaft (Produzent, Handling & Transport, Verbraucher *(Industrie/Logistik)* oder andere Rolle)?

4) Hat Ihr Unternehmen bereits erste Erfahrungen mit (grünem) Wasserstoff gesammelt? Wenn ja, welche? *(Aktivitäten, Austausch, Kooperationen, Kundenbeziehungen etc.)*

5) Kennen Sie Aktivitäten *(von anderen Unternehmen/Organisationen)*, die sich in Ihrer Region aktiv mit dem Thema Wasserstoff auseinandersetzen?

Spezifische Fragen je nach Rolle

<u>In Abhängigkeit der (möglichen) Rolle in der Wasserstoffwirtschaft:</u>

Verbraucherspezifische Fragen Industrieunternehmen:

6) Welche Energieträger werden aktuell in Ihrem Unternehmen (z.B. im Produktionsprozess, Heizung etc.) verbraucht und in welcher Menge?

7) Betreiben Sie aktuell Aktivitäten zur Umstellung auf alternative Energieträger?

a) Wenn ja: Welche werden dabei betrachtet bzw. genutzt?

(Sofern möglich sind auch Mengen, Beschreibung vorhandener Infrastruktur, Bezugsquellen/Abnehmer, Anwendungsfelder etc. interessant)

8) *Betreiben Sie aktuell Aktivitäten zur Umstellung auf (grünen) Wasserstoff?*

a) Wenn (grüner) H_2: Wie sind Ihre (bestehenden/ geplanten) H_2-Verbräuche in Zahlen?

b) Wenn kein (grüner) H_2: Warum ist die Entscheidung gegen den Einsatz von grünem Wasserstoff ausgefallen?

9) Wie könnte (grüner) H_2 in Ihrem Unternehmen eingesetzt werden? *(z.B. in der Intralogistik? Dienstwagenpool? Einzelne, energieintensive Prozessschritte in der Produktion? Gibt es weitere Anwendungen und mögliche Synergien?)*

10) Kennen Sie Anbieter von (grünem) Wasserstoff in der Region?

Wenn ja, können bzw. könnten diese Ihren Bedarf decken?

11) Legen Sie großen Wert auf eine regionale (grüne) Wasserstoffproduktion oder würden Sie auch importierten (grünen) H_2 verwenden?

12) Welchen Preis dürfte (grüner) Wasserstoff für Sie haben, damit dieser ein attraktiver Energieträger wird?

13) Was wären für Sie Anreize, auf grünen Wasserstoff als Energieträger umzusteigen? *(z.B. steigende CO_2-Abgaben, Image,…)*

14) Sehen Sie in Ihrem aktuellen / zukünftigen Produktportfolio Lösungen, die beim Aufbau einer H_2-Wirtschaft unterstützen können? *(z.B. Ventiltechnik, Klimatechnik, …)*

15) Würden Sie es bevorzugen, wenn Ihre Frachtunternehmer mit H_2 betriebene Lkw einsetzen würden und wären Sie bereit, hierfür höhere Transportkosten zu bezahlen?

Verbraucherspezifische Fragen Logistiker:

16) Welcher Kraftstoff bzw. Energieträger wird aktuell bei Ihnen verbraucht und in welcher Menge?

17) Welches Fahrprofil haben ihre Fahrzeuge und wie ist ihr ihr Kundenstamm räumlich verteilt?

18) Betreiben Sie aktuell Aktivitäten zur Umstellung auf alternative Kraftstoffe bzw. Energieträger?

a) Wenn ja: Welche werden dabei betrachtet bzw. genutzt?

(Sofern möglich sind auch Treibstoffmengen (z.B. Jahresverbrauch), Beschreibung vorhandener Infrastruktur, Bezugsquellen/Abnehmer, Anwendungsfelder etc. interessant)

b) Wie wirkt sich der ländliche Raum auf Ihre Überlegungen aus? *(z.B. Raumtypologien mit viel Steigung, weitere Strecken (Reichweite & Zuladung alternativer Lkw), fehlende*

Alternativen zum Straßenverkehr, Schwerlastverkehr, flächendeckende Tankstelleninfrastruktur, …)

19) *Betreiben Sie aktuell Aktivitäten zur Umstellung auf (grünen) Wasserstoff?*

    a) Wenn (grüner) H_2: Wie sind Ihre (bestehenden/ geplanten) H_2-Verbräuche in Zahlen?

    b) Wenn kein (grüner) H_2: *Warum ist die Entscheidung gegen den Einsatz von grünem Wasserstoff ausgefallen?*

20) In welchen Bereichen halten Sie den Einsatz von H_2 als Antrieb für besonders geeignet, in welchen Bereichen sehen Sie eher batterieelektrische Antriebe? *(Schwerlastverkehr vs. leichte NF, evtl. weitere Zustelloptionen wie z.B. Lastenräder, Intralogistik)*

21) Kennen Sie Anbieter von (grünem) Wasserstoff in der Region? Wenn ja, können bzw. könnten diese Ihren Bedarf decken?

22) Legen Sie großen Wert auf eine regionale (grüne) Wasserstoffproduktion oder würden Sie auch importierten (grünen) H_2 verwenden?

23) Würde eine Tankmöglichkeit den Einsatz von (grünem) Wasserstoff in ihrem Unternehmen begünstigen?

24) Wie hoch dürfte der maximale Umweg sein, den Sie für das Erreichen einer Tankstelle mit Wasserstoff in Kauf nehmen würden? *(in km)*

25) Welchen Preis dürfte (grüner) Wasserstoff für Sie haben, damit dieser ein attraktiver Energieträger wird?

26) Was wären für Sie Anreize, auf grünen Wasserstoff als Energieträger umzusteigen? *(z.B. steigende CO_2-Abgaben, Nutzfahrzeugförderungen, Mautbefreiungen, Fahrverbote, Image,…)*

Transport-/Handlingspezifische Fragen:

27) Haben Sie bereits Erfahrung im Transport, Umschlag und/oder Lagerung von gasförmigem oder flüssigem Gefahrgut, insbesondere mit Gefahrgutklasse 2? *(Sofern möglich sind auch Mengen/Wareneingang und Warenausgang, Beschreibung vorhandener Infrastruktur/Verkehrsmittel, Bezugsquellen/Abnehmer, Anwendungsfelder etc. interessant)*

28) Können Ihre Umschlaganlagen oder Pipelines (wenn Transporteur: Trailer) Wasserstoff handhaben bzw. transportieren?

    Wenn ja: in welcher Menge?

    Wenn nein: Wäre eine Umrüstung der Umschlaganlagen auf (grünen) Wasserstoff möglich?

29) Sind für Sie zukünftig der Transport, Umschlag und/oder Speicherung von (grünem) H_2 attraktive Geschäftsfelder?

30) Arbeiten Sie mit Akteuren (Kooperationspartner, Zulieferer, Kunden etc.) im Wasserstoffbereich zusammen (regional und überregional)? Wenn nein, könnten Sie sich Kooperationen in der Zukunft vorstellen?

31) Welche potenziellen Distributionswege und Verteilkonzepte von Wasserstoff erachten Sie für ihre Region als vorteilhaft? *(direkter Import, ein regionales zentrales Zentrum, mehrere kleinere dezentrale Verteilpunkte)*

32) Wo in Ihrer Region können Sie sich vorstellen, dass (grüner) Wasserstoff umgeschlagen werden kann?

33) Wie beurteilen Sie das Potenzial von Wasserstoffanwendungen in folgenden Logistikbereichen in ihrer Region

    a. Wasserverkehre

    b. Luftverkehre

    c. Schienenverkehre

    d. Straßenverkehre

    e. Intralogistik

    f. ÖPNV

    g. Kommunalanwendungen

    h. Weitere?

Produzentenspezifische Fragen:

34) Sind Sie bereits in der Herstellung von (grünen) H_2 oder grünem Strom aktiv oder planen Sie, dies zukünftig zu tun?

35) Welche Mengen von grünem Strom oder (grünem) Wasserstoff werden aktuell bei Ihnen erzeugt bzw. könnten Sie zukünftig erzeugen?

36) Zu welchem Preis können Sie (grünen) H_2 heute anbieten und welche Preisentwicklungen erwarten Sie?

37) Welche Faktoren/Voraussetzungen müssten erfüllt werden, damit die Produktion von grünem Wasserstoff attraktiv für Sie wäre/bleibt?

38) Wo könnte Ihrer Meinung nach (grüner) H_2 in Ihrer Region produziert werden? Wer könnten geeignete Abnehmer sein?

39) Arbeiten Sie mit Akteuren (Kooperationspartner, Zulieferer, Kunden etc.) im Wasserstoffbereich zusammen (regional und überregional)? Wie sollte eine solche Zusammenarbeit aussehen?

40) Welche potenziellen Distributionswege und Verteilkonzepte von Wasserstoff erachten Sie für ihre Region als vorteilhaft? *(direkter Import, ein regionales zentrales Zentrum, mehrere kleinere dezentrale Verteilpunkte)*

41) Wie beurteilen Sie das Potenzial von Wasserstoffanwendungen in folgenden Logistikbereichen in ihrer Region

    a. Wasserverkehre

b. Luftverkehre

c. Schienenverkehre

d. Straßenverkehre

e. Intralogistik

f. ÖPNV

g. Kommunalanwendungen

h. Weitere?

Allgemeine Fragen:

42) Von welchen Faktoren hängt Ihr zukünftiges Engagement im Wasserstoffbereich ab?

43) Welche Herausforderungen, Hindernisse und Risiken sehen Sie bei der Anwendung von (grünem) Wasserstoff und den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Ihrer (lokalen) Region? *(z.B. unzureichende Infrastruktur für Handling/Umschlag und Distribution, politische Hemmnisse, Stand der Technik, fehlende Akteure, Akzeptanz der Bevölkerung,…)*

44) Sehen Sie in ihrer Region ein ausgewogenes Entwicklungspotenzial für das Angebot und die Nachfrage an Wasserstoff oder sehen Sie ein höhere Entwicklungspotenzial auf der Angebots-/Nachfrageseite von Wasserstoff in Ihrer Region?

45) Welche Parteien / Akteure / Entscheider sollten aus Ihrer Sicht in Forschungs-, Entwicklungs-, und Anwendungsprojekten im Bereich Wasserstoff in Ihrer Region dringend involviert werden?

Anhang 2: Interviewleitfaden Intermediäre

Kurze Projektvorstellung:

Die Wasserstofftechnologie hat das Potenzial, eine Schlüsselrolle bei der Erreichung der weltweiten Klimaschutzziele zu spielen und wird durch die Bundesregierung bereits in mehreren Projekten in Deutschland gefördert. Während die Planung einer zentralen Pipelineinfrastruktur diskutiert wird, fallen insbesondere ländlich geprägte Regionen ohne direkten Anschluss an ein nationales Wasserstoffnetz zurück.

Um ländliche Regionen an zukünftigen Förderinitiativen und damit in der Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft zu unterstützten, wurde im Dezember 2021 das Projekt »H2-ALL« gestartet. Ziel der Studie ist es zu untersuchen, unter welchen Umständen ländliche Regionen die Umsetzung von Wasserstoffanwendungen im Bereich Logistik vorantreiben können. Ausgehend von den gewonnenen Erkenntnissen werden Handlungspfade erarbeitet, die angepasst an die speziellen Anforderungen und infrastrukturellen Gegebenheiten von Logistik und Wirtschaft im ländlichen Raum, konkrete Ansätze zum Aufbau von H2-Anwendungsfällen für Politik und Unternehmen bieten.

Durchgeführt wird das Projekt von der Hochschule Heilbronn und dem Fraunhofer IAO mit Förderung durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg.

Fragen:

1) Wie schätzen Sie das Potenzial der Wasserstofftechnologie im Allgemeinen ein? (*Anm. Anwendungsfelder: Synthetischer Treibstoff, Brennstoffzelle, Material/Energieträger in Industrie, Gebäude*)

2) Wie schätzen Sie das Potenzial einer Wasserstoffwirtschaft in ihrer (lokalen) Region ein?

3) Welche Herausforderungen sehen Sie für den ländlichen Raum im Zusammenhang mit dem Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft bei den Aspekten

    a. Infrastruktur

    b. Distribution bzw. Transport

    c. Politische Rahmenbedingungen

    d. Einwohner*innen

    e. Finanzierung

    f. Stand der Technik

    g. Weiteres?

4) Kennen Sie Akteure in ihrer Region (Main-Tauber, Hohenlohekreis), die im Bereich Wasserstoffwirtschaft aktiv sind und/oder Projekte, welche sich mit dem Thema Wasserstoff befassen?

5) Wie hoch sehen Sie das Interesse in der Region zum Umstieg auf Wasserstoff? Welche Akteure fallen Ihnen hierbei insbesondere ein?

6) Sehen Sie Möglichkeiten in der Region, grünen Wasserstoff selbst zu erzeugen?

7) Welche potenziellen Distributionswege und Verteilkonzepte von Wasserstoff erachten Sie für ihre Region als vorteilhaft?

8) Sehen Sie die bestehende Infrastruktur in ihrer Region als ausreichend gerüstet für eine regionale Wasserstoffwirtschaft oder sind Investition notwendig?

   In welchen Bereichen würden Sie insbesondere Bedarf an zusätzlichen Investitionen sehen?

9) Wie würde sich der Import von grünem Wasserstoff auf die Infrastruktur und den Verkehr in ihrer Region auswirken (in Verbindung zu Frage 8)?

10) Sehen Sie in ihrer Region ein ausgewogenes Entwicklungspotenzial für das Angebot und die Nachfrage an Wasserstoff oder sehen Sie ein höhere Entwicklungspotenzial auf der Angebots-/Nachfrageseite von Wasserstoff in ihrer Region?

11) Wie beurteilen Sie das Potenzial von Wasserstoffanwendungen in folgenden Logistikbereichen in ihrer Region

    a. Wasserverkehre

    b. Luftverkehre

    c. Schienenverkehre

    d. Straßenverkehre

    e. Intralogistik

    f. ÖPNV

    g. Kommunalanwendungen

    h. Weitere?