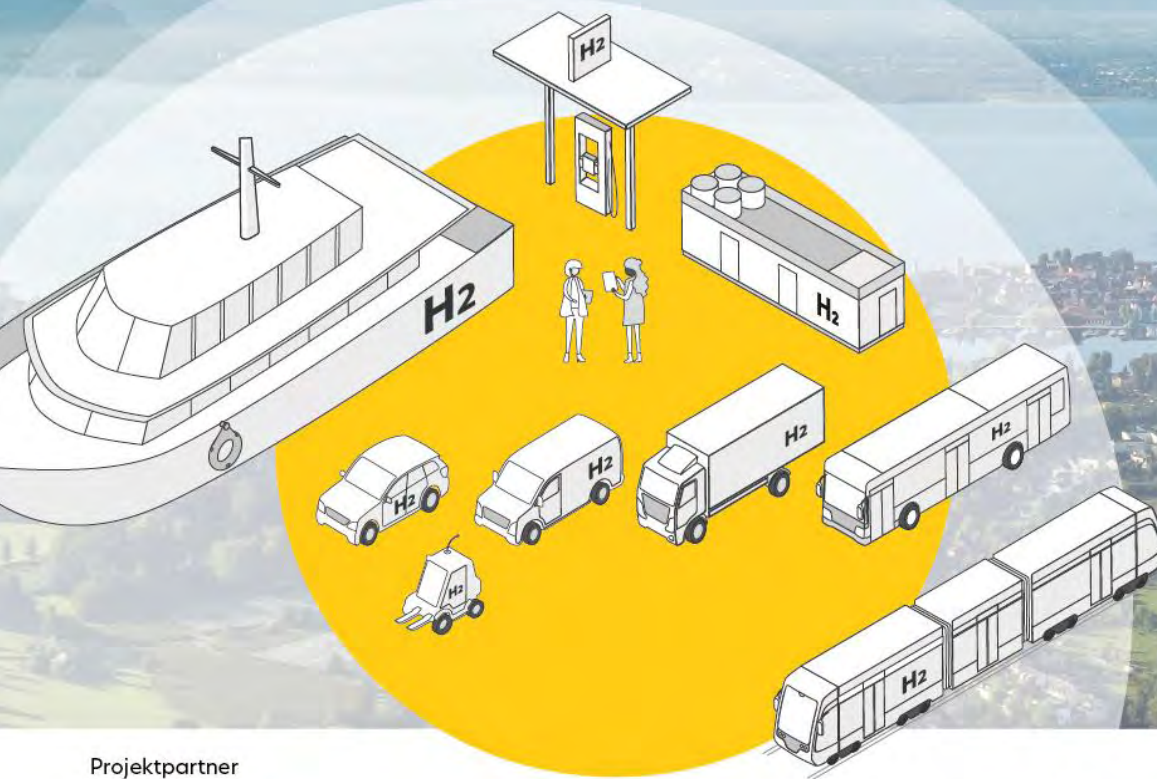


HyAllgäu*-Bodensee

Auf dem Weg zur Wasserstoffregion

März 2023



Projektpartner



Kaufbeuren



Assoziierte Partner



Auftraggeber:

Landkreis Lindau am Bodensee, in Zusammenarbeit mit den Landkreisen Unterallgäu und Ostallgäu, den kreisfreien Städten Memmingen und Kaufbeuren sowie der Großen Kreisstadt Lindau (Bodensee), der Gemeinde Fuchstal (Landkreis Landsberg am Lech) und der Stadt Konstanz. Der Landkreis Oberallgäu und die kreisfreie Stadt Kempten wirken im regionalen Netzwerk als assoziierte Partner mit.

Projektleitung / Koordination:

Landratsamt Lindau (Bodensee), Bregenzer Straße 33, 88131 Lindau (Bodensee)
Philipp Irber

Autorinnen und Autoren

Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Daimlerstr. 15, 85521 Ottobrunn, www.LBST.de
Martin Zerta, Franz Lust, Hubert Landinger

BBH Consulting AG, KAP am Südkai, Agrippinawerft 26–30, 50678 Köln, www.bbh-beratung.de
Nikolas Beneke, Dr. Hanno Butsch, Shaun Pick, Fabian Rottmann, David Siegler

BBH Consulting AG, Magazinstraße 15–16, 10179 Berlin, www.bbh-beratung.de
Heinrich Böing, Ella Middelhoff

motum GmbH, Königstr. 30, 22767 Hamburg, www.motum.net
Jule Claussen

Fördermittelgeber:

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Fördermaßnahme:

Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) Phase II, im Rahmen des HyLand-Programms der Kategorie HyExpert, www.hy.land

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abkürzung	Erläuterung		
AFIR	Europäische Verordnung zum Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe	kW/MW	Kilowatt/Megawatt (<i>Maßeinheit für Leistung</i>)
BHKW	Blockheizkraftwerke (<i>zur Strom- und Wärmeerzeugung</i>)	kWh/MWh	Kilowattstunde/Megawattstunde (<i>Maßeinheit für Energie</i>)
BZ	Brennstoffzelle (<i>Zelle zur Umwandlung eines Brennstoffes [hier Wasserstoff] und eines Oxidationsmittels [Sauerstoff, hier oftmals aus der Luft] in elektrischen Strom</i>)	KWK	Kraft-Wärme-Kopplung (<i>Prozess zur gleichzeitigen Gewinnung von mechanischer Energie und nutzbarer Wärme</i>)
CVD	Clean Vehicles Directive (<i>Europäische Richtlinie für saubere Straßenfahrzeuge</i>)	Lkw	Lastkraftwagen
CO₂	Chemische Formel für Kohlenstoffdioxid	MHKW	Müllheizkraftwerk
EE	Erneuerbare Energien	ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz	Pkw	Personenkraftwagen
EEG-Umlage	Instrument zur Finanzierung des Ausbaus erneuerbarer Energien, finanziert über einen Anteil der Strombezugskosten für Stromverbraucher	PV	Photovoltaik
H₂	Chemische Formel von molekularem Wasserstoff	RED	Renewable Energy Directive (<i>Erneuerbare-Energie-Richtlinie der europäischen Erneuerbare-Energien-Politik</i>)
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt	THG	Treibhausgas (<i>Gase, die zum Treibhauseffekt [Temperaturerhöhung der Erdoberfläche] beitragen</i>)

INHALT

Abkürzungsverzeichnis.....	3	5.1 Zusammenfassung	37
1 Einleitung	5	5.2 Modellierung eines regionalen H ₂ -Systems	37
1.1 Grußwort	5	5.2.1 Transport und Verteilung Basis-Szenario	39
1.2 Die Region Bodensee und Allgäu	6	5.2.2 Transport und Verteilung Progressiv-Szenario	41
2 Das H ₂ -Konzept auf einen Blick	7	5.2.3 Anzahl benötigter H ₂ -Trailer	43
2.1 Ziele und Schwerpunkte des Projektes	7	5.2.4 H ₂ -Gestehungskosten	43
2.2 Umsetzung und Zeitplan	9	5.2.5 Überblick Ergebnisse gesamtes regionales H ₂ -System	45
2.2.1 Identifizierte Projektansätze & H ₂ -Cluster mit Akteuren	9	5.3 H ₂ -Tankstellen	46
2.2.2 Rahmenbedingungen für die Umsetzung	12	5.3.1 Rahmenbedingungen und Anforderungen	46
2.2.3 Empfehlungen und Umsetzungsphasen	13	5.3.2 Identifizierte H ₂ -Standorte	48
3 Entwicklung der H ₂ -Bedarfe	15	5.3.3 Flächendeckender Ausbau H ₂ -Tankstellen	49
3.1 Zusammenfassung	15	6 Handlungsempfehlungen	50
3.2 H ₂ -Bedarf – Straßenverkehr	16	6.1 Kurzfristig (2023/2024)	51
3.3 H ₂ -Bedarf – Binnenschifffahrt	20	6.2 Mittelfristig (ab 2025)	54
3.4 Weitere H ₂ -Bedarfe	22	6.3 Langfristig (ab 2030)	55
4 Regionale Wasserstofferzeugung	23		
4.1 Zusammenfassung	23		
4.2 Untersuchungsfokus	23		
4.3 Techno-ökonomischer Hintergrund	25		
4.4 Regionale Erzeugungsprojekte	28		
4.5 Import von Wasserstoff	36		
5 Regionales H ₂ -System	37		

1 EINLEITUNG

1.1 GRUßWORT

Liebe Wasserstoff-Freunde aus dem Allgäu und der Bodenseeregion,

als die Akteure des Wasserstoff-Projekts *HyAllgäu*-Bodensee* zu Beginn des Jahres 2022 angetreten sind, ein Konzept zum Aufbau einer Wasserstoff-Modellregion zu erstellen, gab es bereits eine Vielzahl guter Gründe hierfür: die Notwendigkeit, CO₂-Emissionen zu reduzieren, der Mobilitätswende frischen Schwung zu verleihen, regionale Wertschöpfung zu erzielen und die Wasserstoff-Infrastruktur in der Region zu fördern. Die Folgen des Kriegs gegen die Ukraine verstärken zudem den Handlungsdruck bei Themen wie Energiesicherheit und -speicherung und geben weitere Motivation, das Thema Wasserstoff in der Region weiterzuentwickeln.

„Wie kann regionaler grüner Wasserstoff wirtschaftlich erzeugt werden?“ oder „Wer bietet sich als lokaler Abnehmer des nachhaltigen Energieträgers an?“ Mit derlei Fragen haben sich einige Unternehmen in der Region schon vor Beginn der Arbeiten zu *HyAllgäu*-Bodensee* beschäftigt. Ziel des Projektes war es deshalb, diese Ideen weiterzuentwickeln und vor allem mit passgenauen Ansätzen anderer Unternehmen zu koppeln – Stichwort „Synergieeffekte“.

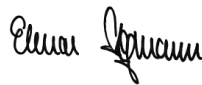
Mit dem fertigen Konzept ist nun die Grundlage geschaffen worden, in die konkrete Umsetzungsphase zu starten. Was einst Vision war, rückt somit in greifbare Nähe: der Einsatz von grünem Wasserstoff in der Logistik, die Errichtung von Wasserstofftankstellen in den beteiligten Landkreisen und kreisfreien Städten oder die Umstellung erster Busse auf Wasserstoffantrieb – der Landkreis Lindau (Bodensee) geht hier voran, indem er ab Dezember 2023 auf drei Regionalbuslinien im Westallgäu Brennstoffzellenbusse einsetzt. Unternehmen aus der Region zeigen großes Interesse daran, ihre Lkw auf Wasserstoffantrieb umzustellen und erste verfügbare Wasserstoff-Lkw werden bereits im Projektgebiet eingesetzt. Darüber hinaus stellt der Anschluss an den Bodensee eine Besonderheit des Untersuchungsgebiets dar: Die Bodenseeschifffahrt spielt für die Region eine zentrale Rolle und hat das Ziel ausgegeben, bis 2035 klimaneutral zu werden. Ein wichtiges Puzzleteil dabei: *grüner Wasserstoff*.

So vielfältig die Bestrebungen regionaler Akteure sind, so groß sind auch die Herausforderungen, insbesondere hinsichtlich der Erzeugung und Bereitstellung von grünem Wasserstoff. In *HyAllgäu*-Bodensee* werden diese nicht ausgeklammert, sondern aktiv angegangen. Es sollen sowohl verfügbare Potenziale erneuerbarer Energie erschlossen und genutzt als auch ein überregionaler Austausch zu Energieversorgern hergestellt werden, um die weitere Energieversorgung sicherzustellen und für Unternehmen planbar zu machen.

Um all dies zukünftig wirtschaftlich zusammenzuführen – Erzeugung und Abnahme von grünem Wasserstoff – wurde in den letzten 12 Monaten das Konzept *HyAllgäu*-Bodensee* in enger Einbindung der Akteure und Kommunen erstellt und abgestimmt. Es schafft einen konkreten Fahrplan, der einerseits kurzfristigen Projekten zur Umsetzung verhilft und andererseits langfristige Entwicklungen anstoßen möchte, die den Weg zu einer emissionsfreien Region ebnen.

Dabei gilt auch weiterhin – nach Abschluss des Projektes – die Devise und die Einladung für interessierte Akteure, sich aktiv in den Prozess einzubringen. Es gilt nun, die Umsetzung des Konzepts beherzt anzugehen. Und das geht nur, indem alle Beteiligten zusammenarbeiten und gemeinsam Lösungen finden.

Dazu laden wir Sie alle herzlich ein und möchten Sie ermutigen, die weiteren Schritte in eine moderne, nachhaltige Zukunft für unsere Region mitzugestalten.



Landrat Hr. Stegmann
Landkreis Lindau (Bodensee)



Landrätin Fr. Zinnecker
Landkreis Ostallgäu



Landrat R Hr. Eder
Landkreis Unterallgäu



Oberbürgermeister Hr. Alfons
Stadt Lindau



Oberbürgermeister Hr. Bosse
Stadt Kaufbeuren



Oberbürgermeister Hr. Rothenbacher
Stadt Memmingen



Bürgermeister Hr. Karg
Gemeinde Fuchstal



Oberbürgermeister Hr. Burchardt
Stadt Konstanz

1.2 DIE REGION BODENSEE UND ALLGÄU

Die Region Bodensee und das Allgäu bilden eine großflächige Verbundregion mit einer Fläche von rund 4.800 km² und ca. 800.000 Einwohnenden. In dieser Verbundregion arbeiten die Landkreise Ostallgäu und Unterallgäu, die Städte Kaufbeuren, Kempten, Konstanz, Lindau und Memmingen sowie die Gemeinde Fuchstal zusammen mit den assoziierten Partnern Landkreis Oberallgäu und der Stadt Kempten gemeinsam unter der Federführung des Landkreises Lindau (Bodensee) in dem Projekt HyAllgäu*-Bodensee. Die Gebietskörperschaften befinden sich im Südwesten Bayerns sowie mit Konstanz in Baden-Württemberg.

Durch ihre große Ausdehnung ist die Region geprägt von vielfältigen Landschaftsformen. Dazu gehören das milde Klima des Bodensees mit Obst- und Weinbau, das hügelige Westallgäu mit Viehwirtschaft und die Allgäuer Alpen. Die Region ist vorwiegend ländlich beschaffen und von Maschinenbau und Automobilzulieferern geprägt. Der Wirtschaftsstandort Allgäu gehört zu den 5 begehrtesten Standorten in Deutschland für die Gründung von Technologieunternehmen und ist Heimat für viele mittelständische Unternehmen, Start-ups und "Hidden Champions".

Die Region befindet sich am Dreiländereck zwischen Deutschland, Österreich und der Schweiz, weshalb sie sich durch vielfältige transnationale Beziehungen und Verkehrswege auszeichnet. Der Durchgangsverkehr wird begünstigt durch Anbindungen wie die Rheintalautobahn, die in Österreich direkt im Anschluss an die A96 sowie die A7 beginnt. Die Region ist zusätzlich über den Flughafen in Memmingen international verbunden und auch die nahen Flughäfen in Friedrichshafen und St. Gallen-Altenrhein können genutzt werden. Die Verbundregion ist zudem über den Fährenbetrieb in Lindau mit den anderen an den Bodensee angrenzenden Ländern verbunden. Auf dieser Grundlage können hier zukünftig vielfältige Gemeinschaftsprojekte zum Thema Wasserstoff entstehen.



Es wurden mit den Akteuren aus dem Netzwerk mögliche H₂-Projektansätze untersucht....



Lokale Akteure:

- Akteursnetzwerk zu Projektbeginn
- Ansprache >100 Akteure
- Bei Interesse / Rückmeldung,
 - Einzelinterviews (Webkon, Tel.)
 - Austausch Fachveranstaltungen
 - Prüfung spezifischer Projektansätze, Potenziale zu:
 - H₂-Erzeugung
 - H₂-Nutzung
 - H₂-Infrastruktur
 - Abwärmenutzung



Abbildung 1: Die Verbundregion HyAllgäu*-Bodensee im Überblick und Einbindung der Akteure aus der Region

2 DAS H₂-KONZEPT AUF EINEN BLICK

2.1 ZIELE UND SCHWERPUNKTE DES PROJEKTES

Unter dem Titel HyAllgäu*-Bodensee verknüpfen die Bodenseeregion und das Allgäu klimafreundliche Wasserstoffanwendungen vom Busverkehr bis zur Bodenseeschifffahrt, um einen neuen grünen Absatzmarkt aufzubauen. Das Projekt verzahnt daher die zahlreichen Aktivitäten in der Region (u. a. aus der Vorgängerrunde HyStarter I und HyExperts I), stößt neue Ideen an und entwickelt daraus ein Umsetzungskonzept. Der Schwerpunkt dieses Umsetzungskonzepts liegt auf der Wasserstoffmobilität im ÖPNV, der Logistik, der Bodenseeschifffahrt und der zugehörigen H₂-Infrastruktur (z. B. den H₂-Tankstellen). Die Erzeugung bzw. Bereitstellung von grünem Wasserstoff stellt dabei die Grundlage für die erfolgreiche Umsetzung und Etablierung dar.

Unter der Federführung des Landkreises Lindau (Bodensee) möchten die Gemeinde Fuchstal, die Stadt Kaufbeuren, die Stadt Konstanz, die Stadt Lindau, die Stadt Memmingen, der Landkreis Ostallgäu und der Landkreis Unterallgäu zusammen mit den assoziierten Partnern (Stadt Kempten und Landkreis Oberallgäu) die Grundlage für die Entstehung der größten zusammenhängenden Wasserstoffregion im Süden Deutschlands schaffen. Dabei werden sie von zahlreichen Partnern aus der kommunalen und privaten Wirtschaft und der Forschung unterstützt. Gemeinsam wurde in dem 12-monatigen HyExpert-Projekt ein regional integriertes Wasserstoffkonzept entwickelt, das in weiteren Schritten umgesetzt werden soll.

Mit einem übergreifenden regionalen Gesamtkonzept soll ein zusammenhängender Wasserstoffmarkt entwickelt und etabliert und ein öffentliches Wasserstoff-Tankstellennetz initiiert werden. Diese umfassende Konzeptentwicklung wird im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP 2) mit insgesamt 400.000 Euro durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördert.

HyAllgäu*-Bodensee schafft ein integriertes Konzept für die H₂-Erzeugung, Verteilung und Absatz



Schwerpunkte des Konzepts

- ▶ **Wasserstoffanwendungen im Mobilitätssektor**
 - Busse (ÖPNV, Reiseverkehr),
 - Lkw (z.B. Speditionen, Werks- & Industrielogistik, Abfallentsorgung),
 - Bodenseeschifffahrt & Bahn
 - Flugzeugschlepper, Sonderfahrzeuge
- ▶ Untersuchung von **Quartierslösungen**
- ▶ Aufbau öffentlicher **Wasserstoff-Tankstellen**
- ▶ Aufbau einer **grünen regionalen H₂-Versorgung**



Ziel ist die Schaffung und der Aufbau eines diversifizierten regionalen Wasserstoff-Marktes im polyzentrischen ländlichen Raum.

Abbildung 2: Schwerpunkte des H₂-Konzepts

Ziele sind insbesondere die Bereitstellung und Produktion von grünem Wasserstoff in der Region, der Aufbau wirtschaftlicher Verwertungsketten und die Weiterentwicklung von tragfähigen Geschäftsmodellen mit einer hohen regionalen Wertschöpfungstiefe.

Eine besondere Rolle in der Region stellt hier insbesondere die Bodenseeschifffahrt und die Umstellung der Schifffahrt auf emissionsarmen Wasserstoffantrieb dar. Auch in der Wärmeversorgung soll Wasserstoff als Erdgasersatz in Quartierslösungen zum Einsatz kommen.

Wesentliches Element des H₂-Konzepts war und ist die Identifizierung und Ausarbeitung von konkreten und umsetzungsreifen Projektansätzen mit den regionalen Akteuren. Dazu wurden sowohl bilateral wie auch in Gruppen regionale Ansätze für die Nutzung und Bereitstellung von H₂ herausgearbeitet.



Abbildung 3: Offizielle Auszeichnung und Übergabe des Fördermittelbescheids von Verkehrsminister Hr. Wissing an Hr. Irber, LRA Lindau, Berlin, 12. Mai 2022

2. Fachveranstaltung am 26.10.2022

- Erfolgreiche Veranstaltung mit ca. 80 Teilnehmern
- Austausch und Diskussionen zwischen den TN
- Vielen Dank an BSB und LK Lindau / Stadt Kaufbeuren



Abschlussveranstaltung am 23.03.2023 in Kaufbeuren

1. Fachveranstaltung am 27.7.22, LRA Lindau

- Austausch mit eingeladenen Akteuren (ca. 30 Teilnehmer)
- Diskussion von regionalen Ansätzen, Ideen und möglichen H2-Schwerpunkten
- Ziel: Kennenlernen und Netzwerken sowie Identifizierung von regionalen H2-Ansätzen mit Unternehmen



Abbildung 4: Akteureinbindung im Rahmen des HyAllgäu*-Bodensee-Projektes

Weitere Informationen zum Projekt finden Sie unter:

<https://www.hy.land/hyexpert-ii-region-hyallgaeu/>

2.2 UMSETZUNG UND ZEITPLAN

Für die erfolgreiche Umsetzung des H₂-Konzepts bzw. die Schaffung einer zusammenhängenden H₂-Region sind verschiedene Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren zu beachten und entscheidend für die weitere erfolgreiche Umsetzung.

Wesentliches Element sind dabei konkrete Projektansätze und sogenannte H₂-Cluster, die gemeinsam mit Akteuren in der Region identifiziert und ausgearbeitet wurden. Die Unterstützung der Projektansätze durch spezifische Akteure stellt eine der zentralen Stärken und Voraussetzungen für die weiteren Entwicklungen in der Region dar.

2.2.1 Identifizierte Projektansätze & H₂-Cluster mit Akteuren

Im Rahmen dieser Arbeit wurden über 120 Akteure in der Region betreut. Bei Interesse der Akteure wurden Einzelinterviews, Workshops sowie Fachveranstaltungen geplant und durchgeführt. Dabei konnten spezifische Projektansätze und Potenziale zur

- H₂-Erzeugung,
- H₂-Nutzung,
- H₂-Infrastruktur und
- Abwärmenutzung

diskutiert, geprüft und herausgearbeitet werden.

Neben der Betrachtung von Einzelprojekten je Akteur (z.B. Lkw- oder Busbetreiber) wurden auch sogenannte H₂-Cluster entwickelt, d. h. eine Bündelung von regionalen „Einzelprojekten“. Beispielsweise ergeben sich Synergien bei einer regionalen und zeitlich abgestimmten Projektentwicklung und Nutzung von H₂ für eine gemeinsame H₂-Tankstelle bzw. H₂-Infrastruktur. Solch eine Bündelung von H₂-Abnahme und H₂-Bereitstellungsplanungen einzelner Projekte wird mit sogenannten regionalen H₂-Clustern im Folgenden beschrieben.

Dabei wurden der jährliche H₂-Bedarf und die Entwicklung der Fahrzeugflotten mit den jeweiligen Akteuren für den Zeitraum 2023 bis 2030 entwickelt. Diese Abschätzung dient als wichtige Grundlage für die weitere Planung bzw. Umsetzung. Die Bündelung der einzelnen Projektansätze in H₂-Clustern ermöglicht die weitere zeitliche und wirtschaftliche Planung für den Aufbau einer H₂-Infrastruktur. In der folgenden Abbildung werden die zentralen Cluster zusammengefasst.

Erste „H₂-Cluster“ mit identifizierten Projektansätzen könnten ab 2024 bis 2030 in der Region entstehen...



Identifizierte H₂-Projekte mit Akteuren in der Region...

- Konkrete Projektansätze**
 - Landkreis Lindau (Bodensee)
 - Stadt Lindau
 - Stadt Kaufbeuren
- Weitere Projektansätze**
 - Landkreis Ostallgäu
 - Landkreis Unterallgäu
 - Stadt Memmingen
 - Stadt Kempten
 - Landkreis Oberallgäu
 - Gemeinde Fuchstal
 - Stadt Konstanz

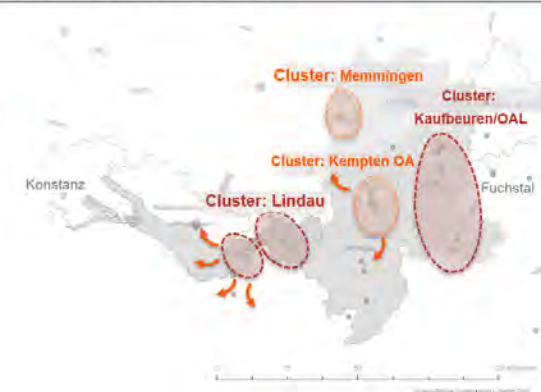


Abbildung 5: Die zentralen H₂-Cluster mit identifizierten Projektansätzen im Überblick

Cluster Lindau: Mit einer Umstellung der ersten Regionalbuslinien des Landkreises Lindau (Bodensee) werden im Cluster Landkreis Lindau (Lindenberg) bereits die ersten H₂-Busse der Firma Burkhard Reisen mit Betriebsstart der neuen ÖPNV-Leistungen im Dezember 2023 zum Einsatz kommen. Zudem plant die Max Müller Spedition konkret den Einsatz erster H₂-Lkw in diesem Cluster. Weiteres Interesse gibt es von der Firma Dobler.

In der Stadt Lindau wird die Errichtung einer Tankstelle mit der Firma PRÄG an der Autobahnausfahrt A96 / B12 geprüft. Interesse an der Abnahme gibt es hierzu u. a. von der Spedition Gebrüder Weiss, die bereits erste H₂-Lkw entlang der

HyAllgäu*-Bodensee – Abschlussbericht März 2023

Strecke eingesetzt und an einer H₂-Betankungsmöglichkeit an diesem Standort großes Interesse hat. Weitere Unternehmen sollten hier perspektivisch eingebunden werden.

Für die Umstellung der Bodenseeschiffe wurden mit der BSB – Bodensee-Schiffsbetriebe drei mögliche Schiffe zur Umrüstung identifiziert. Da die Bodenseeschifffahrt einen saisonalen Kraftstoffbedarf aufweist (Sommerbetrieb), ergeben sich Synergien für die Stadtwerke Lindau für eine mögliche Nutzung des H₂ in den Wintermonaten bei der Wärmeerzeugung.

Zudem führt eine nicht-elektrifizierte Bahnstrecke von der Stadt Lindau über den Landkreis Lindau bis nach Augsburg / Füssen und bietet grundsätzlich mögliche Synergien, die jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht tiefergehend geprüft werden konnten (siehe auch Kapitel 3.4).

Lindau (LK) bietet für H₂-Busse & -Lkw konkreten Projektansatz...
In Lindau (Stadt) sind Schiffe, Busse, Lkw und eine H₂-Tankstelle im Fokus...



Regionale H₂-Cluster: Lindau

LK Lindau

- › ÖPNV-Ausschreibung mit H₂-Bussen
- › H₂-Erzeugung in Lindenberg
- › Synergie Busse und Lkw identifiziert
- › Bedarf für H₂-Tankstelle

Stadt Lindau

- › Prüfung H₂-Tankstelle (Autobahnnähe)
- › Synergie mit Lkw-Spedition
- › Umrüstung Schiffe
- › Prüfung Betankung in Lindau?
- › Prüfung H₂-Erzeugung mit Abwärmenutzung?
- › Perspektive: Bahn?



Abbildung 6: H₂-Cluster Lindau – Überblick konkreter und möglicher weiterer Ansätze

Cluster Kaufbeuren / Ostallgäu (OAL): In diesem Cluster wurden unterschiedliche Schwerpunkte und Projektansätze identifiziert.

Mit dem Standort an der gemäß Bundesverkehrswegeplan 2030 neu zu errichtenden Anschlussstelle B12/B16 ergibt sich ein konkreter Projektansatz mit der Spedition Ansorge für den Einsatz von H₂-Lkw und der Errichtung einer H₂-Tankstelle. Der Standort hat eine attraktive Lage für eine H₂-Tankstelle, um zukünftig auch Durchgangsverkehre mit H₂ zu bedienen. Die benachbarte Stadt Marktoberdorf zeigt großes Interesse daran, im Falle einer lokalen H₂-Erzeugung mittels eines Elektrolyseurs die Abwärme aus der H₂-Erzeugungsanlage im Wärmenetz zu nutzen. Ein möglicher Standort wäre hier die Kläranlage im Norden Marktoberdorfs.

stallg tadt a e ren er net die ne e
ns l ssstelle B B einen konkreten rojektansatz



B B ns l ssstelle

- › ankstelle B B
- › nteresse on kwp editionen werlastanwend ngen
- › g. w r e tz ng in arko erdor

a e ren

- › nteresse kwBetrei er werlast
- › e rspekti e ankstelle
- › eitere ss rei ng llg er nd
- › g. w r e tz ng in a e ren

eitere konkrete rojektans tze

- › erta tal ind assersto erze g ng
- › l ansee tz ng ro zess
- › w r e tz ng Elektrol se arko erdor a e ren

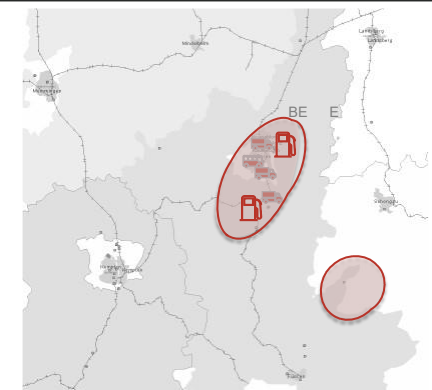


Abbildung 7: H₂-Cluster Kaufbeuren / OAL – identifizierte Projektansätze

In der Stadt Kaufbeuren haben u. a. die Firmen Dobler, iwis und Dorr Interesse gezeigt. Die spezifische Umsetzbarkeit dieser Ansätze ist u. a. von der Verfügbarkeit der Fahrzeuge (u. a. Kies-Schwertransport) und im Falle der H₂-Erzeugung aus Biomasse von der Anlagentechnik und Verfügbarkeit der Biomasse abhängig. Grundsätzlich besteht in Kaufbeuren auch weiteres Interesse und Bedarf an H₂-Tankstellen und der Nutzung der Abwärme aus einer H₂-Erzeugung vor Ort.

alle einer Ein ü r n g eines „ llg - er n des“ (ÖPNV inkl. Bahnverkehr) könnten frühestens ab 2026 H₂-Busse für den ÖPNV ausgeschrieben werden und anschließend weiteren H₂-Bedarf generieren.

Im Wertachtal können Photovoltaik- und Windenergiepotenziale für die grüne H₂-Erzeugung bereitgestellt werden. Hierzu wird geplant, eine eigene H₂-Produktion aufzubauen, siehe weitere Informationen in Kapitel 4 und 5.

Cluster Kempten / Oberallgäu (OA) und Memmingen: In Kempten / OA wurden kurzfristig keine konkreten bzw. umsetzungsnahen Projekte mit den Akteuren identifiziert. Dennoch können sich perspektivisch, v. a. für Lkw und Stadtbusse, weitere H₂-Bedarfe ergeben. Aktuell erfolgt in Kempten eine erste Umstellung eines Teils der ÖPNV-Busflotte auf Batterieantrieb mit entsprechender Infrastruktur. Für die weitere Entwicklung sollten zukünftig Perspektiven und Synergien bei einer möglichen Umstellung auf H₂ für Kempten geprüft werden. Eine Änderung der aktuell angenommenen Rahmenbedingungen (siehe Kapitel 2.2.2) und auch die Entwicklung erster H₂-Cluster in der Region, z. B. Lindau / OAL, sollten auch zukünftig eine Neubewertung von H₂-Projektansätzen berücksichtigen.

Im Rahmen von HyExpert I wurden in Kempten bereits mögliche H₂-Erzeugungspotenziale aus der Stromproduktion aus Klärschlamm und der Müllverbrennung untersucht und diskutiert. Aufgrund der aktuellen regulatorischen Unsicherheiten und Diskussionen erscheint eine kurzfristige grüne H₂-Erzeugung aus Abfall nicht attraktiv. Obwohl in Kempten die H₂-Erzeugung aus Klärschlamm weiterverfolgt wird, ergaben sich im Rahmen dieser Untersuchung keine kurzfristig konkreten Anknüpfungspunkte zum H₂-Konzept. Eine H₂-Erzeugung in Kempten wird deshalb perspektivisch (mittel- bis langfristig) im Konzept berücksichtigt.

In Memmingen entsteht aktuell die erste H₂-Tankstelle in der Region (Eröffnung geplant für 2023). Diese wird auch die Betankung (35 MPa) von Nutzfahrzeugen ermöglichen.

Für OA/Kempten sowie UA/Memmingen könnten sich weitere Synergien mittel- bis langfristig ergeben...



Ableitung möglicher Anwendungsschwerpunkte, regionaler „H₂-Clustern“

Perspektive – Kempten

- ▶ Lkw
- ▶ Weitere

HyExpert I: Fokus Kempten

- ▶ ZAK, AVKE H₂-Erzeugung
- ▶ Stadt: H₂-Busse
- Aktuell keine spezifischen HyAllgäu*-Bodensee-Projektansätze
- Stadt stellt auf Batteriebusse um („EE-autarker ÖPNV“)



Abbildung 8: H₂-Cluster Kempten / OA und Memmingen – identifizierte Projektansätze und Synergien für die Nutzung von H₂

Weitere Details und Informationen zur H₂-Infrastruktur und regionalen H₂-Entwicklungen befinden sich in Kapitel 5 „Regionales H₂-System“.

2.2.2 Rahmenbedingungen für die Umsetzung

Für die erfolgreiche Umsetzung von H₂-Projekten und den Aufbau einer H₂-Region sind verschiedene Rahmenbedingungen von großer Relevanz.

Wie in der folgenden Abbildung dargestellt sind hierzu verschiedenste Annahmen und Entwicklungsperspektiven für die weitere Planung und Umsetzung zu berücksichtigen.

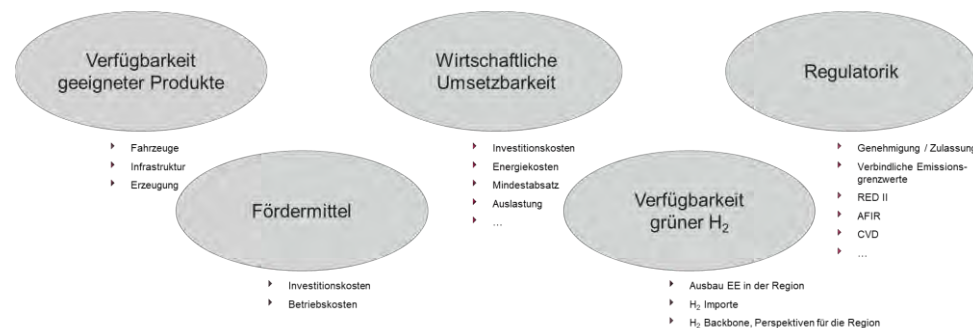


Abbildung 9: Übersicht wesentlicher Parameter für die erfolgreiche Umsetzungsphase

Neben der Verfügbarkeit geeigneter Produkte (zeitliche und technische) sind Investitionskosten ein entscheidender Faktor bzw. verfügbare und passende Fördermittel für die Investitionsmehrkosten von H₂-Technologie.

Für die wirtschaftliche Umsetzbarkeit der spezifischen Projekte sind hier weitere Rahmenbedingungen zu prüfen bzw. geeignete Bedingungen zu schaffen. Dies kann durch die technische Planung wie auch die Erschließung von Synergien ermöglicht werden, z. B. durch die Optimierung der Auslastung (z. B. Betriebsprofile, Volllaststunden, Speicherbedarfe), des Absatzes (z. B. der Mengen, zeitliche Entwicklung der Nachfrage, der Skalierbarkeit), der Energiekosten (u. a. Strombezug bzw. H₂-Bereitstellungskosten). Die Regulatorik gibt hier auch einen wesentlichen Rahmen für die Notwendigkeit, Investitionen und Maßnahmen zu Klimaschutz und Dekarbonisierung in den einzelnen Sektoren zu tätigen, wie z. B. RED II, AFIR und CVD. Aber auch Genehmigungsaspekte von

H₂-Fahrzeugen und stationären Anlagen (z. B. Elektrolyseure, H₂-Speicher und H₂-Tankstellen) für die praktische und vor allem zeitliche Umsetzbarkeit sind relevante Aspekte.

Für die kurz- bis langfristige Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff haben der weitere Ausbau von erneuerbaren Energien in der Region wie auch die zukünftigen Optionen für H₂-Lieferungen aus benachbarten Kommunen und Regionen einen direkten Einfluss auf die weiteren Projektentwicklungen in der Region.

Mittel- bis langfristig ergeben sich zudem Perspektiven und Synergien durch die weitere Entwicklung der H₂-Infrastruktur in Deutschland und Europa.

2.2.3 Empfehlungen und Umsetzungsphasen

Mit dem von BMDV geförderten „HyAllgäu*-Bodensee“-Projekt konnte in den zwölf Monaten der Projektlaufzeit ein entscheidender Rahmen für die Entwicklung eines H₂-Konzepts für die Regionen geschaffen werden. Auf Basis eines intensiven Austausches zwischen den Kommunen, Regionen und Unternehmen wurde das Thema Wasserstoff (H₂) vertieft betrachtet, intensiv diskutiert sowie Projektansätze herausgearbeitet.

Nach Abschluss dieses Förderprojektes (Laufzeit: April `22 bis März `23) können nun die weitere Konkretisierung sowie erste Umsetzungen für die Erzeugung, Infrastruktur und Nutzung von Wasserstoff in den Regionen vorangebracht werden. Dazu liefert der Abschlussbericht die Grundlage mit einer Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse aus den Diskussionen, zeigt konkrete Ideen und Projektansätze für die Umsetzung auf und formuliert Empfehlungen für das weitere Vorgehen.

Die erfolgreiche Verstetigung und Weiterführung der bisherigen H₂-bezogenen Aktivitäten und Arbeiten in der Region ist hier von zentraler Bedeutung. Sogenannte „Übrer“ zw. die „koordinierung“ der weiteren Aktivitäten ist hier hilfreich und von hoher Relevanz. Die Vernetzung der Akteure innerhalb der Projekte, in den Regionen und über die Region hinaus ist dabei eine entscheidende Rahmenbedingung.

Neben der Weiterentwicklung einzelner Projektansätze ist zunächst die weitere Vernetzung einzelner Projekte zu sogenannten H₂-Clustern ein wichtiger Schritt. Dies ermöglicht die Verknüpfung von H₂-Erzeugung, Infrastruktur und Verbrauch (u. a. Lkw, Busse, Pkw, Schiffe, Züge, Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Prozessenergie), um Synergien zu erschließen. Die Abstimmung der tatsächlichen H₂-Bedarfe und Bereitstellung ist zentrale Voraussetzung für die Schaffung von sogenannten Business Cases für die Akteure und sollte gezielt weitergeführt werden. Für weitere und konkrete Investitionsentscheidungen der Akteure, z. B. in Fahrzeuge, Tankstellen oder H₂-Erzeugungsanlagen, ist Investitionssicherheit zu schaffen. Die weitere Planung der zeitlichen Umsetzbarkeit und technischen

Realisierbarkeit ist hier von hoher Bedeutung. Aufbauend auf diesen Vorarbeiten sollen nun konkrete Planungen je Projekt bzw. Cluster weiterverfolgt und detailliert werden (siehe auch in Kapitel 6 unten). Dazu sollte die weitere Einbindung und Kooperation mit H₂-Tankstellenbetreibern und Fachplanern für konkrete Projektansätze kurzfristig bis mittelfristig erfolgen. Im Rahmen des HyAllgäu*-Bodensee-Projektes wurde hier neben den Netzwerkpartnern der Firmen Präg, Sauerstoffwerke Friedrichshafen und AllHydro auch konkretes Interesse weiterer Unternehmen wie JET H₂ Energy, H₂ Energy, Tyczka Hydrogen, H₂ Mobility und LiftH₂ bekundet. Aufbauend auf den Ergebnissen werden hier vertiefende Gespräche mit Unternehmen der Infrastruktur den Netzwerkpartnern empfohlen. Für die Region ist dabei auch die langfristige Infrastrukturplanung (2030+) frühzeitig mitzudenken, um den flächendeckenden Aufbau der H₂-Infrastruktur strategisch abgestimmt voranzubringen.

Neben der Planungsphase, Liefer- und Bauzeiten ist auch die Genehmigung von stationären Anlagen, insbesondere für den Betrieb von H₂-Erzeugungsanlagen und Tankstellen, ein wesentliches Element für die zeitnahe Umsetzbarkeit. Hier sollten insbesondere für die Genehmigung verantwortliche Stellen (insbesondere Landratsämter) frühzeitig in die Projektplanung und -entwicklungen eingebunden werden.

Für eine bessere Fahrzeugbeschaffung sollten auch Anfragen an Hersteller und Bestellungen möglichst gebündelt und aufeinander abgestimmt werden. Neben dem direkten Kauf oder Leasing von Fahrzeugen bei Herstellern könnten auch Pay-by-use-Modelle für einige Akteure infrage kommen. Hier sind zunehmend Anbieter mit Komplettangeboten (Fahrzeuge inkl. Wasserstoff und Service, abgerechnet in Euro pro km) zu finden. Wichtig für die Umstellung von Nutzfahrzeugen ist neben der Verfügbarkeit von H₂-Tankstellen v. a. die Erstellung der Leistungen sogenannter „Terminale“ also auch der Verfügbarkeit von Servicezentren und Werkstätten für die Lkw- bzw. Busbetreiber.

Für die Investitionen in H₂-Fahrzeuge, Tankstellen und Erzeugungsanlagen stehen Fördermittel des Bundes und des Landes Bayern zur Verfügung. Hier sollte den

Akteuren gezielt auch Unterstützung beim Fördermittelabruf gegeben werden, insbesondere kleineren, mittelständischen Unternehmen bei der Investition in erste H₂-Anlagen.

Es wird empfohlen, dass innerhalb der Kommunen die Verantwortlichkeiten zum Thema Wasserstoff sowie für die Unterstützung der Unternehmen klar festgelegt und benannt werden (z. B. bei der Wirtschaftsförderung). Dazu sind auch entsprechende finanzielle Mittel und ausreichend Kapazitäten vom zuständigen Landkreis bzw. der Stadt vorzusehen und in der Haushaltsplanung miteinzuplanen.

Die Kooperation mit den regionalen IHKs, u. a. IHK Schwaben und IHK Bodensee Oberschwaben, bzw. auch weiteren Verbänden in der Region kann hierbei weitere Synergien und Vorteile für die Netzwerkpflege und Betreuung der Unternehmen bieten.

Neben spezifischen Entwicklungen und der Umsetzung von einzelnen Projekten und Clustern, der regionalen Netzwerkpflege über die Kommunen und IHKs bieten auch spezifische Förderprogramme des Bundes die Möglichkeit, die H₂-Region weiterzuentwickeln. In der Förderprogramm „HyLand“ des Bundes kann gg. bei einer Weiterführung des HyLand-Programmes im nächsten Jahr ein Nachfolgeprojekt aufgesetzt werden. Jedoch ist dieses vom Umfang begrenzt und limitiert. In einem größeren Kontext sollten auch die gesamte Bodenseeregion sowie die angrenzenden Länder Österreich und Schweiz bis hin zu Südtirol mitgedacht werden. Hier könnte eine europäische Förderung, z. B. im Rahmen eines HydrogenValleys, mit internationaler Beteiligung umgesetzt werden.

Nicht zuletzt ist die Wissensvermittlung zwischen den Akteuren innerhalb der Projekte und Regionen wichtig und sollte stetig über Netzwerken, Veranstaltungen und Pressearbeit dazu dienen, auch in der Öffentlichkeit das Interesse an H₂ und die Wahrnehmung der regionalen Aktivitäten zu schaffen.

Die folgende Darstellung zeigt zentrale Empfehlungen für die kurz-, mittel- und langfristig zu initiiierenden Maßnahmen. Weitere Informationen dazu sind in Kapitel 6 Handlungsempfehlungen zusammengefasst.



Abbildung 10: Zentrale Handlungsempfehlungen im Überblick

3 ENTWICKLUNG DER H₂-BEDARFE

3.1 ZUSAMMENFASSUNG

Die Abschätzung der H₂-Bedarfe und deren zeitlicher Entwicklung erfolgte in enger Abstimmung mit den Akteuren. Hierzu wurden beispielsweise die Entwicklungen der H₂-Fuhrparks einzelner Unternehmen sowie deren Fahrleistung bzw. Kraftstoffverbrauch abgeschätzt. Die Betrachtung erfolgte für den Zeitraum 2023 bis 2030. Berücksichtigt wurden dabei auch erwartete Lieferzeiten bzw. notwendige Projektvorlaufzeiten (z. B. Planung / Genehmigung). Dazu wurden spezifische Gespräche geführt und Aussagen von Experten und Technologie- / Produktanbietern berücksichtigt.

Für die zeitliche Entwicklung des H₂-Bedarfs wurden zwei Szenarien zugrunde gelegt, ein Basis-Szenario und ein Progressiv-Szenario jeweils für die Jahre 2023, 2025 und 2030:

Szenarien:

- Basis: umsetzungsnah, hohe Umsetzungsbereitschaft, mit Akteuren prognostiziert
- Progressiv: weitere, optimistische Planung, weitere mögliche Bedarfe

Wie in Abbildung 11 zusammengefasst, wird im Basis-Szenario im Jahr 2030 ein H₂-Bedarf in von ca. 900 Tonnen H₂ pro Jahr durch Projektansätze mit hoher Umsetzungswahrscheinlichkeit ermittelt. Im Progressiv-Szenario kann der H₂-Bedarf auf ca. 3.000 Tonnen H₂ pro Jahr ansteigen.

Insgesamt können H₂-Lkw und -Busse wesentliche H₂-Bedarfe für die Region darstellen. Die Umstellung von drei Schiffen auf H₂ könnte insbesondere für die Stadt Lindau im Falle einer Vor-Ort-Betankung einen regional relevanten H₂-Bedarf von bis zu einer Tonne pro Tag darstellen.

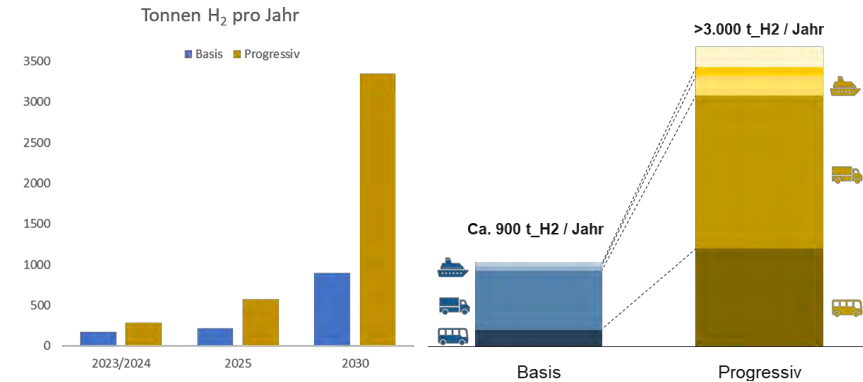


Abbildung 11: Zusammenfassung H₂-Bedarf 2030 im Basis- und Progressiv-Szenario

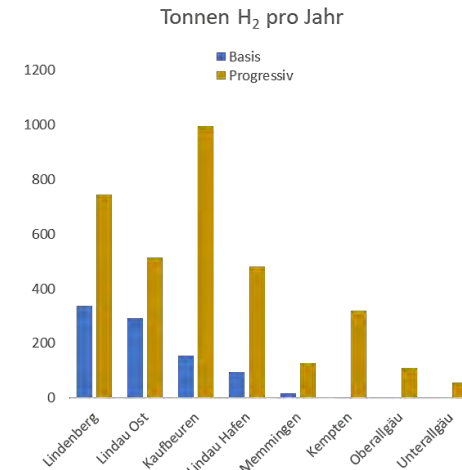
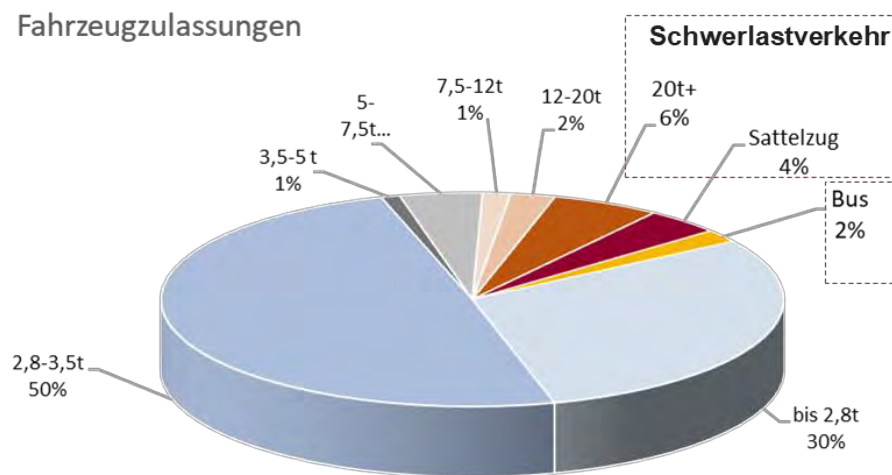


Abbildung 12: H₂-Bedarf im Basis- und Progressiv-Szenario 2030 nach Gebietskörperschaft

3.2 H₂-BEDARF – STRAßENVERKEHR

In der betrachteten Region HyAllgäu*-Bodensee waren Anfang Januar 2022 knapp 3 Millionen Fahrzeuge zugelassen. Ungefähr die Hälfte dieser Fahrzeuge entfiel dabei auf Nutzfahrzeuge (mit Lkw, Bussen). Die folgende Abbildung zeigt die Aufteilung der Nutzfahrzeuge nach Gewichtsklassen (zulässiges Gesamtgewicht), von leichten bis schweren Nutzfahrzeugen.



Datenbasis: KBA, Bestand Kraftfahrzeuge, Stichtag: 01. JAN 2022

Abbildung 13: Zulassungen Nutzfahrzeuge in der Region

Obwohl der Großteil der gemeldeten Fahrzeuge auf leichte Nutzfahrzeuge mit einem Gewicht bis 7,5 t entfällt, haben schwere Nutzfahrzeuge einen höheren Anteil an den CO₂-Emissionen und am Kraftstoffverbrauch. Sie machen einen hohen Anteil aus aufgrund der hohen Fahrleistungen (km pro Jahr) wie auch aufgrund des höheren spezifischen Kraftstoffverbrauchs (kWh pro km).

CO₂-Minderungspotenzial und Anzahl der Fahrzeugzulassungen

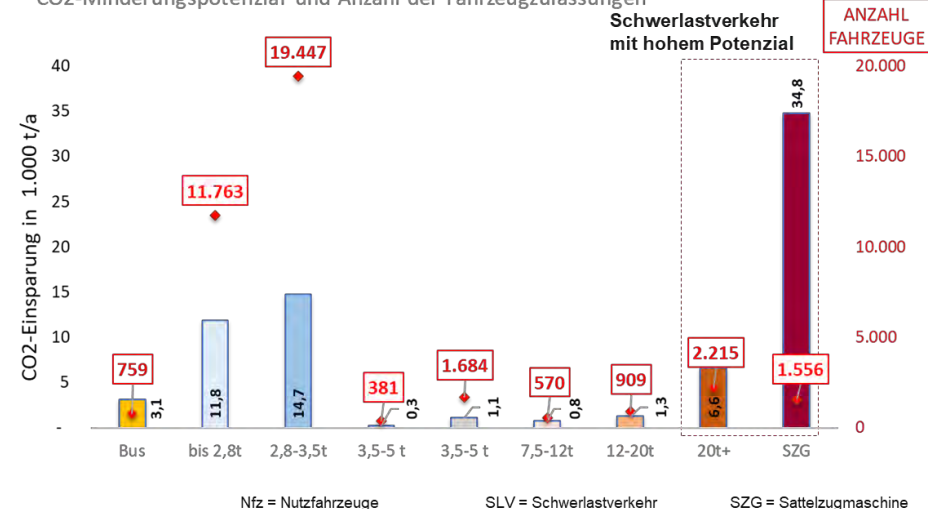


Abbildung 14: CO₂-Minderungspotenzial nach Gewichtsklasse und Anzahl der Nutzfahrzeuge

Die folgende Abbildung zeigt eine grobe Abschätzung des H₂-Bedarfs von Nutzfahrzeugen (leichte und schwere Lkw sowie Busse) auf Basis typischer Fahrleistungen und Fahrzeugkraftstoffverbräuchen. Diese Betrachtung veranschaulicht die Potenziale und Rolle von schweren Nutzfahrzeugen für die erfolgreiche Emissionsminderung und Umstellung der Mobilität auf erneuerbare Kraftstoffe wie Wasserstoff (H₂).

Potenzialabschätzung für den H₂-Bedarf von Nfz (eigene Abschätzung, auf Basis der Zulassungszahlen & durchschn. Fahrleistungen)

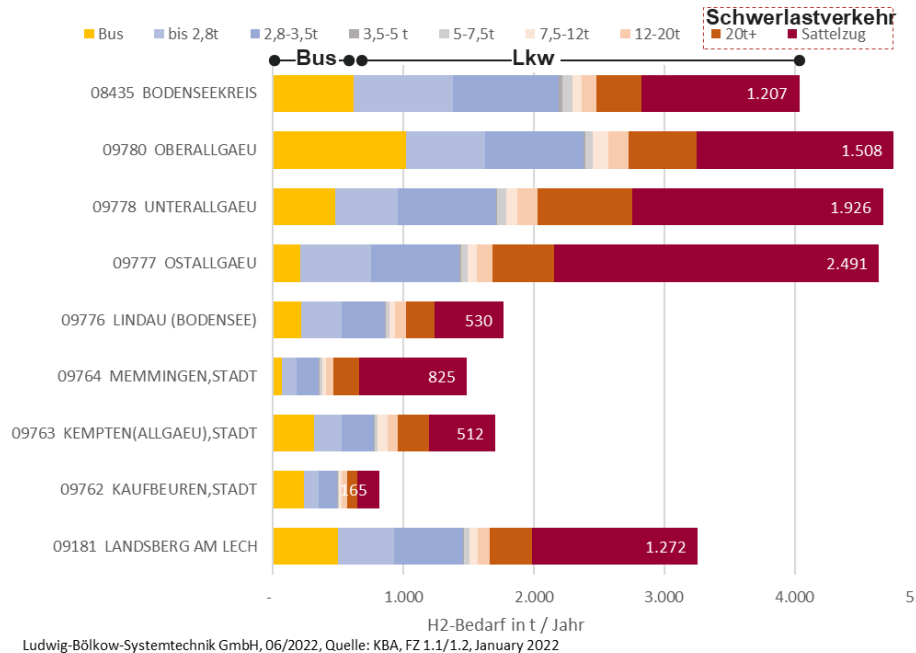


Abbildung 15: Potenzialbetrachtung H₂-Bedarf auf Basis der Fahrzeugzulassungen nach Region in Tonnen H₂ pro Jahr

Neben einer Diskussion der Anteile der Fahrzeugzulassungen zeigt eine Auswertung von Dauerzählstellen auf Autobahnen und Bundesstraßen, dass täglich 4–6.000 schwere Nutzfahrzeuge insbesondere zwischen Lindau, Memmingen und Landsberg auf der A96 verkehren. Auch Analysen der A7 und der B12 zeigen, dass hier täglich im Durchschnitt knapp 1.500 Lkw unterwegs sind.

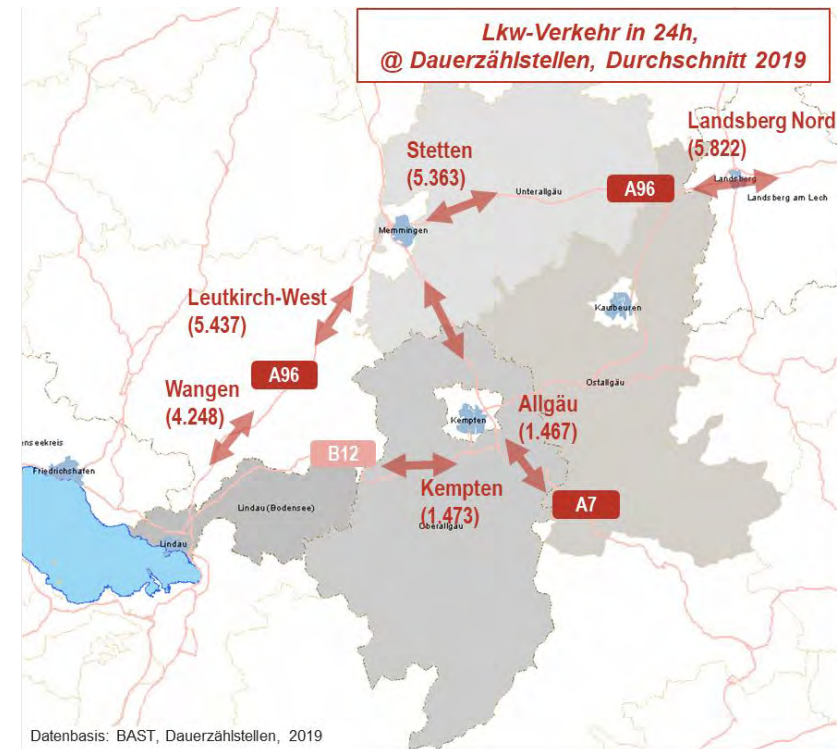


Abbildung 16: Lkw-Verkehre entlang von Hauptverkehrsrouten an Dauerzählstellen in Anzahl Fahrzeuge pro 24 Stunden

Wie aus der Betrachtung der gemeldeten Fahrzeuge und aktuellen Verkehrsbelastungen abzuleiten ist, stellen schwere Nutzfahrzeuge ein großes Potenzial zur Umstellung auf H₂-Kraftstoff in der Region dar. Im Rahmen dieser Arbeit wurden für die weitere Ermittlung und Abschätzung mit interessierten Akteuren konkrete und mögliche H₂-Bedarfe im Straßenverkehr untersucht. Der Fokus lag dabei auf der Betrachtung von H₂-Lkw und -Bussen für den Zeithorizont bis 2030.

Auf Basis von Einzelgesprächen, Workshops und Fachveranstaltungen wurden dabei konkrete Umsetzungsperspektiven mit den Unternehmen diskutiert und herausgearbeitet. Neben der technischen und zeitlichen Verfügbarkeit passender Fahrzeuge (z. B. bezüglich Reichweite, Fahrzeugaufbau, weiterer technischer Anforderungen) wurden v. a. Anforderungen an die Einsatzprofile betrachtet. Beispielsweise stellen wiederkehrende und planbare Verkehre ein attraktives Nutzungsprofil für die Einführung von H₂-Lkw und den Aufbau der H₂-Infrastruktur dar. Lkw, die täglich an derselben H₂-Tankstelle getankt werden können und zudem planbare bzw. feste Fahrtrouten (ca. 400–500 km) in der Region haben, vereinfachen den Aufbau und die Auslastungsplanung der ersten H₂-Tankstellen.

Wie in der folgenden Abbildung zusammengefasst, können vor allem Lkw im Basis- wie auch Progressiv-Szenario bis 2030 in den einzelnen Teilregionen relevante Beiträge leisten. Die Umstellung von Bussen auf H₂ hat zudem in allen Regionen Potenziale und Synergien mit der Umstellung von H₂-Lkw, v. a. in Kaufbeuren, Lindau Ost und Lindenberg (siehe Progressiv-Szenario, rechte Darstellung).

Die zeitliche und geografische Entwicklung und Bündelung der H₂-Bedarfe durch Nutzfahrzeuge in sogenannten Clustern dient dabei als wichtige Grundlage für den schrittweisen Aufbau der H₂-Infrastruktur in der Region.

Entsprechend den identifizierten Projektansätzen mit den Akteuren und den ermittelten H₂-Bedarfsentwicklungen wurden sogenannte H₂-Cluster herausgearbeitet, die für die weitere Entwicklung eines regionalen H₂-Systems, der Modellierung und des H₂-Infrastrukturaufbaus vertieft betrachtet werden.

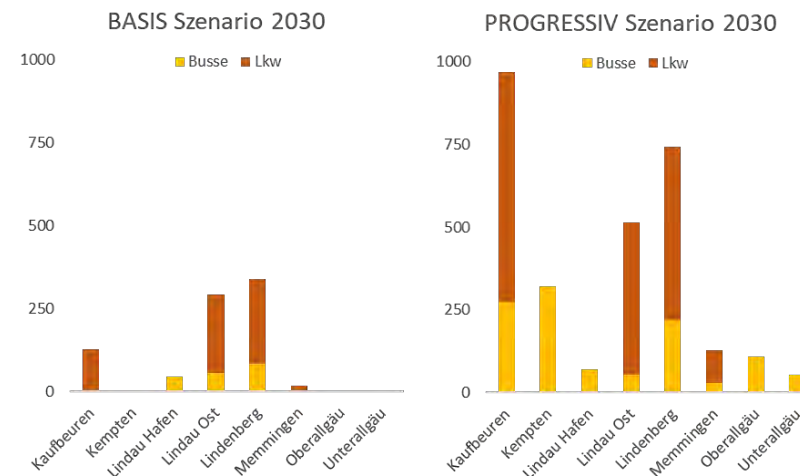


Abbildung 17: H₂-Bedarf der Nutzfahrzeuge im Basis- und Progressiv-Szenario 2030 in Tonnen H₂ pro Jahr

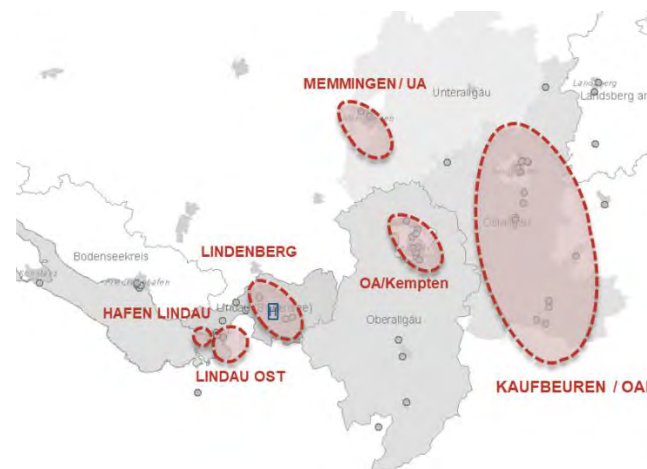


Abbildung 18: Ableitung von H₂-Clustern mit gebündelten H₂-Bedarfen für Lkw und Busse

Für die Umsetzung konkreter Projekte und die zeitliche Einordnung der Realisierbarkeit ist auch die Verfügbarkeit geeigneter Fahrzeuge relevant.

Wie in der folgenden Abbildung zusammengefasst, werden zunehmend H₂-Nutzfahrzeuge von (internationalen) Herstellern entwickelt und in den Markt eingeführt. Jedoch bestehen aktuell Einschränkungen hinsichtlich Verfügbarkeit geeigneter Produkte und Kosten sowie der verfügbaren H₂-Infrastruktur.

Die Entwicklung und Markteinführung von H₂-Lkw & -Bussen gewinnt an Bedeutung und Dynamik



Stand der Technik bei H₂-Nutzfahrzeugen

- ▶ Interesse für den H₂-Einsatz in Schwerlastanwendungen hat deutlich zugenommen
- ▶ Entwicklung von H₂-Lkw & -Bussen wurde bisher v.a. durch internationale Hersteller dominiert
- ▶ Zunehmend deutsche OEM und auch kleinere, neuere Anbieter (u. a. auch mit Retrofit-Konzepten)
- ▶ Unterschiedliche Reifegrade:
 - Erfahrene H₂-BZ-Hersteller mit vielen Aufträgen und Erfahrungen (Van Hool, Solaris, Toyota...),
 - Weitere folgen mit neuen Modellen und aktuellen Testphasen (Hyundai, Nikola, Daimler/Mercedes, ...)
 - Bei vielen Anbietern ist die breite Markteinführung & Start der Serienproduktion für die nächsten Jahre geplant.
- Vorteil: H₂-Nfz haben hohe Reichweiten pro Betankung & hohe Leistungen
- Herausforderung: Verfügbarkeit der Produkte, Kosten (OPEX, CAPEX) und H₂-Infrastruktur
- ▶ Marktreife von H₂-Nfz und H₂-Versorgung ist wichtig für weitere Planungen.

Abbildung 19: Zusammenfassung – Stand der Technik der H₂-Nutzfahrzeuge

Die folgenden Abbildungen zeigen ausgewählte Beispiele für H₂-Lkw und -Busse.



Abbildung 20: Beispiel – Hyundai H₂-Lkw der Spedition Gebrüder Weiss im Einsatz in der HyAllgäu*-Bodensee-Region (Bild: Spedition Gebrüder Weiss)



Abbildung 21: Beispiel – H₂-Bus der Firma e2H2 und Burkhard Reisen im Einsatz in der HyAllgäu*-Bodensee-Region (Bild: LBST)

3.3 H₂-BEDARF – BINNENSCHIFFFAHRT

Die Bodenseeschifffahrt verbindet mit ihrem Linienbetrieb Bayern, Baden-Württemberg, die Schweiz und Österreich. 34 Fähren verkehren zwischen den Häfen in Überlingen, Meersburg, Konstanz, Friedrichshafen, Romanshorn, Rorschach, Bregenz und Lindau. Mit 14 Schiffen ist dabei die BSB – Bodenseeschiffahrtbetriebe, neben der VLB (6 Schiffe), der URH (6) und der SBS (8), der wichtigste Betrieb.

Bis 2035 möchten die Stadtwerke Konstanz weitestgehend die Treibhausgasneutralität erreicht haben. Als Tochterunternehmen steht die BSB vor der Herausforderung, die Personenschiffe und Fähren auf emissionsarme /-freie Antriebe umzustellen. Neben dem Einsatz von Batterie-Elektrobooten und -Schiffen für kürzere Strecken müssen alternative Elektroantriebe, wie mit Wasserstoff und Brennstoffzellen, auf ihre Eignung hin untersucht werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die BSB-Schiffe MS Lindau, MS München und MS Konstanz, die in Lindau verkehren, für eine mögliche Umrüstung auf Wasserstoff identifiziert. Bei einer Umrüstung dieser drei Schiffe würde sich insgesamt ein H₂-Bedarf von knapp 1 Tonne H₂ pro Tag für den Standort Lindau ergeben.

Wesentliche Herausforderung für Bodenseeschiffe ist jedoch der Platzbedarf bzw. die geringere volumetrische Speicherdichte von Wasserstoff gegenüber konventionellen Kraftstoffen. Bei einer Umrüstung der Schiffe auf Wasserstoff bei bestehendem, gleichbleibendem Bauraum (also Ausbau von Dieselmotoren und Dieseltanks und Einbau von Brennstoffzellen und Wasserstofftanks) könnte weniger Energie auf dem Schiff gebunkert werden als bisher mit Diesel. Für eine H₂-Bunkerung der Schiffe und eine H₂-Tankstelle am Hafen in Lindau selbst stehen jedoch nur unzureichende räumliche Kapazitäten zur Verfügung.



Abbildung 22: Option für die Bodenseeschifffahrt – Umrüstung von drei Schiffen auf H₂ mit H₂-Bunkerung in Lindau (Fotos: BSB - Bodenseeschiffahrtbetriebe)

Die folgende Darstellung aus der ShipFuel-Studie für das Bundesverkehrsministerium veranschaulicht die grundsätzliche Herausforderung bei der Umrüstung von Passagierschiffen am Beispiel der MS Stern. Druckwasserstoff (CGH₂) weist bei einem Druck von 35 MPa (350 bar) gegenüber einem Referenz-Dieselantrieb (mit Dieseltank) einen 2,1-fachen Raumbedarf auf. Druckwasserstoff mit 700 bar hat nur noch einen 1,5-fachen Mehrbedarf, ähnlich wie Methanol (MeOH mit 1,4).

- Referenzschiff (Beispiel): MS Stern



Die MS Stern ist als Typschiff der Bolle-Werft in Neudorfen gebaut worden. Sie besitzt eine Länge von 26,7 m bei einer Breite von 5,10 m und einem Tiefgang von 0,8 m. Die maximale Fahrgastkapazität beträgt 105 Personen. Das Tankvolumen beträgt 1.850 Liter bei einem Jahresverbrauch von 15.142 Litern Dieselfrakstoff und 1.487 Betriebsstunden. Das Schiff ist mit einem Kubota-Antrieb des Typs PVMV-N 30 NE ausgestattet.

MS Stern der Stern und Kreis Reederei, Berlin

Schiffstyp	Tagesausflugsschiff 3, FGS "Stern"					
			Raumbedarf Tanksystem*	Raumbedarf Energiewandler (Dieselmotor, Reformer, Brennstoffzelle, Elektromotor)	Summe Raumbedarf	Raumfaktor (Basis Diesel)
			Volumen (m³)	Volumen (m³)	Volumen (m³)	
Referenz Diesel	Diesel	VM	2	20	22	1,0
CGH2 35	H2	PEM	32	13,2	45	2,0
CGH2 50	H2	PEM	25	13,2	38	1,7
CGH2 70	H2	PEM	20	13,2	33	1,5
LH2	H2	PEM	8	13,2	22	1,0
LOCH	H2	PEM	10	37,2	47	2,1
E-MeOH	MeOH	HT-PEM	5	26,4	31	1,4
E-LNG	LNG	SOFC	3	52,8	56	2,6
E-Diesel	Diesel	SOFC	1	52,8	54	2,5

Abbildung 23: ShipFuel-Studie¹: Raumfaktoren H₂-basierter Kraftstoffe für die Umrüstung eines Tagesausflugsschiffs

Demgegenüber könnte Flüssigwasserstoff (LH₂) mit 1,0 ähnlich wie Diesel, bezogen auf den Bauraum, eine attraktive Alternative darstellen. Jedoch würde in diesem Fall die Infrastruktur für die Bereitstellung von Flüssigwasserstoff eine wesentliche Herausforderung darstellen und zudem keine bzw. begrenzte Synergien mit der regionalen H₂-Infrastruktur für Straßenfahrzeuge und Gasnetze bieten, da diese Druckwasserstoff vorsehen und keine Verflüssigungsanlagen.

Bei einer Nutzung von Wasserstoff für die Bodenseeschiffe könnte eine Anpassung der Betankungs- bzw. Bunkeringsroutinen und -strategien einen Lösungsansatz aufzeigen. Die bisherige zentrale Bunkerung könnte zukünftig durch weitere Zwischenbetankungen bei längeren Kursrouten abgelöst werden, um beispielsweise auch H₂-Infrastrukturen für Druckwasserstoff der Straßenfahrzeuge nutzen zu können.



Abbildung 24: Übersicht BSB-Kursroute von Lindau – Verbindungen mit Haltepunkten entlang des Bodensees (Quelle: BSB, 2022)

¹ SHIPFUEL - Strombasierte Kraftstoffe für Brennstoffzellen in der Binnenschifffahrt, Sept 2019, <https://lbst.de/publikationen/shipfuel/>

3.4 WEITERE H₂-BEDARFE

In der HyAllgäu*-Bodensee-Region können und sollen zukünftig auch Potenziale für die Nutzung von H₂ im Bahnverkehr erschlossen werden. Hierzu können dieselbetriebene Züge an nicht-elektrifizierten Bahnstrecken durch H₂-Züge ersetzt werden. Eine Hauptstrecke in der Region ist dabei die Zugverbindung Augsburg – Füssen. Hierzu wird derzeit im Rahmen eines bayerischen Förderprojektes eine Erprobung eines H₂-Zugs vorbereitet. Dieser H₂-Zug wird voraussichtlich 2024/2025 in Augsburg mit Wasserstoff über einen Druckwasserstofftrailer befüllt. Eine Zwischenbetankung entlang der Strecke, z. B. in Kaufbeuren oder Marktoberdorf, ist jedoch nicht vorgesehen bzw. möglich. Im Rahmen dieses Projektes konnten keine spezifischen Projektansätze und Synergien mit dem laufenden Demoprojekt für den Bahnverkehr in der HyAllgäu*-Bodensee-Region herausgearbeitet werden. Zukünftig ist eine Umrüstung der nicht-elektrifizierten Bahnstrecken, insbesondere nach Lindau interessant. Die zukünftige H₂-Betankung der Züge sollte jedoch aufgrund der Fahrpläne und Bahnhofsituationen präferiert an den Endstationen und nicht an Zwischenhalten erfolgen bzw. geplant werden. Somit wird für eine weitere Betrachtung Lindau, Füssen und Buchloe empfohlen.

Für stationäre Anwendungen zur Wärme- und Stromerzeugung stellt die Nutzung der Abwärme z. B. aus der H₂-Erzeugung aus Elektrolyseuren in Kombination mit Wärmepumpen oder aus der Hydrolyse eine Möglichkeit für Haushalte und Gewerbebetriebe dar. Mittels H₂ versorgten BHKWs kann Strom und Wärme aus Wasserstoff erzeugt werden. Für die Wärmenutzung stellen Wärmenetze und sogenannte (integrierte) Quartierskonzepte dabei eine wichtige Grundlage dar, um in den Kommunen auf eine nachhaltige Wärmeversorgung aus Wasserstoff umzustellen. Im Rahmen dieses Projektes wurden die Standorte in Lindau, Kaufbeuren, Marktoberdorf und Lindenberg als potenzielle Projekte für den Aufbau von Wärmenetzen mit Abwärme aus der Wasserstofferzeugung identifiziert. Eine weitere Planung und Ausarbeitung hängt jedoch von den geplanten H₂-Erzeugungsstandorten ab und sollte mit der weiteren Planung der H₂-Erzeugung in der Region mitgeprüft und geplant werden.

Statt einer 100%igen Umstellung der Gasversorgung auf grünen H₂ stellt eine stufenweise Zumischung und Einspeisung von H₂ ins Erdgasnetz grundsätzlich ein großes Potenzial dar. Jedoch bestehen hier neben regulatorischen und technischen Herausforderungen (u. a. Sicherheit, technischer Aufwand) auch wirtschaftliche Hemmnisse, um hier konkret eine Teileinspeisung ins Erdgasnetz für die Region und in Rahmen dieses Projektes zu konkretisieren.

Die Nutzung von grünem H₂ in industriellen Anwendungen gewinnt zunehmend an Attraktivität, um grauen H₂ aus Erdgas durch klimaneutralen H₂ zu ersetzen. Einerseits, um die Klimaschutzziele und CO₂-Minderungen in der Fertigung von Produkten zu erreichen, und andererseits, um eine Abhängigkeit von Erdgas durch die Diversifizierung von H₂ aus erneuerbaren Energien zu mindern. Im Rahmen des Projektes wurde mit der Firma Plansee im Ostallgäu der mögliche Einsatz von grünem H₂ diskutiert. Es besteht weiteres Interesse der Firma, die notwendige H₂-Versorgung aus erneuerbaren Energien für den Standort weiter zu prüfen und in weitere Entwicklungen in der Region eingebunden zu werden.

4 REGIONALE WASSERSTOFFERZEUGUNG

4.1 ZUSAMMENFASSUNG

Die regionale Erzeugung von Wasserstoff bietet Chancen, regionale Wertschöpfung zu kreieren und Versorgungssicherheiten für die Deckung der regionalen Wasserstoffbedarfe zu schaffen. Im Rahmen von HyAllgäu*-Bodensee werden daher die konkreten Projekte zur Erzeugung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien betrachtet. Gegenwärtig werden in HyAllgäu*-Bodensee vier Wasserstofferzeugungs-Projekte geplant. In drei Projekten soll Wasserstoff über Elektrolyse aus erneuerbarem Strom hergestellt werden. Im Wertachtal stehen wesentliche Mengen an erneuerbarem Strom aus lokalen Windkraft- und PV-Anlagen zur Verfügung, die vor Ort zur Wasserstoffproduktion via Elektrolyse genutzt werden können. Das Elektrolyse-Projekt in Lindenberg zielt vorrangig darauf ab, die lokalen Bedarfe der Busse des ÖPNV zu bedienen. In Kempten gibt es grundsätzlich die Option, H₂ aus Elektrolyse mit Strom aus der Verwertung organischer Abfälle im Müllheizkraftwerk bzw. aus der Abwasserbehandlung zu erzeugen. Jedoch erfolgte keine weitere spezifische Ausarbeitung dieser Ansätze als Teil des HyAllgäu*-Bodensee-Projektes in Abstimmung mit der ZAK und der AVKE. In Röthenbach wird ebenfalls die Umsetzung einer Hydrolyse geprüft, bei der regional anfallende Reststoffe, wie Klärschlamm, in Wasserstoff umgewandelt werden.

4.2 UNTERSUCHUNGSFOKUS

Um die in Kapitel 3 ermittelten Bedarfe von Wasserstoff zu bedienen, gilt es, ein adäquates Konzept zur Wasserstoffversorgung der Region zu entwickeln. Für die Versorgung regionaler Wasserstoffbedarfe gibt es zwei Wege: die lokale Produktion von Wasserstoff und der Import von Wasserstoff in die Region. Die

Bundesregierung hat über die Nationale Wasserstoffstrategie abgeschätzt, dass Deutschland im Jahr 2030 den nationalen Wasserstoffbedarf zu ca. 15 % aus einheimischer Erzeugung decken wird.² Im Umkehrschluss werden ca. 85 % des benötigten Wasserstoffs aus dem europäischen oder internationalen Ausland importiert. Dennoch sollten regionale Erzeugungspotenziale bzw. Projektansätze überragende Bedeutung für Regionen haben. Zum einen generiert die Erzeugung von Wasserstoff regionale Wertschöpfung in Form von neuen Geschäftsmodellen oder Arbeitsplätzen, zum anderen haben Regionen bzw. Gemeinden geringen Einfluss auf die Ausgestaltung internationaler und europäischer Infrastruktur-/ Importprojekte.

Entsprechend wird in diesem Kapitel zunächst der Untersuchungsfokus für die Analyse der regionalen Erzeugungsprojekte festgelegt. Kapitel 4.3 liefert das techno-ökonomische Hintergrundwissen zur Erzeugung von Wasserstoff. In Kapitel 4.4 werden die regionalen Erzeugungsprojekte vorgestellt. Die mittel- bis langfristigen Importmöglichkeiten werden in Kapitel 4.5 beschrieben.

Die Identifikation und Untersuchung der regionalen Projektansätze orientiert sich an zwei Aspekten:

a. Erzeugung von klimaneutralem Wasserstoff aus erneuerbaren Energien

Ein wesentliches Ziel von HyAllgäu*-Bodensee ist es, mithilfe von Wasserstofftechnologien einen Beitrag zu Klimaschutz bzw. Klimaneutralität in der Region zu leisten. Um die Klimaziele in der späteren Anwendung zu gewährleisten, muss der eingesetzte Wasserstoff klimaneutral produziert werden. Die vorliegende Machbarkeitsstudie fokussiert sich daher auf klimaneutrale Wasserstoff-Erzeugungsprojekte. In Abbildung 25 sind die möglichen Pfade zur Erzeugung von klimaneutralem Wasserstoff abgebildet.³

² Nationale Wasserstoffstrategie. Die Bundesregierung. 2020. file:///C:/Users/beneken/Downloads/die-nationale-wasserstoffstrategie%20(1).pdf.

³ Klimaneutrale Erzeugungspfade über fossile Energieträger wie Erdgas, Kohle oder Mineralöl in Kombination mit Verfahren wie Carbon Capture and Storage (CCS) oder Carbon Capture and Use (CCU) werden nicht berücksichtigt.

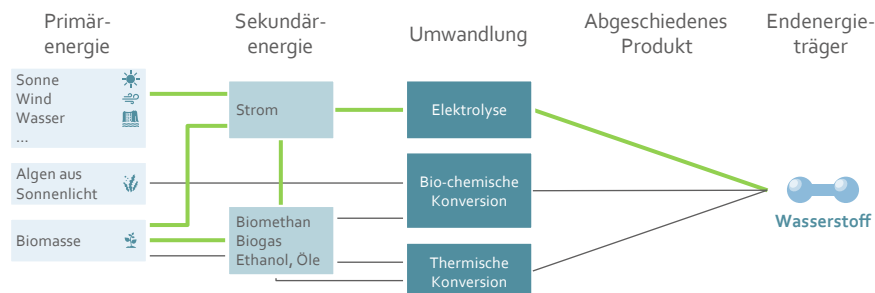


Abbildung 25: Pfade zur Erzeugung von klimaneutralem Wasserstoff; Quelle: Darstellung BBHC.

Die erneuerbaren Primärenergien sind Sonne, Wind, Wasser und Biomasse. Aus diesen Energieträgern kann Strom generiert werden, der dann über chemische Umwandlung via Elektrolyse Wasser (H_2O) zu Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) aufspaltet. Der Prozess ist in Abbildung 26 dargestellt.

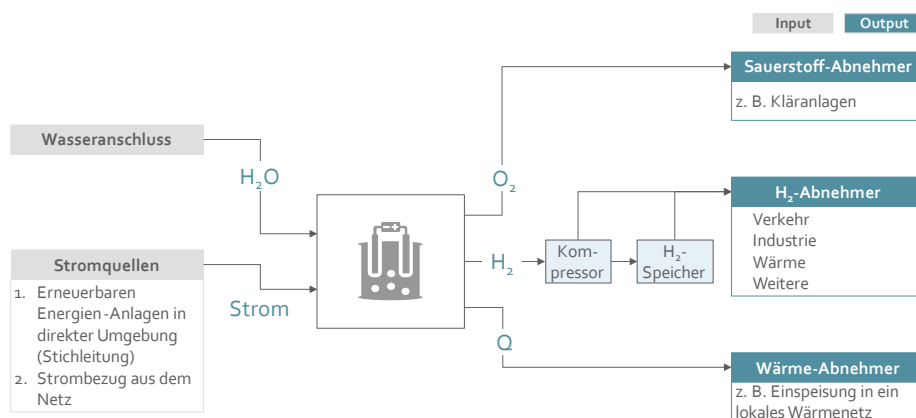


Abbildung 26: In- und Output-Ströme der Wasserelektrolyse; Quelle: Darstellung BBHC.

Wasserstoff kann zudem über thermische oder chemische Konversion aus Biomasse gewonnen werden. Ein Beispiel für ein solches Verfahren ist die Hydrolyse⁴, bei der aus biogenen Reststoffen, wie Klärschlamm oder organischen Abfällen, durch hohe Temperaturen und Druck zunächst Synthesegas ($\text{CO} + \text{H}_2$) und dann durch Abscheidung des Kohlenmono-/dioxids Wasserstoff gewonnen wird.

Exkurs „grüner“/„erneuerbarer“ Wasserstoff

Die in Abbildung 25 in grüner Farbe gekennzeichneten Pfade entsprechen der Definition von „grünem“ Wasserstoff aus der Nationalen Wasserstoffstrategie². Es ist darauf hinzuweisen, dass diese Definition keiner rechtssicheren Definition von „grünem“ Wasserstoff entspricht. Diese Definitionslücke führt gegenwärtig zu einer Verzögerung bei der Umsetzung von Wasserstoff-Erzeugungsprojekten, da Fördermöglichkeiten oder potenzielle Zusatzerlöse bei der Wasserstoffvermarktung an die Erzeugung von „erneuerbarem“ bzw. „grünem“ Wasserstoff gebunden sind. Die Europäische Kommission wird jedoch in Kürze mit der RED II⁵ die finale Verordnung veröffentlichen, in der die Anforderungen an die Erzeugung von „erneuerbarem“ Wasserstoff aus nicht-biogenen Quellen definiert sind. Obwohl der Geltungsbereich zunächst auf die RED II und damit auf den Verkehrssektor beschränkt ist, wird die Verordnung voraussichtlich Vorbild für alle weiteren europäischen und nationalen Definitionen von „erneuerbarem“ Wasserstoff aus nicht-biogenen Quellen.

b. Reifegrad der Projektansätze

Im Rahmen von HyAllgäu*-Bodensee sollen konkrete Projektansätze identifiziert und mithilfe techno-ökonomischer Unterstützung näher an die Umsetzung bzw. Investitionsentscheidung gebracht werden. Es handelt sich also nicht um eine Potenzialanalyse, in der theoretische Erzeugungsmengen, bspw. auf Basis der regionalen Windkraft- und Photovoltaik-Kapazitäten, ermittelt werden.

⁴ <https://www.bluefluxenergy.com/de/blueflux-h2-das-produkt>.

⁵ Renewable Energy Directive.

4.3 TECHNO-ÖKONOMISCHER HINTERGRUND

Die aktuellen Projektansätze in der Region HyAllgäu*-Bodensee zur Erzeugung von Wasserstoff fokussieren sich überwiegend auf die Elektrolyse-Technologie (siehe Kapitel 4.2). Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Elektrolyse-Projekten gibt es, abgesehen von projektspezifischen Faktoren, allgemeingültige Erfolgstreiber.

Für deren Verständnis ist ein Blick auf die Zusammensetzung der Kosten einer Elektrolyse sinnvoll. In Abbildung 27 sind die Kosten einer Elektrolyse in Bezug auf ein produziertes Kilogramm Wasserstoff dargestellt.⁶ Die Kosten liegen in dieser Elektrolyse-Konfiguration bei 8,30 Euro pro Kilogramm Wasserstoff.

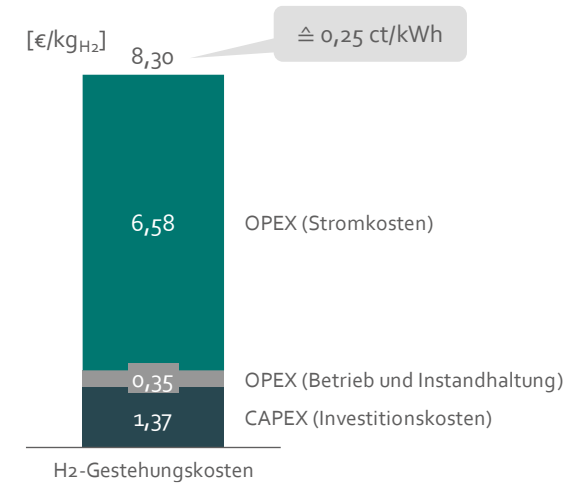


Abbildung 27: Beispielhafte Kosten einer Elektrolyse bezogen auf ein Kilogramm Wasserstoff; Quelle: Darstellung BBHC.

Die beiden größten Kostenstellen entfallen auf die CAPEX⁷ (16,5 %), also die Investitionskosten zum Kauf, zur Genehmigung sowie zur Errichtung des Elektrolyseurs, und auf die OPEX⁸ der Stromkosten (79,3 %).

Großen Einfluss auf die Höhe der CAPEX-Kostenstelle hat die Auslastung eines Elektrolyseurs, die durch die Anzahl der Stunden im Volllastbetrieb in Bezug auf ein Jahr (8.760 Stunden) angegeben wird. Abbildung 28 zeigt diesen Zusammenhang.

Bei einer geringen Volllaststundenzahl von ca. 1.000 Stunden pro Jahr betragen die CAPEX-Kosten fast 6 Euro pro Kilogramm Wasserstoff. Bei steigenden Volllaststunden sinken die CAPEX-Kosten zunächst stark, ab 4.000

⁶ Annahmen zu H₂-Gestehungskosten: 5-MW-Elektrolyseur (Auslastung: 4.000 Volllaststunden, Strombezugskosten: 12 ct/kWh, keine Entrichtung von Abgaben + Umlagen, Systemwirkungsgrad: 61 % ($\triangleq 55 \text{ kWh}_{el}/\text{kg}_{H_2}$), Systemkosten Elektrolyse (inkl. Ingenieursdienstleistungen und Energiegestehungskosten) 5 i o. €.

⁷ Capital Expenditures = Investitionskosten.

⁸ Operational Expenditures = Betriebskosten.

Volllaststunden nur noch langsam. Als Faustformel kann angenommen werden, dass ein Elektrolyseur so mit Strom versorgt werden muss, dass er mindestens ca. 3.000 Volllaststunden im Jahr Wasserstoff erzeugt.

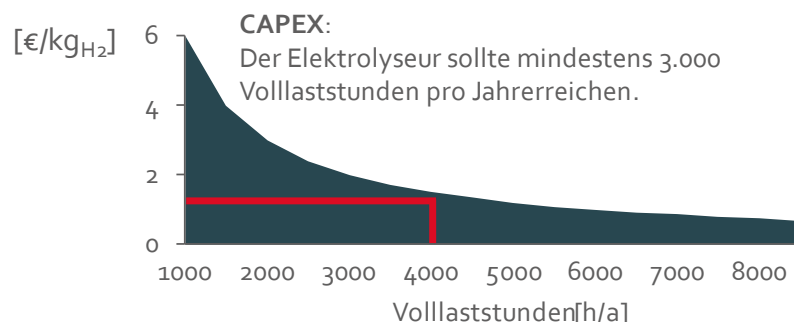


Abbildung 28: Zusammenhang von Auslastung eines Elektrolyseurs und Höhe der CAPEX-Kosten pro Kilogramm Wasserstoff; Quelle: Darstellung BBHC.

Durch die fluktuierende Stromerzeugung von erneuerbaren Energien (v. a. Wind und PV) stellt dies ein wichtiges Kriterium für die Auslegung einer Elektrolyse dar.⁹ In Abbildung 29 sind die Volllaststunden eines Elektrolyseurs je nach Dimensionierung der Leistung im Verhältnis zur Stromerzeugungsanlage dargestellt. Entspricht die Leistung des Elektrolyseurs der Leistung der Wind- oder PV-Anlage, mit der der Elektrolyseur verknüpft ist, liegen die Volllaststunden bei ca. 1.000 bis 2.500 Stunden pro Jahr. Entsprechend Abbildung 28 lägen die anteiligen CAPEX-Kosten des Elektrolyseurs bei ca. 3 bis 6 Euro pro Kilogramm Wasserstoff. Dimensioniert man die Leistung des Elektrolyseurs auf die Hälfte der Leistung der Stromerzeugungsanlagen, dann steigen die Volllaststunden auf 2.100 bis 4.100 Stunden pro Jahr und dies senkt die anteiligen CAPEX-Kosten auf 1 bis 2 Euro pro Kilogramm Wasserstoff.

⁹ Fluktuierende Stromerzeugung bedeutet, dass die Stromerzeugung Witterungsbedingungen oder den Gegebenheiten unterschiedlicher Jahreszeiten und Standorten unterliegen. Die Stromproduktion ist schwankend bzw. liefert kein kontinuierliches Produktionsband.

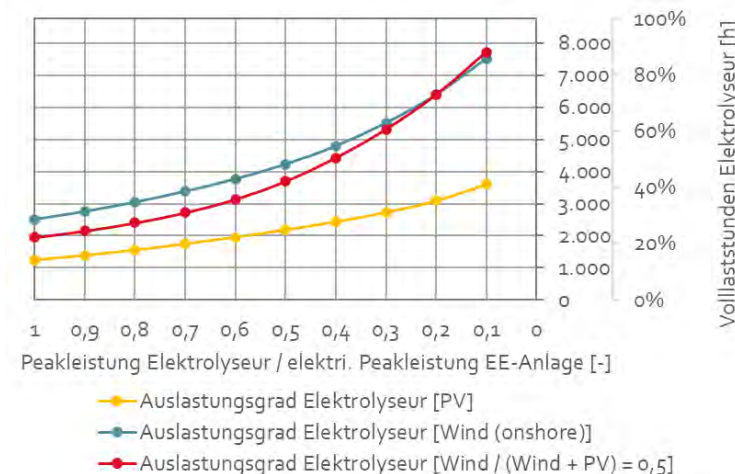


Abbildung 29: Auslastung des Elektrolyseurs in Abhängigkeit von der Dimensionierung im Verhältnis zur Stromerzeugungsanlage; Quelle: Darstellung BBHC.

Der Einfluss der Stromkosten auf die Wasserstoffgestehungskosten ist in Abbildung 30 dargestellt. Mit jedem Cent, der zusätzlich für den Einkauf einer Kilowattstunde Strom aufgebracht werden muss, steigen die Kosten pro Kilogramm Wasserstoff um ca. 50 Cent. Die **Stromkosten** setzen sich aus den **Strombezugskosten** und den **Stromnebenkosten** zusammen.

Die **Strombezugskosten** hängen von den Stromerzeugungsanlagen ab, von denen der Strom bezogen wird. Wenn der Wasserstoff im Sinne der in Kapitel 4.2 eingeführten europäischen Verordnung „erne er ar“ erzeugt werden soll, kommen zudem weitere Restriktionen für die Wahl der Stromerzeugungsanlagen hinzu. Notwendig ist beispielsweise ein Stromliefervertrag (PPA¹⁰) mit konkreten EE-Erzeugungsanlagen.

¹⁰ Power Purchase Agreement.

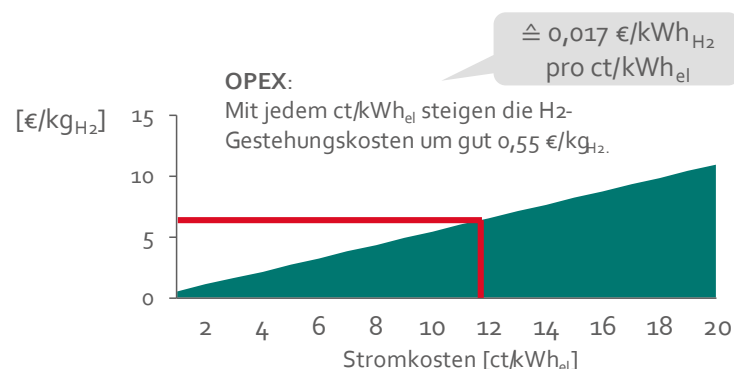


Abbildung 30: Zusammenhang zwischen den Stromkosten und den Kosten für ein Kilogramm Wasserstoff; Quelle: Darstellung BBHC.

Ein Blick auf die Strompreisentwicklung an der Börse (siehe Abbildung 31) zeigt, dass nationale und globale Entwicklungen in den vergangenen anderthalb Jahren zu Verwerfungen an den Energiemärkten geführt haben. Diese mündeten – Stand 31.10.2022 – in langfristigen Strompreisen am Terminmarkt in Höhe von ca. 12 ct/kWh. Ein entsprechender PPA-Strombezugspreis für die Elektrolyse entspricht einem Kostenanteil von ca. 6 bis 7 Euro pro erzeugtem Kilogramm Wasserstoff.

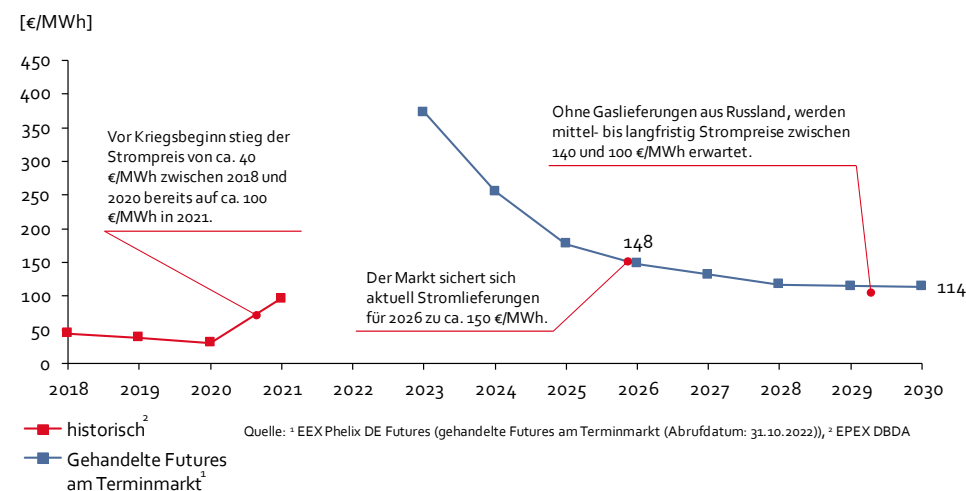


Abbildung 31: Preise der Langfriststrombeschaffung für ein BASE-Produkt, Stand 31.10.2022¹¹; Quelle: Darstellung BBHC.

Die **Stromnebenkosten** bestehen aus den Netzentgelten¹², der Stromsteuer und den netzentgeltgekoppelten Abgaben (siehe Abbildung 32) und belaufen sich auf 3,53 ct/kWh. Umgelegt auf die Erzeugung eines Kilogramms Wasserstoff entspricht dies zusätzlichen Kosten von fast 2 Euro. In bestimmten Fällen gelten Ausnahmetatbestände, die zu einer Vermeidung der Stromnebenkosten führen können. Ist der Elektrolyseur beispielsweise via Direktleitung¹³ mit der Stromerzeugungsanlage verbunden, entfallen die netzentgeltgekoppelten Abgaben. Diese Befreiungstatbestände sind in den konkreten Einzelfällen zu prüfen.

¹¹ Einfrieren der Daten am 31.10.2022 → Zeitpunkt des Starts der Modellierung.

¹² Elektrolyseure sind nach § 118 Abs. 6 S. 1 und 7 EnWG für 20 Jahre von den Entgelten für die Nutzung des Stromnetzes befreit (Dieser Ausnahmetatbestand ist zeitlich befristet, wird voraussichtlich aber verlängert).

¹³ Direkte Verbindung von Wasserstoff- und Stromerzeugungsanlage, bei der der Strom nicht durch das Netz der allgemeinen Versorgung geleitet wird.

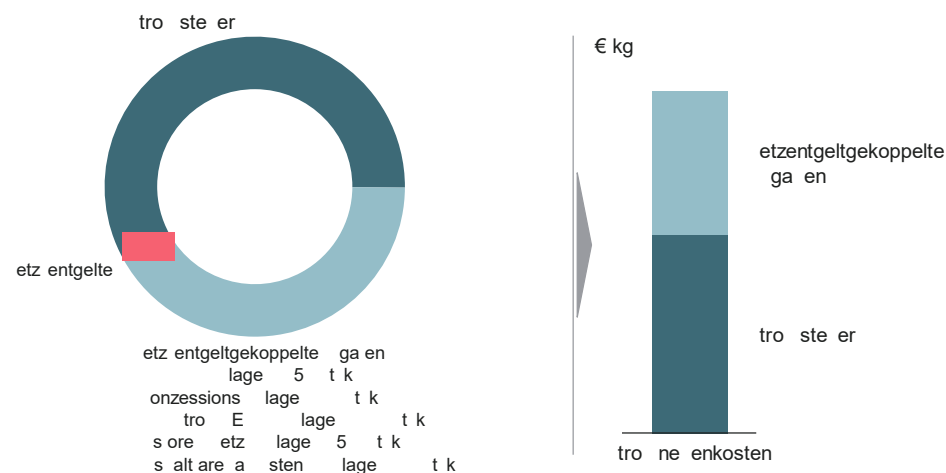


Abbildung 32: Links: Nebenkosten für den Strombezug im Jahr 2023; Rechts: Resultierende Gesteungskosten pro Kilogramm Wasserstoff; Quelle: Darstellung BBHC.

4.4 REGIONALE ERZEUGUNGSPROJEKTE

In der Region HyAllgäu*-Bodensee wird gegenwärtig an zwei Standorten die konkrete Umsetzung von Wasserstoff-Erzeugungsprojekten geplant – in Lindenberg im Landkreis Lindau (Bodensee) und im Wertachtal im Landkreis Unterallgäu (siehe Abbildung 33). Darüber hinaus gibt es weitere Standorte in Röthenbach im Landkreis Lindau (Bodensee) und in Kempten, an denen perspektivisch Wasserstoff-Erzeugungskapazitäten aufgebaut werden könnten.

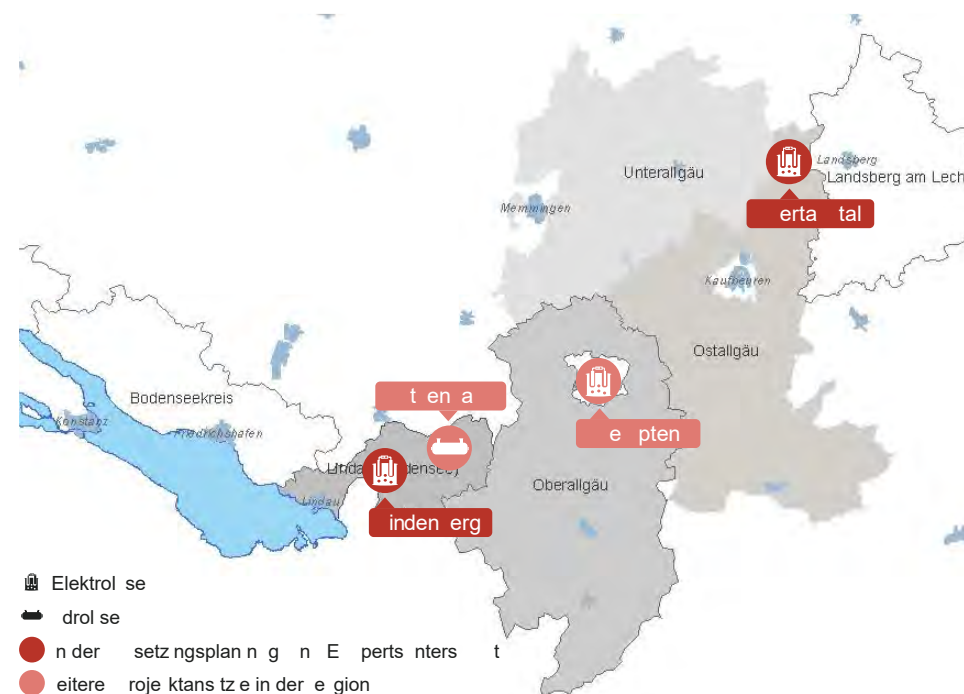


Abbildung 33: Konkrete Projektansätze zur Erzeugung von Wasserstoff; Quelle: Darstellung LBST/BBHC.

Standort Wertachtal

Am Standort Wertachtal prüft ein Konsortium (u. a. die WV Energie AG) aktuell die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit einer Elektrolyse in Kombination mit den lokal vorhandenen und geplanten Stromerzeugungsanlagen.¹⁴ Die WV Energie betreibt auf dem Gelände der ehemaligen Kurzwellensendeanlage Wertachtal einen PV-Park, der eine Leistung von ca. 70 Megawatt elektrischer Leistung umfasst. In

¹⁴ Neben der Errichtung einer Elektrolyse bestehen jedoch auch weitere Optionen zur Vermarktung des Stroms, die im Rahmen von HyExperts nicht untersucht wurden.

einer weiteren Ausbaustufe sollen innerhalb der nächsten zwei bis drei Jahre weitere 30 bis 35 MW Leistung hinzugebaut werden.

Für die potenzielle Wasserstofferzeugung sind insbesondere die neu hinzugebauten PV-Kapazitäten zu berücksichtigen, da der Strom der bestehenden Anlagen weiterhin über die Marktpremie des EEG vergütet wird.¹⁵ Im Süden, zwischen den beiden unteren Armen der Freiflächenanlage, wird aktuell die Installation von drei Windkraftanlagen geplant, die eine Leistung von 21 MW erreichen sollen.

Mehrere Kilometer von PV-Freiflächenanlage A entfernt wird gegenwärtig die Errichtung einer PV-Freiflächenanlage mit einer Leistung von 3,5 MW geprüft. Dieser Strom stünde ebenfalls einer potenziellen Wasserstofferzeugung zur Verfügung.

Insgesamt ergeben sich aus den drei Stromerzeugungsanlagen die in Abbildung 34 dargestellten Strommengen bzw. die Stromerzeugungszeitreihe über ein Jahr. Insgesamt produzieren die drei Anlagen im Jahr ca. 88.117.531 kWh. Die Dimensionierung und die Analyse der Wirtschaftlichkeit der Elektrolyse orientieren sich, neben der Stromverfügbarkeit, vor allem an den potenziellen Absatzmengen, über die Einnahmen generiert und Gewinne erwirtschaftet werden können. Als Grundlage für die Dimensionierung der Elektrolyse wird daher eine Bedarfsmenge von 1.200 Tonnen Wasserstoff pro Jahr angenommen.

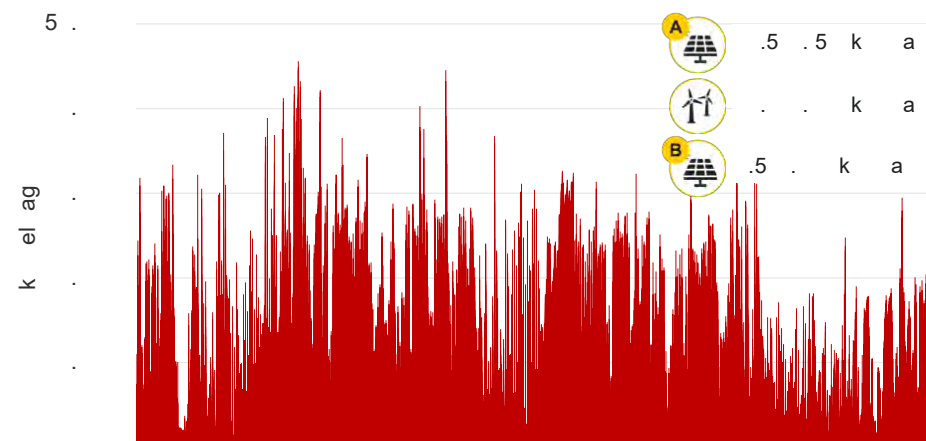


Abbildung 34: Stromerzeugung der drei EE-Anlagen insgesamt und in stündlicher Auflösung über ein Jahr; Quelle: Darstellung BBHC.

Dieser Wert liegt zwischen den in Kapitel 3.2 ermittelten Bedarfsmengen des Basis- und des Progressiv-Szenarios für das Jahr 2030. Auf Basis dieser Bedarfsmenge werden Dimensionierung und Wirtschaftlichkeit des Elektrolyseurs abgeleitet. Für die Analyse kommt ein Berechnungstool der BBH Consulting AG zum Einsatz.

Hinweis: Wie in Kapitel 4.3 beschrieben, hängen die Auslegung und die Wirtschaftlichkeit von vielen Parametern ab. Daher sind die folgenden Anlagenkonstellation, gewählten Kennzahlen und Ergebnisse als Indikation zu verstehen, die sich bei Änderung einzelner Parameter stark ändern können.

Als Standort der Elektrolyse wird das Wertachtal ausgewählt, da die PV-Freifläche A und die Windkraftanlagen über 95 % des gesamten Stromportfolios erzeugen. Durch die Vermeidung von Netzdurchleitung wäre dadurch die Vermeidung der

¹⁵ Erneuerbare-Energien-Gesetz.

Stromnebenkosten möglich (Erläuterung siehe 4.3). Gleichzeitig stellt diese Anlagenkonstellation sicher, dass der produzierte Wasserstoff nach Definition der Verordnung der EU- o i ssion als „erne er ar“ eingest t werden kann (siehe Exkurs in Kapitel 4.2). Abbildung 35 zeigt die beschriebene Anlagenkonstellation.

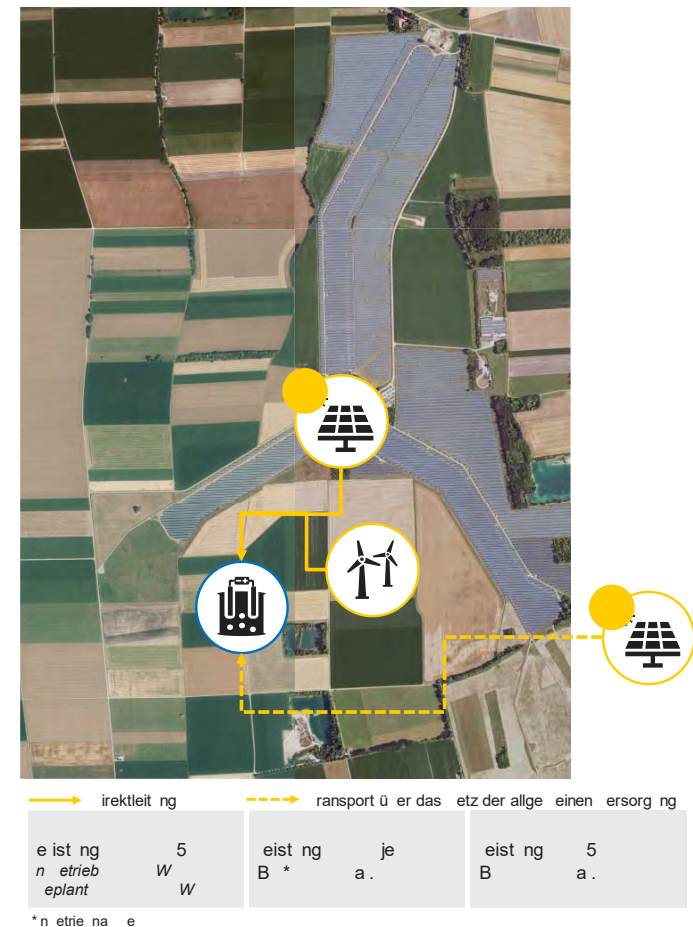
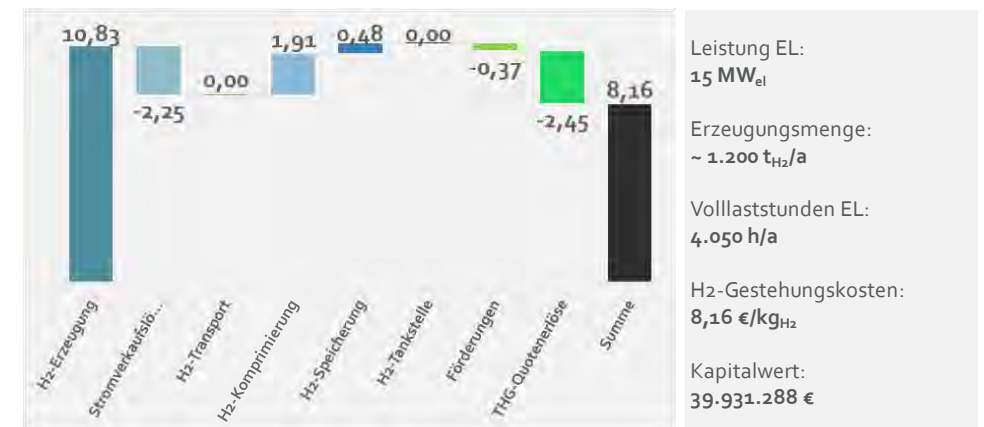
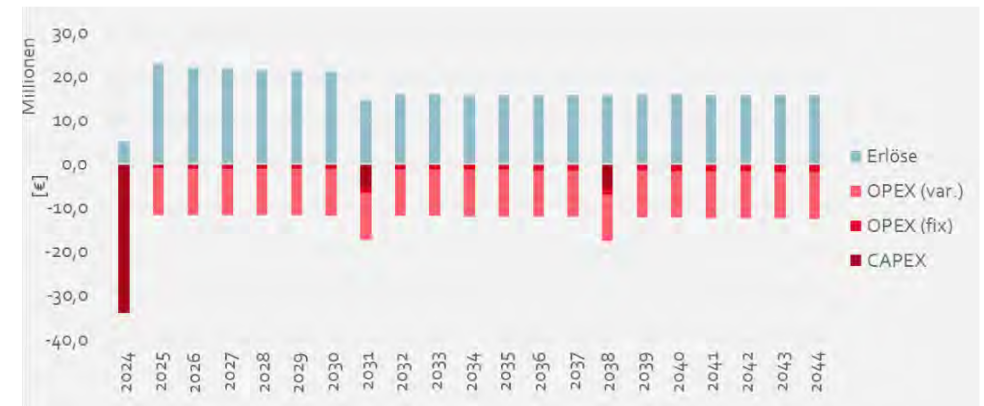


Abbildung 35: Mögliche Anlagenkonstellation mit dem Elektrolyseur im Wertachtal; Quelle: Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de (Daten verändert), Lizenz: CC BY 4.0 / BBHC.

In Abbildung 36 sind die Analyseergebnisse der theoretischen Anlagenkonfiguration dargestellt. Um die notwendigen Wasserstoffmengen von

ca. 1.200 Tonnen pro Jahr bereitzustellen, läge die Kapazität der Elektrolyse bei ca. 15 MW bei einer Volllaststundenzahl von 4.050 Stunden pro Jahr. Die Wasserstoffgestehungskosten betragen unter Einbezug der Stromverkaufs- und THG-Q o tenerl s e € kg_{H2}. Im oberen Diagramm sind die Erlös- und Kostenströme über die Lebensdauer der Elektrolyse von 20 Jahren dargestellt.

nna en

n etrie na e Elektrol se
rder ote der E
e ensda er Elektrol ses ste
t ro ez gspreis
erka
Q ote
ers ssstro

5

a inkl. sta s ta k na a
t k E t k B t k

€ kg
€ kg is dana keine
er arkt ng z B rsenpreisen

Q otenerl se e r ent alten

Abbildung 36: Techno-ökonomische Kennzahlen zur Elektrolyse im Wertachtal via Business-Case-Tool BBHC.

Im ersten Jahr schlägt ein negativer Cashflow¹⁶ zu Buche, da das Elektrolysesystem (Stack, Balance of Plant, Speicher, Kompressor) genehmigt, beschafft und errichtet werden muss. In den folgenden Jahren steigen die Einnahmen aufgrund des Wasserstoffverkaufs und der Vermarktung der überschüssigen Strommengen. Die Ausgaben beschränken sich auf die Betriebskosten und die Beschaffung des Stroms. Ca. alle sieben Jahre sind zusätzliche Kosten für den Austausch des Stacks aufgrund dessen kontinuierlicher Degradation einzuplanen. Der Kapitalwert¹⁷ in dieser Anlagen-Kombination und -Konfiguration beläuft sich auf 39.931.288 Euro. Da der Kapitalwert größer null ist, ist das Geschäftsmodell als positiv zu bewerten.

Abbildung 37 zeigt, dass der Elektrolyseur eine Leistung von 15 Megawatt benötigt, um die notwendigen Erzeugungsmengen darzustellen. In manchen Zeiträumen des Jahres ist die Stromproduktion so hoch, dass die Erzeugung des Elektrolyseurs die Abnahmebedarfe bzw. die Kapazität des Speichers übersteigt. In diesen Phasen wird die Elektrolyseleistung gedrosselt.

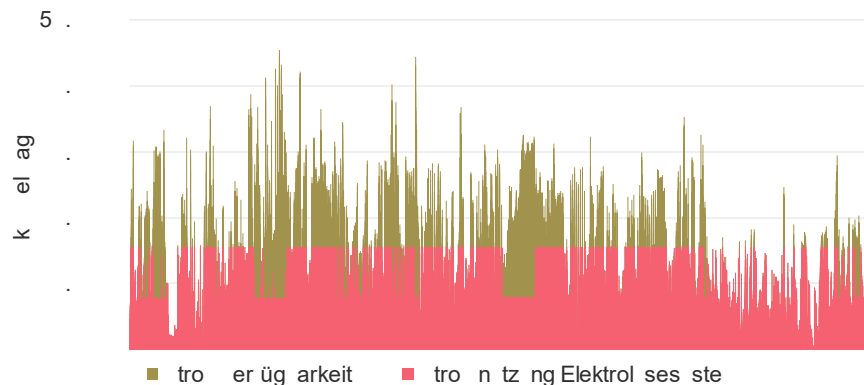


Abbildung 37: Gesamte Stromverfügbarkeit und Stromnutzung des Elektrolyseurs; Quelle: Darstellung BBHC.

Um die hohe Sensitivität des Geschäftsmodells zu demonstrieren, ist in Abbildung 38 das Ergebnis für den Fall dargestellt, in dem der Wasserstoffverkaufspreis von 11 auf 6 €/kg_{H2} fällt. Der Kapitalwert sinkt auf -2.228.353 Euro und das Geschäftsmodell kann nicht mehr als positiv bewertet werden.

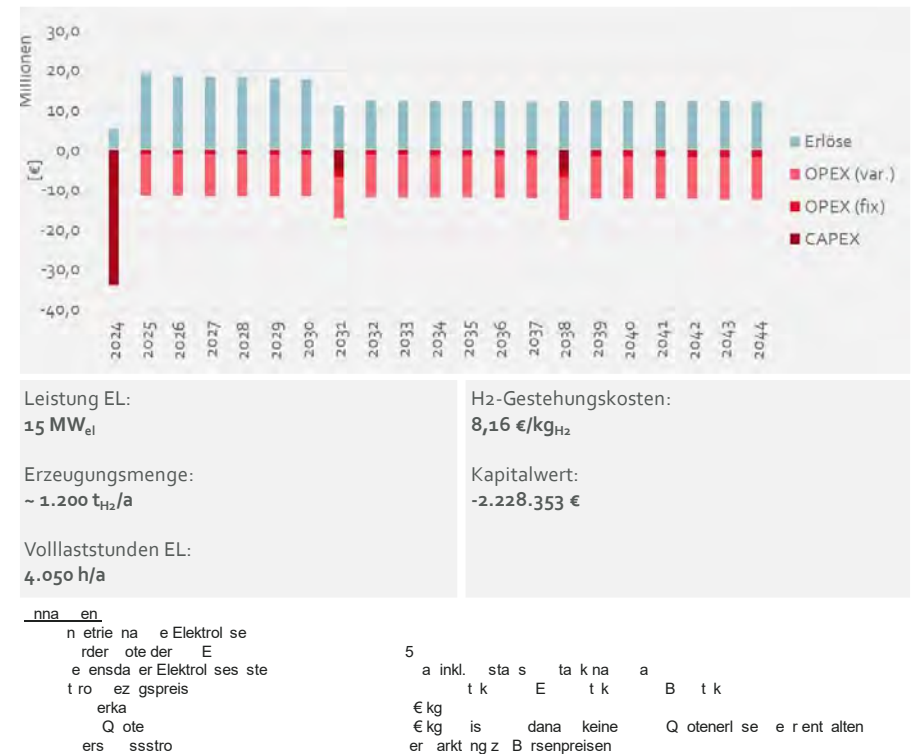


Abbildung 38: Sensitivität der techno-ökonomischen Kennzahlen zur Elektrolyse im Wertachtal via Business-Case-Tool BBHC; H₂-Verkaufspreis von 11 auf 6 €/kg_{H2}.

¹⁶ Gegenüberstellung der diskontierten Einzahlungen und Auszahlungen.

¹⁷ Summe des diskontierten Cashflows über den betrachteten Zeithorizont.

Die Analysen zeigen, dass in der Planung des Projekts zunächst wesentliche Parameter sichergestellt werden müssen – insbesondere die Zahlungsbereitschaft und Abnahmegarantie der Wasserstoff-Nutzer. Um diese Planungssicherheit zu erreichen, ist parallel der Prozess zur Verknüpfung der Erzeugungs- und Abnahmeprojekte in HyExperts angestoßen worden (siehe Kapitel 5 und 6).

Standort Lindenberg

Die AllHydro GmbH hat sich im Jahr 2022 gegründet, um eine lokale Wasserstofferzeugung zu errichten, die die Bedarfe der regionalen Busflotte und der Brennstoffzellen-Lkw regionaler Logistikunternehmen sicherstellt. Für die Wasserstofferzeugung soll eine Wasserelektrolyse zum Einsatz kommen, die dazu in Lindenberg (Landkreis Lindau (Bodensee)) in einem Gewerbegebiet errichtet werden soll (Abbildung 39).



Abbildung 39: Potenzieller Standort der Elektrolyse in Lindenberg; Quelle: Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de (Daten verändert), Lizenz: CC BY 4.0 / BBHC.

Um die Busflotte und zusätzliche Abnehmer mit Wasserstoff versorgen zu können, muss die Elektrolyse eine jährliche Wasserstoffmenge von 420 Tonnen pro Jahr produzieren. In direkter Umgebung sind Stand heute keine EE-Anlagen installiert. Alternativ sollte der Strombezug über das Netz der öffentlichen Versorgung durch den Abschluss von PPA-Verträgen mit EE-Anlagen-Betreibern sichergestellt werden. Für die Auslegung des Elektrolysesystems und die Analyse der wirtschaftlichen Parameter ist eine theoretische Stromversorgung über zwei EE-Anlagen – einmal Wind und einmal PV – mit jeweils 12 Megawatt Leistung angenommen worden (Abbildung 40).¹⁸

¹⁸ Die Berechnung wurde im Laufe des Projektes angenommen. Im aktuellen Diskussionsstand werden PPAs mit PV-Anlagen mit einer Leistung von 30 MW angedacht.

HyAllgäu*-Bodensee – Abschlussbericht März 2023

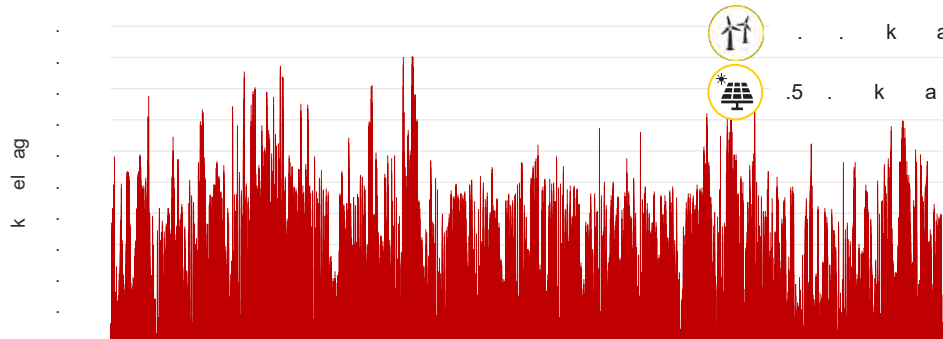
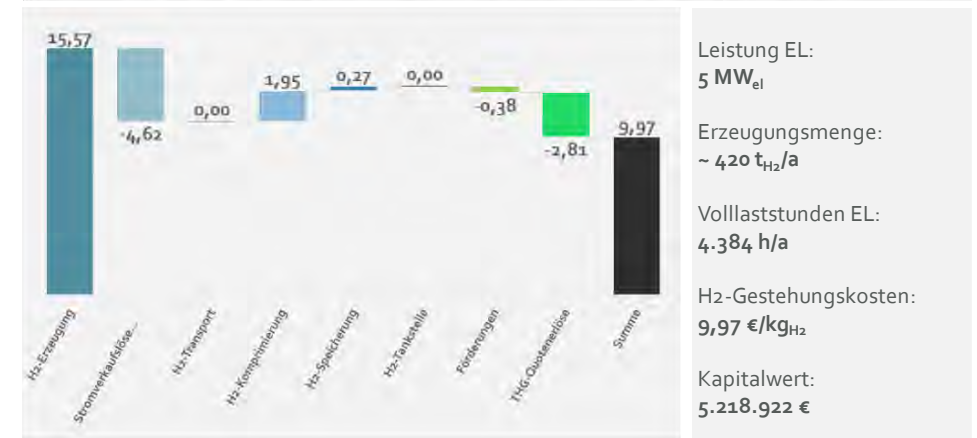
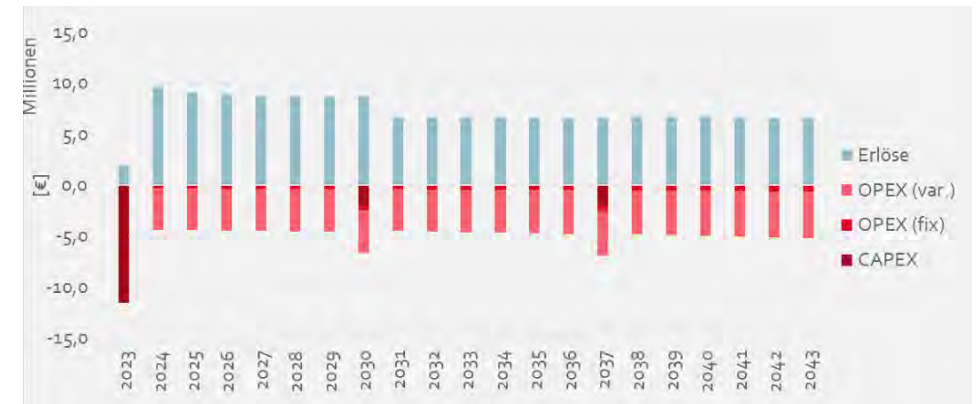


Abbildung 40: Kombinierte Stromerzeugung der theoretischen Wind- und PV-Anlagen insgesamt und in stündlicher Auflösung über ein Jahr; Quelle: Darstellung BBHC.

In Abbildung 41 sind die Analyseergebnisse der Auslegung der Elektrolyse und der wirtschaftlichen Kennzahlen aufgeführt. Um, auf Basis der angenommenen Stromerzeugungskapazitäten, 420 Tonnen Wasserstoff pro Jahr zu erzeugen, muss die Elektrolyse eine Leistung von 5 Megawatt bei 4.384 Volllaststunden aufweisen. Der Speicher hat eine Größe von 2 Tonnen Wasserstoff.



Techno-ökonomische Kennzahlen zur Elektrolyse in Lindenberg via Business-Case-Tool BBHC.

5 a inkl. sta s t a k na a
t k E t k
€ kg
€ kg is dana keine Q otenerl se e rent alten
er arkt ng z B rsenpreisen

Abbildung 41: Techno-ökonomische Kennzahlen zur Elektrolyse in Lindenberg via Business-Case-Tool BBHC.

Die Gesteungskosten für ein Kilogramm Wasserstoff belaufen sich unter Berücksichtigung von Förderung und THG-Quotenerlösen bis 2030 auf 9,97 Euro pro Kilogramm. Insgesamt ergibt sich für den Projektzeitraum von 20 Jahren ein Kapitalwert von knapp über 5 Millionen Euro. Das Projekt bzw. das Geschäftsmodell sind positiv zu bewerten.

In Abbildung 42 sind die Ergebnisse einer Sensitivitätsbetrachtung dargestellt. Neben dem Default-Fall, der bereits beschrieben ist, sind zwei Fälle betrachtet. Im ersten Fall (Abbildung 42, mittlere Balken) sinken die Einkaufskosten für den Strom von 12 auf 10 Cent pro Kilowattstunde. Der Kapitalwert steigt um 180 % auf über 14 Millionen Euro.

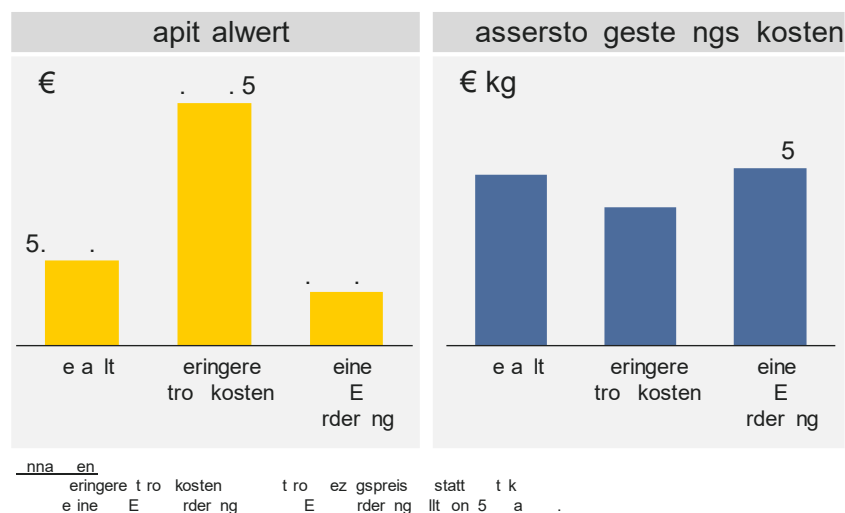


Abbildung 42: Sensitivitätsanalyse der Wirtschaftlichkeit der untersuchten Elektrolyse- und Stromerzeugungskonfiguration; Quelle: Darstellung BBHC.

Im zweiten Fall (Abbildung 42, rechte Balken) ist angenommen, dass für die Investitionskosten keine Förderung eingeworben wird¹⁹. Dadurch sinkt der Kapitalwert um 37 % und die Wasserstoffgestehungskosten steigen um ca. 3 % auf 5 € kg_{H2}.

Um das Projekt weiterzuentwickeln und zu einer Investitionsentscheidung zu kommen, stimmt AllHydro in den nächsten Schritten die Abnahme des Wasserstoffs durch potenzielle Interessenten ab, sondiert mögliche Strombezugsoptionen und sichert sich die Finanzierung des Vorhabens. Dazu soll unter anderem das Netzwerk der umsetzungswilligen Akteure genutzt werden, das sich im Rahmen des HyExperts-Projekts gebildet hat (siehe Kapitel 5 und 6).

Weitere Projektansätze

Neben den beschriebenen Projekten gibt es zwei weitere Ansätze zur Erzeugung von Wasserstoff.

In Röthenbach im Landkreis Lindau (Bodensee) soll perspektivisch eine Wasserstoff-Erzeugungsanlage errichtet werden, die eine jährliche Produktion von 120 Tonnen realisiert. Die Anlage soll Wasserstoff über das durch die Firma blueFLUX patentierte Hydrolyse-Verfahren erzeugen. Der Eingangsstoff ist Klärschlamm, der in der Region als Reststoff anfällt. Dadurch trägt die Anlage nicht nur zu einer regionalen Erzeugungskapazität bei, sondern unterstützt die regionale Entsorgung von Biomasse. Nach Aussage von blueFLUX können neben Klärschlamm auch andere organische Reststoffe eingesetzt werden.

In Kempten betreibt der Zweckverband für Abfallwirtschaft Kempten bzw. die ZAK Energie GmbH ein Müllheizkraftwerk (MHKW). Der dort produzierte Strom eignet sich grundsätzlich gut für die Wasserstofferzeugung per Elektrolyse, da der erneuerbare Strom kontinuierlich produziert wird und somit die in Kapitel 4.3 beschriebenen Herausforderungen der volatilen Stromversorgung eines

¹⁹ Nach AGVO ist eine CAPEX-Förderung für die Elektrolyse von bis zu 45 % möglich, für KMU bis zu 65 % [AGVO Artikel 41 Nr. 6 a) & b), 7].

Elektrolyseurs nicht gegeben sind. Auf der anderen Seite besteht die Herausforderung, dass durch die aktuell hohen Strompreise eine alternative Vermarktung des Stroms an der Börse lukrativer ist als die Produktion von Wasserstoff. Zusätzlich besteht regulatorische Unsicherheit, ob der über MHKW- produzierte Wasserstoff als „erneuerbar“ eingestuft werden kann. Der in Kapitel 4.3 eingefügte Exkurs zur Verordnung der EU-Kommission umfasst nur Wasserstoff, der über nicht-biogene Pfade hergestellt wird. Über das Bundesimmissionsschutzgesetz soll eine entsprechende Definition für den Pfad über biogene Edukte ausgestaltet werden. Bis darüber regulatorische Sicherheit herrscht, erscheint eine Umsetzung des Projektes zu risikobehaftet.

4.5 IMPORT VON WASSERSTOFF

Für die Deckung des prognostizierten Wasserstoffbedarfs in Deutschland ist zukünftig der Import von Wasserstoff unabdingbar. Zum heutigen Zeitpunkt (Februar 2023) gibt es noch keine vernetzte, deutschland- oder europaweite Infrastruktur zur Verteilung von Wasserstoff. Die Verteilung der heute transportierten Wasserstoffkontingente erfolgt über Trailer-Lkw. Aufgrund der steigenden Wasserstoffbedarfe in Industrie und Verkehr wird die Kapazität des straßengebundenen Transports kurz- bis mittelfristig allerdings nicht mehr ausreichen, um ausreichende Wasserstoffmengen zu transportieren. Die notwendigen Transportkapazitäten werden über ein Pipelinenetz realisiert, das die Importknoten mit den Abnahmezentren verbindet. Importe erfolgen bspw. über die Häfen in Rotterdam und Norddeutschland oder über Pipeline-Anschlusspunkte in Südeuropa. Für die Planung und Umsetzung gibt es bereits zahlreiche Initiativen, der genaue Aufbauplan mit Zeitskala und Verlauf der Pipelines ist jedoch noch nicht gewiss.

Um eine Indikation zu erhalten, wie und wann die Region HyAllgäu*-Bodensee an das kontinentale bzw. deutsche Wasserstoff-Pipelinenetz angebunden wird, empfiehlt sich die Karte des European Hydrogen Backbone (<https://ehb.eu/page/european-hydrogen-backbone-maps>). Im Jahr 2030 gelangt je ein Pipeline-Strang aus Norddeutschland, Südeuropa und Osteuropa in das

Bundesland Bayern. Auffällig ist hingegen, dass die Region HyAllgäu*-Bodensee noch nicht an das große Verteilnetz angebunden ist. Erst im Jahr 2040 führt eine umgewidmete Erdgas-Pipeline in die HyExperts-Region.

Dies ist auf der einen Seite ein Nachteil, da die Region HyAllgäu*-Bodensee im Vergleich zu anderen Regionen zeitlich verzögert große Wasserstoffmengen via Pipeline importieren kann. Auf der anderen Seite offenbart diese Situation ein „window of opportunity“ für die Umsetzung regionaler Erzeugungsprojekte. Die Konkurrenz von ggf. günstigerem Wasserstoff ist erst mal nicht gegeben, sodass regionale Erzeugungskapazitäten eher Abnehmer finden. Dies bietet den Erzeugungsprojekten Zeit zur Amortisation der Investitionen, um dann gestärkt in den möglichen Wettbewerb mit importiertem Wasserstoff zu gehen.

5 REGIONALES H₂-SYSTEM

5.1 ZUSAMMENFASSUNG

Die identifizierten Projektansätze der H₂-Bedarfe und der regionalen Wasserstoffherzeugung wurden in ein Modell des regionalen H₂-Systems überführt. Ziel war es dabei, die Bedarfs- und Erzeugungsprojekte miteinander zu verbinden und mögliche regionale H₂-Systeme abzubilden.

Das regionale H₂-System wurde für ein Basis-Szenario, mit den identifizierten konkreten Projektansätzen, und ein Progressiv-Szenario, mit allen weiteren Projektansätzen, modelliert. Dabei wurde die gesamte Wertschöpfungskette von der Erzeugung, Speicherung, Transport bis zur Verteilung des Wasserstoffs über ein Tankstellensystem abgebildet. Schwerpunkt war dabei die mittel- und langfristige Betrachtung der Jahre 2025 und 2030.

Mit der Modellierung konnte aufgezeigt werden, wie sich ein Aufbau des regionalen H₂-Systems gestalten könnte und welche Rolle einzelne Projektansätze in diesem System spielen. Zudem lassen sich Ableitungen treffen, welche Erzeugungs-, Speicher-, Transport- und Verteil-Infrastrukturen für das regionale H₂-System benötigt werden.

Zentraler Baustein eines vernetzten H₂-Systems sind die regionalen Wasserstofftankstellen, an denen der regional erzeugte Wasserstoff an die Brennstoffzellenfahrzeuge der regionalen Akteure abgegeben wird. Eine erste Wasserstofftankstelle wird bereits 2023 in Memmingen errichtet. Zusätzlich werden aktuell vier Wasserstofftankstellen-Projekte in der Region geplant. Die vier Tankstellen sollen vor allem zur Versorgung von Nutzfahrzeugen und Bussen genutzt werden. Eine potenzielle Tankstelle im Lindauer Hafen soll zudem bimodal ausgelegt werden, sodass dort Schiffe, die mit Brennstoffzelle ausgestattet sind, tanken können.

5.2 MODELLIERUNG EINES REGIONALEN H₂-SYSTEMS

Ziel der Modellierung ist die Abbildung eines regionalen H₂-Systems, in dem alle lokalen Nachfrage- und Erzeugungsprojekte integriert betrachtet werden. Die Modellierung erfolgt über ein Optimierungsmodell auf Basis des regionalen BBHC Energiesystemmodells R²EnSysMod (siehe auch Dokumentation im Anhang). Das Optimierungsmodell bildet sowohl die Erzeugung und Nachfrageprojekte als auch die notwendigen Speicher- und Transportkapazitäten ab. Das Modell minimiert die gesamten Systemkosten aller Komponenten. Dazu werden Kostenannahmen der Komponenten zu Erzeugungs-, Speicher- und Transportkapazitäten und der Verteilung über die HRS im Modell hinterlegt. Damit liefert das Modell eine Indikation für ein kostenoptimales regionales H₂-System.

Das regionale H₂-System wurde für die Stützjahre 2025 und 2030 modelliert. Die Ergebnisse für die Stützjahre geben damit eine Orientierung für die Entwicklung des regionalen H₂-Systems ab dem Jahr 2025. Es sind zwar auch Nachfragemengen bereits für die Jahre 2023/2024 identifiziert worden, da in diesem Zeitraum jedoch absehbar noch keine regionalen Erzeugungskapazitäten vorliegen, wurde auf die Modellierung dieser Jahre verzichtet. Die Deckung der Bedarfe in diesen Jahren muss über Importe außerhalb der Region erfolgen.

Es werden dabei zwei Szenarien umgesetzt. Zum einen ein Basis-Szenario mit den identifizierten konkreten Projektansätzen mit hoher Umsetzungswahrscheinlichkeit. Zum anderen wird auch für ein Progressiv-Szenario ein regionales H₂-System modelliert. In das Progressiv-Szenario wurden dabei auch die weiteren Projektansätze integriert.

Die Nachfragemengen der Projektansätze werden dem Modell als festgesetzte Werte vorgegeben. Die Deckung der vorgegebenen Nachfrage erfolgt dann auf Basis der minimierten Gesamtkosten durch die H₂-Erzeugung der regionalen Erzeugungsprojekte. Dabei sind auch Annahmen zur zeitlichen Umsetzung der regionalen Erzeugungsprojekte mit eingeflossen. Bei der Modellierung wurden vier verschiedene H₂-Erzeugungskonzepte betrachtet. Zum einen die H₂-Elektrolyse aus Netzstrom sowie die Elektrolyse aus einer direkten Nutzung der

Stromerzeugung der EE-Anlagen im Wertachtal und dem MHKW in Kempten. Es wird angenommen, dass die Kapazitäten in Kempten erst perspektivisch im Stützjahr 2030 zur Verfügung stehen. Zudem wurden auch die Projektansätze der Erzeugung von Wasserstoff aus Klärschlamm-Thermolyse mit einbezogen. Hierbei wurden der Standort in Röthenbach im Cluster Lindenberg im Basis-Szenario sowie im Progressiv-Szenario auch ein weiterer Standort im Cluster Kaufbeuren in der Modellierung abgebildet.

Der Transport des Wasserstoffs erfolgt im Modell über Trailer als komprimierter Wasserstoff bei 500 bar zwischen den Standorten. Ein Transport mit Trailern mit verflüssigtem Wasserstoff oder eine Pipeline wurden aufgrund der kurzen Transportdistanzen bzw. der Transportmengen ausgeschlossen.²⁰

Im Modell werden die 8.760 h eines Jahres für die beiden Stützjahre abgebildet. Die Erzeugungskapazitäten erneuerbarer Energie können so in stündlicher Auflösung in das Modell anhand typischer Erzeugungsmuster integriert werden (siehe Abschnitt 4.4). Ein zentraler Faktor für die Wirtschaftlichkeit der H₂-Erzeugung sind die erreichbaren Volllaststunden. Ein wesentlicher Einflussfaktor ist dabei die Maßgabe für das regionale H₂-System, dass die Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff erfolgen soll. Dabei sind die Vorgaben der RED II zu beachten (siehe Abschnitt 2.2.2). Die resultierende Verfügbarkeit der Input-Parameter der Erzeugungstechnologien ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht der Verfügbarkeit der Input-Parameter des Modells

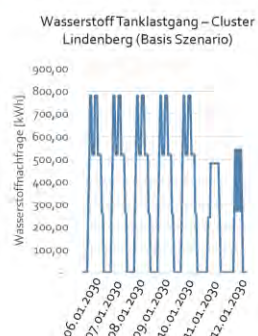
Technologie	Verfügbarkeit (Volllaststunden) der Input-Parameter
Elektrolyse aus EE-Anlagen (PV und Wind)	Die Verfügbarkeit richtet sich nach den hinterlegten Erzeugungszeitreihen PV und Wind (siehe Abschnitt 4.4).
Elektrolyse aus Netzstrom (PPA)	Maximale Volllaststunden 6.500 des EE-Netzstrombezugs, um Vorgaben für erneuerbaren Wasserstoff zur monatlichen Gleichzeitigkeit nach RED II einzuhalten.
MHKW	8.000 Volllaststunden Verfügbarkeit der Stromerzeugung.
Klärschlamm-Thermolyse	Maximale Volllaststunden 6.500 des EE-Netzstrombezugs wie bei Elektrolyse aus Netzstrom. Die Verfügbarkeit des Klärschlammes ist nicht zeitlich begrenzt.

Zudem wird auch die Nachfrage auf stündliche Nachfragelastgänge aufgeteilt. Dies ist in der nachfolgenden Abbildung für das Cluster Lindenberg sowie das Cluster Lindau am Beispiel ausgewählter Wochen dargestellt. Der Nachfragelastgang der HRS in Lindenberg folgt einem typisierten Tankverhalten mit Spitzen über den Tag. Der Verbrauch im Nachfragestandort des Hafens Lindau wird im Winter im Progressiv-Szenario durch den Verbrauch des BHKW bestimmt.

²⁰ Eine Indikation, ab wann sich ein Transport über Pipeline oder verflüssigten Wasserstoff lohnt, liefert Yang g den „eter i ning t e owest- ost drogen eli er od e“ <https://escholarship.org/content/qt0st9s56s/qt0st9s56s.pdf?t=l3gmly>

Im Sommer hingegen ergeben sich deutliche Lastspitzen durch die tägliche Betankung der Schiffe der Bodenseeschifffahrt. Dieses Vorgehen stellt gegenüber einer jährlichen Berechnung eine bessere Abbildung der benötigten Speicher- und Transportkapazitäten sicher.

► Beispiel Nachfragelastgang HRS



► Beispiel Nachfragelastgang Hafen Lindau (Sommer Schifffahrt – Winter BHKW)

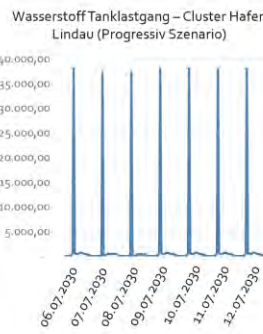
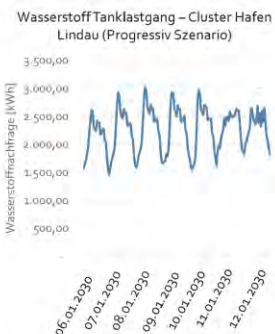


Abbildung 43: Beispielhafte Nachfragelastgänge für ausgewählte Wochen

5.2.1 Transport und Verteilung Basis-Szenario

In den nachfolgenden beiden Karten werden die Ergebnisse der benötigten Transport- und Verteilinfrastruktur des Basis-Szenarios dargestellt. Die Abbildung enthält neben den Clustern und den Projektstandorten auch die möglichen Transportrouten zwischen den Clustern. Die Systemgrenzen der betrachteten Region sind als Grenzen der beteiligten Landkreise zur Verdeutlichung hinterlegt. Auf den Karten sind die jährlichen Erzeugungsmengen der Projektstandorte sowie die jährlichen Transportmengen zwischen den Clustern als Wasserstoffmengen in t H₂ hinterlegt.

Ergebnisse für das Basis-Szenario 2025

Im Basis-Szenario stellt der Elektrolyseur in Lindenberg im Jahr 2025 die gesamte jährliche Kapazität in Höhe von 224 t H₂ bereit. Der mögliche Elektrolysestandort

im Wertachtal wird noch nicht genutzt. Zudem kommt im Modell auch der mögliche Thermolysestandort in Lindenberg nicht zum Einsatz. Die Verbrauchszentren liegen im Jahr 2025 in Lindenberg und Lindau. Durch die räumliche Nähe des Elektrolyseurs zu den Verbrauchszentren ergeben sich Vorteile in der Verteilung des Wasserstoffs. Ein kleinerer HRS-Standort in Memmingen und die stoffliche Nachfrage nach Wasserstoff werden ebenfalls über den Elektrolyseur in Lindenberg, mit Zwischenstationen in Kempten bzw. Kaufbeuren, versorgt.

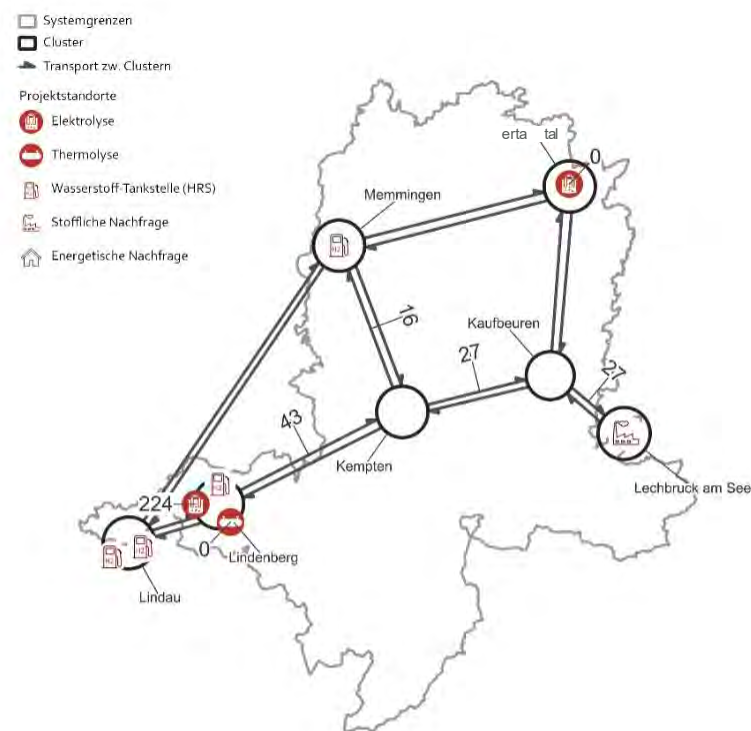


Abbildung 44: Übersicht Basis-Szenario Cluster 2025, Werte in t H₂ pro Jahr

Ergebnisse für das Basis-Szenario im Jahr 2030

Bis zum Jahr 2030 erfolgt ein starker Ausbau der Elektrolysekapazitäten. Das regionale H₂-System wird um weitere Erzeugungs- und Nachfragestandorte ergänzt. Der Elektrolysestandort in Lindenberg wird von einer jährlichen Kapazität von 224 t H₂ auf 785 t H₂ erweitert. Der Standort in Lindenberg versorgt dabei weiterhin die Nachfrage in den Clustern in Lindenberg und Lindau. Von den in Lindenberg erzeugten 785 t H₂ werden 443 t H₂ in das Cluster Lindau transportiert.

Als weiterer Schwerpunkt der Erzeugung wird der Standort im Wertachtal im Jahr 2030 auf eine jährliche Kapazität von 156 t H₂ ausgebaut. Über den Standort im Wertachtal werden sowohl die HRS in Kaufbeuren als auch die stoffliche Nachfrage in Lech am See versorgt.

Es wird zudem ein kleinerer Elektrolyseur in Kempten errichtet, der die HRS im Cluster Memmingen mit 15 t H₂ im Jahr versorgt.

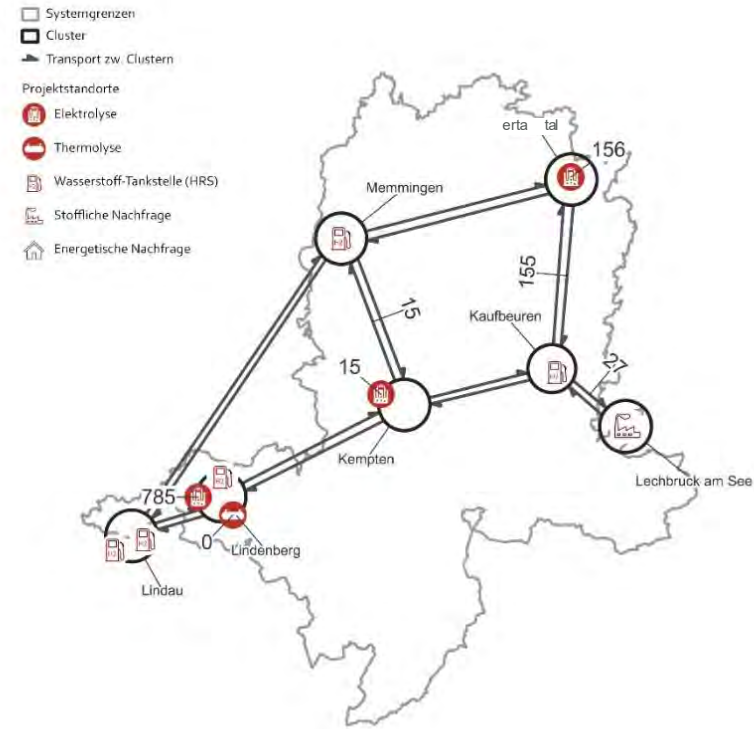


Abbildung 45: Übersicht Ergebnisse Basis-Szenario 2030, Werte in t H₂ pro Jahr

5.2.2 Transport und Verteilung Progressiv-Szenario

In den nachfolgenden beiden Karten werden wiederum die Ergebnisse der benötigten Transport- und Verteilinfrastruktur des Progressiv-Szenarios dargestellt. Auf den Karten sind ebenfalls die jährlichen Erzeugungsmengen der Projektstandorte sowie die jährlichen Transportmengen zwischen den Clustern dargestellt.

Ergebnisse für das Jahr 2025

Im Progressiv-Szenario werden die Elektrolysekapazitäten bereits im Jahr 2025 im Vergleich zum Basis-Szenario deutlich ausgebaut. Die Elektrolyse mit Standort in Lindenberg stellt dann bereits im Jahr 2025 eine Kapazität von 530 t H₂ bereit. Dies stellt eine Verdopplung gegenüber den Modellergebnissen für das Basis-Szenario dar. Zudem wird der Standort im Wertachtal auf eine jährliche Kapazität von 138 t H₂ ausgebaut. Der Elektrolysestandort in Lindenberg versorgt weiterhin die Nachfrage in den Clustern Lindenberg und Lindau. Zudem wird auch die im Progressiv-Szenario zusätzlich vorgesehene HRS in Kempen über den Standort in Lindenberg mitversorgt.

Auf den Elektrolyseur im Wertachtal entfällt die Versorgung der HRS in den Clustern in Kaufbeuren, Memmingen und Füssen sowie die stoffliche Nachfrage in Lech am See mit einer jährlichen Kapazität von 138 t H₂. Es wurden zudem ungenutzte Potenziale zum Ausbau von Klärschlamm-Thermolyse für die Standorte in Lindenberg und Kaufbeuren vorgesehen.

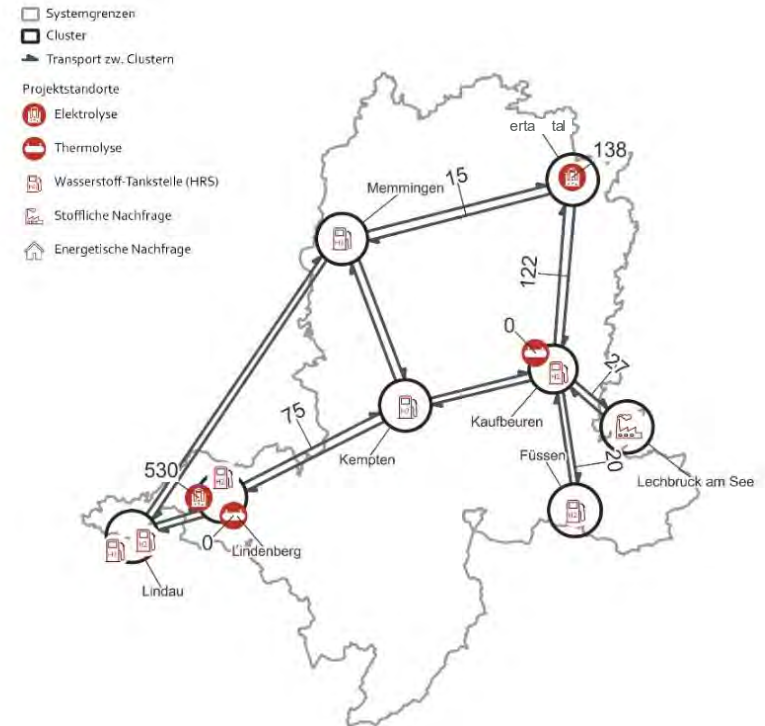


Abbildung 46: Übersicht Ergebnisse Progressiv-Szenario 2025, Werte in t H₂ pro Jahr

Ergebnisse für das Jahr 2030

Für das Jahr 2030 ergibt sich im Progressiv-Szenario ein vergleichsweise komplexes regionales H₂-System durch den starken Anstieg der Nachfragemengen. Neben den Elektrolysestandorten in Lindenberg und im Wertachtal wird auch der Standort in Kempten auf eine Kapazität von 1.166 t H₂ ausgebaut. Durch den starken Anstieg der Nachfrage versorgt der Elektrolyseur in Kempten auch die HRS-Standorte in Lindenberg, Kaufbeuren und Memmingen. Zur Abdeckung von Lastspitzen ergeben sich gegenteilige H₂-Flüsse zwischen den Standorten. So werden über den Elektrolyseur in Lindenberg in Spitzenlastzeiten auch Mengen für den Standort in Kempten in Höhe von 7 t H₂ bereitgestellt. Ebenso drehen sich die H₂-Transportmengen zwischen den Clustern Lindau und Memmingen im Jahresverlauf je nach Auslastung um.

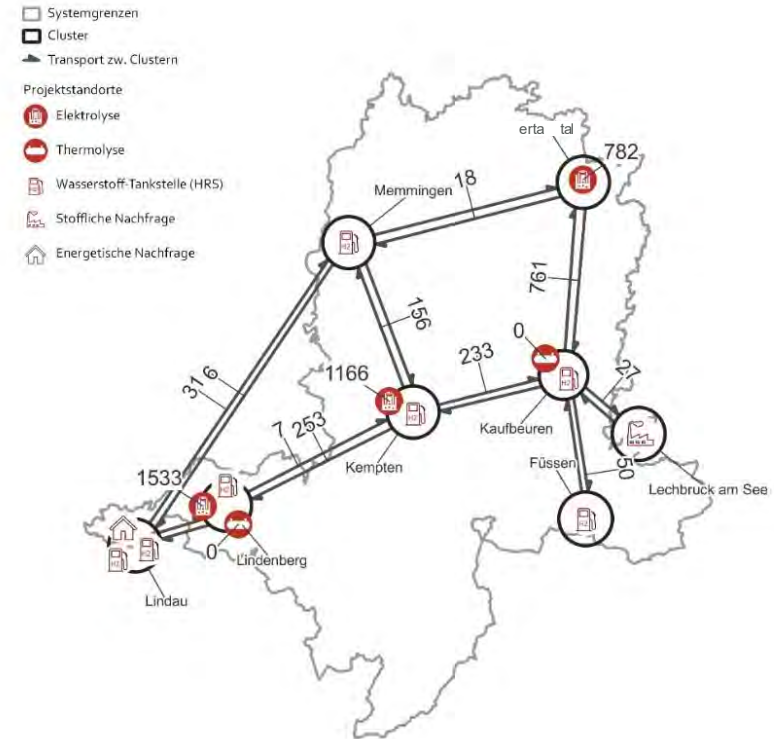


Abbildung 47: Übersicht Ergebnisse Progressiv-Szenario 2030, Werte in t H₂ pro Jahr

5.2.3 Anzahl benötigter H₂-Trailer

Aus den Modellergebnissen kann eine Indikation für die Anzahl der benötigten H₂-Trailer abgeleitet werden. Die im Modell hinterlegten Transportdauer und -kosten der Trailer sind Annäherung an die realen Entfernungen zwischen den Clustern. Der H₂-Trailer wird am Elektrolyseur befüllt und anschließend per Sattelzug zum Nachfragestandort transportiert. Eine zusätzliche Kompression auf erforderliche Druckniveaus erfolgt direkt an der Tankstelle.

Im Basis-Szenario werden im Jahr 2025 8 Trailer und im Jahr 2030 10 Trailer benötigt. Die Auslastung der Trailer im Jahr 2030 ist deutlich erhöht. Die Anzahl der bedienten Transportstrecken steigt zwischen den Jahren 2025 und 2030 nicht mehr wesentlich an, die transportierten Mengen erhöhen sich jedoch wesentlich.

Im Progressiv-Szenario werden für die Transporte zwischen den Clustern im Jahr 2025 12 und im Jahr 2030 22 Trailer benötigt. Durch den starken Anstieg der Mengen und der zu bedienenden Nachfragestandorte erfolgt fast eine Verdopplung der benötigten Trailerkapazitäten.

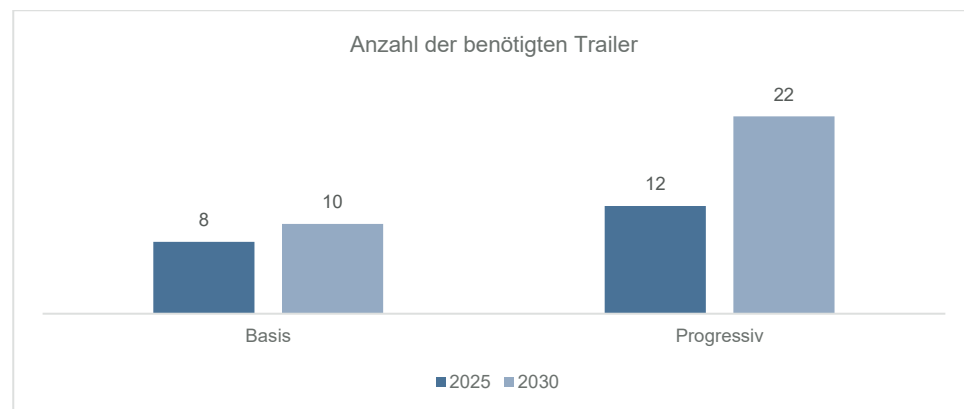


Abbildung 48: Übersicht zur Abschätzung der benötigten Trailerkapazitäten

5.2.4 H₂-Gestehungskosten

Als weiteres wesentliches Ergebnis können aus den Modellergebnissen H₂-Gestehungskosten abgeleitet werden. Diese sind in den nachfolgenden beiden Abbildungen sowohl für das Basis-Szenario als auch das Progressiv-Szenario dargestellt. Die Gestehungskosten umfassen sowohl die Kosten der H₂-Erzeugung als auch die Transport-, Speicher- und Verteilungskosten über die HRS. Im Fall der industriellen Nutzung von H₂ entfallen die HRS-Kosten, da eine direkte Belieferung per Trailer erfolgen kann. Die berechneten H₂-Gestehungskosten unterscheiden sich je nach Standort. Wesentlicher Einflussfaktor für Standortunterschiede sind die spezifischen Kosten der HRS. Eine hohe Auslastung der HRS-Standorte ist für einen wirtschaftlichen Betrieb sehr vorteilhaft, da so die spezifischen Kosten über eine höhere Deckung der fixen Investitionskosten deutlich gesenkt werden können.

Im Basis-Szenario wurden als Mittelwert über alle Standorte Kosten in Höhe von € je kg H₂ für das Jahr 2030 berechnet. Wesentlicher Treiber für die Verringerung der Kosten sind die Annahmen zum Strompreisniveau (siehe Abschnitt 4.3). Bei einem hohen Strompreisniveau dominieren die Gestehungskosten der Elektrolyseure das allgemeine Kostenniveau. Die Elektrolyseure erreichen in allen Szenarien und Jahren eine hohe Auslastung mit Volllaststunden zwischen 5.000 und 6.500 h (siehe nachfolgender Abschnitt). Die vergleichsweise hohen Kosten der teuersten Standorte von bis zu € pro kg H₂ sind durch die HRS-Kosten bestimmt und unterstreichen die Bedeutung einer hohen Auslastung der Standorte.

Im Progressiv-Szenario ergeben sich im Jahr 2025 nur unwesentliche Unterschiede zur Kostenstruktur des Basis-Szenarios. Im Jahr 2030 gleichen sich die Kosten der Standorte stark an. Durch den erhöhten Bedarf an Trailern aufgrund der komplexeren Nachfragestruktur steigen zudem die Transportkosten an. Die spezifischen Kosten der Verteilung über die HRS sinken jedoch deutlich.

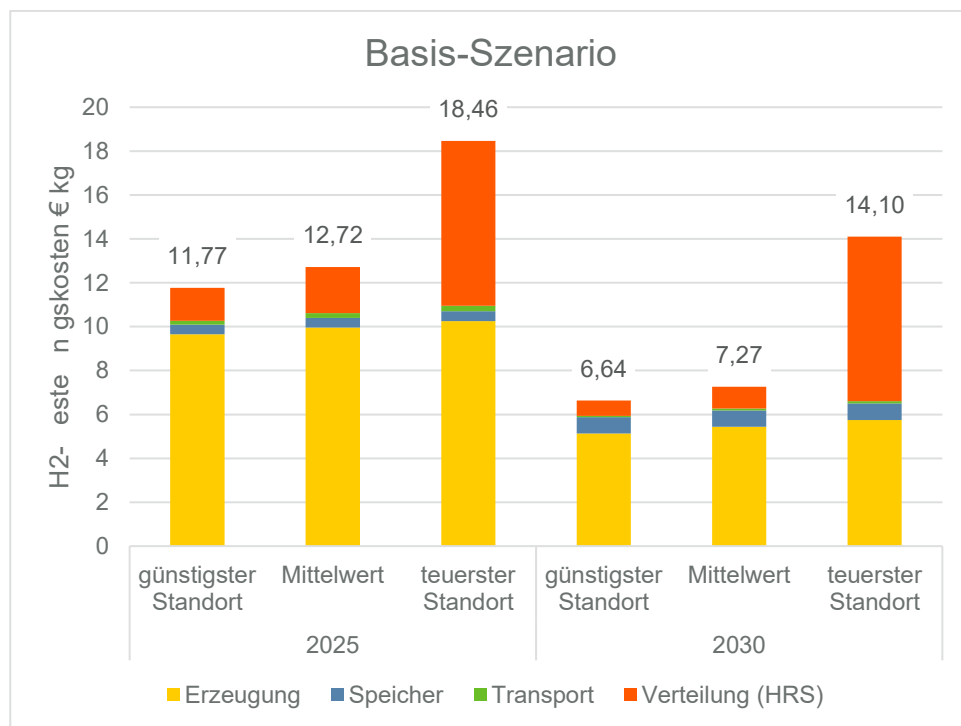


Abbildung 49: H₂-Gestehungskosten im Basis-Szenario

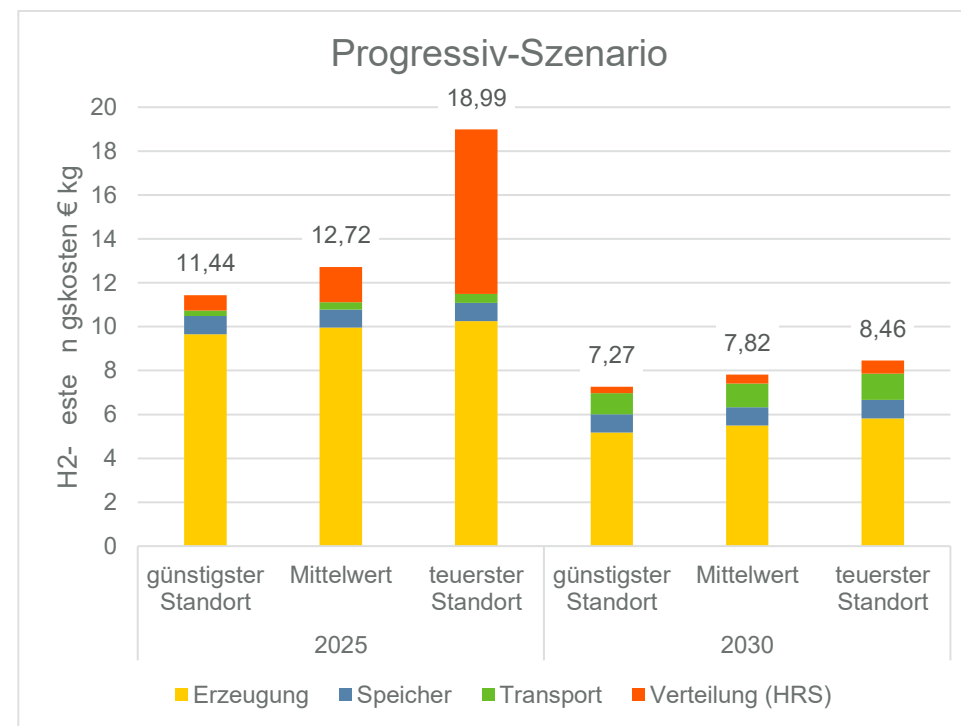


Abbildung 50: H₂-Gestehungskosten im Progressiv-Szenario

5.2.5 Überblick Ergebnisse gesamtes regionales H₂-System

Szenario	Basis			Progressiv		
Jahr	2023/24	2025	2030	2023/24	2025	2030
H2-Nachfrage in t H₂/a	96	224	951	137	665	3.462
davon Mobilität ^a	69	197	924	110	638	3.230
davon stoffliche Nutzung ^b	27	27	27	27	27	27
davon Niedertemp.-Wärme ^c	0	0	0	0	0	205
H2-Erzeugungskapazitäten in t H₂/a	0	224	951	0	665	3.462
Dezentrale Elektrolyse (Netzstrom)	0	224	780	0	530	1.533
Elektrolyse MHKW	0	0	15	0	0	1.166
Elektrolyse erneuerbare Energien ^d	0	0	156	0	135	782
Thermolyse aus Klärschlamm	0	0	0	0	0	0
H2-Importpotenziale [t H₂/a]						
davon aus überregionalen Quellen ^e	Zur Nachfragedeckung	Kein Import, regionales System	Kein Import, regionales System	Zur Nachfragedeckung	Kein Import, regionales System	Kein Import, regionales System
Systemkennzahlen						
H ₂ -Gestehungskosten in EUR/kg H ₂	Nicht modelliert	12,81	8,57	Nicht modelliert	14,51	7,82
Volllaststunden H ₂ -Erzeuger ^f	Nicht modelliert	5.020	6.387	Nicht modelliert	5.830	6.568
H ₂ -Speicherleistung in t H ₂ pro h	Nicht modelliert	0,05	0,36	Nicht modelliert	0,3	1,6

a | Mobilität umfasst das Tanken von Lkw, Busen und Schiffen.

b | Metallverarbeitender Betrieb

c | Im BHKW mit Fernwärmenetz in Lindau (Laufzeit Oktober bis April).

d | PV-Freiflächenanlagen und Windenergieanlagen

e | Nicht im Modell errechnet.

f | Im Fall der Elektrolyse über Netzstrom wird angenommen, dass eine Gleichzeitigkeit mit EE-Anlagen zur Erzeugung von grünem Wasserstoff im Rahmen von PPA umgesetzt werden kann.

5.3 H₂-TANKSTELLEN

Die Befüllung von Wasserstoff in das Brennstoffzellenfahrzeug erfolgt an Wasserstofftankstellen bzw. Hydrogen Refueling Stations (HRS). Um relevante Reichweiten für die Brennstoffzellenfahrzeuge zu erreichen, müssen ausreichende Mengen an Wasserstoff in den Fahrzeugtank gefüllt werden. Dafür kommen die in Abbildung 51 dargestellten Technologieoptionen infrage.

	CGH ₂ 350 bar Gasförmig & komprimiert	CGH ₂ 700 bar Gasförmig & komprimiert	sLH ₂ flüssig	CcH ₂ Kryokomprimiert (gasförmig)
Nominaldruck	350 bar	700 bar	16 bar	300 bar
Druck im Fahrzeugtank	350 bar	700 bar	5 – 16 bar	≤ 300 bar
Temperatur im Fahrzeugtank	-40 bis +85 °C	-40 bis +85 °C	-248 bis -245 °C	Ca. -240 bis -150 °C
Speicherdichte [g/L] und Energiedichte [kWh/L]	0,8 24,0	1,3 40,2	2,2 65,0	2,4 72,0
Reifegrad	HRS-Technologie Standards für HRS	HRS-Technologie Standards für HRS	HRS-Technologie Standards für HRS	HRS-Technologie Standards für HRS
Kommerzialisierung:				
Validierung:				
Prototyp:				
Idee/Forschung:				

Abbildung 51: Technologieoptionen zur Betankung von (schweren) Nutzfahrzeugen mit Wasserstoff; Datenquelle: H2 MOBILITY

Die marktreifste Technologieoption ist die Speicherung von Wasserstoff im Fahrzeugtank bei Drücken von 350 bzw. 700 bar²¹. 700-bar-Tanks finden sich vor allem in Pkw-Modellen, 350-bar-Tanks in schweren Nutzfahrzeugen. Die Erhöhung des Drucks von 350 auf 700 bar erhöht die Speicher- bzw. Energiedichte des Wasserstoffs im Fahrzeugtank um knapp zwei Drittel, erhöht aber auch die Anforderungen an Transportkette, Tankstelle und Fahrzeugtank, wodurch die Systemkosten steigen. Für die Betankung von flüssigem Wasserstoff muss der bei Umgebungstemperatur und -druck gasförmige Energieträger auf unter -245 Grad Celsius abgekühlt werden. Dieser Prozess ist sehr energieintensiv, verbessert jedoch die Fahrzeugreichweite durch die Erhöhung der Speicherdichte um zwei

Drittel gegenüber der Betankung bei 700 bar. Die Technologie ist am Markt noch nicht präsent, aufgrund der Reichweitenvorteile planen Fahrzeughersteller wie Mercedes-Benz jedoch entsprechende Fahrzeuge bzw. Tankstellen-Infrastrukturen²². Die beste Speicher- bzw. Energiedichte erzielt kryokomprimierter Wasserstoff. Kryokomprimierung bedeutet, dass der Wasserstoff auf -150 bis -240 Grad Celsius abgekühlt und gleichzeitig auf bis zu 300 bar komprimiert wird. Diese Technologieoption ist ebenfalls mit hohen Energieaufwänden verbunden und noch Gegenstand der Forschung.

5.3.1 Rahmenbedingungen und Anforderungen

Die Auslegung von Wasserstofftankstellen ist vor allem vom Anforderungsprofil, beispielsweise den Abgabemengen, abhängig, die fallspezifisch zu untersuchen sind. Im Folgenden wird der Fokus daher auf die 350-bar-Tankstellen gelegt, da diese Technologievariante einerseits die höchste Marktreife hat und andererseits in der Kurz- bis Mittelfrist am relevantesten für die regionalen Akteure ist, die Nutzfahrzeuge beschaffen wollen.

Grundsätzlich unterteilt sich der Aufbau einer Wasserstofftankstelle in Bereitstellung, eine Verdichter-/Speicher-Kombination und die Zapfsäule, über die der Wasserstoff an das Fahrzeug abgegeben wird. In Abbildung 52 sind beispielhaft verschiedene Anlagenkonfigurationen für eine 350-bar-Tankstelle dargestellt. Je nach Anforderung der Tankstelle können die Komponenten unterschiedlich dimensioniert oder kombiniert werden. Die Bereitstellung des Wasserstoffs kann entweder durch eine lokale Wasserstoffproduktion oder durch Anlieferung erfolgen. Handelt es sich um eine lokale Wasserstoffproduktion, wird der Wasserstoff anschließend komprimiert und in einem Niederdruckspeicher bei unter 200 bar gespeichert. Wird der Wasserstoff per Trailer oder Pipeline geliefert, wird der Wasserstoff entweder in den Niederdruckspeicher gefüllt oder der Trailer wird am Standort der Tankstelle als Niederdruckspeicher platziert. Damit der Wasserstoff aus dem Niederdruckspeicher in den Fahrzeugtank gelangt, müssen

²¹ <https://h2.live/>

²² <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/mobilitaet/daimler-betankt-wasserstoff-lkw-mit-fluessigwasserstoff/>.

Druckunterschiede hergestellt werden. Der Wasserstoff fließt vom höheren zum niedrigeren Druck „erst“.

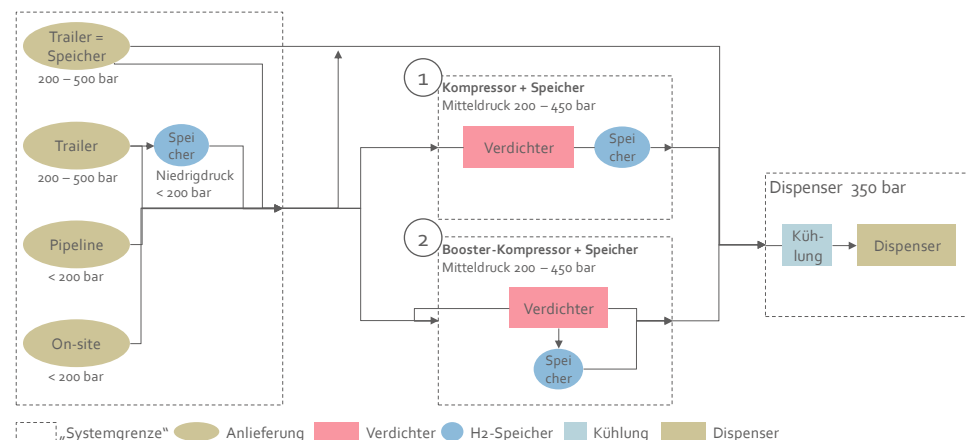


Abbildung 52: Schema für die technischen Optionen zur Auslegung einer 350-bar-Tankstelle; Quelle: BBHC

Erreicht nun ein Brennstoffzellen-Nutzfahrzeug die Tankstelle, wird der Fahrzeugtank bis zum Druckausgleich aus dem Niederdruckspeicher befüllt. Um die restlichen Kapazitäten des Tanks zu befüllen, muss der Wasserstoff auf höhere Drücke gebracht werden. Dazu werden Kombinationen aus Speicher und Verdichtern eingesetzt. Bei einer Kaskaden-Konfiguration wird zwischen den Fahrzeugbetankungen ein Mitteldruckspeicher befüllt, der den Wasserstoff bei bis zu 450 bar speichert. Dazu werden Kompressoren/Verdichter eingesetzt, die den Wasserstoff auf das notwendige Druckniveau komprimieren (siehe Nr. 1, Abbildung 52). Der Wasserstoff strömt aus dem Mitteldruckspeicher, bis der Fahrzeugtank ein Druckniveau von 350 bar erreicht hat. Eine Abwandlung dieser Verdichter-Speicher-Kombination ist der Einsatz eines Booster-Kompressors

(siehe Nr. 2, Abbildung 52). Dieser kann zwischen Betankungsvorgängen den Mitteldruckspeicher befüllen oder während einer Betankung Engpässe im Mitteldruckspeicher überbrücken, indem er den Wasserstoff direkt aus dem Niederdruckspeicher in den Fahrzeugtank komprimiert.

Die Wirtschaftlichkeit einer Wasserstofftankstelle hängt im Wesentlichen von der Marge zwischen Wasserstoffbezugspreis und -verkaufspreis sowie der Auslastung der Tankstelle ab. In Tabelle 2 sind die Annahmen für die Investitions- und Betriebskosten für verschiedene Tankstellengrößen dargestellt. Die Tankstellengrößen, die durch die Wasserstoffabgabemenge determiniert werden, sind an den Angaben von H2 MOBILITY orientiert²³.

Tabelle 2: Annahmen für die Investitions- und Betriebskosten von Wasserstofftankstellen unterschiedlicher Größen; Quelle: Berechnungen BBHC

	io. €			
	io. €/a			

In Abbildung 53 sind beispielhaft die jährlichen Einnahmen und Ausgaben der drei Tankstellengrößen dargestellt. Angenommen ist ein Wasserstoffbezugspreis von 8 Euro pro Kilogramm. Der Verkaufspreis liegt bei 10,80 Euro pro Kilogramm (netto) und orientiert sich am aktuellen Verkaufspreis an den Tankstellen von H2 MOBILITY²¹. Die Berechnungen zeigen, dass die Investitionskosten sowie die Betriebs- und Instandhaltungskosten bei der Wirtschaftlichkeit nur eine untergeordnete Rolle spielen. Der Betrieb einer Wasserstofftankstelle ist in den betrachteten Fällen dann wirtschaftlich, wenn die Marge zwischen An- und Verkauf von Wasserstoff mindestens 2,50 bis 2,80 Euro pro Kilogramm beträgt. Je nach Tankstellengröße und dem Strompreis variiert dieser Wert und ist im konkreten

²³ https://h2-mobility.de/wp-content/uploads/sites/2/2021/08/H2-MOBILITY_Overview-Hydrogen-Refuelling-For-Heavy-Duty-Vehicles_2021-08-10.pdf

Fall zu untersuchen. Dazu ist eine Auslastung jenseits von ca. 70 bis 80 % zu empfehlen, um die Tankstelle wirtschaftlich betreiben zu können.

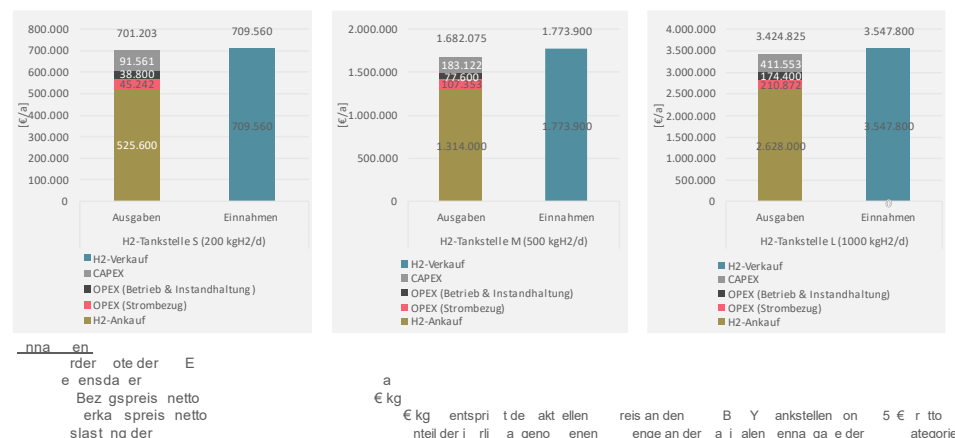


Abbildung 53: Jährliche Ausgaben und Einnahmen der Tankstellengrößen S, M und L; Quelle: Berechnungen BBHC

Um die geeignete Komponentenwahl zur Auslegung der Tankstelle zu treffen und ein funktionierendes Geschäftsmodell zu realisieren, ist möglichst früh in der Planungsphase die Abnahmesicherheit der Kunden zu gewährleisten. Das umfasst insbesondere Angaben der zu betankenden Fahrzeugmodelle, Fahrzeugzahlen und die Zyklen bzw. Abstände der Betankung.

5.3.2 Identifizierte H₂-Standorte

Im Rahmen dieser Arbeit wurden vier konkrete Standorte bzw. Bedarfe für H₂-Tankstellen identifiziert. Basis hierfür stellen die mit den Akteuren herausgearbeiteten H₂-Cluster und deren Bedarf dar, siehe Kapitel 3.

Diese H₂-Tankstellen können und sollten konkret geplant und geprüft werden. Weitere zusätzliche Bedarfe für H₂-Tankstellen sind bis 2030 ebenfalls im Rahmen des Progressiv-Szenarios aufgezeigt, siehe Näheres im Kapitel 5.3.3.

Eine erste H₂-Tankstelle wird bereits in Memmingen im Jahr 2023 in Betrieb gehen.

Die folgende Abbildung zeigt die identifizierten Standorte und Cluster für eine erste H₂-Nutzung.

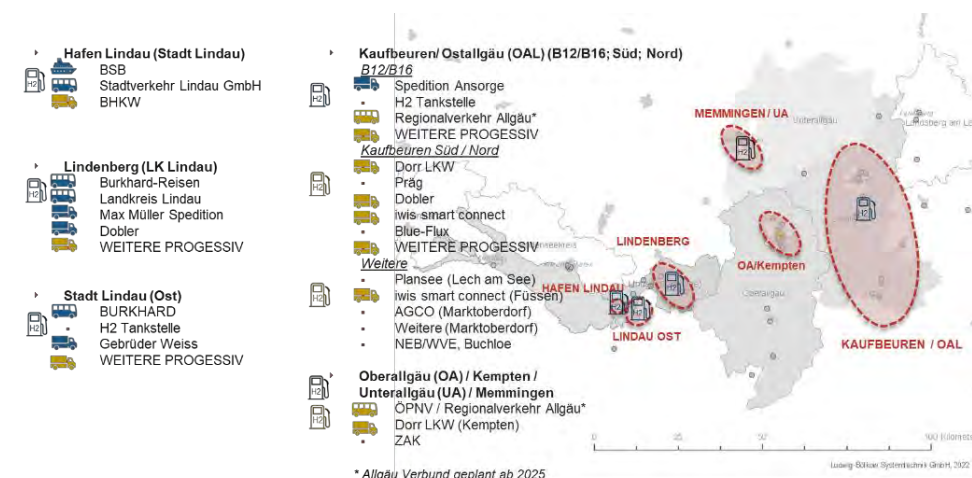


Abbildung 54: Zusammenfassung H₂-Standorte und H₂-Cluster für konkrete Projektansätze

Im **Cluster Lindenberg** werden ab Januar 2024 die ersten H₂-Busse im Linienverkehr des Landkreises Lindau (Bodensee) starten. Insgesamt sollen bis zu sechs H₂-Busse des Unternehmens AllHydro mit Wasserstoff versorgt werden. Weitere interessierte und potenzielle H₂-Abnehmer sind die Unternehmen Max Müller Spedition, Spedition Gebrüder Weiss und das Bauunternehmen Dobler.

Das **Cluster Lindau Ost** liegt günstig an der Autobahnausfahrt A96 und der B12 in Lindau. Hier besteht Interesse für eine H₂-Abnahme für Lkw und Busse. Wesentliche Interessenten sind hier Burkhard Reisen / AllHydro, die Spedition der Gebrüder Weiss mit Pendelverkehr nach Österreich und auch die Stadtwerke Lindau.

Im **Ostallgäu** besteht an der neugeplanten Anschlussstelle B12/B16 ein potenziell attraktiver H₂-Tankstellenstandort. Hier zeigt insbesondere die Spedition Ansoerge großes Interesse, da hier eine klare Dekarbonisierungsstrategie verfolgt wird und mit H₂-Lkw als eine Lösung konkret umgesetzt wird. Synergien könnten hier mit der Fernwärme Marktoberdorf weiterentwickelt und erschlossen werden, insbesondere bei der Wasserstoffherzeugung und Abwärmenutzung.

Am **Lindau-Hafen** sollten bei einer Betankung der Schiffe mit H₂ auch Synergien mit der Umstellung der städtischen Busflotte genutzt werden. Weitere Unternehmen in der Region sollen einbezogen werden. Jedoch stellt der Hafen selbst, mit seinem nur begrenzt verfügbaren Platzangebot, eine Herausforderung für die Errichtung einer H₂-Infrastruktur dar.

5.3.3 Flächendeckender Ausbau H₂-Tankstellen

Der flächendeckende Ausbau der H₂-Tankstelleninfrastruktur stellt ein zentrales Ziel für die erfolgreiche Einführung der H₂-Mobilität dar. Aktuell gibt es in Europa 254 H₂-Tankstellen, davon 105 in Deutschland, 44 in Frankreich und jeweils 17 in Großbritannien und den Niederlanden sowie 14 in der Schweiz. Im Jahr 2022 wurden in Europa 45 neue Tankstellen in Betrieb genommen, ein neuer Rekord. Aktuell werden die Planungen für weitere H₂-Tankstellen von vielen Unternehmen vorangetrieben und auch öffentlich gefördert.

Die folgende Abbildung zeigt öffentliche H₂-Tankstellen in Europa (in Betrieb und geplant). Jeder blaue Kreis um einen Tankstellenstandort stellt einen Radius von 250 km dar und veranschaulicht vereinfacht, dass bereits heute (insbesondere in Deutschland) eine flächendeckende Abdeckung zunehmend erreicht wird.

Für die Region HyAllgäu*-Bodensee sind auch weitere, grenznahe H₂-Tankstellen in Österreich und in der Schweiz von Bedeutung.

Die Bodenseeregion stellt am Dreiländereck mit der Binnenschifffahrt, dem Tourismus und dem Wirtschaftsverkehr eine Besonderheit dar, in der auch grenzüberschreitend der Aufbau der H₂-Infrastruktur vorangebracht werden kann

und auch vorangebracht werden sollte. Anknüpfungspunkt könnten hier auch gemeinsame EU-Förderprojekte sein.

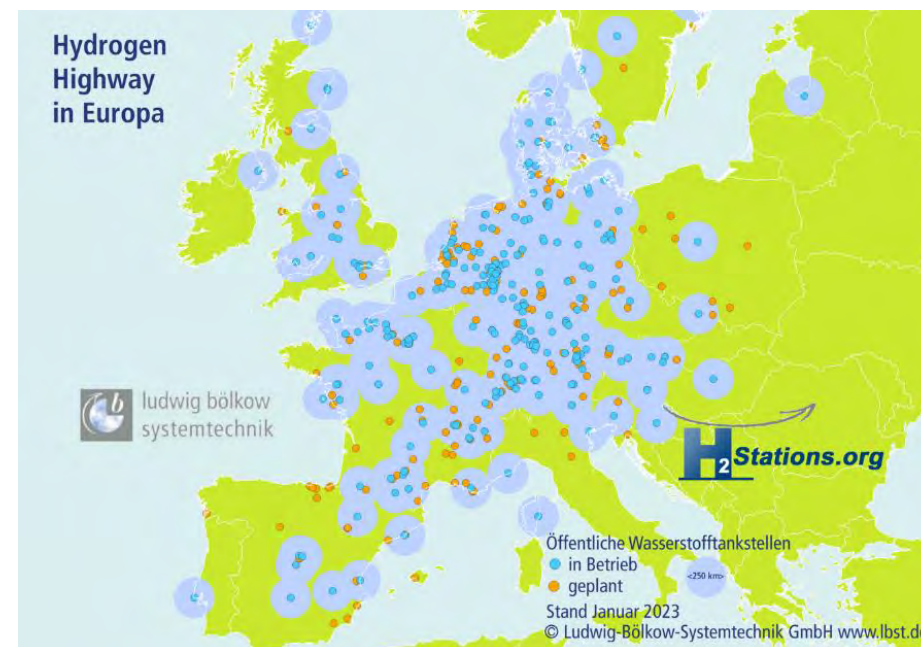


Abbildung 55: Überblick: Aktuelle H₂-Tankstellen in Europa (Quelle: LBST)

6 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Die folgende Grafik zeigt eine Übersicht über zentrale kurz-, mittel- und langfristig wirkende Maßnahmen nach Entwicklungsphase. Während erste H₂-Projekte anhand der vier konkreten Cluster gezielt kurzfristig aufgebaut werden, soll parallel bereits die Entwicklung von weiteren Clustern vorbereitet werden. Dazu ist es wichtig, dass kurzfristig über ein regionales Netzwerk und Koordination der Austausch und die Ansprache weiterer Akteure und Interessierter fortgeführt wird.

Auch sollten regionale und überregionale Förderanträge des Bundes und der EU geprüft werden, z. B. HyPerformer oder Hydrogen Valley.

Für die längerfristig (über-)regionale Marktentwicklung (ab 2030+) zum Aufbau einer flächendeckenden H₂-Infrastruktur und grünen H₂-Bereitstellung sollte der Austausch mit angrenzenden Regionen und Ländern zum Thema H₂ intensiviert werden. Hier können insbesondere das Thema Bodenseeschifffahrt wie auch die Idee einer H₂-Marktplattform ein wichtiges Element für die Regionen darstellen.

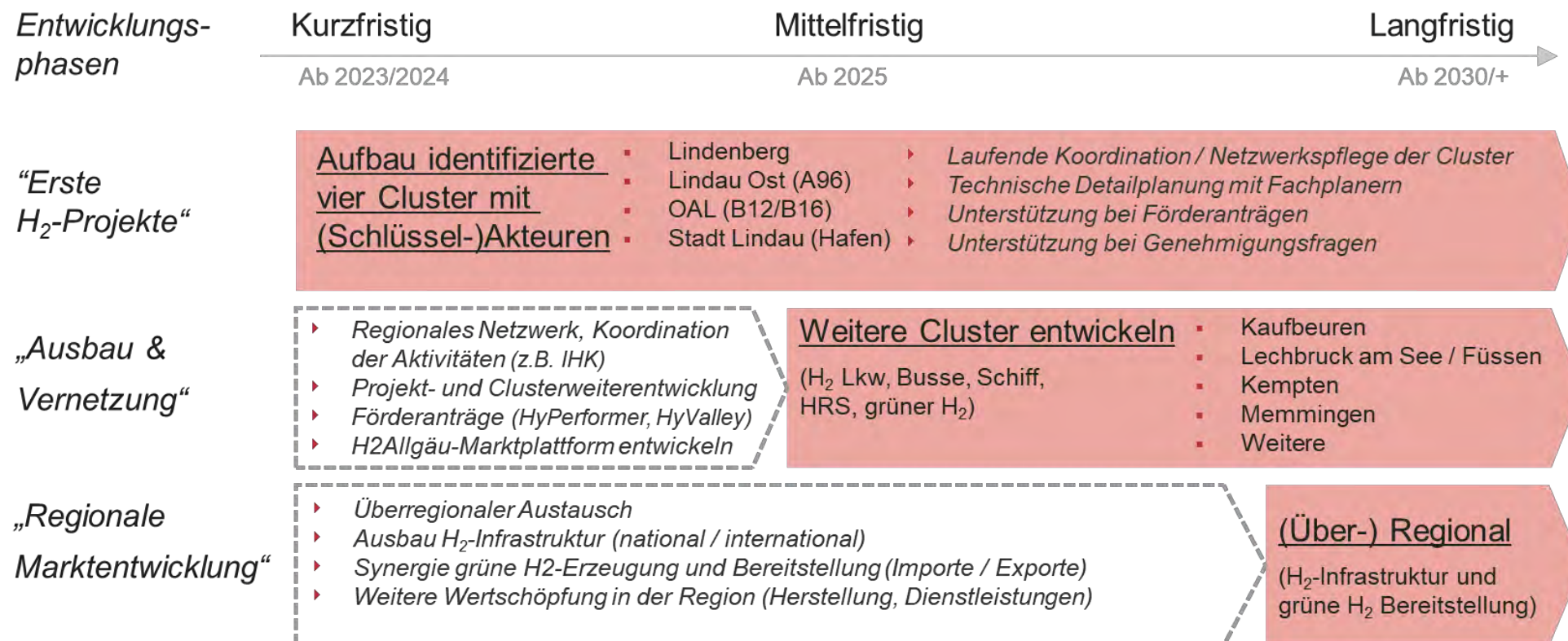


Abbildung 56: Übersicht zentraler Maßnahmenempfehlungen für die Weiterführung der Arbeiten

6.1 KURZFRISTIG (2023/2024)

Kurzfristig sollen die Gebietskörperschaften die Weiterführung und Koordination des H₂-Konzepts in den jeweiligen Kommunen mit den Unternehmen wie auch mit anderen Kommunen sicherstellen – sie e „oordination nd e tzerk“.

Für die weitere Ausarbeitung und Umsetzung der identifizierten Projektansätze und Cluster sollen mit den Unternehmen und Akteuren detaillierte Fachplanungen (zu Fahrzeugen, Tankstellen, H₂-Bereitstellungen) für die Beantragung von Fördermitteln erfolgen und Genehmigungsfragen geklärt werden, siehe „eiterentwi kl ng der ier 2- l s ter“.

Koordination und Netzwerk

Zur Fortführung der Arbeiten nach Ende des HyAllgäu*-Bodensee-Projektes (April 2022 bis März 2023) sollen die Koordination und der Austausch zwischen den Akteuren weiter sichergestellt werden.

- Koordination durch die Kommune
 - o Festlegen (zentraler) Ansprechperson und Verantwortlichkeit innerhalb der Kommune(n), z. B. Wirtschaftsförderung.
 - o Fortlaufende Weiterbetreuung der Akteure und der identifizierten Projektansätze in der jeweiligen Region unter anderem:
 - bei Koordination des Austausches zwischen den Akteuren (u. a. Planung und Einladung regelmäßiger Treffen)
 - bei Genehmigungsfragen
 - bei Beantragung von Förderanträgen
 - o Unterstützung bei der Weiterentwicklung und Umsetzung der Projekte und Cluster, z. B. Koordination Fachplaner, ggf. Unterstützung / Förderung von spezifischen Machbarkeitsstudien,

Ermittlung weiterer H₂-Bedarfe, Bereitstellungsoptionen und H₂-Infrastruktur mit interessierten, weiteren Unternehmen

- o Koordination und Organisation von Netzwerktreffen/-termin und Austausch mit anderen Gebietskörperschaften
 - o Kontinuierliche Wissensvermittlung / Kommunikation zum Thema H₂ (z. B. PR, Veranstaltungen)
- Kooperation mit IHK
 - o Die Gebietskörperschaften tauschen sich regelmäßig mit den relevanten IHKs zum Thema H₂ aus.
 - o Regionale H₂-Plattform: Aus- und Aufbau eines regionalen H₂-Netzwerkes mit den IHKs:
 - IHKs sollen als regionaler Ansprechpartner für Unternehmen zum Thema H₂ eingebunden und von den Akteuren wahrgenommen werden.
 - IHKs organisieren in Abstimmung mit den Kommunen regelmäßige Veranstaltungen zum Thema H₂ in unterschiedlichen Formaten, z. B. mit Informationsvorträgen mit Unternehmen aus dem Netzwerk und auch externen Unternehmen; Berichten zu laufenden Entwicklungen in der Region, in Deutschland und international; Fachvorträgen zu Förderanträgen und Förderprogrammen usw.
 - Es soll über laufende Projekte und Projektansätze in der Region bzw. aus anderen Regionen ein Austausch organisiert werden, mit digitalen Vorträgen wie auch Vor-Ort-Treffen mit Akteuren.

- Ziel ist es, das Netzwerk kontinuierlich weiterzuentwickeln, weitere Unternehmen zum Thema H₂ zu gewinnen sowie Informationen und Expertise zum Thema H₂ in der Region zur Verfügung zu stellen.
- Anhand eines Pilot-Projektes soll ein konkretes H₂-Cluster mit den Unternehmen unter der Mitwirkung der IHK entwickelt werden. Dieses kann und soll als Beispiel für andere Regionen, Unternehmen und Kommunen dienen und im Netzwerk vorgestellt werden.

Beispielsweise sollte hierzu ein weiteres Cluster aus dem Allgäu*-Bodensee-Projekt entwickelt werden, z. B. Weiterentwicklung der Allgäu*-Bodensee-Clusterentwicklung (z. B. in Kaufbeuren, OAL, OA, UA, Kempten, Memmingen, siehe auch unten unter „Mittelfristig“).

o Überregionale Plattform:

- Austausch mit anderen IHKs zur überregionalen Entwicklung von H₂-Nutzung, -Infrastruktur und -Bereitstellung.
- Prüfung und Unterstützung von regionalen Förderprojekten, z. B. HyPerformer (BMDV) oder Hydrogen Valley (EU).

Weiterentwicklung der vier H₂-Cluster

Empfehlungen für die weitere konkrete Vorbereitung und Umsetzung der identifizierten Projektansätze:

- **Cluster Lindenberg:**

- o Betrieb der ersten vier Busse auf der Linienbündel 4 (Westallgäu mit den Linien 11, 12 und 22) und erste H₂-Betankungen ab 2024 in Lindenberg.
- o Weitere Planung für die zukünftige H₂-Bereitstellung und H₂-Infrastruktur in der Region.
- o Prüfung und Planung des weiteren Ausbaus der H₂-Infrastruktur im Landkreis.
- o Identifizierung weiterer H₂-Bedarfe (u. a. Umstellung weitere Buslinie; Lkw und Pkw).
- o Prüfung und Planung einer möglichen Errichtung eines Elektrolyseurs in Lindenberg.
- o Prüfung des Aufbaus eines Wärmenetzes mit Abwärmenutzung aus einem Elektrolyseur.
- o Prüfung und Beantragung von Fördermitteln.
- o *Schlüsselakteure während der „HyAllgäu*-Bodensee-Konzeptausarbeitung“: AllHydro / Burkhard Reisen, LRA Lindau, Spedition Max Müller.*

- **Cluster B12/B16:**

- o Prüfung und Planung des Aufbaus einer ersten H₂-Tankstelle im Landkreis OAL an der neu zu errichtenden Anschlussstelle B12/B16.
- o Prüfung der Verfügbarkeit von geeigneten Lkw für die Spedition Ansorge.
- o Identifizierung weiterer H₂-Bedarfe (u. a. Umstellung weitere Buslinie; Lkw und Pkw).
- o Prüfung und Planung einer lokalen H₂-Erzeugung mittels Elektrolyseur, nördlich von Marktoberdorf:
 - Zur Nutzung der Abwärme und des Sauerstoffs aus dem Elektrolyseur der lokalen Kläranlage
 - Prüfung Aufbau Wärmenetz im nördlichen Teil Marktoberdorf mit möglicher Anbindung AGCO
- o Prüfung und Planung des weiteren Ausbaus der H₂-Infrastruktur im Landkreis.
- o Prüfung und Beantragung von Fördermitteln.

o *Schlüsselakteure während der „HyAllgäu*-Bodensee-Konzeptausarbeitung“: Spedition Thoma, LR Oberallgäu, Stadt Kaufbeuren, Fernwärme Marktoberdorf, Firma Präg.*

- **Cluster Lindau Ost:**

- o Prüfung und Planung des Aufbaus einer ersten H₂-Tankstelle in der Stadt Lindau an der B12 / Autobahnausfahrt der A96.

- o Identifizierung von H₂-Bedarfen (u. a. Umstellung weitere Buslinie; Lkw und Pkw).
- o Prüfung der Verfügbarkeit von geeigneten Lkw für interessierte Speditionen in der Region.
- o Prüfung und Planung des weiteren Ausbaus der H₂-Infrastruktur in der Stadt.
- o Prüfung und Planung einer möglichen Errichtung eines Elektrolyseurs.
- o Prüfung des Aufbaus eines Wärmenetzes mit Abwärmenutzung aus einem Elektrolyseur.
- o Prüfung und Beantragung von Fördermitteln.
- o *Schlüsselakteure während der „HyAllgäu*-Bodensee-Konzeptausarbeitung“: Stadt Lindau, Stadtwerke Lindau, Firma Präg, Firma Burkhard Reisen, Gebrüder Weiss.*

- **Cluster Lindau Hafen / Altstadt:**

- o Prüfung der Umstellung der Binnenschifffahrt auf (Druck-) Wasserstoff mit der BSB:
 - Technische Prüfung einer Umrüstung der MS Lindau, MS Konstanz und MS München und Entwicklung eines konkreten Demoprojektes zur praktischen Erprobung eines ersten Schiffes.
 - Prüfung der technischen Umsetzbarkeit der Betankung von Schiffen in Lindau und infrage kommende Bunkerungsoptionen in Anbetracht der begrenzten Platzverhältnisse am Hafen Lindau.

- o Identifizierung von H₂-Bedarfen (u. a. Busse; Lkw und Pkw)
- o Prüfung des Aufbaus eines Wärmenetzes mit Nutzung von Wasserstoff in einem BHKW.
- o Prüfung und Beantragung von Fördermitteln.
- o *Schlüsselakteure während der „HyAllgäu*-Bodensee-Konzeptausarbeitung“: Stadt Lindau, Stadtwerke Lindau, BSB.*

6.2 MITTELFRISTIG (AB 2025)

- Identifizierung neuer und Ausarbeitung bestehender Projektansätze und Cluster in den Regionen.
- Kaufbeuren:
 - o Prüfung und Planung des Aufbaus einer ersten H₂-Tankstelle in Kaufbeuren und weiterer möglicher Standorte, z. B. Umrüstung bestehender Tankstellen und Neubauten u. a.:
 - Augsburg Str. / B12,
 - Reiftgräberweg / Studentenstr.
 - Mauerstetter Str. / B12,
 - B16
 - Apfeltranger Str.
 - o Prüfung der Verfügbarkeit von geeigneten Lkw für die Spedition Dorr, Dobler und iwis.
 - o Identifizierung weiterer H₂-Bedarfe und interessierter Unternehmen (u. a. Umstellung Buslinie; Lkw und Pkw).

- o Prüfung und Planung einer lokalen H₂-Erzeugung mittels Elektrolyseur bzw. Hydrolyse.
- o Prüfung des Aufbaus von lokalen Wärmenetzen und einer möglichen Nutzung der Abwärme aus einer H₂-Erzeugung.
- o Prüfung und Planung des weiteren Ausbaus der H₂-Infrastruktur in Abstimmung mit dem Landkreis OAL.
- o Prüfung und Beantragung von Fördermitteln.

Schlüsselakteure während der „HyAllgäu-Bodensee-Konzeptausarbeitung“ Stadt Kaufbeuren, Firma Dorr, Firma IWIS, Firma Dobler, HAWE Hydraulik*

- Weitere Ostallgäu:
 - o Plansee: Prüfung und Planung einer Umstellung der industriellen H₂- Versorgung auf eine grüne Wasserstoffversorgung; Prüfung einer Anlieferung per H₂-Trailer aus regionaler H₂-Produktion in der HyAllgäu*-Bodensee-Region.
 - o Füssen: Prüfung einer Umstellung erster Bussen und Lkw auf H₂, Planung einer H₂-Tankstelle.
 - o Weitere: Prüfung weiterer Standorte und Einbindung weiterer Akteure.
 - o *Schlüsselakteure während der „HyAllgäu*-Bodensee-Konzeptausarbeitung“ Plansee, iwis.*
- Kempten:
 - o Erzeugung von grünem Wasserstoff aus Abfall und Klärschlamm und Synergie mit weiteren Projekten in der Region.

- o Busse: Planung und Prüfung Neubeschaffung von H₂-Bussen für den Austausch von Dieselnissen.
- o Prüfung und Planung einer H₂-Tankstelle

o *Schlüsselakteure während der „HyAllgäu*-Bodensee-Konzeptausarbeitung“ Stadt Kempten, ZAK, AVKE, Dorr.*

- Memmingen:

- o Eine erste H₂-Tankstelle ist im Bau und wird ab 2023 in Betrieb gehen.
- o Identifizierung und Ansprache möglicher H₂-Lkw-Betreiber in der Region.
- o Prüfung einer Umstellung der Dieselnisse auf H₂-Busse.

o *Schlüsselakteure während der „HyAllgäu*-Bodensee-Konzeptausarbeitung“ Stadt Memmingen.*

- Förderprogramme für Regionen prüfen:

Für die überregionale Entwicklung von H₂-Projekten und eines H₂-Marktes sollen gezielt auch Fördermittel des Bundes und der EU für die Region geprüft und ggf. beantragt werden. Wesentliche Vorbereitungen dazu sollen umgehend im Jahr 2023 starten, um mögliche Anträge 2024 mit interessierten Akteuren vorzubereiten. Im Falle einer Förderung der Projekte würde eine Ausführung ab 2025 zu erwarten sein.

- o Bund: HyPerformer
- o Bund: Reallabor
- o EU: HyValley

o *Schlüsselakteure während der „HyAllgäu*-Bodensee-Konzeptausarbeitung“ ebietskörperschaften, Unternehmen und Akteure mit Interesse an H₂-Umsetzungsprojekten.*

- Entwicklung einer H2Allgäu-Plattform:

- o Unterstützung der Akteure und Regionen für den Bezug von grünem Wasserstoff (aus anderen Regionen).
- o Erstellung einer Konzeptstudie für die spezifische Ausarbeitung der H2Allgäu-Plattform.
- o Abstimmung mit dem bayerischen Wirtschaftsministerium für die konkrete Entwicklung und Umsetzung der H2Allgäu-Plattform.

o *Schlüsselakteure während der „HyAllgäu*-Bodensee-Konzeptausarbeitung“ ebietskörperschaften.*

6.3 LANGFRISTIG (AB 2030)

Für die Weiterentwicklung der Region hin zu einem H₂-Markt mit flächendeckendem H₂-Tankstellennetz, verfügbarem grünem H₂ und lokaler Wertschöpfung ist die überregionale Kooperation wichtig und frühzeitig mitzudenken. Zudem ist in der langfristigen Perspektive die Verknüpfung mit nationalen bzw. europaweiten Infrastrukturen, bspw. Wasserstoff-Pipelines, zu berücksichtigen.

In der Region:

- Etablierung der H2Allgäu-Plattform (siehe Abschnitt 6.2).

H2Allgäu ist implementiert und die regionalen Akteure setzen ihre Projekte (Erzeugung, Transport, Nutzung) aufgrund bestehender Versorgungs- und Preissicherheiten um. Dies kurbelt den Wasserstoff-Markthochlauf in der Region an.

- Identifikation von Lücken entlang der Wertschöpfungskette und Entwicklung von entsprechenden (Gegen-)Maßnahmen. Wird beispielsweise im Rahmen von H2Allgäu festgestellt, dass es eine regionale Überproduktion gibt, sollten – gemeinsam mit den betroffenen Akteuren – Strategien entwickelt werden, wie die Überproduktion an überregionale Akteure abgegeben werden kann. Dabei sollten die Gebietskörperschaften jedoch nur bei ausdrücklichem Wunsch der Akteure in die Strategieentwicklung einsteigen.
 - Die Einrichtung einer zentralen Anlaufstelle für „neue H₂-Akteure“. Zuge des Wasserstoff-Markthochlaufs werden viele neue Akteure in das Thema einsteigen und die eigenen Möglichkeiten evaluieren wollen. Diesen Akteuren kann es einerseits helfen, über eine zentrale Anlaufstelle erste Informationen über Wasserstoff und die regionalen Aktivitäten zu erhalten. Gleichzeitig kann die Anlaufstelle den Kontakt zu etablierten H₂-Akteuren herstellen, um die frühzeitige Vernetzung anzuregen und die Hürden für den Einstieg der neuen Akteure in die Thematik Wasserstoff zu verringern. Wichtig: Dieses Vorgehen bedarf der Zustimmung der etablierten Akteure. Eine ungefragte Vernetzung/Kontaktvermittlung ist nicht erstrebenswert.
 - Gewährleistung der Attraktivität des Standorts für die Ansiedlung von Unternehmen der Komponentenherstellung, um zusätzliche Wertschöpfung in der Region zu generieren. Dies kann beispielsweise über die Ausweisung attraktiver Standorte (z. B. gute Anbindung) für neue Gewerbegebiete erfolgen.
- Handlungsempfehlungen für überregionale Themen:
- Unterstützung bei der Verknüpfung der regionalen Aktivitäten mit Aktivitäten in benachbarten Regionen, um die Resilienz des Wasserstoffsystems zu erhöhen.
 - o Prüfung und Initiierung von Akteursnetzwerken mit benachbarten Regionen.
 - o Prüfung der Erweiterung der Plattform H2Allgäu auf benachbarte Regionen.
 - Unterstützung beim Anschluss der Region an ein überregionales Wasserstoffverteilnetz.
 - o Entwicklung einer regionalen Strategie durch Gebietskörperschaften und regionale H₂-Akteure, um frühzeitig und klar strukturiert die Weichen für eine schnelle Anbindung an ein überregionales Verteilnetz zu stellen.
 - o Einflussnahme der Gebietskörperschaften auf Entscheidungsträger aus der Politik zur schnellen Anbindung der Region an das überregionale Verteilnetz.
 - o Einflussnahme der regionalen Akteure in Zusammenarbeit mit den Gebietskörperschaften auf Entscheidungsträger aus der Wirtschaft (Identifikation der relevanten Wirtschaftsakteure) zur schnellen Anbindung der Region an das überregionale Verteilnetz.
 - o Prüfung und Implementierung attraktiver Fördermöglichkeiten für überregionale Infrastruktur-Unternehmen, um die Anbindung der Region an das überregionale Verteilnetz anzureizen.
 - o Unterstützung beim Ausbau einer flächendeckenden H₂-Tankstelleninfrastruktur in der Region auf Basis nationaler und europäischer Infrastrukturplanungen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Region HyAllgäu*-Bodensee Wasserstoff für große Transportkorridore zur Verfügung stellt und nicht abgegangen wird.