



NEW HyPerspectives



Herausgeber



Projektleitung

Landkreis Neustadt an der Waldnaab
Sachgebiet 15 | Kreisentwicklung, Wirtschaftsförderung, Naturpark
Barbara Mädler, Stefan Härtl, Nathalie Büttner (wasserstoff@neustadt.de)

Unter Beteiligung von



Omnibus Albert Wolf e.K., Prager Gas AG

Autoren

Thomas Gollwitzer M. Eng., Maximilian Schinhammer M. Eng., Raphael Stautner M. Sc., Prof. Dr. Raphael Lechner, (Institut für Energietechnik (IfE) GmbH an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg Weiden)
Ronald Behrend, Hermann Mensing, Helmut Windschiegl (Überbetriebliches Bildungszentrum in Ostbayern gemeinnützige GmbH)
Dr. Felix Siebler, LL.M., Annabelle Forster, LL.M., Dr. Jonathan Möller (Watson Farley & Williams LLP)
Jacqueline Roscher, Ramona Klöning (OM Netzwerk GmbH, ein Unternehmen von Oberpfalz Medien) in Zusammenarbeit mit Siynet Spangenberg, Birgit Raphael (Fröhlich PR GmbH)

Stand

Mai 2023

Die Entwicklung der Region Neustadt an der Waldnaab als Wasserstoffregion wird im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP2) mit insgesamt 399.500 Euro durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV, ehem. BMVI) gefördert. Die Förderrichtlinie wird von der NOW GmbH koordiniert und durch den Projektträger Jülich (PtJ) umgesetzt.

Gefördert durch:



Koordiniert durch:



Projektträger:



Inhaltsverzeichnis

Grußwort des Landrats.....	6	4 Technisch-Wirtschaftliche Analyse einer Wasserstoffinfrastruktur im Landkreis NEW.....	30
1 Einleitung.....	7	4.1 Vorstellung Vorgehensweise & Methodik.....	30
1.1 Vorstellung Landkreis Neustadt a.d. Waldnaab.....	7	4.1.1 Bedarfsermittlung.....	30
1.2 NEW HyPerspectives.....	8	4.1.2 GIS-Analyse.....	33
1.2.1 Einleitende Informationen zu NEW HyPerspectives.....	8	4.2 Wasserstoff-Abnehmer.....	39
1.2.2 Ausgangslage und Motivation für NEW HyPerspectives.....	9	4.2.1 Grundlagen Mobilität.....	39
1.2.3 Teilnehmende Akteure.....	10	4.2.2 Grundlagen Industrie.....	48
1.2.4 Projektplan.....	13	4.2.3 Hochlaufszzenarien.....	51
1.3 Ziele der Machbarkeitsstudie.....	15	4.3 Wasserstoff-Erzeugung.....	55
2 Örtliche Rahmenbedingungen – Status Quo.....	15	4.3.1 Grüner Wasserstoff.....	55
2.1 Stand der Energieversorgung.....	15	4.3.2 Oranger Wasserstoff.....	68
2.1.1 Wärmebedarf und Anteil erneuerbarer Energien.....	16	4.3.3 Zusammenfassung.....	77
2.1.2 Strombedarf und Anteil erneuerbarer Energien.....	18	4.4 Wasserstoff-Tankstellen.....	78
2.2 ÖPNV und Schwerlast bzw. Logistik.....	20	4.4.1 Grundlagen Wasserstoff-Tankstellen.....	78
2.2.1 Bahnverkehr.....	20	4.4.2 Technisch-Wirtschaftliche Analyse Wasserstofftransport.....	80
2.2.2 Speditionen.....	22	4.4.3 Technisch-Wirtschaftliche Analyse Wasserstofftankstellen.....	82
2.2.3 ÖPNV.....	23	4.5 Ergebnisse Wasserstoff-Infrastruktur im Landkreis NEW.....	86
2.2.4 Tankstellen.....	24	4.6 Fördermöglichkeiten.....	86
2.3 Industrie.....	24	4.6.1 Nationale Förderprogramme.....	87
3 Rechtliche Rahmenbedingungen.....	25	4.6.2 Internationale / EU-Förderprogramme.....	89
3.1 Definition von grünem Wasserstoff.....	25	5 Ausbildung zukünftiger Wasserstoff-Fachkräfte.....	90
3.2 Bündelung von EEG-Altanlagen als Stromlieferant für H ₂ -Elektrolyseure.....	26	5.1 Vorgehensweise zur Erstellung eines Bildungskonzepts.....	95
3.3 Bündelung von Bedarfen zur Beschaffung von H ₂ -Fahrzeugen („Fahrzeugpooling“.....)	28	5.2 Darstellung des Bildungskonzepts.....	96
3.4 Aktuelle gesetzliche Rahmenbedingungen zu Floating-PV.....	29	5.3 Handlungsempfehlung und Leitfaden.....	99
		6 Öffentlichkeitsarbeit.....	105
		6.1 Kommunikationskonzept / Redaktionsplan.....	105
		6.2 Landingpage wasserstoff.new-perspektiven.de.....	107
		6.3 Newsletter und Presseberichte.....	108
		7 Zusammenfassung und Ausblick.....	110
		8 Literatur.....	116
		9 Abkürzungsverzeichnis.....	120
		10 Tabellenverzeichnis.....	124
		11 Abbildungsverzeichnis.....	125
		12 Anhang.....	126
		13 Impressum.....	127



Sehr geehrte Damen und Herren,

der Abschied von den fossilen Energien ist zu einer der drängendsten Aufgaben unserer Zeit geworden. Erforderlich machen diesen sowohl der Klimawandel als auch die weltpolitische Lage. Einer der Hoffnungsträger ist grüner Wasserstoff, der nachhaltig produziert wird und zur Unabhängigkeit von Energieimporten beiträgt. Zudem ist er äußerst vielseitig einsetzbar – vor allem auch dort, wo Dekarbonisierung durch Elektrifizierung als Option ausscheidet.

Der Landkreis Neustadt an der Waldnaab hat sich deshalb frühzeitig entschieden, zu einer der Wasserstoff-Modellregionen in Deutschland zu werden. Im September 2019 wurde er für das HyStarter-Projekt ausgewählt, darauf aufbauend im Jahr 2022 für den HyExpert-Prozess.

Ziel des HyExpert-Prozesses war es, innerhalb eines Jahres gemeinsam mit zahlreichen Akteurinnen und Akteuren aus der Region eine Machbarkeitsstudie zur Etablierung einer regionalen Wasserstoffwirtschaft auszuarbeiten. Unterstützt wurden wir dabei vom Institut für Energietechnik an der OTH Amberg-Weiden (Projektmanagement sowie technisch-wirtschaftliche Analysen), der Kanzlei Watson, Farley & Williams (rechtliche Fragestellungen) und dem Überbetrieblichen Bildungszentrum in Ostbayern (Thema Bildung). Zudem wurden Expertinnen und Experten für Öffentlichkeitsarbeit engagiert, denn eine hohe Akzeptanz in der Bevölkerung ist für den Erfolg des Projekts unabdingbar.

Der nun vorliegende Abschlussbericht informiert darüber, was wir konkret in die Wege geleitet haben. Unter anderem werden die Ergebnisse zahlreicher Workshops und Marktdialoge, die entwickelten Bildungsmodule und rechtliche Aspekte dargestellt. Die letzten zwölf Monate haben gezeigt, wie groß das Interesse bei uns vor Ort ist, die Chancen von grünem Wasserstoff zu nutzen und als einer der Vorreiter bundesweit voranzugehen. Weil dabei die Realisierbarkeit in der Praxis oberste Priorität hat, haben wir unser Konzept an den spezifischen Bedingungen in der Region ausgerichtet – etwa dem vergleichsweise großen Angebot an Flächen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien, der unverzichtbar ist für die Produktion von grünem Wasserstoff.

Schwerpunkte von NEW HyPerspectives sind zudem, wie der Abschlussbericht widerspiegelt, die Distribution von Wasserstoff und sein Einsatz im Bereich der Mobilität. Zudem hat sich der Landkreis mit anderen Regionen und Playern vernetzt. Denn: Es geht bei dieser Mammutaufgabe nicht darum, besser zu sein als andere, sondern darum, voneinander zu lernen und miteinander mehr zu erreichen.

Allen Beteiligten möchte ich meinen großen Dank aussprechen. Ich freue mich darauf, mit Ihnen zusammen die begonnene Entwicklung fortzuführen. Wir werden nun mit großer Motivation die Umsetzung der Projekte bei uns im Landkreis starten.

Ihr 

Andreas Meier,
Landrat Neustadt an der Waldnaab

1 Einleitung

1.1 Vorstellung Landkreis Neustadt a.d. Waldnaab¹

Der Landkreis Neustadt a.d. Waldnaab (NEW) liegt im Norden des Regierungsbezirkes Oberpfalz (Bayern) und bildet gemeinsam mit der vom Landkreis umgebenen kreisfreien Stadt Weiden sowie dem Landkreis Tirschenreuth die Region Nordoberpfalz. Auf einer Fläche von 1.428 km² (Stand 2019) [2] leben im Landkreis NEW 95.954 Einwohnende (Stand 31.12.2022) [3] und damit durchschnittlich 66 Einwohnende pro km². Die Verwaltung im Landkreis ist aufgeteilt auf insgesamt 38 Gemeinden, davon sind 25 Kommunen in acht Verwaltungs-Gemeinschaften zusammengeschlossen. Der Landkreis NEW ist im Landesentwicklungsprogramm (LEP) Bayern 2013 vollständig als „Raum mit besonderem Handlungsbedarf“ in der Kategorie „Allgemeiner ländlicher Raum“ definiert [4] und muss sich den Herausforderungen des ländlichen Raums und Strukturwandels stellen. Dazu zählen u.a. die Folgen des demografischen Wandels, welche eine wirtschaftliche Herausforderung, wie bspw. Fachkräftemangel, impliziert [4]. Allgemein wird die Nordoberpfalz als ein im „bayernweiten Vergleich noch immer strukturschwachen Raum“ gesehen [4]. Der Landkreis ist mittlerweile durch eine dynamische Wirtschaftsentwicklung, u. a. wegen seiner günstigen Lage und guten infrastrukturellen Erschließung, gekennzeichnet [5]. Verkehrstechnisch ist die gesamte Region Nordoberpfalz und somit auch der Landkreis NEW an die Autobahn Nord-Süd A93 mit dem Autobahnkreuz Oberpfälzer Wald angebunden. Hinzu kommt eine Nord-Südverbindung der Eisenbahn mit einer Zweigverbindung Richtung Nürnberg [5]. Hieraus ergibt sich „ein Standort höchster Qualität und Attraktivität, der in die gesamte nördliche und mittlere Oberpfalz ausstrahlt“ [4]. Die Wirtschaft wird von familiengeführten kleinen und mittelständischen Unternehmen bis hin zu industriellen Weltmarktführern geprägt. Ein weiterer günstiger wirtschaftlicher Faktor und Arbeitgeber ist der NATO-Truppenübungsplatz Grafenwöhr [4]. Der Großteil der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten im Landkreis ist im produzierenden Gewerbe und Dienstleistungsbereich tätig [2].

Im Osten grenzt der Landkreis an die Tschechische Republik [4] und mit Waidhaus befindet sich hier der bedeutendste Grenzübergang Europas und Bayerns zur Tschechischen Republik. Der Landkreis NEW gehört zur Euregio Egrensis [6] und der Metropolregion Nürnberg (EMN). Mit der Stadt Weiden bestehen intensive Pendlerverflechtungen hinsichtlich des Arbeitsmarktes und der Suburbanisierung [4]. Weiden ist Oberzentrum und Hochschulstadt mit einer hohen Anzahl von Einzelhandels- und Dienstleistungsbetrieben. Die Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden bringt die Studienschwerpunkte Betriebswirtschaft, Handels- und Dienstleistungsmanagement, Medizintechnik und Wirtschaftsingenieurwesen mit. Studiengänge wie „Energietechnik und Energieeffizienz“ oder „Bio- und Umweltverfahrenstechnik“ zahlen auf die Stärkung regionaler Expertise für den Ausbau von erneuerbaren Energien (EE) ein [7].

Nachhaltigkeit und der Einklang von Ökologie und Ökonomie gehören zum Selbstverständnis der Region, die im Naturpark Nördlicher Oberpfälzer Wald liegt. Dieser dehnt sich ebenfalls auf südliche Teile des Landkreises Tirschenreuth und die Stadt Weiden i.d.OPf. mit einer Gesamtfläche von rund 138.000 ha aus [8]. Der Naturpark prägt nicht nur die ganze Landschaft des Landkreises, sondern ist auch eine der Hauptattraktionen für den Tourismus [9]. Insgesamt gibt es 13 Naturschutzgebiete, die eine Fläche von über 780 ha bedecken [10].

¹ Dieses Kapitel stammt aus dem Regionenkonzept Neustadt an der Waldnaab „NEW HyPerspectives“, welches im Rahmen der HyLand-Initiative des BMDV/NOW erarbeitet wurde. [1].

Der Landkreis NEW hat bereits im Jahr 2014 ein Kreisentwicklungskonzept erstellt und dabei Entwicklungsziele identifiziert, welche die Ausgangsbasis für das Regionalmanagement und lokale Entwicklungsstrategien bilden. Dazu gehören neben der Schaffung einer generationenfreundlichen Heimat im Sinne einer Wohlfühlregion, die Offenheit für Neues, lebenslanges Lernen als Bildungsauftrag im Rahmen der regionalen Lebensqualität sowie die Steigerung der regionalen Wertschöpfung zur Standort-Entwicklung [4].

1.2 NEW HyPerspectives

1.2.1 Einleitende Informationen zu NEW HyPerspectives

Der Landkreis NEW hat im Rahmen der HyLand-Initiative des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI, heute BMDV) die erste Stufe als HyStarter im Jahr 2021 erfolgreich abgeschlossen. Aufbauend auf den darin erarbeiteten Projektideen wurden im Wettbewerbsbeitrag zur zweiten Phase HyExperts konkrete Schritte für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft definiert. Das vom Landkreis NEW beantragte Projekt „NEW HyPerspectives“ wurde im Rahmen der zweiten Auflage des Bundes-Förderprogramms „HyLand – Wasserstoff-Regionen in Deutschland“ ausgewählt und wird in der Kategorie „HyExperts“ mit 399.500 € vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) gefördert. Die Projektlaufzeit liegt bei einem Jahr.

Die Beratungsleistungen zur Erarbeitung der finalen Machbarkeitsstudie untergliedern sich wie folgt:

Projektmanagement: Gesamtkoordination des Projektes und der weiteren Dienstleister; Projektcontrolling; Projektbesprechungen und -veranstaltungen; Akteursmanagement; inhaltliche Zusammenstellung und Vorbereitung der Öffentlichkeitsarbeit; Zusammenführung und Fertigstellung der Machbarkeitsstudie; Kommunikation mit dem Auftraggeber, den Netzwerkpartnern sowie NOW GmbH und Projektträger Jülich.

Technisch-wirtschaftliche Analyse: Datensammlung und -aggregation; Auswertung und Analyse der Daten; Ausarbeitung der Konzeptdetails und Simulation der Konzepte; Teilberichte zu den Konzepten und Lösungen im Hinblick auf die technisch-wirtschaftliche Machbarkeit; Beschreibung der erforderlichen Umsetzungsmaßnahmen; Skizzierung der wesentlichen Konzeptinhalte im Hinblick auf die Vorstellung in der Öffentlichkeit; inklusive Aufwendung für Forschungsbegleitung.

Rechtliche Begleitung und Beratung: Sammlung und Analyse der regulatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen zu den einzelnen Konzepten/Projektideen; Zusammenfassende Bewertung im Hinblick auf notwendige und mögliche konzeptionelle Lösungen und erforderliche Umsetzungsmaßnahmen; Skizzierung regulatorischer Problemstellungen im Hinblick auf die Vorstellung in der Öffentlichkeit.

Beratung zum Wissensaufbau: Analyse zu Wasserstoff-Kompetenzen in beruflicher Aus- und Weiterbildung. Entwicklung von modellhaften Anforderungen und Strukturen an die regionale Bildungslandschaft zur langfristigen Sicherstellung von Fachkräfteaufbau mit H2-spezifischen Kenntnissen und Fähigkeiten.

Öffentlichkeitsarbeit: Erstellung eines Kommunikationskonzeptes zur Begleitung des HyExperts-Prozesses. Laufende Präsentation des Prozesses und der (Zwischen-)Ergebnisse. Erstellung der Layouts für alle Begleitprodukte auf Basis der inhaltlichen Vorbereitungen der technisch-wirtschaftlichen und regulatorischen Inputs der weiteren Dienstleister; Organisation der Akteurstreffen in Abstimmung mit dem Projektmanagement und dem Auftraggeber.

1.2.2 Ausgangslage und Motivation für NEW HyPerspectives

Bayern strebt an, bis 2040 klimaneutral zu werden. Das CO₂-Äquivalent der Treibhausgasemissionen je Einwohnendem soll bis zum Jahr 2030 um mindestens 65% (bezogen auf das Referenzjahr 1990) gesenkt werden. Dazu hat der Bayerische Landtag im November 2020 ein Klimaschutzgesetz (BayKlimaG) verabschiedet, welches zum 01.01.2023 novelliert wurde. Flankiert wird das Gesetz durch ein entsprechendes Klimaschutzprogramm mit rund 150 konkreten Maßnahmen, basierend auf den drei Säulen der Klimapolitik des Freistaats: Minderung des Treibhausgas-Ausstoßes in Bayern, Anpassung an die Folgen des Klimawandels und verstärkte Forschung zu Umwelt- und Klimaschutz. Maßnahmen und Empfehlungen sind u. a. für Kommunen, aber auch zur Stärkung der Alltagskompetenz der jungen Generation in Sachen Klimaschutz ausgelegt. Dabei werden alle Bereiche von Wäldern und Mooren als natürliche CO₂-Senken und Wasser über Innovationen, Energie und Mobilität bis hin zur Vorbildfunktion des Staates sowie der Förderung des kommunalen Klimaschutzes fokussiert [11].

Der Landkreis NEW bringt für den ländlich geprägten Raum typische Herausforderungen mit, insbesondere im ÖPNV und in der Erschließung mit Energieinfrastrukturen. Um das Ziel eines klimaneutralen Landkreises und die landes- [11] und bundespolitisch verankerten Klimaschutzziele [12] zu erreichen, wurden im Kreisentwicklungskonzept vielfältige Themen und Maßnahmen angedacht wie u. a. das Thema Bioenergie (Ausbau und Abwärmenutzung), Pilotprojekte zur Abwärmenutzung für die Klärschlamm-trocknung, Recycling von Photovoltaikmodulen, ein interkommunales Konzept „Standortbestimmung Windkraft“ und die Nahwärmeversorgung. 2010 wurde ein „Integriertes Klimaschutzkonzept für den westlichen Landkreis Neustadt a.d. Waldnaab“ erarbeitet. 2019 folgte ein regionales Elektromobilitätskonzept. Diese Konzepte sowie die o. g. Entwicklungsziele für den Landkreis sind auch bei der Diskussion um die Potenziale von Wasserstoff in den regionalen Aktivitäten von Bedeutung.

Der Landkreis NEW hat sich bereits in der ersten „HyLand“-Runde 2019 erfolgreich auf das vorgelagerte „HyStarter“-Programm beworben und damit als eine der ersten Regionen in Deutschland den Grundstein für den Aufbau einer grünen Wasserstoff-Wirtschaft gelegt.

1.2.3 Teilnehmende Akteure

Um das angestrebte Ziel der Klimaneutralität langfristig zu erreichen, haben sich Akteure aus verschiedenen Bereichen zusammengetan. Dazu zählen u. a. Logistiker/Speditionen, ÖPNV-Unternehmen, Energiegenossenschaften, Unternehmen der energieintensiven Industrie, Strom- und Gas-Netzbetreiber sowie Vertreter aus den Kommunen.

Aufgrund der besonderen Situation als Grenzregion wurden darüber hinaus grenzüberschreitende Kontakte geknüpft, um den Akteurskreis zielgerichtet auch in Tschechien zu erweitern und mögliche Kooperationen, wie beispielsweise bei der Planung von Logistik-Routen, im LKW-Verkehr zu betrachten.

So wurden u. a. mit Partnern der Prager Gas AG Gespräche geführt. Im Rahmen des Projekts waren „NEW HyPerspectives“ Akteure außerdem bei der „Bavarian-Czech Hydrogen Networking-Veranstaltung“ in Prag am 28.03.2023 und bei der Veranstaltung „Regionale Mobilität, Elektromobilität und Wasserstoffnutzung im Grenzgebiet Niederbayern-Tschechien“ am 24.04.2023 vertreten.

Als möglicher nächster Schritt wurde ein interkommunales, grenzübergreifendes Projekt zusammen mit den Landkreisen Tirschenreuth, Weiden und Neustadt a. d. Waldnaab mit Beteiligung der tschechischen Nachbarkreise identifiziert, das z. B. über die INTERREG Förderung Bayern-Böhmen 2021-2027 finanziert werden könnte. Im Rahmen des Projekts sollen die Erkenntnisse aus „NEW HyPerspectives“ auf die Nachbarregionen übertragen und die Grundlagen für eine überregionale Wasserstoffwirtschaft gelegt werden.

Ziel von „NEW HyPerspectives“ ist, eine möglichst konkrete Hilfestellung für den Aufbau einer auf die Region zugeschnittenen Wasserstoffwirtschaft zu leisten. Aus diesem Grund wurde die HyExperts-Phase im Projekt mit einem Akteurs-Workshop gestartet. Neben einer generellen Projektvorstellung wurden die Akteure auch aufgefordert, sich einem oder mehreren der folgenden Bereiche der Wasserstoff-Wertschöpfungskette zuzuordnen:

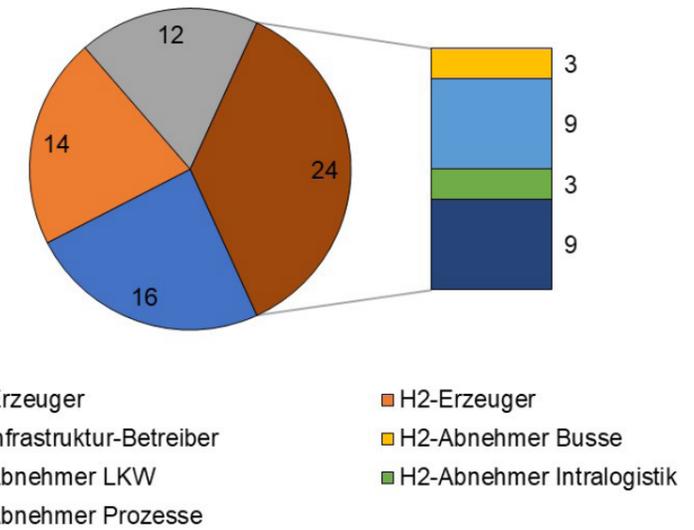


Abbildung 1: Aufteilung der Akteure in die Bereiche der Wasserstoff-Wertschöpfungskette

Eswurdedeutlich,dasssichdieAkteureaufdieeinzelnenRollenderWasserstoffwertschöpfungskette homogen verteilen, wobei Mehrfachnennungen möglich waren. Bei den Wasserstoffabnehmern war erkennbar, dass der Dekarbonisierung der Schwerlastflotte und der industriellen Prozesse die größte Bedeutung zukommt.

Innerhalb und zwischen diesen Gruppierungen wurden anschließend weitere Fragestellungen bearbeitet. Hierfür wurden neben dem Kick-off-Workshop themenbezogene Workshops, unterstützt durch Online-Marktdialoge, veranstaltet, zu deren Teilnahme der identifizierte Akteurskreis eingeladen war.

Im Zeitraum von 22.11.2022 bis 02.02.2023 wurden folgende Veranstaltungen durchgeführt:

Tabelle 1: Übersicht der Veranstaltung im Rahmen der vertieften Akteursbeteiligung

Datum	Veranstaltung	Anmeldungen (inkl. Hersteller)	Anzahl Referenten	Anzahl Teilnehmer
22.11.22	Informations-Veranstaltung	8		
24.11.22	Marktdialog: H ₂ -Herstellung Elektrolyse	27	4	23
30.11.22	Marktdialog: Alternative H ₂ -Herstellung	17	3	14

06.12.22	Workshop: H ₂ -Abnehmer Prozesse	12	5	7
08.12.22	Marktdialog: H ₂ -Speicherung Transport	24	7	17
13.12.22	Workshop: H ₂ Abnehmer Busse, LKW, Intralogistik	9	4	5
11.01.23	Marktdialog: H ₂ -Tankstellen	19	5	14
13.01.23	Workshop: EE-Erzeuger	7	4	7
19.01.23	Marktdialog: H ₂ -Busse	9	3	6
24.01.23	Marktdialog: H ₂ Nutz- und Sonderfahrzeuge	13	3	10
25.01.23	Workshop: H ₂ -Erzeuger	13	4	9
01.02.23	Marktdialog: H ₂ Industrie, Finanzierung, Handel	17	2	15
02.02.23	Workshop: H ₂ -Infrastrukturbetreiber	15	3	12

Die Ergebnisse und Erkenntnisse der Online-Marktdialoge wurden in den Ausarbeitungen im Kapitel 4 berücksichtigt. Die Workshops bildeten die Basis für die Ableitung der Projekt-Ansätze. Die Resultate wurden in Kapitel 4.5 näher erläutert.

1.2.4 Projektplan

Der zu Beginn der HyExperts-Phase ausgearbeitete Projektplan war die Grundlage für ein strukturiertes Vorgehen im Rahmen des Projekts und Basis für die monatlich stattfindenden Jour fixe der Bearbeitenden im Rahmen des Projekts „NEW HyPerspectives“. Mit der Ausarbeitung der Machbarkeitsstudie und der begleitenden Öffentlichkeitsarbeit wurden folgende Dienstleistende beauftragt.

1. Institut für Energietechnik IfE GmbH an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden (IfE): Projektmanagement und technisch-wirtschaftliche Analysen
2. Kanzlei Watson Farley & Williams LLP (WFW): Rechtliche Beratung
3. Überbetriebliches Bildungszentrum in Ostbayern gemeinnützige GmbH (ÜBZO): Bildungsangebote
4. OM Netzwerk GmbH: Öffentlichkeitsarbeit

Auf eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Arbeitspakete wird an dieser Stelle verzichtet, relevante Informationen können der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

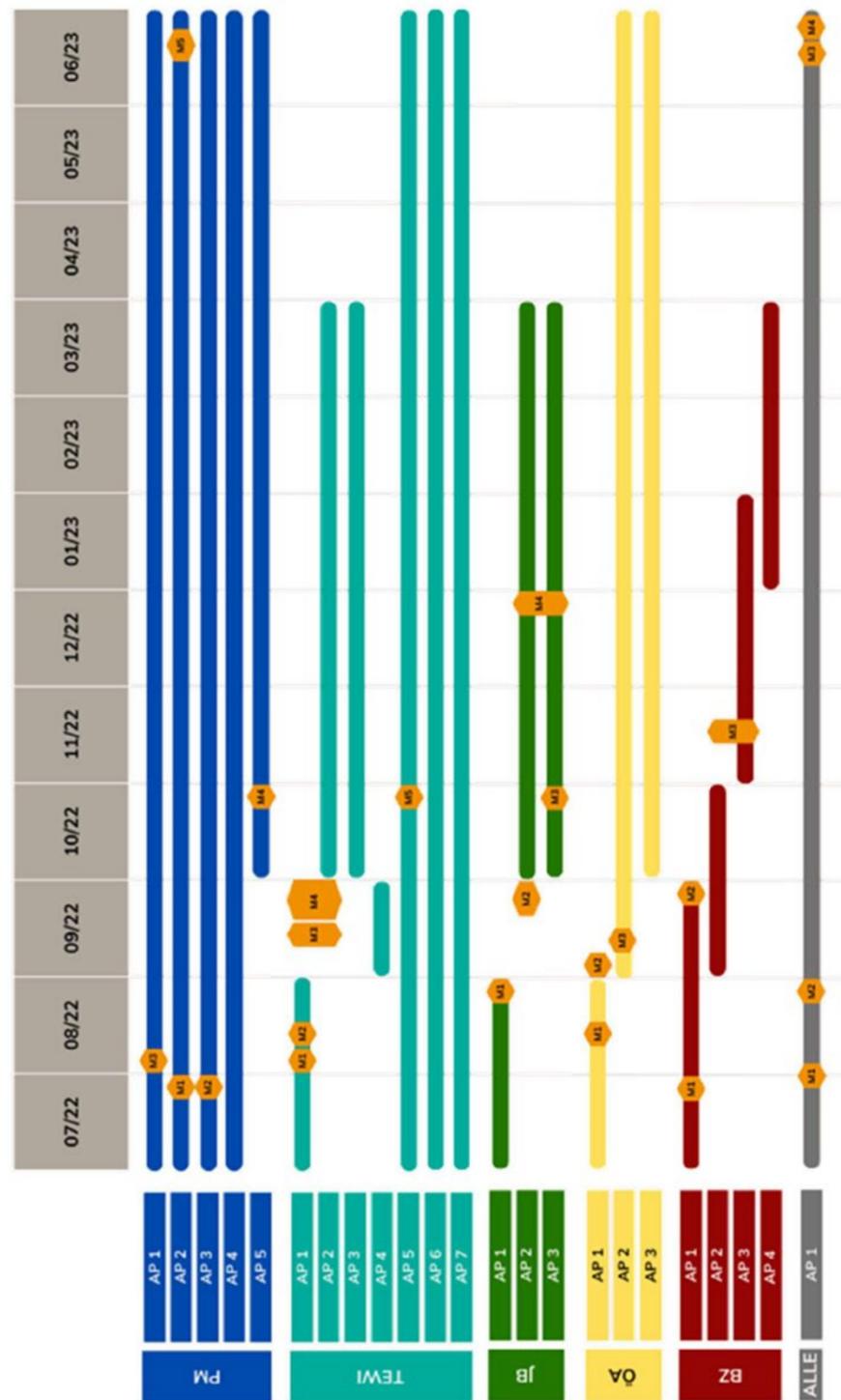


Abbildung 2: Darstellung des finalen Projektplans für NEW HyPerspectives

1.3 Ziele der Machbarkeitsstudie

Für die HyExperts Phase wurden folgende Ziele formuliert:

- Erreichen des Status einer nachhaltigen und CO2-neutral handelnden Region
- Vertiefung der vorangegangenen HyStarter-Ergebnisse
- Finden neuer Möglichkeiten zur Umsetzung
- Sensibilisierung von Wirtschaft und Bevölkerung
- Erarbeitung einer konkreten Machbarkeitsstudie für die Bereiche technisch-wirtschaftliche und rechtliche Begleitung sowie für den Bereich Bildung
- Möglichkeit zur Bewerbung um die nächste Stufe der HyLand Regionenförderung oder anderer Fördermöglichkeiten durch die Machbarkeitsstudie

2 Örtliche Rahmenbedingungen – Status Quo

2.1 Stand der Energieversorgung

Eine der technischen Grundlagen, die für den HyExperts-Prozess genutzt werden konnten, sind die Ergebnisse eines digitalen Energienutzungsplans (ENP) [13], den der Landkreis NEW unabhängig vom bzw. in Vorbereitung auf die HyLand-Initiative erstellen ließ. Darin wurden für den gesamten Landkreis NEW kommunenscharfe Daten zum Energiebedarf in den Sektoren Strom und Wärme erhoben und ausgewertet. Dies umfasste neben leitungsgebundenen Energieträgern, wie Strom und Erdgas auch nicht-leitungsgebundene Energieträger (Heizöl, Biomasse, etc.). Ebenso wurde der ermittelte Energiebedarf nach Verbrauchergruppen aufgeschlüsselt dargestellt. Dabei wurden folgende Verbrauchergruppen unterschieden und getrennt abgebildet:

- Private Haushalte
Die Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ umfasst alle zu Wohnzwecken genutzten Flächen im Betrachtungsgebiet. Dies schließt sowohl Wohnungen in Wohngebäuden als auch in Nicht-Wohngebäuden (z. B. hauptsächlich gewerblich genutzte Halle mit integrierter Wohnung) ein.
- Kommunale Liegenschaften
In der Verbrauchergruppe „Kommunale Liegenschaften“ werden alle Liegenschaften der Kommune, inkl. Straßenbeleuchtung und gemeindeeigene Ver- und Entsorgungseinrichtungen, zusammengefasst. Hierfür konnte auf gebäudescharfe Energieverbrauchsdaten der Kommunen zurückgegriffen werden.
- Wirtschaft
In der Verbrauchergruppe „Wirtschaft“ werden alle Energieverbraucher zusammengefasst, die nicht in eine der Verbrauchergruppen „Private Haushalte“ oder „Kommunale Liegenschaften“ fallen. Dies sind z. B. Betriebe aus Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie. Auch Landwirtschafts- und als Tourismusbetriebe gemeldete Unternehmen sind dieser Verbrauchergruppe zugeordnet.

Neben dem kommunenscharfen Energiebedarf wurden ebenso die Erzeugungsmengen aus erneuerbaren Energien aufgeschlüsselt, nach den Energieformen bilanziert und dargestellt.

Alle Ergebnisse des digitalen Energienutzungsplans wurden zudem kartografisch in einem Geoinformationssystem (GIS) dargestellt. Somit lässt sich daraus ableiten, an welchen Orten im Landkreis NEW Energie benötigt, aber auch wo bereits erneuerbare-Energie-Anlagen installiert sind.

2.1.1 Wärmebedarf und Anteil erneuerbarer Energien

Der jährliche Endenergiebedarf für die Wärmeversorgung aller Verbrauchergruppen im Landkreis beläuft sich im Bilanzjahr 2019 auf rund 2.410.768 MWh (Abbildung 1).

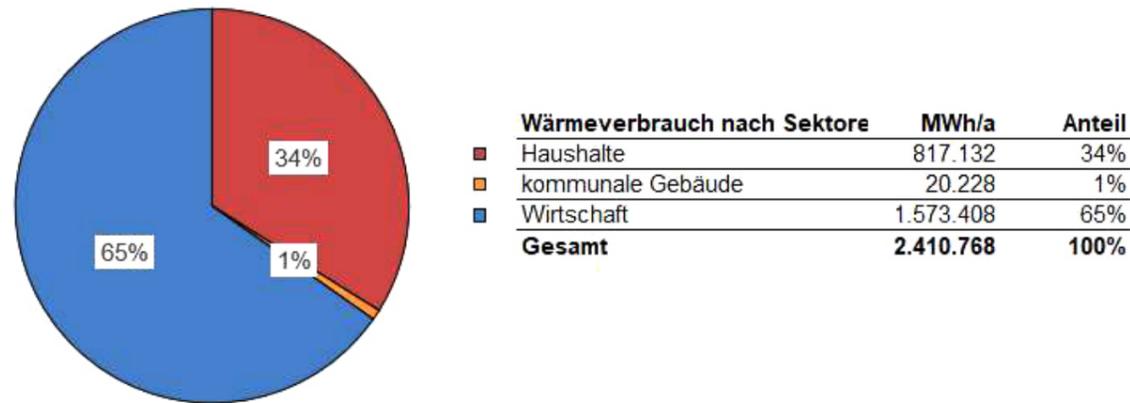


Abbildung 3: Wärmebedarf der einzelnen Verbrauchergruppen im Jahr 2019 im Landkreis NEW [13]

Der Wärmebedarf wird hierbei zu über 85 % aus fossilen Energieträgern bereitgestellt. 14% des Wärmebedarfs werden aus erneuerbaren Energien, insbesondere aus Biomasse bereitgestellt (Abbildung 3).

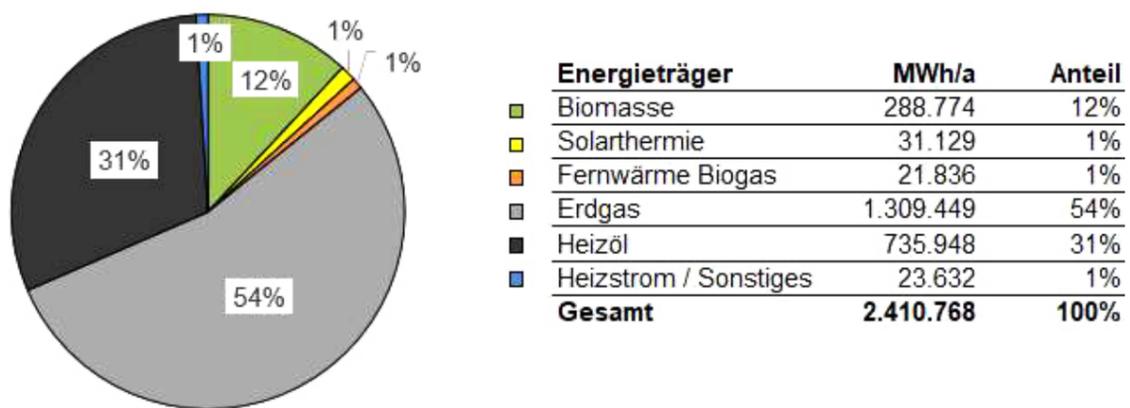


Abbildung 4: Anteil der Energieträger an der Wärmebereitstellung im Jahr 2019 im Landkreis NEW [13]

In nachfolgender Darstellung sind die mit Erdgas versorgten Gemeinden im Landkreis NEW dargestellt.

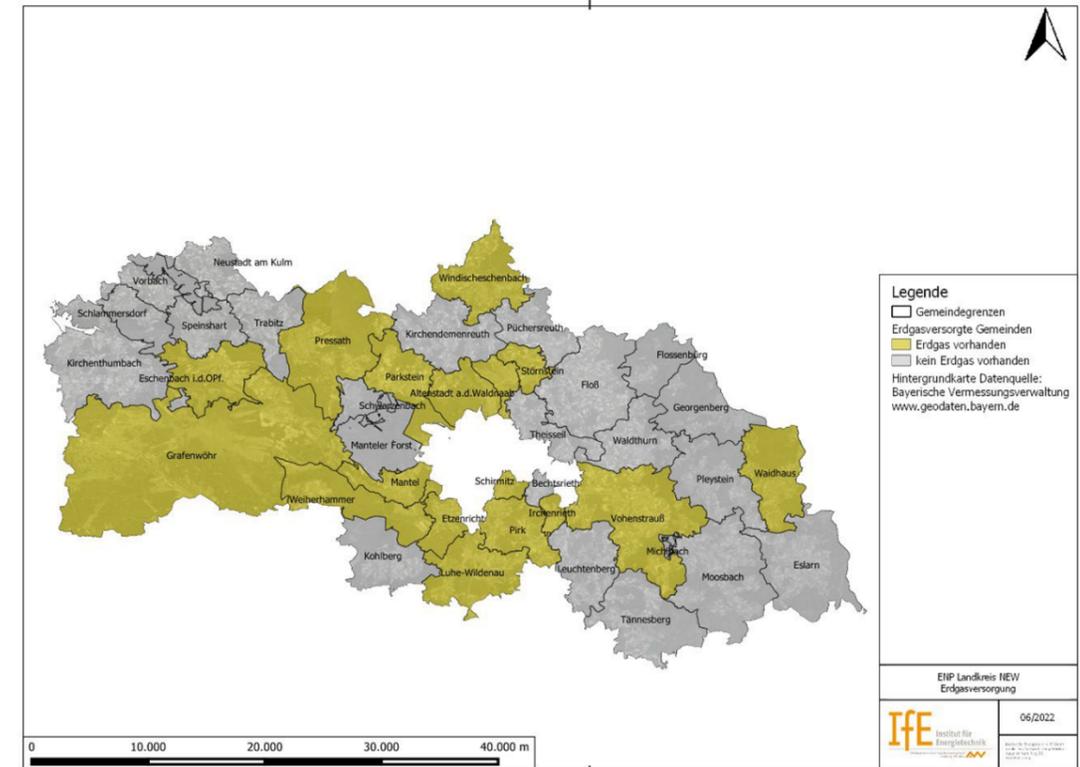


Abbildung 5: Erdgasversorgte Kommunen im Landkreis NEW [13]

Durch den Landkreis NEW führt die mitteleuropäische Gasleitung (MEGAL), für die in Waidhaus auch eine Verdichterstation vorhanden ist. MEGAL ist Teil der Initiative „European Hydrogen Backbone“. Entsprechend der Pläne der Initiative ist mit einer Umrüstung einzelner Stränge der MEGAL-Pipeline auf Wasserstoff im Zeitraum 2030 bis 2035 zu rechnen, Details stehen derzeit noch nicht fest. Während der HyExperts-Phase wurden, unabhängig von NEW HyPerspectives, von Open Grid Europe GmbH bereits erste Versuche mit Wasserstoff an der Gasverdichterstation Waidhaus durchgeführt. Dabei wurde eine Turbine getestet, um eine Wasserstoffbeimischung von 25 % zu ermöglichen [14].

2.1.2 Strombedarf und Anteil erneuerbarer Energien

Der Strombedarf im Landkreis beläuft sich im Bilanzjahr 2019 auf rund 571.434 MWh. Dabei zeigt sich, dass der Bereich Wirtschaft der mit Abstand größte Stromverbraucher im Landkreis ist (Abbildung 6).

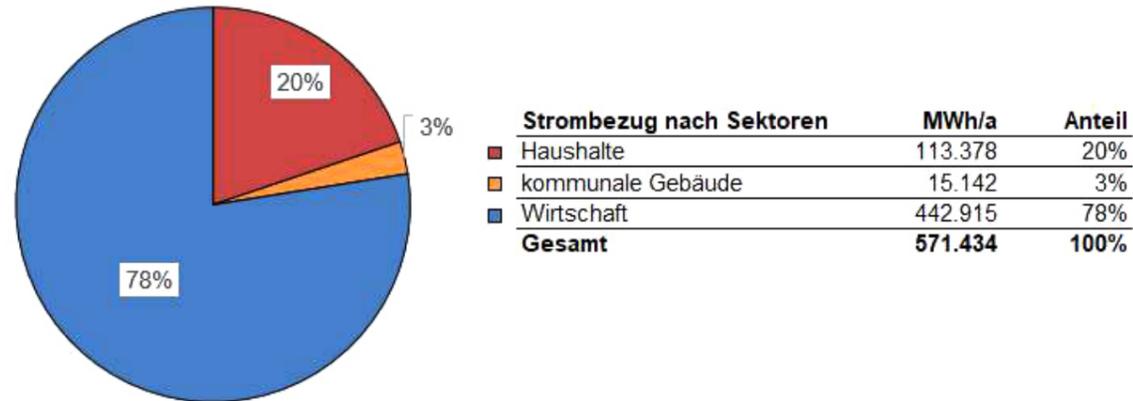


Abbildung 6: Strombedarf der einzelnen Verbrauchergruppen im Jahr 2019 im Landkreis NEW [13]

Anschließend wurde der Strombezug den Erzeugungsmengen der jeweiligen Energieträger gegenübergestellt. Hierfür wurden die eingespeisten Strommengen aus Energieerzeugungsanlagen genauer analysiert. Bilanziell werden im Stromsektor bereits 55 % aus erneuerbaren Energien und Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellt (Abbildung 7).

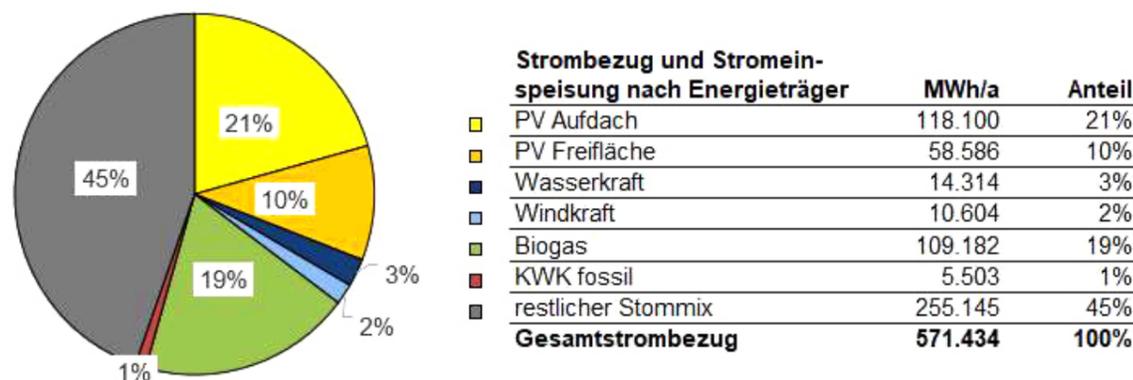


Abbildung 7: Strombezug und Stromeinspeisung nach Energieträger im Jahr 2019 im Landkreis NEW [13]

Es wurde deutlich, dass sowohl der Strom- als auch der Wärmebedarf im Bereich Wirtschaft am höchsten ist. Dominierender Energieträger ist Erdgas, mit dem ein Großteil des Landkreises NEW und insbesondere die Großverbraucher versorgt werden. Aus diesem Grund war die Beteiligung dieser Akteure im Rahmen von NEW HyPerspectives von entscheidender Bedeutung.

Neben dem Status quo wurden auch Ausbaupotenziale für erneuerbare Energien im Rahmen des digitalen Energienutzungsplanes ermittelt. Da für die Erzeugung von Wasserstoff überwiegend die Nutzung von „grünem Strom“ eine entscheidende Rolle spielen wird, wurde an dieser Stelle nochmals im Detail darauf eingegangen. Zur Bewertung möglicher Stromüberschüsse aus erneuerbaren Energien im Landkreis NEW mussten alle ermittelten Potenziale dem Strombedarf im Landkreis gegenübergestellt werden. Der Strombedarf im gesamten Landkreis im Jahr 2019 lag bei 571.434 MWh. Durch Effizienzsteigerungen in den Sektoren „Private Haushalte“, „Kommunale Liegenschaften“, sowie „Wirtschaft“ kann der Stromverbrauch bis zum Jahr 2040 auf rund 416.000 MWh/a gesenkt werden.

Die ermittelten Potenziale zur Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien gliedern sich wie folgt:



Abbildung 8: Ermittelte Potenziale erneuerbarer Energien im Jahr 2019 im Landkreis NEW [13]

In Summe stehen somit jährlich 2.097.125 MWh aus erneuerbaren Energien im Landkreisgebiet zur Verfügung. Nach Abzug des prognostizierten Stromverbrauchs von 416.032 MWh/a stehen somit noch 1.681.093 MWh/a für die Sektoren Heizstrom, Mobilität und Power-To-Heat/ Wasserstoff zur Verfügung. Die Grundvoraussetzungen für die Erzeugung von grünem Wasserstoff sind somit vor Ort erfüllt. In nachfolgender Abbildung sind die im Energienutzungsplan ermittelten Potenzialflächen für Freiflächen-Photovoltaik- und Windkraftanlagen dargestellt.

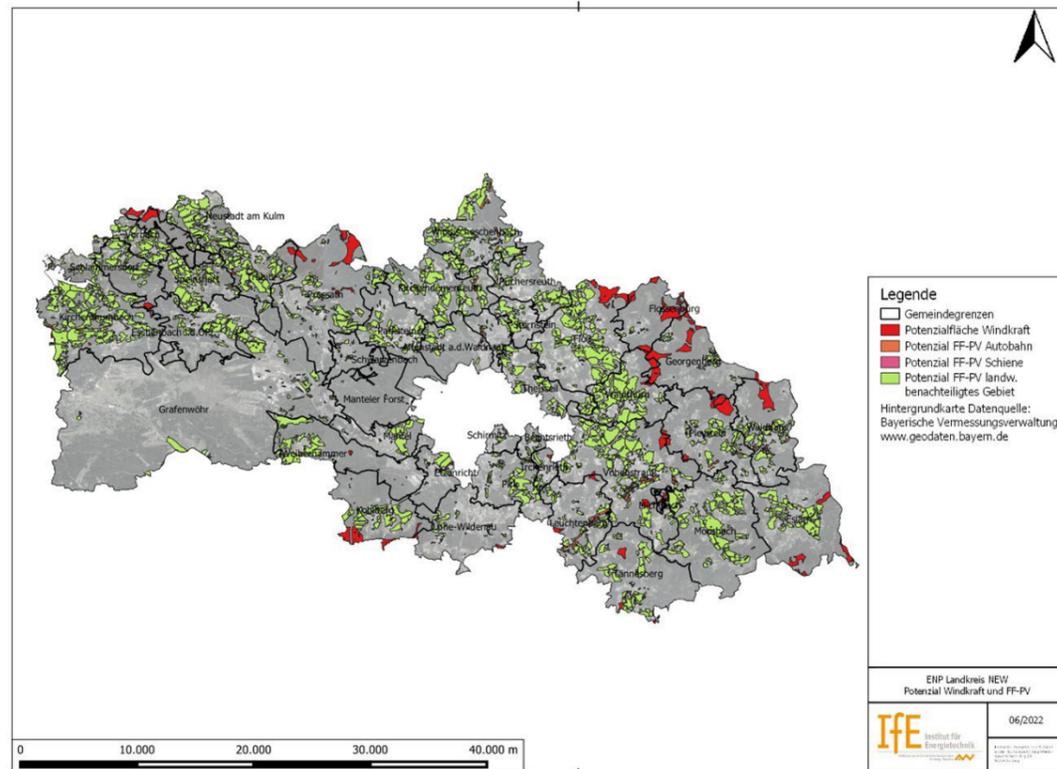


Abbildung 9: Potenzialflächen Windkraft und Freiflächen-PV im Landkreis NEW [13]

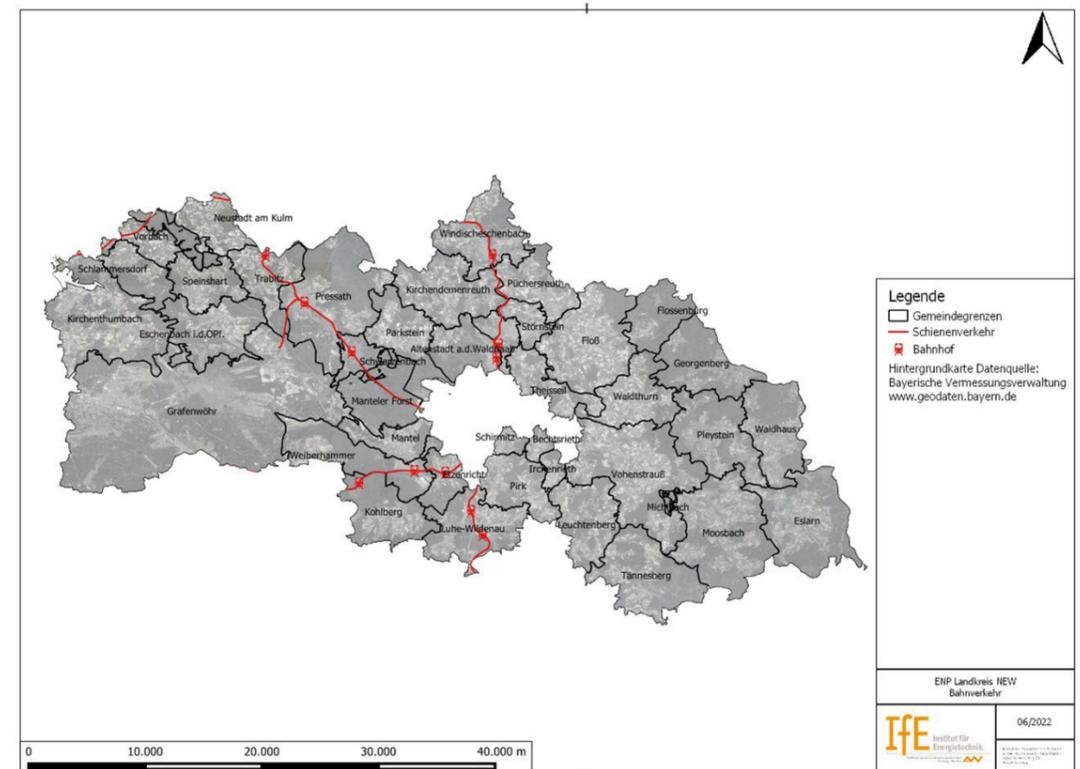


Abbildung 10: Bahnstrecken und Bahnhöfe im Landkreis NEW [13]

2.2 ÖPNV und Schwerlast bzw. Logistik

Im Rahmen des digitalen Energienutzungsplans wurden mögliche Bereiche bzw. Sektoren zur zukünftigen Installation von Elektrolyseuren definiert. Mittels Analysen im GIS konnten mögliche Standorte bzw. Gebiete kartografisch dargestellt, Teile daraus konnten im Rahmen von *NEW HyPerspectives* verwendet werden, vgl. Kapitel 4.1.2.

2.2.1 Bahnverkehr

Bisher ist keine der Bahnlinien im Landkreis NEW elektrifiziert. Aus diesem Grund sollte geprüft werden, ob Bahnhöfe oder andere Infrastruktureinrichtungen der Bahn dafür geeignet sind, mittels Elektrolyseuren Wasserstoff aus den Stromüberschüssen herzustellen. Der erzeugte Wasserstoff kann anschließend für Brennstoffzellenzüge verwendet werden. Ebenfalls wäre eine Kombination mit einer Wasserstofftankstelle denkbar, an welcher der nicht-schienegebundene Nahverkehr oder Brennstoffzellen-Personenkraftwagen (PKW) betankt werden können.

Das Schienennetz sowie die Bahnhöfe im Landkreis NEW sind in folgender Karte dargestellt.

2.2.2 Speditionen

Eine weitere Branche, in welcher zukünftig eine Wasserstoffnutzung denkbar ist, sind Speditionsbetriebe. Langstrecken-LKW werden auch zukünftig nicht als reine Batteriefahrzeuge zum Einsatz kommen, da die Energiedichte der Akkus dafür zu gering ist. Hier sind alternative Lösungen gefragt, um den Speditionsverkehr möglichst klimaneutral darstellen zu können. In folgender Karte sind die größeren Speditionsbetriebe im Landkreis NEW abgebildet (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

2.2.3 ÖPNV

Der ÖPNV hat durch planbare Routen hervorragende Voraussetzungen, um alternative Antriebstechnologien einzusetzen. Da der Landkreis NEW ein ländlich geprägter Landkreis mit geringer Einwohnerdichte ist, bietet sich die Technologie der Brennstoffzellenbusse an. Dadurch können größere Reichweiten erreicht werden als durch batterieelektrische Busse. In folgender Karte ist das ÖPNV-Netz schematisch dargestellt.

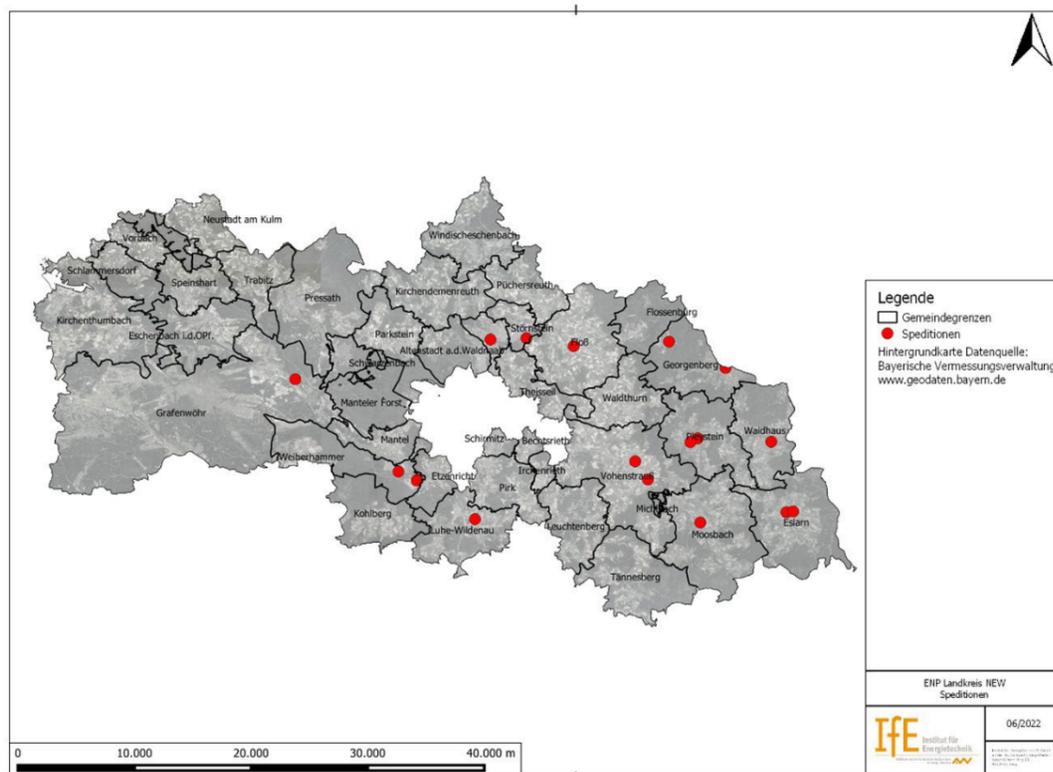


Abbildung 11: Speditionen im Landkreis NEW [13]

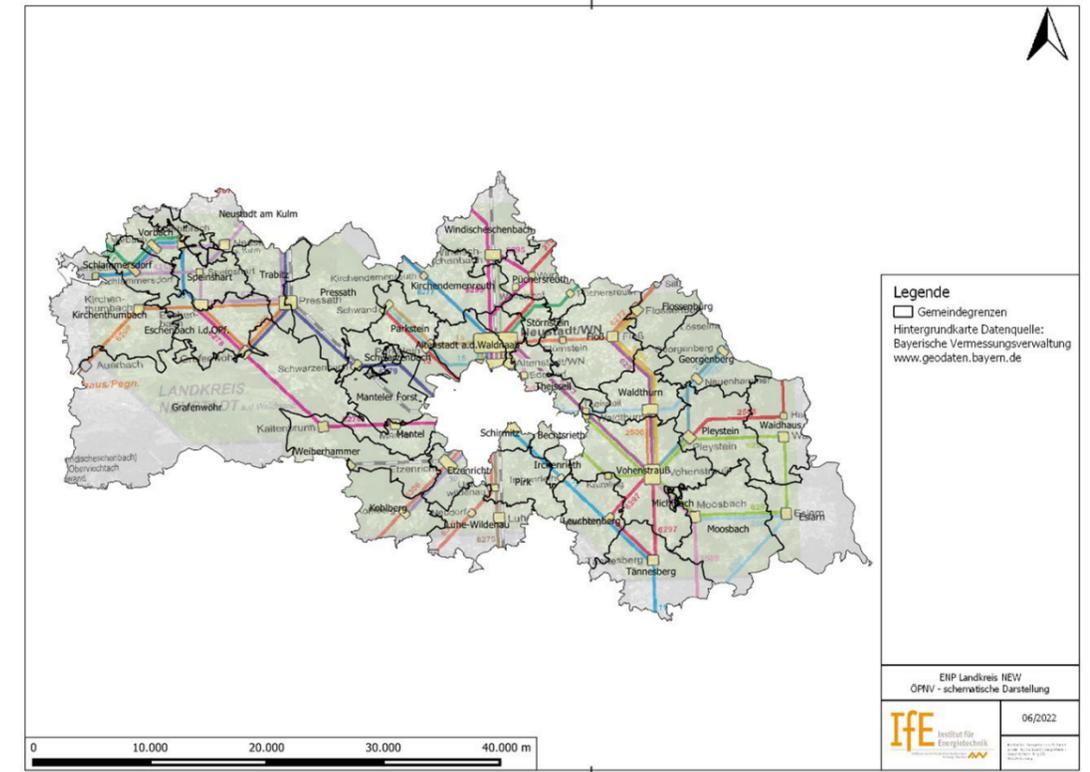


Abbildung 12: Schematische Darstellung des ÖPNV im Landkreis NEW [13]

2.2.4 Tankstellen

Bestehende Tankstellenstandorte im Landkreis sind ebenfalls potenzielle Abnehmer für Wasserstoff. Dieser kann sowohl in privaten PKW als auch in LKW oder Bussen des ÖPNV genutzt werden. Daraus ergeben sich Synergieeffekte, durch die die vorhandene Infrastruktur für mehrere Bereiche im Verkehrssektor genutzt werden kann. In folgender Karte sind die Standorte bestehender Tankstellen im Landkreis abgebildet (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

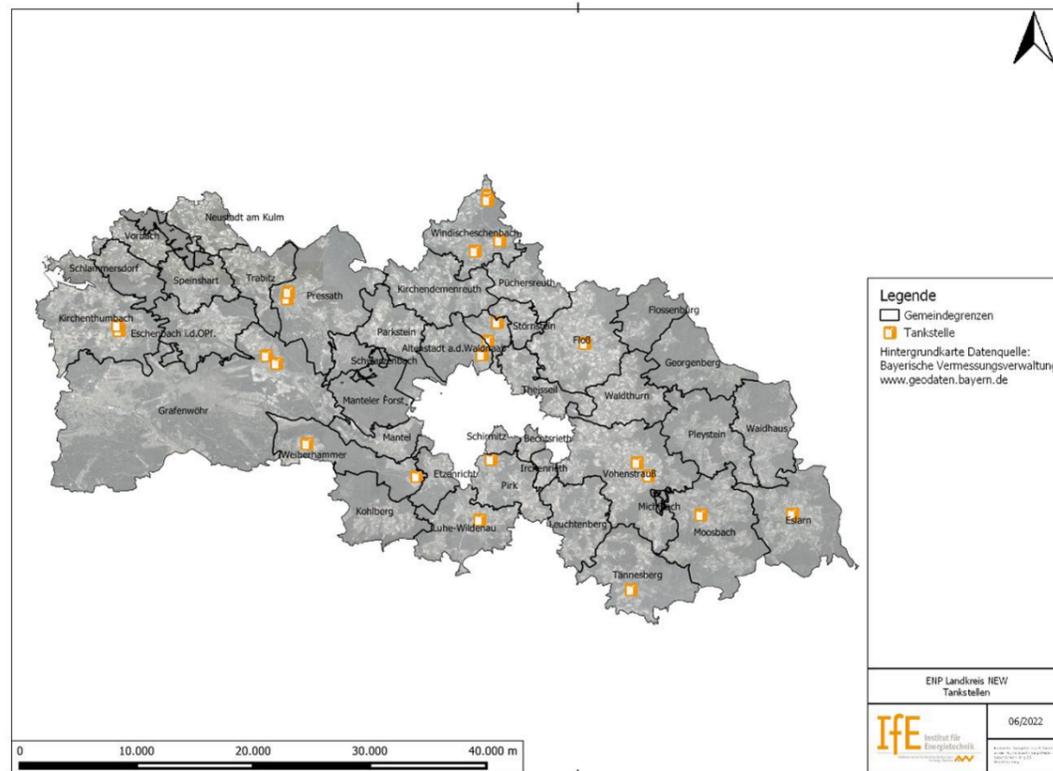


Abbildung 13: Tankstellen im Landkreis NEW [13]

2.3 Industrie

Überschussstrom aus erneuerbaren Energien, insbesondere aus Photovoltaik- und Windkraftanlagen, kann in Form von Wasserstoff gespeichert und für die Energieversorgung in Industriebetrieben genutzt werden. Hierfür bieten sich vor allem energieintensive Industriebetriebe an.

Mit ca. 48 % ist das produzierende Gewerbe der zweitgrößte Wirtschaftssektor im Landkreis [2], wobei der Bereich Maschinenbau mit rund 4.000 Arbeitsplätzen und die metallverarbeitende Industrie mit mehr als 3.200 Beschäftigten die größten Industriezweige im Landkreis darstellen. Bei insgesamt rund 11.000 Arbeitsplätzen im gesamten Wirtschaftssektor gehen fast zwei Drittel der Stellen auf diese beiden Industriezweige zurück [15]. Insgesamt 25 Gewerbegebiete beherbergen neben der Industrie auch Dienstleistungsgewerbe [16].

Rund 4 % der gesamten Landfläche im Landkreis werden von der Industrie genutzt – im Gegensatz zu 2 %, die der Wohnbau einnimmt [2], wobei NEW mit 66 Einwohnern pro km² der am wenigsten dicht besiedelte Landkreis Bayerns ist [2].

Durch die Nähe zur Autobahn A93 und der tschechischen Grenze ist der Landkreis ein attraktiver Industriestandort, wozu auch eine gute Eisenbahnanbindung (Nord-Süd) beiträgt.

Die Auswertung der GIS-Daten zeigt für die industrielle Nutzung von Wasserstoff u. a. Standorte in den Gemeinden Weiherhammer, Pirk und Flossenbürg auf (Glasherstellung, Maschinenbau Wellpappindustrie, Folien- bzw. Verpackungsherstellung, Leichtmetallgießerei).

Neben der Nutzung von Wasserstoff als Energieträger für die Strom- und Wärmebereitstellung kann dieser in der Industrie auch als Prozessgas verwendet werden.

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

3.1 Definition von grünem Wasserstoff

Für die erfolgreiche Umsetzung von Wasserstoffprojekten ist es wesentlich, dass der produzierte Wasserstoff als „grün“ klassifiziert werden kann. Denn die Produktion von „grünem Wasserstoff“ ist klimafreundlich und wird durch die bestehenden Programme der EU und des Bundes gefördert. Auch weitere Vorteile wie z. B. die Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien bei der Bilanzierung oder die Befreiung von der Zahlung der EEG-Umlage betreffen ausschließlich „grünen Wasserstoff.“ Die Definition von „grünem Wasserstoff“ wirkt sich daher erheblich auf die Projektumsetzung aus.

Im Einzelnen:

- o Es wird zwischen vier verschiedenen Arten von Wasserstoff unterschieden, namentlich grünem, grauen, blauem und türkischem Wasserstoff. Die Klassifizierung hängt von dem Ursprung bzw. der Herstellung des Wasserstoffs ab.
- o Eine einheitliche Definition auf nationaler und europäischer Ebene für grünen Wasserstoff existiert derzeit noch nicht. Als „grüner Wasserstoff“ wird Wasserstoff regelmäßig definiert, der mithilfe von Strom aus erneuerbaren Energien (z. B. Solar-/Windkraftenergie) erzeugt wird und somit CO₂ frei ist. Auf europäischer Ebene ausgenommen von den erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung ist die Biomasse.
- o Die Anforderungen an die Erzeugung und insbesondere an die hierfür erforderliche Elektrizität werden in dem delegierten Rechtsakts der EU-Kommission vom 10. Februar 2023, welcher auf Grundlage der Richtlinie 2018/2001 vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Renewable Energy Directive II/RED II) ergangen ist, detailliert beschrieben. Sie dienen als Grundlage für die Klassifizierung als „grüner Wasserstoff.“

Danach kann der Elektrolyseur zum einen mittels einer direkten Stromleitung an eine Anlage zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien angeschlossen werden oder es liegt ohnehin eine einheitliche Anlage vor.

Zum anderen kann der für die Wasserstoffproduktion verwendete Strom aus dem Netz entnommen werden. Hierbei werden weitere Anforderungen gestellt. So muss der Wasserstoff in einer Gebotszone mit einem EE-Anteil von 90 Prozent liegen oder der Wasserstoff wird in einer Gebotszone mit einer niedrigen Emissionsintensität des Stroms erzeugt. Schließlich besteht die Möglichkeit des Nachweises, dass der verwendete Strom den Bedarf an Redispatch-Maßnahmen für EE-Anlagen reduziert. Subsidiär kann Strom auch dann als vollständig erneuerbar gelten, wenn weitere zeitliche und geografische Anforderungen erfüllt werden.

Der delegierte Rechtsakt liegt nun dem EU-Parlament und dem Rat zur Prüfung vor. Erfolgen innerhalb von zwei Monaten keine Einwände, tritt der delegierte Rechtsakt nach Veröffentlichung in Kraft.

Details sind der „Stellungnahme zur Definition und den rechtlichen Anforderungen and die Erzeugung von „grünem Wasserstoff“ vom 11. April 2023 zu entnehmen.

3.2 Bündelung von EEG-Altanlagen als Stromlieferant für H₂-Elektrolyseure

EEG-Altanlagen können als Stromlieferanten für die Produktion von Wasserstoff genutzt werden. Insbesondere die Bündelung von solchen EEG-Altanlagen kann im Rahmen der Projektumsetzung sinnvoll sein.

Zu beachten ist dabei, dass die gesetzlichen Regularien insbesondere aufgrund der angestrebten Energiewende, vorangetrieben durch den Ukrainekrieg, und dem Willen der Bundesregierung an einer Umstellung der Energieversorgung einer stetigen Fortschreibung unterliegen. Dies betrifft zum einen Änderungen aufgrund des auf Bundesebene am 7. Juli 2022 beschlossenen Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor, als Teil des sogenannten „Osterpakets“, aber auch weitere erwartbare gesetzliche Änderungen. Bei einer konkreten Umsetzung der Bündelung von EEG-Altanlagen als Stromlieferant für H₂-Elektrolyseure müssen die zu diesem Zeitpunkt geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen zugrunde gelegt werden und die vorliegende Stellungnahme und der Modellvorschlag entsprechend fortgeschrieben und gegebenenfalls angepasst werden.

Im Einzelnen:

- o Der Rechtsrahmen des EEG bleibt auch weiterhin für Anlagen, die aus der EEG-Förderung ausscheiden, bestehen. Insbesondere bleibt der Einspeisevorrang von erneuerbarem Strom gegenüber konventionellem Strom auch nach der Förderung der Anlagen bestehen. Denn auch wenn eine Förderung aus dem EEG aufgrund eines zeitlichen Auslaufens der Anlagen nicht mehr erfolgt, bleibt der Strom aus ausgeförderten EEG-Anlagen weiterhin erneuerbar.
- o Weiter bestehen verschiedene Möglichkeiten der Nutzung des Stroms aus ausgeförderten EEG-Anlagen, namentlich:
 - die Einspeisevergütung vornehmlich für Anlagen von bis zu 100 Kilowatt
 - die Direktvermarktung mittels Power-Purchase-Agreements. Ebenfalls muss bei der Direktvermarktung die Sonderstellung sogenannter Prosumer berücksichtigt werden
 - die Weitergabe des Stromes ohne Netzeinspeisung an Dritte in unmittelbarer Nähe der EEG-Anlagen

- o Synergieeffekte durch die Bündelung von ausgeförderten EEG-Anlagen lassen sich unabhängig von der Produktion von Wasserstoff mit Blick auf die Verwendung des produzierten Stromes erzielen. Eine solche Bündelung kann durch die Gründung eines virtuellen Kraftwerkes in Form einer Gesellschaft geschehen. Dies ist sinnvoll, um eine handelsfähige Menge an Strom anbieten und einen kontinuierlichen Stromfluss gewährleisten zu können. Der Strom kann weiterhin als erneuerbar genutzt und als solcher vermarktet werden. Bei der konkreten Ausgestaltung eines virtuellen Kraftwerkes sind verschiedene rechtliche Anforderungen zu beachten, insbesondere das Gesellschafts-, das Energiewirtschafts- und das Kommunalrecht.
- o Die Nutzung des Stroms aus ausgeförderten EEG-Anlagen zur Herstellung von grünem Wasserstoff ist derzeit sowohl nach europarechtlichen als auch nach nationalen Vorgaben möglich. Allerdings ist erwartbar, dass die Anforderungen sowohl durch die EU als auch durch den deutschen Gesetzgeber so angepasst werden, dass dies in naher Zukunft nicht mehr möglich sein wird. Hierzu liegt der delegierte Rechtsakt der Europäischen Kommission vom 10. Februar 2023 vor. Dieser verschärft die Anforderungen an die Produktion von grünem Wasserstoff deutlich.
- o Die Verschärfungen werden für notwendig gehalten um zu gewährleisten, dass parallel zur steigenden Produktion von grünem Wasserstoff auch ausreichend Wind- und Solaranlagen zugebaut werden. Andernfalls würde der erneuerbare Strom, der für die Erzeugung von grünem Wasserstoff benötigt wird, nicht ins Stromnetz eingespeist und voraussichtlich durch Strom aus fossilen Energiequellen ersetzt werden. Dies steht jedoch den Klimazielen der EU entgegen und würde dazu beitragen, dass grün gelabelter Wasserstoff tatsächlich nicht wirklich nachhaltig wäre.
- o Der delegierte Rechtsakt enthält eine Übergangsbestimmung. Diese bezieht sich auf die erhöhten Anforderungen an die Herstellung von Wasserstoff, konkret auf die Vorgabe der Inbetriebnahme des Elektrolyseurs und der Stromerzeugungsanlage innerhalb von 36 Monaten und die Vorgabe, dass keine Förderung für die Stromerzeugungsanlage in Anspruch genommen werden darf. Wird der Elektrolyseur vor dem 1. Januar 2028 in Betrieb genommen, gelten diese erhöhten Anforderungen erst ab dem 1. Januar 2038. Mit Blick auf die Regelungen des delegierten Rechtsakts bestehen verschiedene Umsetzungsszenarien mit Blick auf die EEG-Altanlagen und die Wasserstoffproduktion.

Diese gliedern sich wie folgt:

- Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft innerhalb der Übergangsfrist
- Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft mit neuen Anlagen zur Stromerzeugung
- Bündelung der Stromerzeugungskapazitäten im Rahmen eines virtuellen Kraftwerkes unabhängig von der Wasserstoffproduktion

- o Kann der mittels EEG-Altanlagen erzeugte Wasserstoff nicht mehr als „grün“ eingestuft werden, kann dieser dennoch in verschiedenen Anwendungen zum Einsatz kommen. Allerdings sind die Auswirkungen insbesondere auf die Förderung im Rahmen konkreter Förderprogramme zu beachten, die teilweise „grünen“ Wasserstoff fordern. Die Einsatzmöglichkeiten von nicht als grün klassifiziertem Wasserstoff bestimmen sich dabei vorrangig nach dessen Wirtschaftlichkeit. Ob die Produktion von Wasserstoff wirtschaftlich sinnvoll bleibt, wenn dieser nicht als grün gelabelt wird, ist abhängig von der zukünftigen rechtlichen Entwicklung bezüglich Förderung und Einspeisung von Wasserstoff. Dabei ist auch eine Bewertung nach der EU-Taxonomie und die Behandlung von Nachhaltigkeitskriterien aus unternehmerischer Sicht zu beachten.

Details sind der „Stellungnahme und Modellvorschlag zur Bündelung von EEG-Altanlagen als Stromlieferant für H₂-Elektrolyseure“ vom 11. April 2023 zu entnehmen.

3.3 Bündelung von Bedarfen zur Beschaffung von H₂-Fahrzeugen („Fahrzeugpooling“)

Die Beschaffung von H₂-Fahrzeugen wird sowohl durch Bundes- als auch durch Landesprogramme gefördert. Neben der Förderung der Beschaffung der Fahrzeuge selbst wird teilweise auch die Beschaffung der für den Betrieb notwendigen Tank- und Ladeinfrastruktur gefördert.

Durch die zuwendungsrechtlichen Rahmenbedingungen sind sowohl öffentliche als auch private Auftraggeber an die vergaberechtlichen Normen gebunden. Um die Beschaffung so effizient und wirtschaftlich wie möglich zu gestalten, gibt es verschiedene Möglichkeiten der Bündelung von Bedarfen. So stehen den Auftraggebern neben strukturellen Lösungsansätzen (z. B. durch eine gemeinsame Auftragsvergabe) auch vertragliche Lösungsansätze (z. B. die Ausschreibung einer Rahmenvereinbarung) zur Verfügung. Dabei steht stets die wirtschaftliche Beschaffung im Vordergrund.

Im Einzelnen:

- o Die Beschaffung von H₂-Fahrzeugen wird durch Bundesförderprogramme, wie z. B. auf Grundlage der Richtlinie über die Förderung von leichten und schweren Nutzfahrzeugen mit alternativen, klimaschonenden Antrieben und dazugehöriger Tank- und Ladeinfrastruktur für elektrisch betriebene Nutzfahrzeuge als auch durch Landesförderprogramme, wie z. B. durch die bayerische Förderung von Nutz- und Sonderfahrzeugen mit klimaschonenden Antrieben und dazugehöriger Tank- und Ladeinfrastruktur, gefördert.
- o Werden Beschaffungen durch Zuwendungen gefördert, ist bei der Beschaffung das Vergaberecht anzuwenden. So muss auch ein privates Unternehmen, das für bestimmte Anschaffungen Fördermittel beansprucht, für die Einkaufsprozesse Wettbewerb schaffen. Im Detail bedeutet dies, dass bei der Beschaffung die vergaberechtlichen Grundsätze, wie das Diskriminierungsverbot oder der Wettbewerbs- und Transparenzgrundsatz zu wahren sind.
- o Die Bündelung von Bedarfen ist strukturell durch die Realisierung einer Kooperation zwischen Privaten und der öffentlichen Hand, z. B. durch Gründung einer Projektgesellschaft, möglich. Auch eine Kooperation zwischen zwei öffentlichen Auftraggebern, z. B. im Wege einer Inhouse-Vergabe, ist denkbar.

- o Vertraglich kann die Bündelung von Bedarfen durch die Ausschreibung einer Rahmenvereinbarung umgesetzt werden. Die Rahmenvereinbarung ist eine besondere Art der Leistungsbeziehung. Sie ist eine Vereinbarung zwischen einem oder mehreren Auftraggebern und einem oder mehreren Unternehmen, die dazu dient, die Bedingungen für den Auftrag, die während eines bestimmten Zeitraums vergeben werden sollen, festzulegen. Dabei sind bei der Ausgestaltung der Rahmenvereinbarung die aktuellen Entwicklungen der europäischen Rechtsprechung zu berücksichtigen. Neben der Festlegung von Mindest- und Höchstabnahmemengen (EuGH, Urteil vom 17. Juni 2021 – C-23/20) ist auch zu beachten, dass die abrufberechtigten Auftraggeber (EuGH, Urteil vom 14. Juli 2022 – C-274/21) bereits bei Einleitung des Vergabeverfahrens festgelegt werden müssen.

3.4 Aktuelle gesetzliche Rahmenbedingungen zu Floating-PV

Zur Erreichung der von der Bundregierung gefassten Klimaschutzziele und einer erfolgreichen Energiewende bedarf es eines massiven Solarenergieausbaus. Der Ausbau soll nicht nur im Gebäudesektor, sondern auch in der Fläche stattfinden. Für einen möglichst flächensparsamen Ausbau müssen zudem Möglichkeiten einer sinnvollen Doppelnutzung von Flächen verstärkt genutzt werden, wie beispielsweise in Form von schwimmenden PV-Anlagen. Erste Pilotprojekte, auch in Bayern, sind bereits realisiert worden. Während jedoch die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Errichtung von PV-Anlagen an und auf Gebäuden sowie auf Freiflächen weitestgehend geregelt sind, sind die Anforderungen, die an schwimmende PV-Anlagen zu stellen sind noch weitreichend ungeklärt.

Die Ausführungen und Bewertungen basieren auf dem im Zeitpunkt der Erarbeitung des Dokuments aktuellen Kenntnis- und Informationsstand zur Sachlage, den geltenden rechtlichen Vorschriften und der aktuellen Rechtsprechung. Aufgrund des erheblichen Bedarfs an alternativen Energiequellen ist jedoch zu erwarten, dass zeitnah Änderungen in den geltenden Vorschriften und den Genehmigungsverfahren erlassen werden.

Zu den Ergebnissen im Einzelnen:

- o Schwimmende PV-Anlagen bedürfen grundsätzlich der wasserrechtlichen Genehmigung nach § 36 Abs. 1 Wasserhaushaltsgesetz i.V.m. Art. 20 Abs. 1 Bayerisches Wassergesetz.
- o Gemäß § 36 Abs. 1 S. 1 Wasserhaushaltsgesetz sind Anlagen an, in, über und unter oberirdischen Gewässern so zu errichten, dass insbesondere keine schädlichen Gewässerveränderungen zu erwarten sind. Solche ergeben sich aus Veränderungen von Gewässereigenschaften, die das Wohl der Allgemeinheit, insbesondere die öffentliche Wasserversorgung, beeinträchtigen. Bei der Prüfung sind z. B. der Abstand der Anlage zum Ufer, die Tiefe des Gewässers sowie der Anteil der Anlage an der Gesamtfläche des Gewässers zu berücksichtigen.
- o Im Rahmen der wasserrechtlichen Genehmigung wird durch die zuständige Behörde auch die Vereinbarkeit der schwimmenden PV-Anlage mit den bauplanungsrechtlichen Vorschriften geprüft. Hierbei kann die Zulässigkeit über die Aufstellung eines Bebauungsplans oder über eine Zulassung nach § 35 BauGB erreicht werden.
- o Schließlich sind in ausgewiesenen Schutzgebieten, beispielsweise Landschaftsschutzgebieten, Wasserschutzgebieten oder Flora-Fauna-Habitat-Schutzgebieten die dort geltenden Anforderungen zu beachten. Teilweise werden diese Schutzgebiete seitens des Bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr als für nicht oder nur eingeschränkt

geeignet zur Errichtung von PV-Anlagen angesehen. Diesbezüglich sollte mit der zuständigen Kreisverwaltungsbehörde eine Abstimmung erfolgen, um den genauen Standort, mögliche Ausnahmen oder Alternativstandorte zu klären. Zur Vorbereitung für eine zielführende Abstimmung mit der Kreisverwaltungsbehörde sollten im Rahmen der Standortsuche die möglichen Standorte in Kategorien eingeteilt werden. Hierbei sollte danach unterschieden werden, ob der Standort in einem Schutzgebiet liegt und ob eine Realisierung überhaupt und wenn ja unter welchen Anforderungen möglich ist.

- o Zwar wurden durch die Änderungen des Wasserhaushaltsgesetzes zum 1. Januar 2023 deutlich verschärfte Anforderungen an die Errichtung von schwimmenden PV-Anlagen aufgestellt. Der Entwurf einer Photovoltaik-Strategie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz vom März 2023 verspricht jedoch ein „maßvolles Nachjustieren der Anforderungen aus dem Wasserhaushaltsgesetz“. Damit sind absehbar Änderungen erwartbar und die Errichtung von schwimmenden PV-Anlagen weiterhin attraktiv.

Details sind der „Stellungnahme zu den öffentlich-rechtlichen Anforderungen an die Errichtung einer schwimmenden PV-Anlage“ vom 11. April 2023 zu entnehmen.

4 Technisch-Wirtschaftliche Analyse einer Wasserstoffinfrastruktur im Landkreis NEW

4.1 Vorstellung Vorgehensweise & Methodik

4.1.1 Bedarfsermittlung

Zur genauen Analyse möglicher Projektideen und damit zusammenhängender Projektstandorte und -dimensionen bzw. auch -kooperationen ist eine aussagekräftige und belastbare Datengrundlage die wichtigste Voraussetzung. Aus diesem Grund wurde bei der Datenerhebung stufenweise vorgegangen. D. h. es fand eine erste großflächige Datenabfrage statt, die anschließend in zwei weiteren Schritten weiter detailliert wurde.

Online Datenerfassungsbogen

Die erste flächendeckende Erhebung fand über einen online Datenerfassungsbogen statt, der an alle registrierten Akteurinnen und Akteure und Interessenten in der Region geschickt wurde. Dieser diente zur Erfassung der wichtigsten Daten, aus denen zunächst das Interesse zur weiteren Partizipation sowie damit zusammenhängende Potenziale abgeleitet werden konnten.

Der Fragebogen konnte online von den teilnehmenden Akteurinnen und Akteuren ausgefüllt werden. Die Abfrage war dazu in fünf Abschnitte gegliedert.

Im ersten Abschnitt wurde die Branche abgefragt. Zur Auswahl standen Industrie, Handwerk, Verkehr & Logistik, Dienstleistung, Land- und Forstwirtschaft sowie die Kategorie Sonstiges. Diese Angabe stellt eine wichtige Information zur Einordnung eines möglichen Wasserstoffbedarfes zu einem Nutzungsfeld wie beispielsweise dem Mobilitätssektor oder bestimmte Industrieprozesse dar.

Im zweiten Abschnitt lag der Fokus auf konkreten Einsatzmöglichkeiten von Wasserstoff z. B. als chemischer Grundstoff, Energiespeicher, Kraftstoff oder Brennstoff, mit der Bitte um Konkretisierung der Angabe. Falls noch kein möglicher Anwendungsfall von Wasserstoff bekannt

ist, bestand über das *NEW HyPerspectives* Projekt auch die Möglichkeit, sich tiefergehend über das Thema und die Einsatzmöglichkeiten zu informieren (z. B. über Workshops, die im Anschluss an die online Datenerhebung zur Konkretisierung stattfanden). Im nachfolgenden Teil des Abschnitts stand das Thema Mobilität im Fokus, in dem u. a. Fragen zum Fahrzeugbestand, zur Umstellung auf alternative Antriebsmöglichkeiten sowie damit zusammenhängende Hemmnisse gestellt wurden. Wie auch im ersten Abschnitt, zielte die Befragung darauf ab, die Nutzungsart des Wasserstoffes und potenzielle Einsatzmengen zu konkretisieren, um im Projektverlauf eine Clusterung nach Nutzungsart vorzunehmen und die Projektideen samt damit einhergehender Logistik und Infrastruktur auf die Bedarfe auszurichten. Eine weitere wichtige Rolle spielte dabei auch die Standortsuche für die notwendigen Wasserstoffherstellungs- und -verteilungsanlagen.

Im dritten Abschnitt der Datenerfassung wurde abgefragt, ob ein genereller Bedarf an (Weiter-) Bildung in dem Themenfeld besteht. Im Fall einer zusagenden Antwort wurde abgefragt, in welchen technischen Berufen z. B. Bildung hinsichtlich Erzeugung, Speicherung, Transport und Verwendung von Wasserstoff eine Rolle spielt. Gleiches galt bei kaufmännischen Berufen beispielsweise für Fördermöglichkeiten und kostenvermeidende Kalkulation. Um ein besseres Bild über die Ist-Situation der Ausbildung zu erhalten, wurden außerdem gezielt Fragen über aktuelle Ausbildungsberufe und Berufsbilder gestellt. Durch die Einschätzung der Akteure über die Befragung wurde deutlich, an welchen Stellen mit künftigem Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft ein Bedarf an speziellem Informations- und Bildungsangebot besteht.

Der vierte Teil der Umfrage beschäftigte sich mit den Energieverbräuchen diverser eingesetzter Energieträger bei den Teilnehmern im Ist-Zustand. Dazu zählten Strom, Erdgas, Wärme, Heizöl, fossile Kraftstoffe oder sonstige Energieträger sowie deren aktueller Verwendungszweck. Die Abfrage dieser Werte steht dabei in direktem Verhältnis zur Ausarbeitung von Wasserstoff-Hochlaufkurven und Projektideen.

Abschließend wurde das Interesse an weiteren Informationen bzw. einem weiteren Austausch abgefragt. Denn im Nachgang zur Befragung bestand für alle Interessenten die Möglichkeit, über Workshops am Projekt mitzuarbeiten und Informationen einzuholen. Die Durchführung der Workshops stellte gleichzeitig den weiteren Konkretisierungsschritt im Projekt und dem Prozess der Bedarfsermittlung dar.

Die Ergebnisse der Online-Datenerfassung wurden in Kapitel 4.2.1 dargestellt und bildeten die Grundlage für die Hochlaufkurven, die im Rahmen des Projekts für die Region ausgearbeitet wurden. Bei der Ausarbeitung der Hochlaufkurven wurde zwischen den Sektoren Verkehr und Industrie unterschieden, um die unterschiedlichen Anforderungen und zu erwartenden zeitlichen bzw. chronologischen Unterschiede berücksichtigen zu können. Des Weiteren stellen die Ergebnisse der Befragung eine wichtige Grundlage für die konkrete Ausarbeitung von Projektideen in der Region dar.

Workshops

Eine erste Konkretisierung der Bedarfsermittlung erfolgte im Rahmen von spezifischen Workshops mit den interessierten Akteurinnen und Akteuren. In diesem Rahmen konnten auch potenzielle Wechselwirkungen aufgezeigt und diskutiert werden.

Nach der Erfassung der Energiebedarfswerte und potenzieller Wasserstoffnutzungspfade über den online Datenerfassungsbogen und die entsprechende Auswertung wurden anschließend im Rahmen der Workshops die Substitutionsmöglichkeiten von fossilen Energieträgern wie z. B. Erdgas durch Wasserstoff vorgestellt, diskutiert und quantifiziert.

Folgende Workshops fanden dazu im Rahmen von *NEW HyPerspectives* zum Austausch und zur Informationsweitergabe an Interessierte statt:

- H₂-Abnehmer Prozesse
- H₂-Abnehmer Busse, LKW, Intralogistik
- EE-Erzeuger
- H₂-Erzeuger
- H₂-Infrastrukturbetreiber

Wie anhand der Workshoptitel erkennbar ist, wurde den Interessierten die Möglichkeit gegeben, sich umfassend über das Thema Wasserstoff zu informieren, angefangen bei Produktion von „grünem“ Strom über die Erzeugung von „grünem“ Wasserstoff hin zu diversen Abnahmepfaden in Industrie und Mobilität und dazugehöriger Infrastruktur z. B. zur Verteilung und Speicherung. Dadurch konnten die Teilnehmenden die Inhalte beispielsweise auf ihr Unternehmen bzw. ihre konkreten Anwendungsfälle übertragen und somit Input für Projektideen einfließen lassen.

Ein wichtiger Aspekt in dieser Phase war es, auch mögliche Hinderungsgründe (sowohl technisch als auch ökonomisch) zu eruieren, um bei der Festlegung der zu betrachtenden Anwendungsfälle die Realität so genau wie möglich abbilden zu können.

Interviews

Als letzter Schritt im Rahmen der Datenerhebung für die Projektkonkretisierung fand die Durchführung von Interviews bzw. individuellen Abstimmungen mit einzelnen, besonders projektrelevanten Mitwirkenden statt. Dieser Schritt beinhaltete einerseits die unter der Überschrift „Marktdialoge“ organisierten intensiven Austauschrunden mit Herstellern unterschiedlicher Technologien, andererseits aber auch Gespräche inkl. Vor-Ort-Begehung mit Industrieunternehmen.

Bei den Marktdialogen, in denen die nachfolgend aufgeführten Themen behandelt wurden, konnten wertvolle Kontakte zu Herstellern geknüpft werden und wichtige Informationen für die Projektbearbeitung z. B. hinsichtlich technischer Daten und belastbarer Zahlen zur wirtschaftlichen Bewertung der unterschiedlichen Systeme und Komponenten eingeholt werden.

- H₂-Herstellung Elektrolyse
- Alternative H₂-Herstellung
- H₂-Busse
- H₂-Nutz- und -Sonderfahrzeuge

- H₂ Industrie, Finanzierung, Handel
- H₂-Speicherung und -Transport
- H₂-Tankstellen

Um die individuellen Herausforderungen und Rahmenbedingungen bei einzelnen Beteiligten noch besser im Detail erfassen und einarbeiten zu können, wurden schließlich Einzelgespräche mit Schlüsselfiguren geführt. Bei diesen individuellen Terminen mit den Akteurinnen und Akteuren konnten z. B. gezielt bereits angestellte Überlegungen, durchgeführte Tests und auch damit gemachte Erfahrungen erfragt werden. Darunter fielen z. B. Limitationen in der Wasserstoff-Beimischung, die z. B. Veränderungen im Prozess hervorrufen, was sich in der Produktqualität niederschlägt. Derartige Detailinfos waren maßgeblich für die realistische Abschätzung von Bedarfen und die daraus resultierende Erarbeitung von Projekten inkl. der dazugehörigen Roadmap.

Weitere wichtige Informationen, die sich auf die Möglichkeiten der Transformation eines Betriebes und sogar der gesamten Region auswirken, sind auf einer übergeordneten Ebene zu sehen. Hier sind beispielsweise der Umbau oder Ausbau von Versorgungsinfrastruktur z. B. durch die jeweiligen lokalen oder überregionalen Netzbetreiber sowie der geplante Zeithorizont zu nennen.

Diese frühzeitige, realistische Einschätzung zur Verfügbarkeit und Einsetzbarkeit von Substitutionsmengen trug dazu bei, die Hochlaufkurven im Projekt berechnen zu können.

Die zusammengetragenen Informationen während des mehrmonatigen Datenerhebungsprozesses flossen schließlich in die Projektkonzipierung ein. Dadurch konnten die Projektideen möglichst umsetzungsorientiert und regional abgestimmt werden. Durch diese Vorgehensweise können Synergieeffekte so gut wie möglich genutzt und Projekte oder Projektphasen zeitlich aufeinander abgestimmt werden.

4.1.2 GIS-Analyse

Neben der Kenntnis der einzelnen Bedarfe und deren möglicher zeitlicher Entwicklungen spielt auch das räumliche Zusammenspiel der Bedarfe, aber auch der Erzeugungspotenziale, eine wichtige Rolle für die konkrete Gestaltung einer Wasserstoff-Landschaft im Landkreis NEW. Daher wurden im Rahmen von *NEW HyPerspectives* ausführliche Analysen mithilfe einer Geoinformationssystem-(GIS)-Software durchgeführt.

Grundvoraussetzung für die Produktion „grünen“ Wasserstoffs ist der Einsatz von „grünem“ Strom z. B. aus PV- oder Windkraftanlagen. Diese dezentralen Strom-Erzeuger sind bereits an verschiedenen Standorten im Landkreis vorhanden. Darüber hinaus konnten im bereits erwähnten digitalen Energienutzungsplan [13] Potenzialflächen für einen weiteren Ausbau dieser EE-Anlagen dargestellt werden. Diese wetterabhängigen Technologien führen häufig zu einem regionalen Überangebot an Strom („Überschussstrom“), der je nach den örtlichen Stromnetz-Kapazitäten zu einer erhöhten Be- bzw. stellenweise Überlastung des Stromnetzes führen kann. Daher ist die Kenntnis der Erzeugungsschwerpunkte im Landkreis entscheidend dafür, wo z. B. für einen Elektrolyseur große Mengen an lokal erzeugtem Grünstrom zur Verfügung stehen und damit gleichzeitig das Stromnetz entlastet werden kann, wenn der Strom dem Elektrolyseur über eine separate Direktleitung zugeführt wird.

Bei der direkten Kopplung einer H₂-Erzeugungsanlage mit dem Stromnetz spielt die Möglichkeit eines adäquaten Stromanschlusses eine entscheidende Rolle für die Umsetzbarkeit. Die Stromnetze werden in der Regel auf der Mittelspannungsebene angeschlossen. Eine einfache und aus Systemsicht auch sinnvolle Anbindung ist u. a. an Umspannwerken möglich, sodass auch diese in die GIS-Analyse aufgenommen wurden.

Zudem sollte mithilfe des GIS erarbeitet werden, über welche Strecken der (dezentral) erzeugte Wasserstoff zu den verschiedenen Abnehmern im Landkreis transportiert werden kann und welche Technologie sich dafür jeweils anbietet. Weiterhin kann bei größeren Verbrauchsschwerpunkten überlegt werden, den Wasserstoff – idealerweise unter Vorhandensein eines geeigneten Netzanschlusses und EE-Strom-Erzeugern in der Nähe, z. B. Aufdach-PV auf Industriehallen – bei den Abnehmern zu erzeugen. Dieses Vorgehen vermeidet ein erhöhtes Verkehrsaufkommen durch andernfalls benötigte LKW-Fahrten. Zudem gewährleistet es die Unabhängigkeit von einer möglicherweise erst langfristigen Umstellung einer Gasleitung auf die Durchleitung von Wasserstoff. Neben der „vernetzten“ Nutzung der Wasserstoff-Kapazitäten im Landkreis über bestehende oder neue Gasnetze oder durch den Aufbau eines Logistiksystems zur optimalen Bereitstellung und Bewegung von H₂-Speicher-Trailern mittels LKW ist unter bestimmten Voraussetzungen auch eine individuelle H₂-Erzeugung und Nutzung eines einzelnen Unternehmens oder eines lokalen Standortverbands möglich.

Zur weiteren Steigerung des ökologischen Nutzens und der Wirtschaftlichkeit einer H₂-Erzeugungsanlage müssen auch die anfallenden Nebenprodukte einer Nutzung zugeführt werden können. Im Falle eines Elektrolyseurs sind dies Sauerstoff und Wärme. Aus diesem Grund wurden in die GIS-Analyse auch Standorte aufgenommen, von denen aus den Workshops bekannt war, dass dort reiner Sauerstoff, z. B. für einen Brenner mit sog. Oxyfuel-Prozess, in erheblichen Mengen eingesetzt wird. Ein weiteres Beispiel sind Kläranlagen, auf denen der reine Sauerstoff im sog. Belebungsbecken eingebracht und so die Leistung der Belüftungstechnik reduziert werden kann, da dann geringere Umgebungsluft-Mengen (Sauerstoff-Anteil nur ca. 21 %) eingeblasen werden müssen. Für eine Elektrolyse-Anlage ist ein Sauerstoff-Abnehmer in unmittelbarer Nähe in der Regel die einzige Möglichkeit, den Sauerstoff abgeben zu können, da eine Abfüllung (unter Verflüssigung) für den Transport über weitere Strecken kaum wirtschaftlich darstellbar ist.

Ebenfalls technisch und wirtschaftlich nicht über weite Strecken transportierbar ist die Wärme, die während des elektrochemischen H₂-Erzeugungsprozesses entsteht und auf einem Temperatur-Niveau von etwa 50 – 60 °C ausgekoppelt werden kann. Dieses Temperatur-Niveau kann entweder direkt im Faulturm einer Kläranlage eingesetzt werden oder als Wärmequelle für eine nachgeschaltete Wärmepumpe dienen, sodass damit auch Wärme-Abnehmer bzw. Wärmenetze im Gebietsumgriff versorgt werden können.

Aus den verschiedenen genannten Gründen wurden alle erwähnten Gegebenheiten bzw. Standorte in die GIS-Analyse aufgenommen, um die potenziellen räumlichen Synergie-Effekte visualisieren und dadurch erkennen zu können. Dafür wurden zum einen die Angaben genutzt, die anhand des Datenerhebungsbogens übermittelt oder in den Workshops und Interviews kommuniziert wurden. Zum anderen erfolgte eine Recherche nach öffentlich verfügbaren Grundlagen-Daten-Layern und deren Übernahme in das beschriebene GIS-Projekt.

Aufbauend auf den digitalen Energienutzungsplan wurden während des *NEW HyPerspectives*-Prozesses zunächst weitere Grundlagen-Layer, wie Standorte bestehender Tankstellen und Speditionen oder Verkehrszählungsdaten, in das GIS eingepflegt. Ein deutlicher Zuwachs an Daten und Information folgte nach der Auswertung der oben beschriebenen Fragebögen. Die

Angaben der Teilnehmenden wurden – auf mehrere verschiedene Layer aufgeteilt – anhand der jeweiligen Standort-Adresse in die GIS-Karte übernommen. Mithilfe der Heat-Map-Funktion im GIS konnten anschließend die Verbrauchsschwerpunkte im Landkreis visualisiert werden.

Auch die Erzeugungsseite in Form von Potenzialflächen für H₂-Erzeugungsanlagen sowie Potenzialflächen für H₂-Tankstellen wurden im GIS-Projekt untersucht. Dazu wurde zunächst jeweils eine Liste mit verschiedenen potenziellen Gegebenheiten (engl.: points of interest, POI) erstellt, die für die Installation der genannten Anlagen nötig oder förderlich sind. Für eine H₂-Erzeugungsanlage sind dies:

- Bestands-EE-Anlagen sowie Potenzialflächen
- Gasnetz
- Umspannwerk
- Kläranlage
- Wasserstoff-Abnehmer
- Wärmeabnehmer und -netze
- Sauerstoffabnehmer

Für eine H₂-Tankstelle wurden hingegen die folgenden Daten einbezogen:

- Busdepot oder ZOB
- Spedition
- Tankstelle
- Verkehrsaufkommen
- Autobahnkreuz bzw. -auffahrt/-abfahrt
- Hafen
- Bahn-Tankstelle
- Güterbahnhof
- Gasnetz
- Bestands-H₂-Erzeugungsanlage sowie Potentialfläche

Da die genannten Gegebenheiten verschieden wichtig für die Eignung eines betrachteten Standortes sind, wurde im nächsten Schritt ein sogenannter paarweiser Vergleich durchgeführt. Dabei wurde in einer Tabelle sukzessive jeder POI allen anderen POIs gegenübergestellt und beurteilt, ob dieser POI wichtiger, gleich wichtig oder weniger wichtig als der jeweils andere POI ist. Auf diese Weise resultierte für jede Gegebenheit zunächst eine bestimmte Quersumme aus den beschriebenen Punkten. Der Quotient aus dieser Quersumme und der Gesamtsumme aller in der Tabelle vergebenen Punkte stellte schließlich die Gewichtung einer bestimmten Gegebenheit dar.

Des Weiteren war zu berücksichtigen, dass sich auch POIs der gleichen Kategorie im Hinblick auf die Eignung (z. B. Größe der Busflotte pro Standort) unterscheiden können. Dies war anhand der jeweils hinterlegten konkreten Zahlenwerte zu beurteilen und wurde innerhalb der Kategorie ebenfalls bepunktet.

Die Vorgaben bzw. Ergebnisse dieser sogenannten Nutzwertanalyse (Bepunktung der POIs und Paarweiser Vergleich) wurden dann im GIS-Projekt für alle Potenzialflächen angewandt. Diese Potenzialflächen stellen Regionen dar, in denen sich der Aufbau von H₂-Erzeugungsanlagen bzw. -Tankstellen anbieten würde. Also Flächen, in denen sich mindestens drei POI, die untereinander einen gewissen Maximalabstand aufweisen, häuften. In Anbetracht der Anzahl und Verteilung der POI in dem Landkreis NEW, hatte sich ein Maximalabstand von einem Kilometer als geeignet erwiesen. Nach Ermittlung der bevorzugten Flächen mussten auch die Restriktionsflächen, wie bspw. Schutzgebiete, berücksichtigt werden, indem sie aus den Potenzialflächen ausgeschnitten wurden. Diese Betrachtung wurde separat für potenzielle Tankstellen- und Elektrolyseurstandorte durchgeführt. In Abbildung 14 sind die resultierenden Flächen für die Elektrolyseure erkennbar.

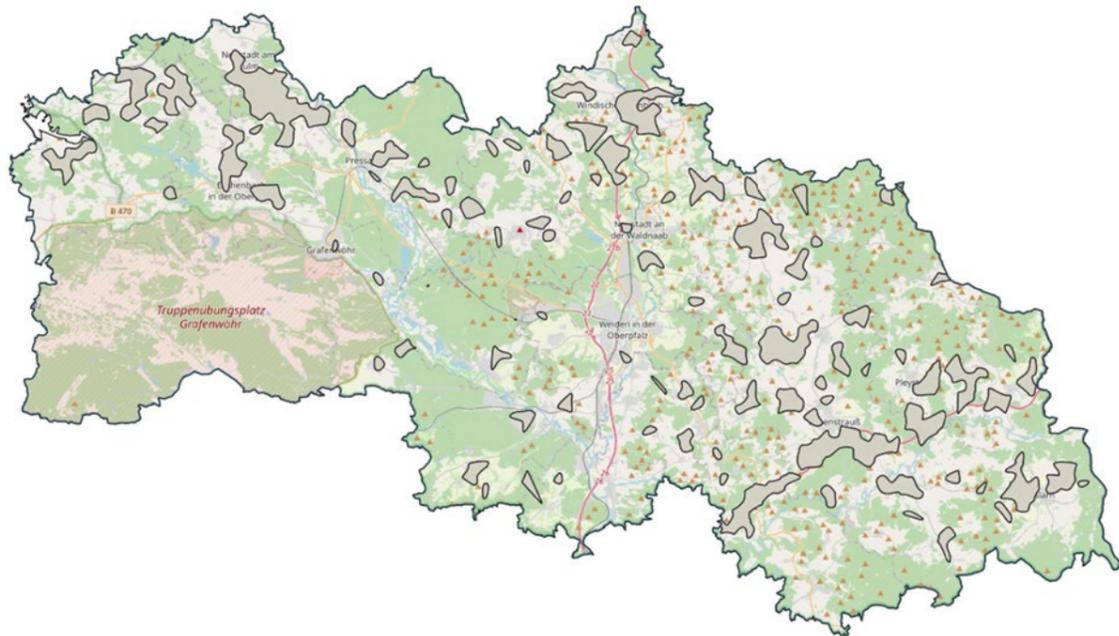


Abbildung 14: Potenzialflächen für Elektrolyseurstandorte

Nachdem die räumliche Lage möglicher Standorte bekannt war, wurden die Potenzialflächen untereinander bewertet, da sie sich in ihrer Eignung unterscheiden. Wie bereits erwähnt, stellte die Nutzwertanalyse die Grundlage der Bewertung dar. Für jede der Potenzialflächen wurde geprüft, welcher POI darin enthalten ist und in welcher Häufigkeit. Abhängig von der Art des POI unterschied sich die nächste Abfrage. Wurden bei dem POI zusätzliche Daten hinterlegt, so wurde eine Punktzahl nach dem zugrundeliegenden Wert vergeben. Zum Beispiel bekam ein Busdepot bzw. ein Busflottenbetreiber mit weniger als 5 Bussen am Standort die Punktzahl 0. Wurden keine zusätzlichen Daten hinterlegt, konnte lediglich geprüft werden, ob der POI enthalten ist. War dies der Fall, erhielt der POI drei Punkte. Die Anzahl der vorhandenen POI wurde mit der vergebenen Punktzahl (zwischen 0 und 3) multipliziert. Anschließend wurde die Gewichtung der POI miteinbezogen. Dies geschah mittels einer Multiplikation des berechneten Zwischenergebnisses mit dem Ergebnis für den entsprechenden POI aus der Nutzwertanalyse. Das Ergebnis entspricht dann der Bewertung eines POI für eine Potenzialfläche.

Dieser Prozess wurde für alle übrigen POI analog wiederholt, folglich wurden für jeden einzelnen POI in der Analyse eine eigene Bewertung und Gewichtungen verwendet. Zuletzt wurden alle Bewertungen von allen POI summiert. Der daraus resultierende Wert gab Auskunft darüber, wie die Gesamtbewertung eines Potenzialraums ausfällt. Die Methodik der Analyse wurde insgesamt zweimal angewandt, für die Standorte der Tankstellen und für die der Elektrolyseure.

Nach der detaillierten Betrachtung der POI war es möglich auf die Bewertung der Potenzialflächen überzugehen. Hierzu wurde ein einfacheres Bewertungssystem zu Grunde gelegt. Es erfolgt eine Untergliederung in die Kategorien „geeignet“ und „bedingt geeignet“, dabei liegt der Grenzwert bei 50% des Maximalwertes. Abhängig davon, wo die Bewertung der Potenzialflächen angesiedelt war, wird die jeweilige Farbgebung angepasst. Ist die Bewertung größer als der Grenzwert, so wurde die Potenzialfläche als geeignet ausgewiesen und in grüner Farbe dargestellt. Liegt der Wert unterhalb der Grenze, wurde das Polygon gelb eingestuft. Auch hier wurde die Kategorisierung sowohl für die Tankstellen als auch für die Elektrolyseure angewandt. In Abbildung 15 sind zur Veranschaulichung die bewerteten Potenzialflächen für die Standorte der Elektrolyseure visuell dargestellt.

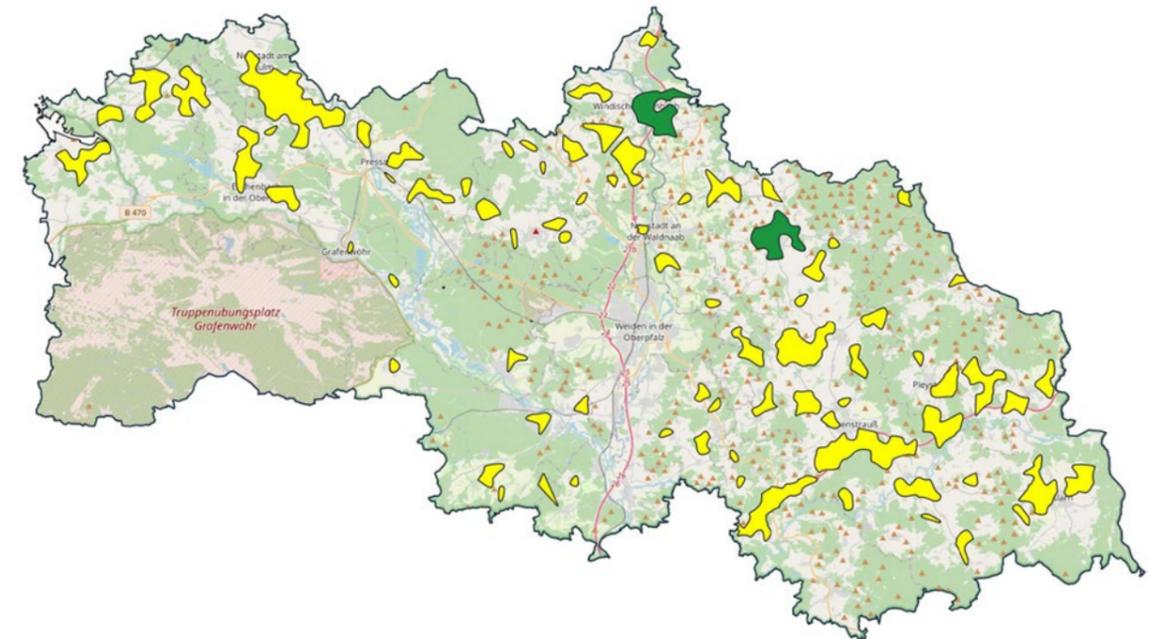


Abbildung 15: Ergebnislayer für bewertete Elektrolyseure-Potenzialflächen (gelb = bedingt geeignet; grün = gut geeignet)

Die Ergebnisse zeigen die Bewertungen nach den absoluten Werten. Die Herausforderung hierbei war, dass größere Flächen in der Regel mehr POI beinhalten und somit zwangsläufig besser bewertet wurden. Für eine erhöhte Vergleichbarkeit der Flächen untereinander wurden die Bewertungen mit dem Flächeninhalt der einzelnen Potenzialräume in ein Verhältnis gesetzt. Daraus ergab sich eine flächenspezifische Bewertung. Hierzu sind wieder die Ergebnisse für die Elektrolyseur-Analyse in Abbildung 16 abgebildet.

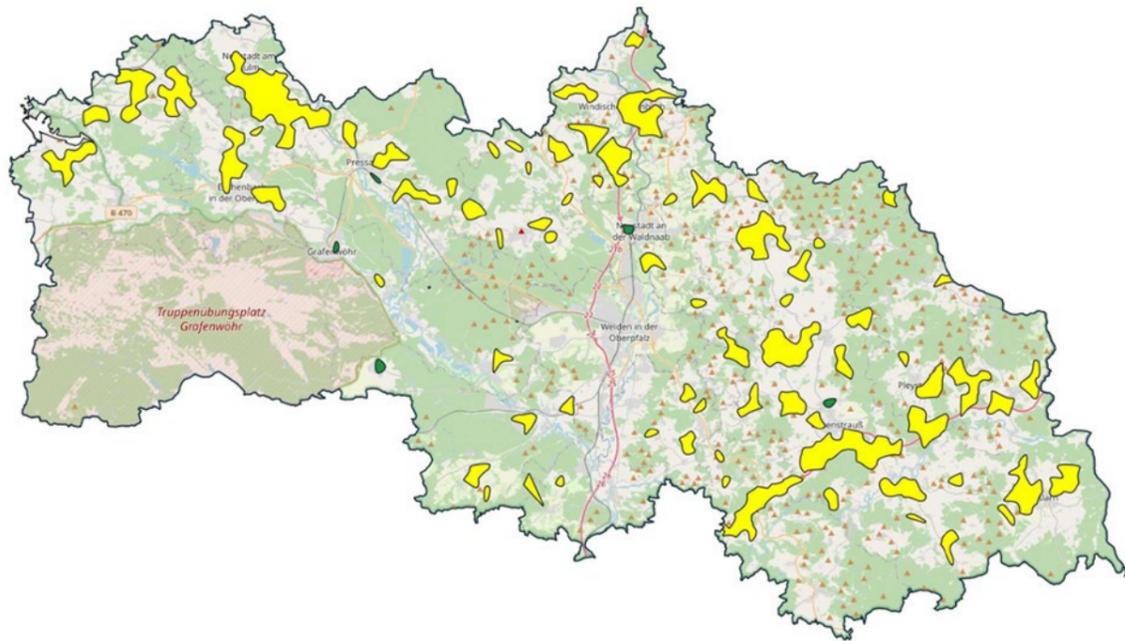


Abbildung 16: Flächenspezifische Darstellung der Ergebnislayer für bewertete Elektrolyseur-Potenzialflächen gelb = bedingt geeignet, grün = gut geeignet)

Abschließend wurden die Flächen ermittelt, die sich sowohl für Elektrolyseur- als auch Tankstellenstandorte eignen. Hierzu wurden die Ergebnislayer, sowohl die absoluten als auch die flächenspezifischen, übereinandergelegt und ihre Schnittmengen extrahiert. Eine Bewertung der resultierenden Flächen erfolgte nicht, da die Bewertungen aus den vorherigen Ergebnislayern hervorgehen. In Abbildung 17 sind die Potenzialflächen der beiden Analysen verschnitten dargestellt.

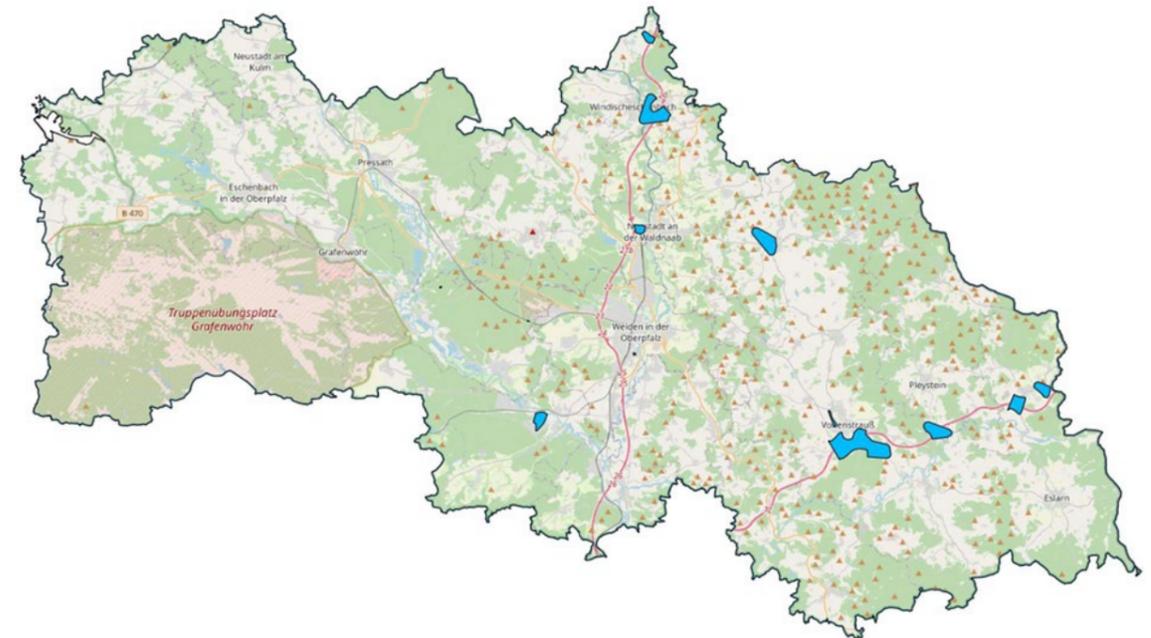


Abbildung 17: Ergebnislayer: Potenzialflächen verschnitten.

4.2 Wasserstoff-Abnehmer

Nach der nationalen Wasserstoffstrategie von 2020, welche aktuell überarbeitet wird, soll Wasserstoff zu Beginn vor allem in Sektoren eingesetzt werden, die schwer elektrifizierbar und damit dekarbonisierbar sind [17]. Das sind vor allem die Industrie, sowie ein Teil der Mobilität, v.a. schwere Nutzfahrzeuge (Busse, LKW) [17]. Dazu hat die Bundesregierung den Aufbau einer Elektrolysekapazität von 10.000 Megawatt (MW) bis zum Jahr 2030 festgelegt [17]. Bisher liegt die installierte Elektrolyseleistung in Deutschland bei ca. 100 MW. Damit liegt die bisher installierte Leistung noch deutlich unter der festgelegten Zubauleistung [18].

Zu Beginn der HyExperts-Phase im Landkreis NEW wurde ein digitaler Fragebogen an alle Akteure, welche aus unterschiedlichen Sektoren der Wirtschaft kommen, verschickt, vgl. Kapitel 4.1.1. Die Akteure konnten hier u. a. Angaben zu ihrem Interesse an Wasserstoff als Kraftstoff im Bereich der Mobilität und als Brennstoff im Bereich der Industrie machen. Auf Basis dieser Angaben wurden die Wasserstoff-Absatzpotenziale in der Mobilität und der Industrie ermittelt. Diese Daten bildeten eine belastbare Grundlage, um ein ökonomisch und ökologisch sinnvolles Wasserstoffkonzept im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie zu erarbeiten. Die nachfolgenden Punkte legen die Grundlagen für Mobilitätsanwendungen und in der Industrie dar. Zusätzlich zeigen Hochlaufsznarien zukünftige Absatzmengen und das Preisniveau von grünem Wasserstoff in der Region auf.

4.2.1 Grundlagen Mobilität

In der Mobilität können wasserstoff-elektrisch betriebene Fahrzeuge, sog. „fuel cell electric vehicles“ bzw. (FCEV), neben batterie-elektrisch betriebenen Fahrzeuge, sog. „battery electric vehicles“ (BEV), einen entscheidenden Beitrag zur Verkehrswende und damit zum Klimaschutz leisten. Neben diesen Antriebsarten gibt es zudem die Möglichkeit, wasserstoffbasierte

synthetische Kraftstoffe in konventionellen Verbrennungsmotoren einzusetzen. Nach aktueller Planung sollen Neufahrzeuge auch nach 2035 weiterhin zugelassen werden dürfen, sofern sie ausschließlich mit klimaneutralen Kraftstoffen betrieben werden können [19]. Die Auswahl der jeweiligen Antriebstechnologie erfolgt dabei nach Kriterien wie Reichweite, Effizienz und Gewicht. Gerade im Schwerlastverkehr und dem ÖPNV spielt eine hohe Reichweite der Fahrzeuge eine große Rolle, wohingegen die Effizienz des Antriebs beim PKW im Vordergrund steht. Große Landmaschinen könnten stattdessen auf wasserstoffbasierte synthetische Kraftstoffe setzen, um eine hohe Reichweite bei gleichzeitig hoher Dauerlast zu erzielen. Damit wird schnell klar, dass die Auswahl der Antriebstechnologie neutral und technologieoffen erfolgen muss und zukünftig FCEV, BEV und „Verbrenner“ mit klimaneutralen Kraftstoffen auf deutschen Straßen zu finden sind. Zusätzlich müssen nach der erlassenen „Clean Vehicles Directive (CVD)“ Firmenfahrzeuge und PKWs, leichte und schwere Nutzfahrzeuge und Busse zum größten Teil auf emissionsfreie Antriebe umgestellt werden. Dafür sieht die CVD eine klare Roadmap bis 2030 vor. Die Details können der Tabelle 2 entnommen werden und werden zudem in den einzelnen Unterpunkte erläutert.

Tabelle 2: Roadmap der Clean Vehicles Directive, eigene Darstellung nach [20].

Fahrzeug- klasse	Definition „sauberes Fahrzeug“	Beschaffungs- quoten 1. Referenz- zeitraum, 02.08.2021 bis 31.12.2025	Beschaffungs- quoten 2. Referenz- zeitraum, 01.01.2026 bis 31.12.2030
PKW	50 g /CO ₂ /km, 80% Luftschadstoffe (Prozentsatz der Emissionsgrenzwerte nach RDE)	<u>Ab 2026:</u> 0 g CO ₂ /km, k.A. zu	38,5 %
Leichte NFZ (<3,5 t zGM)	50 g /CO ₂ /km, 80% Luftschadstoffe (Prozentsatz der Emissionsgrenzwerte nach RDE)	Luftschadstoff- emissionen	38,5 %
LKW (>3,5 t zGM)	Nutzung alternativer Kraftstoffe (lt. Art. 2 AFID bspw. Strom, Wasserstoff, Erdgas, synthetische Kraftstoffe, Biokraftstoffe)		10 %
Busse (> 5 t zGM)		45 %	15 %
			65 %

In der vorliegenden Machbarkeitsstudie werden vor allem wasserstoffbetriebene Schwerlastfahrzeuge (LKW) und wasserstoffbetriebene Fahrzeuge für den ÖPNV (Omnibusse) betrachtet. Für die Ermittlung des H₂-Absatzpotenzials im ÖPNV und Schwerlastverkehr konnten die Daten der Akteure hinsichtlich Ihrer Umstellungsbereitschaft auf Brennstoffzellenfahrzeuge und den voraussichtlichen Jahreslaufleistungen der angegebenen Fahrzeuge aus der digitalen Datenabfrage herangezogen werden. Zusätzlich zur Datenabfrage fanden mehrstündige Workshops mit den relevanten Akteurinnen und Akteuren der einzelnen Speditions-, Dienstleistungs- und Busunternehmen statt, vgl. Kapitel 4.1.1. In diesen Workshops konnten die Daten und Anforderungen an die Fahrzeuge nochmals konkretisiert und eine Möglichkeit ausgearbeitet werden, wasserstoffbetriebene Fahrzeuge zu beschaffen.

FCEV besitzen wie BEV einen Elektromotor, welcher elektrische Energie in mechanische Energie wandelt. Ein BEV bezieht seine Energie aus einer Batterie, welche an einer Ladesäule geladen wird. Ein FCEV dagegen bezieht seine Energie aus einer Brennstoffzelle, welche Wasserstoff zusammen mit Sauerstoff aus der Umgebungsluft elektrochemisch zu Wasser oxidiert. Dabei wird die chemisch gebundene Energie im Wasserstoff ohne den Umweg über eine klassische Verbrennung direkt in elektrische Energie gewandelt und betreibt damit den Elektromotor im Fahrzeug. Zusätzlich besitzt auch ein FCEV eine Batterie, welche aber wesentlich kleiner ist. Diese dient dazu, kurzzeitig Leistungsspitzen beim Beschleunigen oder bergauf fahren abzufuffern. Die Batterie wird einerseits über die Brennstoffzelle, andererseits über Rekuperation beim Bremsen des Fahrzeugs geladen. Ähnlich wie ein BEV emittiert auch ein FCEV lokal keine Schadstoffe und CO₂. Wird ein FCEV direkt am Elektrolysestandort mit grünem Wasserstoff betankt, so fallen kaum Emissionen an. Im direkten Vergleich über die gesamte Wertschöpfungskette, auch als „well to wheel“ (Bohrloch zu Rad) bezeichnet, ist ein BEV effizienter, da die elektrische Energie direkt in einem Elektromotor genutzt werden kann. Im Fall FCEV wird die elektrische Energie aus z. B. Windkraftanlagen und PV-Anlagen zunächst in Form von Wasserstoff gespeichert, komprimiert, getankt und im Fahrzeug rückverstromt. Jeder dieser Wandlungsschritte ist natürlicherweise verlustbehaftet. So sind FCEV weniger effizient als BEV, aber deutlich effizienter als klassische „Verbrenner“. Weiterhin kann grüner Wasserstoff auch als Kraftstoff in Verbrennungsmotoren oder Gasturbinen eingesetzt werden. Aufgrund der geringeren Effizienz und der damit verbundenen geringeren Reichweite der Fahrzeuge geht die Entwicklung aber in Richtung Brennstoffzelle.

Wie jeder andere Energieträger muss auch Wasserstoff zwischengespeichert werden. Da Wasserstoff allerdings auf das Volumen bezogen eine sehr geringe Energiedichte aufweist, muss er unter hohen Drücken oder in verflüssigter Form gespeichert werden. Herkömmlicher Dieselmotorkraftstoff hat mit 10.000 kWh/m³ einen 3.333-fachen Heizwert gegenüber Wasserstoff, welcher einen volumetrischen Heizwert von 3,00 kWh/Nm³ aufweist [21].

Etabliert sind hierbei Speicherdrücke von 350 und 700 bar (CGH₂). Wasserstoffdrucktanks mit einem Speicherdruck von 350 bar werden vor allem im ÖPNV- und LKW-Bereich eingesetzt. Speicherdrücke von 700 bar werden vor allem im PKW-Sektor angewendet [1]. Als Tanks werden in neueren Fahrzeugen Druckbehälter des Typs 4 eingesetzt. Sie besitzen ein Hülle aus faserverstärkten Kunststoffen (Carbonfasern) mit einem Innenlayer aus Kunststoff [1]. Die robuste Verarbeitung ist in Bezug auf die Sicherheit der Fahrzeuge sehr wichtig. Eine weitere Möglichkeit Wasserstoff zu speichern ist die Verflüssigung, dieser wird als LH₂ („liquid hydrogen“) bezeichnet. Wasserstoff kondensiert bei Temperaturen unter -253 °C [22]. Der absolute Nullpunkt liegt bei -273 °C. Diese Art der Speicherung erfordert einen hohen technologische und energetischen Aufwand. Zum einen muss der Wasserstoff sehr stark abgekühlt werden, zum anderen müssen die dafür verwendeten Kryotanks entweder aktiv gekühlt oder sehr stark isoliert werden [23]. Es lässt sich nicht vermeiden, dass ein Teil des Wasserstoffs dabei wieder verdampft. Um einen kritischen Druckaufbau im Tank zu vermeiden, müssen Armaturen vorhanden sein, welche das sog. Boil-Off Gas kontrolliert an die Umgebung ablassen [23].

Regionaler Wasserstoffeinsatz im ÖPNV

Der Landkreis NEW ist ein ländlich geprägter Landkreis, in welchem die Omnibusse der ansässigen Busunternehmen oftmals weite Strecken zurücklegen. Für diesen Fall eignen sich wasserstoffbetriebene Omnibusse. Recherchen und Marktdialoge, in welchen Anbieter von Wasserstoffbussen ihr Portfolio im Rahmen des Projekts vorstellen konnten, zeigten, dass hierfür bereits Fahrzeuge existieren. Um die Chancen für die kurzfristige Beschaffung zu erhöhen wird der Bedarf an Fahrzeugen innerhalb eines zusätzlichen Workshops gebündelt ermittelt. Mit der verbindlichen Anzahl an Fahrzeugen können über eine Rahmenvereinbarung Angebote angefragt werden, vgl. Kapitel 3.3. Neben den herkömmlichen Buslinien im Landkreis NEW wird zudem das sog. Baxi-Modell angeboten. Hierbei handelt es um einen Bus, welcher auf Anruf Personen an den gängigen Bushaltestellen im Landkreis abholt, verschiedene Linien befährt und die Personen an den gewünschten Ort bringen. Hier bietet sich der kurzfristige Umstieg auf BEV-Fahrzeuge an, da diese bereits erfolgreich den Markteintritt geschafft haben und es bereits eine ausgebaute Ladeinfrastruktur im Landkreis gibt.

Neben rein über eine Brennstoffzelle betriebene Busse gibt es zudem Busantriebe, welche eine Brennstoffzelle als sog. „range extender“ zur Erhöhung der Reichweite einsetzen. Primär wird dabei die elektrische Energie aus einer Batterie, welche zunächst extern geladen wird, bezogen. Während des Betriebs sorgt die Brennstoffzelle für die kontinuierliche Ladung der Batterie. Damit erhöht sich die Reichweite. Die dort verbauten Batterien sind deutlich größer ausgelegt. Dafür ist die verbaute Brennstoffzelle deutlich kleiner dimensioniert. Da für diese Art des Antriebs eine Infrastruktur für Wasserstoff- und Elektromobilität aufgebaut werden muss, werden diese Antriebe in dieser Machbarkeitsstudie nicht weiter betrachtet. [24]

Die CVD schreibt im Bereich der ÖPNV-Busse im Zeitraum von August 2021 bis Ende 2025 vor, dass 45 % aller neuzugelassenen Fahrzeuge „sauber“ sind. Unter den Begriff „sauber“ fallen demnach BEV, FCEV aber auch Busse, welche mit alternativen Bio- oder synthetischen Kraftstoffen betrieben werden. Von den 45 % muss mindestens die Hälfte, also 22,5 %, vollständig emissionsfrei sein. Dafür kommen aktuell nur BEV oder FCEV in Frage. Ab 2026 bis Ende 2030 wird die Umstellungsquote auf „saubere“ Fahrzeuge von 45 % auf 65 % angehoben. Davon müssen mind. 32,5 % vollständig emissionsfrei sein. [20]

Während der Auswertung der Online-Datenerfassung zeigte sich, dass sich die ÖPNV und Busunternehmen bereits Gedanken über die CVD und die Umstellung auf wasserstoffbetriebene Busse machten. Die angegebenen Busse werden zwischen 185 und 340 Tage bei 50.000 bis 100.000 km pro Jahr betrieben. Die durchschnittliche Maximalstrecke liegt hier bei 300 km am Stück. Es wurde zudem angegeben, dass ab 2025 neun wasserstoffbetriebene Fahrzeuge möglich sind. Ausgehend von der erfassten Bestandsflotte von insgesamt 97 Stück entsprechen neun Wasserstoffbusse einem Anteil von 9 %. Über diese Anzahl wurde anhand der durchschnittlichen Fahrstrecke pro Jahr von 62.000 km und einem Verbrauch von ca. 10 kg H₂ auf 100 km ein erstes Wasserstoffpotenzial von 56 Tonnen pro Jahr ermittelt. Bezogen auf die durchschnittlichen Betriebstage von 265 Tagen im Jahr entspricht das einem Wasserstoffbedarf von 210 kg/d. Bei einer Tankgröße von 40 kg bei 350 bar ergeben sich daraus ca. 5 Tankfüllungen am Tag.

Im Landkreis und in der Stadt Weiden werden bisher überwiegend Solobusse (Linienbusse und Reisebusse) eingesetzt. Lediglich zu Verkehrshochzeiten werden u. a. sog. Gelenkbusse mit einer höheren Personenkapazität eingesetzt. Die Busse müssen demnach auch linienspezifisch anpassbar sein. Darauf basierend wurde eine Marktanalyse durchgeführt. Die wichtigsten, aktuell verfügbaren Modelle für Stadt- und Linienverkehr wurden in Tabelle 3 miteinander verglichen. Die dargestellten Netto-Preise für den Urbino 12 hydrogen und Urbino 18 hydrogen von Solaris wurden im Rahmen der Marktdialoge angefragt bzw. auf Basis [25] abgeschätzt.

Tabelle 3: Übersicht Busse für ÖPNV [26–28]

	Solaris Urbino 12 hydrogen	Solaris Urbino 18 hydrogen	Van Hool A330 FC	Caetanobus H2.City Gold
Typ	Solobus	Gelenkbus	Solobus	Solobus
Länge in m	12	18		10,7 und 12 m
Preis (netto) in €	750.000	bis zu 950.000	750.000	750.000
Leistung BZ in kW	70	100	83	60
Reichweite in km	~ 350	~ 350	~ 350	~ 400
Größe H ₂ -Tank in kg	37,5	51,2	35,8	37,5
H ₂ -Druckniveau in bar	350	350	350	350
Tankdauer in min	5 – 10	10 – 15	k.A.	9
Batteriekapazität in kWh	30,5	60	36	29 – 44

Motorleistung [kW]	250	240	210	180
Höchstgeschwindigkeit in km/h	80	80	80	-
Verbrauch pro 100 km in kg	~ 9	~ 10	9 bis 10	Mind. 6
Anzahl Personen	75	140	75	64 - 87
Barrierefrei	Ja	Ja	Ja	Ja
Klimaanlage	Optional	Standard	Standard	k.A.

Bei der Tabelle handelt es sich nur um einen Auszug an verfügbaren Bussen. Allerdings geht daraus hervor, dass die Anschaffungskosten aktuell deutlich höher sind als bei herkömmlichen Dieselfahrzeugen. Aus den Workshops mit den Busunternehmen im Rahmen des Projekts ging hervor, dass die Anschaffungskosten herkömmlicher Busse mit Dieselantrieb derzeit bei rund 250.000 € liegen. Dies geht auch aus [29] hervor. Allerdings wird im Zuge der CVD und aktuellen Entwicklungen erwartet, dass die Preise für H₂-Fahrzeuge bei erhöhter Nachfrage und effizienterem Einsatz von Rohstoffen bei der Herstellung der Leistungselektronik sinken. Zudem wird die Beschaffung von H₂-Fahrzeugen im Rahmen diverser Förderprogramme gefördert. Die Zusammenstellung der Förderprogramme erfolgt unter Kapitel 4.6. Neben den Linienbussen müssen in Zukunft auch Reisebusse auf alternative Kraftstoffe umgestellt werden. Sinositynergy aus China und Wrightbus aus Großbritannien stellten hier kürzlich die ersten Reisebusse auf Basis eines Brennstoffzellenantriebs vor.

Regionaler Wasserstoffeinsatz für die Mobilität in der Logistik und Industrie

Neben den ÖPNV-Betrieben sind auch zahlreiche Speditions- und Industrieunternehmen im Landkreis ansässig. Diese unterliegen ähnlich wie die ÖPNV-Betreiber der CVD und müssen ihre Fahrzeuge auf alternative und klimafreundliche Antriebe umstellen. Die Angaben aus der Online-Datenerfassung zu Beginn des Projekts und innerhalb der Workshops zeigten, dass vor allem der Umstieg auf Wasserstoff-LKWs im Bereich der sog. „40-Tonner“ bei den einzelnen Speditionsunternehmen gewünscht ist. Daher geht dieses Kapitel vor allem auf diese schweren Nutzfahrzeuge ein, zu denen auch Spezialfahrzeuge, wie Müllsammelfahrzeuge gehören. Als Beispiel kann hier die Abfallentsorgung der Stadt Heidelberg genannt werden. Diese nutzt seit 16.03.2023 ein wasserstoffbetriebenes Müllsammelfahrzeug [30]. Da die Markteinführung und die Verfügbarkeit der wasserstoffbetriebenen Müllsammelfahrzeuge noch nicht so weit fortgeschritten ist wie die der LKW und Sattelschlepper, geht diese Machbarkeitsstudie verstärkt auf die Fahrzeuge der Speditionen ein.

Wie beim ÖPNV gibt es auch im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge mit mehr als 3,5 t Gesamtgewicht zwei Zeiträume mit zwei verschiedenen Beschaffungsquoten zur Umstellung auf alternative Antriebe. Dies kann auch aus Tabelle 3 entnommen werden. Im Zeitraum von August 2021 bis Ende 2025 müssen demnach 10 % der neuzugelassenen Fahrzeuge klimafreundlich sein. Im Gegensatz zum ÖPNV gibt es hier keine verbindliche Quote für emissionsfreie Fahrzeuge. So können z. B. alle neuzugelassenen Fahrzeuge mit sog. E-Fuels angetrieben werden. Ab Anfang 2026 bis Ende 2030 müssen 15 % der neuzugelassenen Fahrzeuge „sauber“ sein. [20]

Wie auch im ÖPNV stellen Speditions- und Industrieunternehmen im Landkreis NEW ebenfalls erste Überlegungen zur Umstellung ihrer Flotte auf wasserstoffbetriebene LKW und Sattelschlepper an. Ihre LKWs werden im Jahr durchschnittlich 250 Tage betrieben und haben eine durchschnittliche Jahreslaufleistung von ca. 120.000 km bei einer maximalen Fahrtstrecke von mehr als 300 km. Die Unternehmen können sich in einem ersten Schritt die Beschaffung von insgesamt 19 Fahrzeugen vorstellen. Dies entspricht einem Anteil von ca. 5 % der Fahrzeuge bezogen auf die Datenabfrage (417 LKW im Bestand). Aus den Daten zur möglichen Laufleistung und einem durchschnittlichen Verbrauch von 8 bis 9 kg H₂ auf 100 km ergibt sich ein Wasserstoffabnahmepotenzial von ca. 188 t/a. Der größte Teil mit 170 t/a fällt dabei in den Sektor Verkehr und Logistik. 18 t/a fallen dagegen in den Sektor Industrie. Bezogen auf durchschnittlich 250 Betriebstage pro Jahr ergibt dies einen Wasserstoffbedarf von ca. 750 kg pro Tag. Dies entspricht ca. 19 Tankladungen bei 350 bar pro Tag. Ein Vorteil der brennstoffzellenbetriebenen LKW ist erhöhte Reichweite bei gleichbleibend hoher Nutzlast gegenüber rein batterieelektrischen Sattelschleppern.

Nach Recherchen zur Marktübersicht ergibt sich ein positives Bild. In Europa und in Deutschland gibt es bereits zugelassene Wasserstoff-LKWs. Dabei handelt es z. B. um den von Hyundai hergestellten „XCient Fuel Cell“, welchen es in verschiedenen Ausführungen gibt. Die wichtigsten Modelle können der nachfolgenden Tabelle 4 entnommen werden. Neben Hyundai arbeitet Daimler auch an einem Sattelschlepper, welcher mit zwei Flüssigwasserstofftanks ausgerüstet sein soll. Damit lassen ca. 80 kg H₂ in flüssiger Form speichern. Damit können erhöhte Reichweiten bis zu 1.200 km erzielt werden. Diese Reichweite ist für Sattelschlepper und im Fernverkehr eine wichtige Voraussetzung. Zudem bietet auch die Firma Quantron mehrere Fahrzeuge an. In der Tabelle wurden beispielhaft zwei Modelle aufgeführt: Zum einen ein Sattelschlepper und zum anderen ein Transporter für Handwerker und städtischen Lieferverkehr. Dies zeigt auch, dass bereits heute Modelle zum Kauf verfügbar sind. Für große LKWs liegen die Preise hier bei einem ähnlichen Niveau als bei den Bussen. Diese Preise können variieren, da die Angabe in der Tabelle eine erste Abschätzung auf Basis von Recherchen und Herstellerkontakt sind. Die dargestellten Netto-Preise für den Hyundai XCIENT Fuel Cell, Quantron QHM FCEV 44-1000 und Daimler GenH2 Truck wurden im Rahmen der Marktdialoge angefragt bzw. auf Basis [25] abgeschätzt.

Tabelle 4: Übersicht LKW und Nutzfahrzeuge für Logistik und Industrie [31–34]

	Hyundai XCIENT Fuel Cell	Daimler GenH2 Truck	Quantron QHM FCEV 44-1000	Quantron QLI FCEV 4- 170
Typ		Sattelschlepper	Sattelschlepper	Transporter
Erhältlich?	Ja	Nein (ab 2028)	Bestellbar	Ja
Preis (netto) in €	750.000	Bis zu 950.000	Bis zu 950.000	Ca. 45.000
Leistung BZ in kW	2 x 95	2 x 150	2 x 120	45
Reichweite in km	~ 400	~ 1.200	~ 700	~ 450
Größe H ₂ -Tank in kg	32,1	2 x 40	54	8,2
Speichertechnologie	CGH2	LH2	CHG2	CHG2
H ₂ -Druckniveau in bar	350	-	700	-
Tankdauer in min	8 – 20	12	< 20	< 15
Batteriekapazität in kWh	73,2	70	124	37
Motorleistung in kW	350	2 x 230	420	150

Höchstgeschwindigkeit in km/h	85	-	-	80
Verbrauch pro 100 km in kg	6 bis 8	-	-	Mind. 6
Mehrere Ausführungen?	Ja	Ja	Ja	Ja

Bei der Tabelle handelt es sich nur um einen Auszug an Nutzfahrzeugen und LKW. Des Weiteren bieten Unternehmen sog. „Pay per use“-Modelle an. Damit können LKWs gemietet und erprobt werden, um erste Erfahrungen im Umgang mit wasserstoffbetriebenen LKWs zu sammeln. So müssen beispielhaft nur die gefahrenen Kilometer bezahlt bzw. abgerechnet werden. Die Firma Hylane bietet dieses Modell bereits an [35]. In den Kosten pro Kilometer sind bereits die Miete der Fahrzeuge, die Wartung und Reparatur, die Versicherung und der Zugang zu einem großen Tankstellennetz inbegriffen.

Zusammenfassung

Wie zu Beginn des Kapitels erwähnt, wurde das Wasserstoffabsatzpotenzial in der Mobilität für die Sektoren Verkehr & Logistik und der Industrie anhand der Online-Datenerfassung ermittelt. Hier wurden Angaben zur Umstellungsbereitschaft und der erwarteten Jahreslaufleistung getätigt. Die Unternehmen machten diese Angaben anhand ihrer bisherigen Erfahrung und orientierten sich dabei an den Verkehrslinien, welche aus Ihrer Sicht sinnvoll erscheinen. Die Angaben der Bus-, Speditions- und Industrieunternehmen konnten im Akteursworkshop „H₂-Abnehmer im ÖPNV und in der Logistik“ konkretisiert und plausibilisiert werden.

In der nachfolgenden Abbildung 18 ist das Absatzpotenzial für Wasserstoff im Landkreis NEW Mobilität ab 2025 grafisch eingezeichnet. Dargestellt ist der Wasserstoffbedarf in Tonnen pro Jahr über die Branchen Industrie und Verkehr & Logistik. Wie zu erwarten, liegt der höchste Bedarf bei der Verkehrs- und Logistikbranche. Allerdings sind auch Akteurinnen und Akteure aus der Industrie, z. B. Metallverarbeitung und Glasindustrie, an der teilweisen Umstellung ihrer Flotten auf Wasserstoff interessiert. Die Balken in blau zeigen den Wasserstoffbedarf im Bereich der LKW. Der orangene Balken zeigt den Wasserstoffbedarf für die Wasserstoffbusse im ÖPNV ab 2025.

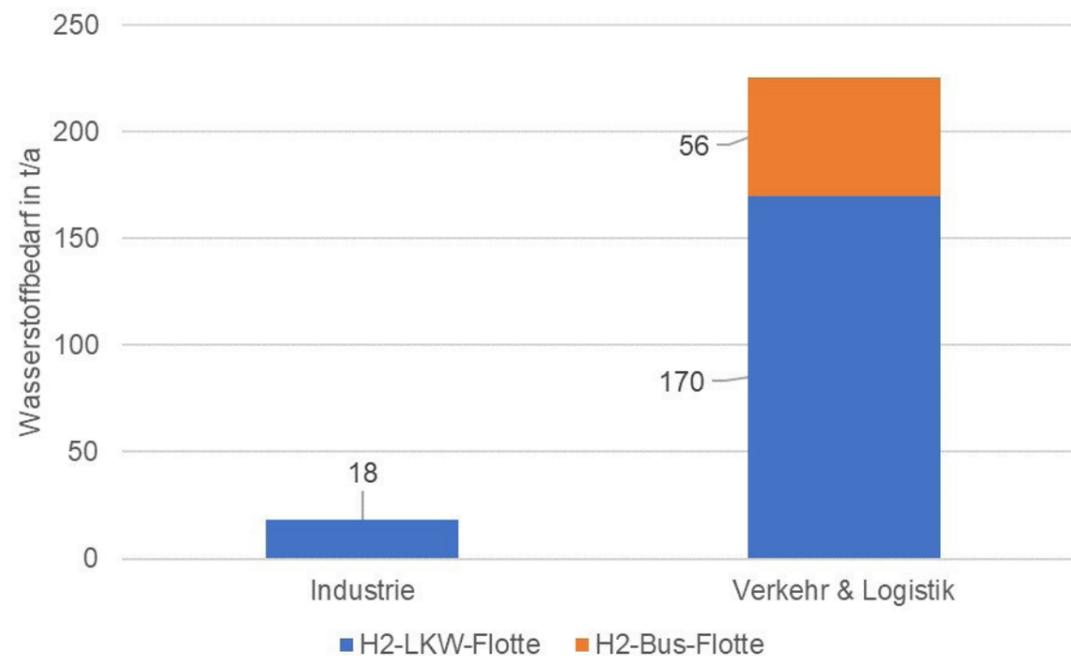


Abbildung 18: H₂-Absatzpotenzial Mobilität ab 2025 im Landkreis NEW

In Summe ergibt sich ein Wasserstoffabnahmepotenzial für die Mobilität von 244 t/a. 77 %, also 188 t/a, des Absatzes geht auf die Umstellung der LKW-Flotten zurück, 23 %, also 56 t/a, auf die Umstellung der Busflotten.

4.2.2 Grundlagen Industrie

Neben der Mobilität ist Wasserstoff auch in der Industrie ein immer wichtiger werdender Bestandteil. Er findet aktuell vor allem in den folgenden Bereichen Verwendung:

- in Raffinerien zur Entschwefelung von Kraftstoffen über die sog. Hydrierung
- in der Glasindustrie zur Erzeugung einer Schutzatmosphäre oder als Brennstoff zur Bereitstellung der notwendigen Temperaturen
- als Einsatzstoff zur Synthese von Chemikalien, wie Methanol und Ammoniak in der Chemieindustrie
- in der Stahlherstellung zur Bereitstellung der notwendigen Temperaturen und als Reduktionsmittel von Eisen zu Stahl

Bei der Liste handelt es sich nur um einen Auszug und keine abschließende Darstellung. Die Einsatzmöglichkeiten von Wasserstoff in der Industrie sind noch wesentlich vielfältiger. Aktuell wird in der Industrie überwiegend grauer Wasserstoff, welcher über die Dampfreformierung aus Erdgas bzw. fossilen Energieträgern gewonnen wird, eingesetzt. Dies geht auch aus [36] hervor. Demnach wurden in Deutschland 2020 insgesamt 57 Terrawattstunden (TWh) Wasserstoff erzeugt. 95 % des erzeugten Wasserstoffs, ca. 54 TWh, wurden aus fossilen Energieträgern und der Chlor-Alkali Elektrolyse gewonnen. 2 TWh (ca. 5 %) wurden aus der chemischen Industrie gewonnen. Der Anteil an grünem Wasserstoff, welcher den grauen Wasserstoff technisch problemlos ersetzen kann, ist noch gering.

Grüner Wasserstoff wird aber vor allem hinsichtlich seines Dekarbonisierungspotenzials für die Industrie eine bedeutende Rolle einnehmen. So können größtenteils die bisher fossilen Energieträger, wie Öl, Erdgas und Kohle durch grünen Wasserstoff über erneuerbare Energien ersetzt werden. Da grüner Wasserstoff z. B. auch als Energiespeicher und zur Rückverstromung dienen kann, wird er auch als Brenn- bzw. Kraftstoff für Notstromaggregate eingesetzt werden. So lassen sich z. B. in Zukunft die volatilen erneuerbaren Energien zu Zeiten von Stromüberschuss und geringer Nachfrage speichern und bei Bedarf wieder in Strom wandeln. Zudem sind aktuell die sog. E-Fuels im Gespräch. Diese können mit grünem Wasserstoff, CO₂ und dem Einsatz erneuerbarer Energien erzeugt werden und damit klassische Verbrennungsmotoren auch über 2035 hinaus betreiben. Es wird auch weiterhin industrielle Prozesse geben, welche auch auf kohlenstoffhaltige Energieträger angewiesen sind. Allerdings gibt es in diesem Fall die Möglichkeit fossiles Erdgas durch Biomethan, welches aus grünem Wasserstoff und (grünem) CO₂ erzeugt werden kann, zu ersetzen und damit den Kohlenstoffkreislauf zu schließen. Wasserstoff wird vor allem im Bereich der Hochtemperatur-Prozesswärme, welche bisher nur über die Verbrennung fossiler Energieträger, wie Erdgas und Heizöl, erzeugt werden kann, relevant sein. Aber auch die Substitution von grauem Wasserstoff als Prozessgas durch grünen per Elektrolyse hergestellten Wasserstoff wird zunehmend eine Rolle spielen. Für KWK-Anwendungen, welche bereits sehr effizient funktionieren, wird Erdgas durch grüne Gase wie Biogas, Biomethan und Wasserstoff ersetzt. So können diese Anlagen vollständig auf Biogas, Biomethan oder Wasserstoff umgerüstet werden. Kurzfristig ist auch eine Beimischung zum Erdgas realisierbar. Für andere Prozesse ist wiederum die teilweise oder vollständige Elektrifizierung der Anlagen, welche in aller Regel sehr effizient gestaltet ist, denkbar.

Trotz seiner Potenziale und den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten bedarf es allerdings noch viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit, u. a. für die Verteilung und die Nutzung von Wasserstoff in auf Erdgas ausgelegten Prozessen. So entstehen bei der Verbrennung von Wasserstoff wesentlich höhere Temperaturen und sehr „schnelle“ Flammenfronten, welche unter Kontrolle gebracht werden müssen. Auch die Rohrleitungen und Armaturen müssen hierzu weiterentwickelt bzw. angepasst werden. Aufgrund seiner niedrigen volumetrischen Energiedichte (s. Kapitel 4.2.1) müssen in einer bestehenden Rohrleitung deutlich höhere Strömungsgeschwindigkeiten realisiert werden, um die gleiche Energiemenge im Vergleich zu Erdgas transportieren zu können. Demnach müssen auch Armaturen auf die neuen Strömungsverhältnisse angepasst werden. Zusammengefasst leistet der Einsatz von grünem Wasserstoff einen wertvollen Beitrag zur Energiewende in Verbindung mit einem hohen Innovationspotenzial und dem Aufbau von Arbeitsplätzen.

Wie bereits zu Beginn erwähnt, wurden die zukünftigen Einsatzmöglichkeiten von grünem Wasserstoff in jeweiligen Industriebetrieben, der Bedarf an Brennstoffen und wasserstoffbasierten Grundstoffen für die Industrie und Wirtschaft abgefragt. Als Brennstoffe werden im Rahmen dieses Projekts Energieträger bezeichnet, welche für Raumwärme und Warmwasser (RW und WW), (Hochtemperatur-) Prozesswärme und in Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt werden. Neben der Abfrage von Brennstoffen wurden auch die Strombedarfe der Unternehmen abgefragt. Die Angaben der Online-Datenerfassung wurden innerhalb des Workshops „H₂-Abnehmer Industrie und Prozesse“ plausibilisiert und weiter konkretisiert. Zudem wurden hierbei Themen rund um die Abnahme der Elektrolyse-Nebenprodukte (Abwärme auf Niedertemperatur-Niveau und Sauerstoff) angesprochen. Die daraus resultierenden Wasserstoffpotenziale und Absatzmöglichkeiten der Nebenprodukte gingen in die nachfolgenden Aspekte und Berechnungen des Projekts mit ein.

Der Landkreis NEW ist, wie bereits erwähnt, ein ländlich geprägter Landkreis. Allerdings begünstigt die Lage die Ansiedelung von Industriebetrieben. Demnach gibt es im Landkreis, auch aufgrund seiner Bergbauhistorie, einen hohen Anteil an Glas- und Porzellanindustrie. Das zeigt auch die Wärme- und Strombedarfe der Wirtschaft, welche aus Kapitel 2.1 und 4.1 hervorgehen. So sind im Landkreis die fossilen Energieträger Erdgas und Heizöl mit einem Anteil von ca. 85 % die wesentlichen Lieferanten thermischer Energie für Hochtemperatur-Prozesswärme. Dies spiegeln auch die erfassten Daten des Online-Fragebogens zu Beginn von *NEW HyPerspectives* wider. Die erfassten Zahlen sind in der nachfolgenden Abbildung 19 in Form eines Sankey-Diagramms dargestellt. Die erfassten Zahlen weichen allerdings gegenüber den Zahlen des ENPs von 2019 ab, da nicht jeder Industriebetrieb im Landkreis Daten abgegeben hat. Das nachfolgende Sankey-Diagramm stellt die Aufteilung des ermittelten Gesamtenergiebedarfs, verteilt auf die einzelnen Energieträger Strom, Gas, Heizöl und Wasserstoff, in Form eines „Energieflusses“ dar.

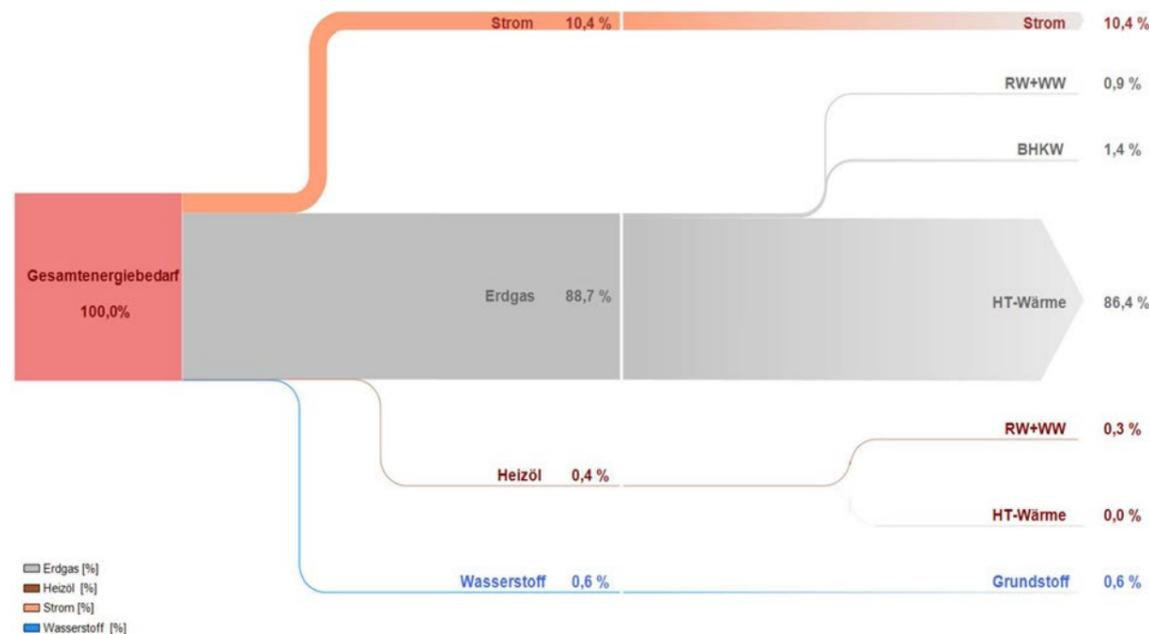


Abbildung 19: Aufteilung der erfassten Energieträger im Landkreis NEW

Vom Gesamtenergiebedarf im Rahmen der Online-Datenerfassung nimmt der Energieträger Erdgas einen Anteil von 89 % ein. Der nächstgrößte Energieträger ist mit rund 10 % Strom, gefolgt von Wasserstoff und Heizöl. Die Angaben beziehen sich auf den oberen Heizwert (Brennwert). Erdgas wird überwiegend für Hochtemperatur-Anwendungen, z. B. Beheizung von Schmelzwannen der Glasindustrie oder zum Brennen von Porzellan, verwendet. Hier werden je nach Glas und Porzellan Temperaturen zwischen 1.400 und 1.600 °C benötigt. Ein Teil des Erdgases wird auch für die sog. Oxyfuel-Verbrennung genutzt. Hierbei wird Erdgas mit reinem Sauerstoff anstatt der normaler Verbrennungsluft verbrannt. Das hat z. B. geringere Wärmeverluste über das entstehende Abgas und höhere Verbrennungstemperaturen zur Folge, mit welchen man z. B. spezielle Oberflächenbehandlungen von Glas durchführen kann. Neben Erdgas können auch weitere fossile, aber auch biogene Gase, Flüssigkeiten und Feststoffe mit Hilfe von Oxyfuel thermisch genutzt werden. Auch (grüner) Wasserstoff könnte hierfür genutzt werden. Die Umstellung der Gasbrenner wäre technisch realisierbar. Der Erdgasbedarf für RW- und WW-Bedarf nimmt dagegen eine eher untergeordnete Rolle ein. Strom wird zum größten

Teil für Motoren und Antriebe als auch für elektrisch beheizte Trockner und Kühltrockner genutzt. Der bisher eingesetzte Wasserstoff wird dagegen nicht für energetische Zwecke eingesetzt, sondern zusammen mit Stickstoff für die Erzeugung einer Schutzatmosphäre. Der eingesetzte Wasserstoff ist das Produkt aus der Dampfreformierung von Erdgas und damit grauer Wasserstoff. Das verwendete Heizöl dient dagegen ausschließlich zur Beheizung und der Erzeugung von Warmwasser. Nur ca. 10 % des Heizöls werden zur Bereitstellung der thermischen Energie für Hochtemperatur-Anwendungen genutzt.

Um die Ziele der bayerischen Landesregierung und der Bundesregierung in Bezug auf die Klimaneutralität bis spätestens 2040 bzw. 2045 zu erreichen, müssen die fossilen Energieträger Erdgas und Heizöl sowie der auf Erdgas basierende graue Wasserstoff im Landkreis auf erneuerbare Energieträger umgestellt werden. Dies können z. B. biogene Gase und Biomethan oder flüssige Energieträger auf erneuerbarer Basis, Biomasse und erneuerbarer Strom und grüner Wasserstoff sein. Nach Recherchen und Gesprächen innerhalb und außerhalb des Workshops „H₂-Abnehmer Prozesse“ mit den beteiligten Industriebetrieben zeigte sich eine deutliche Umstellungsbereitschaft auf erneuerbare Energien und grünem Wasserstoff. Die im Projekt involvierten Unternehmen sind an grünem Wasserstoff sehr interessiert und können sich nach eigenen Angaben vorstellen, Wasserstoff in absehbarer Zeit vor allem als saisonaler Energiespeicher, Brennstoff zur Beheizung diverser Industrieprozesse, als Kraftstoff für Mobilitätsanwendung und als Grundstoff zu nutzen.

Aus den Angaben im Fragebogen wurde zunächst ein gesamtes Wasserstoffpotenzial von 26.500 t H₂ pro Jahr errechnet. Dies entspricht einem Wasserstoffbedarf von 73 Tonnen pro Tag. Diese Zahl basiert auf der Annahme, dass Erdgas, Heizöl und grauer Wasserstoff vollständig durch grünen Wasserstoff ersetzt wird und die Industrie sowie kleinere Handwerksbetriebe so dekarbonisiert werden. Hierbei wurden die verschiedenen Energieträger mit auf Erfahrungswerten basierenden Wirkungsgraden und Heiz- bzw. Brennwertwerten umgerechnet.

4.2.3 Hochlaufszenerarien

4.2.3.1 Mobilität

Über die Datenerfassung konnte ein möglicher Bedarf ab 2025 ermittelt werden. Ein weiterer Bestandteil des Projekts auf dem Weg zur Wasserstoffregion ist die Bildung von Hochlaufkurven für Wasserstoff in der Mobilität. Hochlaufkurven zeigen den Bedarf an Wasserstoff in der Zukunft. Das ist vor allem dann wichtig, wenn man Tankstellen oder mögliche Wasserstoff-Erzeugungsanlagen auslegt, um den Bedarf zum Beispiel in der Mobilität langfristig zu decken. Ein genauer Wert lässt sich nur schwer vorhersagen. Der Bedarf an Wasserstoff wird daher anhand eines sog. Bedarfskorridors ermittelt. Ein solcher Korridor kann durch verschiedene Szenarien gebildet werden. In der nachfolgenden Grafik Abbildung 20 sind vier dieser Hochlaufkurven dargestellt, die einen Bedarfskorridor bilden. Die Szenarien basieren auf folgenden Annahmen:

- Szenario 1: Vollständige Umstellung der bestehenden Flotten (LKW und Bus) der Unternehmer, welche Umstellungsbereitschaft haben
- Szenario 2: Unternehmer mit Umstellungsbereitschaft ab 2025 stellen Langstreckenfahrzeuge auf Wasserstoff um
- Szenario 3: Unternehmer mit Umstellungsbereitschaft stellen nur Langstrecken LKW-Flotte um
- Szenario 4: Mittelwert aus zusätzlichen Szenarien, u. a. vollständige Umstellung aller Bestandsfahrzeuge auf Wasserstoff und „worst case“ mit minimaler Umstellung

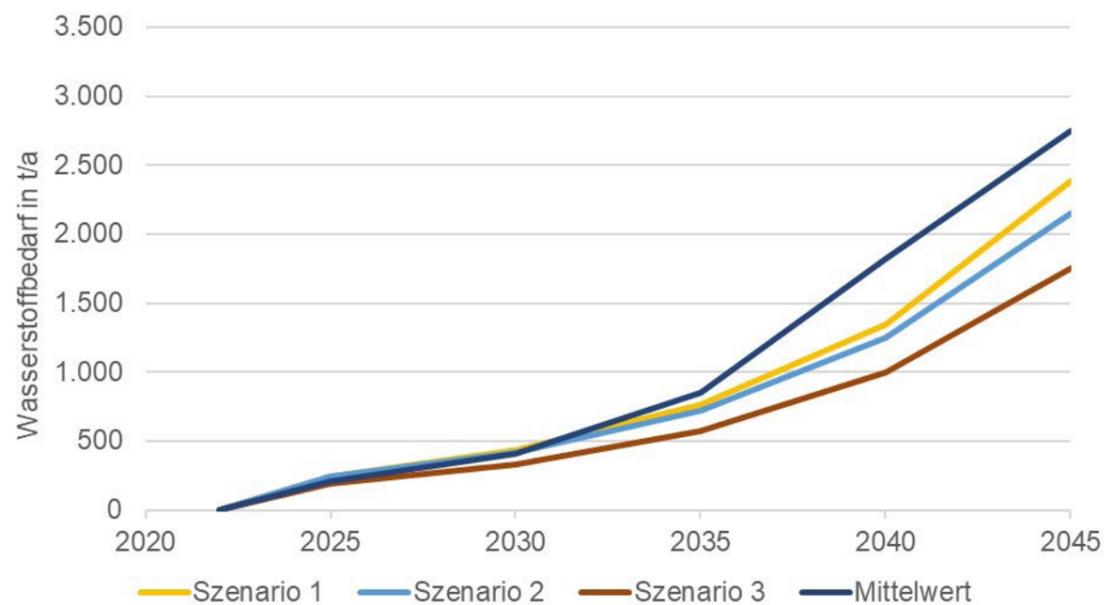


Abbildung 20: Wasserstoffhochlaufkurve in der Mobilität für den Landkreis NEW bis 2045.

Innerhalb dieses Korridors wird sich mit hoher Wahrscheinlichkeit der Wasserstoffbedarf für die Mobilität im Landkreis NEW in der Zukunft bewegen. Man geht hier von einer stetigen Steigerung des Wasserstoffbedarfs bis in das Jahr 2045 aus. Im Jahr 2030 liegt der prognostizierte Wasserstoffbedarf bei 400 bis 450 Tonnen pro Jahr. Nach einem starken Anstieg ab 2030 liegt der prognostizierte Bedarf für Mobilitätsanwendungen im Jahr 2045 zwischen 1.700 und 2.700 Tonnen pro Jahr bzw. 4,7 bzw. 7,4 Tonnen pro Tag. Dies entspricht 67 Mio. kWh bis 106 Mio. kWh Wasserstoff pro Jahr. Dafür werden bei einem realistischen Elektrolyse-Wirkungsgrad von 80 % im Jahr 2045 84 Mio. kWh bis 133 Mio. kWh elektrischer Energie benötigt. Der mittlere Bedarf liegt hierbei bei ca. 2.200 Tonnen bzw. 6 Tonnen pro Tag im Jahr 2045. Die dargestellten Zahlen beinhalten die Verbräuche der wasserstoffbetriebenen LKW und der Busse.

Die Grafik zeigt zudem, dass der Anstieg des Wasserstoffbedarfs im Mobilitätssektor zu Beginn langsam geschehen wird. Dies ist vor allem in der teuren Anschaffung von Wasserstofffahrzeugen zu Beginn begründet. Wie aus Tabelle 3 und Tabelle 4 hervorgeht, liegen die Beschaffungskosten der Wasserstofffahrzeuge dreimal bis viermal über den Investitionskosten der konventionellen Dieselfahrzeuge. Außerdem gibt es noch sehr wenig Erfahrung im Umgang mit wasserstoffbetriebenen LKW.

Für die Entwicklung der Szenarien wurde unter anderem der Aufbau der Bestandsflotten der Unternehmer berücksichtigt. Dazu konnten Unternehmer verschiedene Kilometerangaben pro Jahr und maximale Kilometerangaben pro Tag angeben. Anhand dieser Zahlen konnte z. B. abgeschätzt werden, wie viele Fahrzeuge auf batterieelektrischen Antrieb und wie viele Fahrzeuge auf Wasserstoffantrieb umgestellt werden. Des Weiteren wurden bekannte Studien wie zum Beispiel die Studie der Agora Energiewende [37] und die Ziele der bayerischen Regierung zur Klimaneutralität bis 2040 sowie der Bundesregierung zur Klimaneutralität bis 2045 einbezogen. In die Betrachtung sowie die Erstellung der Hochlaufkurven und Szenarien sind PKW nicht

miteinbezogen. Hier wurde davon ausgegangen, dass sich batterieelektrisch betriebene PKW durchsetzen [37], was vor allem durch die hohe Effizienz und die steigenden Reichweiten der Fahrzeuge begründet ist. Wie bereits erwähnt, dienen diese Zahlen unter anderem zur Dimensionierung von möglichen Tankstellen und Wasserstoffherstellungsanlagen. Daher fließen diese Zahlen im weiteren Verlauf des Projekts mit ein.

4.2.3.2 Industrie

Ähnlich wie im für den Sektor Mobilität wurde auch der Wasserstoffhochlauf in der Industrie bis zum Jahr 2045 modelliert. Dazu dienten die Daten aus der Online-Erfassung als Basis. Für die Erstellung wurde auch hier Kontakt mit den Unternehmen in der Region aufgenommen. Ziel dieser Gespräche war es u. a. die Industrieprozesse näher kennen zu lernen, mögliche Maßnahmen zur Effizienzsteigerung zu identifizieren und um Einsatzmöglichkeiten für Wasserstoff zu erkennen und entsprechende Mengen zu prognostizieren. Das Ergebnis geht aus der nachfolgenden Grafik hervor.

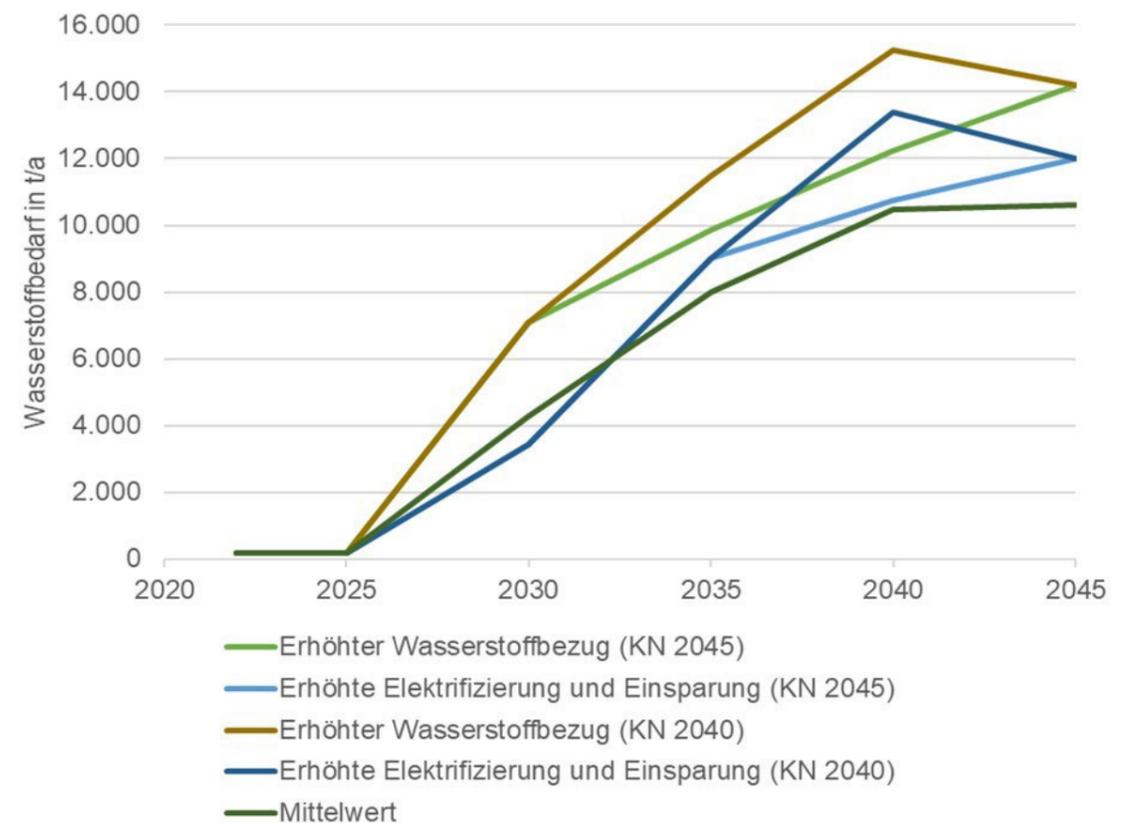


Abbildung 21: Wasserstoffhochlaufkurve der Industrie für den Landkreis NEW bis 2045.

Wie zu erwarten steigt der Wasserstoffbedarf in der Region im Betrachtungszeitraum grundsätzlich an. So wird auch hier ein Bedarfskorridor ersichtlich. Ab dem Jahr 2030 kann bereits mit einem jährlichen Wasserstoffbedarf zwischen 3.500 und 7.000 Tonnen pro Jahr rechnen. Dies entspricht ca. 140 Mio. kWh bzw. 280 Mio. kWh Wasserstoff. Ausgehend von einem Wirkungsgrad von rund 70 % bei der Elektrolyse werden für die Bereitstellung dieser Menge Wasserstoff 200 Mio. kWh bzw. 400 Mio. kWh elektrische Energie benötigt. Dieser liegt ab ca. 2040

in einem Bereich zwischen 10.500 und 15.000 Tonnen Wasserstoff pro Jahr. Dies entsprechen ca. 410 Mio. kWh bis 600 Mio. kWh Wasserstoff. Zur Herstellung dieser Mengen werden bei einem realistischen Elektrolyse-Wirkungsgrad von 80 % 590 Mio. kWh bzw. 860 Mio. kWh elektrische Energien benötigt. Der dargestellte Bedarfs-korridor geht aus insgesamt fünf Szenarien hervor, welche anhand der Klimaziele des Bundes zur Klimaneutralität bis 2045 und des Land Bayerns zur Klimaneutralität bis 2040 ausgearbeitet wurden. Des Weiteren wurden in den verschiedenen Szenarien die Steigerung der Effizienz und die Einsparung an Energie in der Industrie betrachtet. So ergaben sich zwei Szenarien, welche verstärkt auf die Elektrifizierung eingehen und zwei Szenarien, welche einen verstärkten Einsatz von Wasserstoff in Form eines schnelleren Hochlaufs abbilden. Zu sehen ist ebenfalls, dass der Bedarf in den Szenarien mit erhöhtem Wasserstoffbezug ab dem Jahr 2040 wieder sinkt. Das resultiert u.a. aus der Annahme, dass hier die Klimaneutralität erreicht wurde und in den folgenden Jahren weiter Energie eingespart wird und somit auch der Wasserstoffbedarf für die Bereitstellung thermischer Energie zurückgeht.

4.2.3.3 Zusammenfassung

Aus den Hochlaufkurven der Mobilität und der Industrie ergibt sich somit auf kurzfristige Sicht ab 2030 ein prognostizierter Wasserstoffbedarf von ca. 4.000 bis 7.500 t/a. Dies hat auch zur Folge, dass mehr elektrische Energie aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden muss und damit EE-Erzeugungskapazitäten parallel zum Aufbau der Wasserstoffwirtschaft ausgebaut werden müssen. Um die dargelegten Mengen an Wasserstoff mittels Elektrolyse bereitzustellen werden 225 bis ca. 300 Mio. kWh elektrische Energie im Jahr 2030 benötigt. Diese Mengen zur bilanziellen Deckung können z. B. über den Zubau von 300 MWp Freiflächen Photovoltaik oder 80 MW Windkraft und 150 MWp Freiflächen Photovoltaik realisiert werden. Für die in Kapitel 3.1 geforderte Gleichzeitigkeit muss die installierte Leistung deutlich höher sein und ist durch entsprechende Simulationen in Bezug auf den konkreten Anwendungsfall zu ermitteln. Mit Blick auf das ermittelte Ausbaupotenzial bis 2045 von 1.700 Mio. kWh erneuerbare Energie ist das eine realisierbare Menge. Ab den Jahren 2030 bis 2035 ist der Bezug von Wasserstoff aus dem EHB möglich und damit auch die Versorgung mit großen Mengen Wasserstoff.

Grundsätzlich ist zu erwarten, dass die Kosten für die regionale Herstellung und Verteilung von Wasserstoff in Mobilität und Industrie von Wasserstoff zu Beginn des Hochlaufs kostenintensiv sein werden und entsprechende Fördermittel zur Umsetzung notwendig sind. Um konkurrenzfähig zu sein müssen die angebotenen Tankstellenpreise unter den Referenzpreisen liegen. Ähnlich ist dies beim Ersatz von Erdgas durch Wasserstoff, der Referenzpreis ist dabei der Erdgaspreis. Steigende CO₂-Preise auf Erdgas und weitere fossile Energieträger können daher in Zukunft einen Teil zur Wirtschaftlichkeit beitragen. Zusätzlich werden mit einem Hochlauf der Elektrolyseur-Herstellungskapazitäten die notwendigen Investitionskosten für Elektrolyseure sinken und somit die Gestehungskosten herabsenken. Außerdem ist zu erwarten, dass die Strompreise aufgrund eines höheren Anteils erneuerbarer Energie im Strommix und aufgrund der regionalen Stromerzeugung sinken.

Ein Hochlauf von Wasserstoff in der Industrie kann zukünftig nur über einen engen Austausch mit allen Agierenden erfolgen. Dazu zählen u. a. Agierende der öffentlichen Hand, der Industrie und der Forschung und Entwicklung. Ein wichtiger Baustein für eine erfolgreichen Hochlauf ist auch die Aus- und Weiterbildung von Arbeitskräften im Umgang mit Wasserstoff. Das Thema Bildung ist innerhalb dieser Machbarkeitsstudie ein essenzieller Bestandteil und wird in Kapitel 5 ausführlich behandelt.

4.3 Wasserstoff-Erzeugung

In den vorherigen Kapiteln wurde ein möglicher Wasserstoffabsatz in den Sektoren Mobilität und Industrie ermittelt. Für die Verteilung bzw. Distribution im Sektor Mobilität dienen die Tankstellen, welche im nachfolgenden Kapitel zuvor ausführlich betrachtet wurden. Nun geht es um die Produktion des zur Deckung notwendigen (grünen) Wasserstoffs. Dazu stehen grundsätzlich mehrere Möglichkeiten zur Verfügung:

- Bezug aus einer Wasserstoffleitung bzw. Pipeline
- Anlieferung von Wasserstoff per LKW-Trailer von vorhandenen Elektrolyseuren in Bayern
- Vor-Ort-Erzeugung von Wasserstoff
 - o „grün“ mit Strom aus erneuerbaren Energien
 - o „orange“ aus Biomasse

Im Rahmen von *NEW HyPerspectives* spielt die Vor-Ort-Erzeugung von grünem Wasserstoff eine entscheidende Rolle, nichtsdestotrotz wird auch die Wasserstoffherzeugung aus Bioabfällen und die H₂-Belieferung beleuchtet.

Der Landkreis NEW soll laut aktuellen Planungen voraussichtlich im Zeitraum 2030 bis 2035 an den sogenannten Hydrogen Backbone angeschlossen werden, vgl. Kapitel 2.1. Vor diesem Zeitpunkt ist nicht mit einer leitungsgebundenen Anlieferung von Wasserstoff im Betrachtungsgebiet zu rechnen. Aus diesem Grund wird im Rahmen der Studie der Fokus auf die Erzeugung von grünem und orangem Wasserstoff vor Ort, unterstützt durch die Belieferung von Wasserstoff aus vorhandenen Erzeugungsanlagen in Bayern, gelegt.

4.3.1 Grüner Wasserstoff

Für die Erzeugung von grünem Wasserstoff stehen grundsätzlich sowohl die Solarenergie als auch die Windenergie zur Verfügung, wie aus Kapitel 3.1 ersichtlich wird. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde der weitere Fokus im Rahmen dieser Betrachtung auf neu zu errichten erneuerbaren Energieanlagen gelegt (EEG-Altanlagen Anlagen spielen eine wichtige Rolle bei der Energieversorgung in der Region, bei der Erzeugung von grünem Wasserstoff hingegen eher eine untergeordnete, vgl. Kapitel 3.2.). Dass der Landkreis NEW große Potentiale zum Ausbau konventioneller erneuerbarer Energien hat, wurde bereits im digitalen Energienutzungsplan [13] ermittelt, vgl. Kapitel 2.1. Für die Technologien Photovoltaik (Freifläche und Aufdach) und Wind wurde das zusätzliche Ausbaupotential auf rund 365.000 MWh beziehungsweise 1.604 MWh geschätzt.

4.3.1.1 Floating PV

Das konventionelle Photovoltaik-Potential kann durch die Nutzung von Gewässerflächen erweitert werden, die im Landkreis insbesondere aufgrund des Kies- und Sandtagebaus verfügbar sind. Floating PV-Anlagen (Floating PV) bezeichnet schwimmende Solaranlagen auf künstlichen, stehenden Gewässern wie beispielsweise Bagger- und Tagebauseen und Weihern. Diese Anlagen bestehen wie konventionelle Photovoltaikanlagen aus Modulen, Wechselrichtern sowie der notwendigen Verkabelung (inkl. Netzanschluss) und zusätzlich einer schwimmenden Unterkonstruktion, Die auf dem Grund des Gewässers oder in Ufernähe befestigt oder verankert wird.

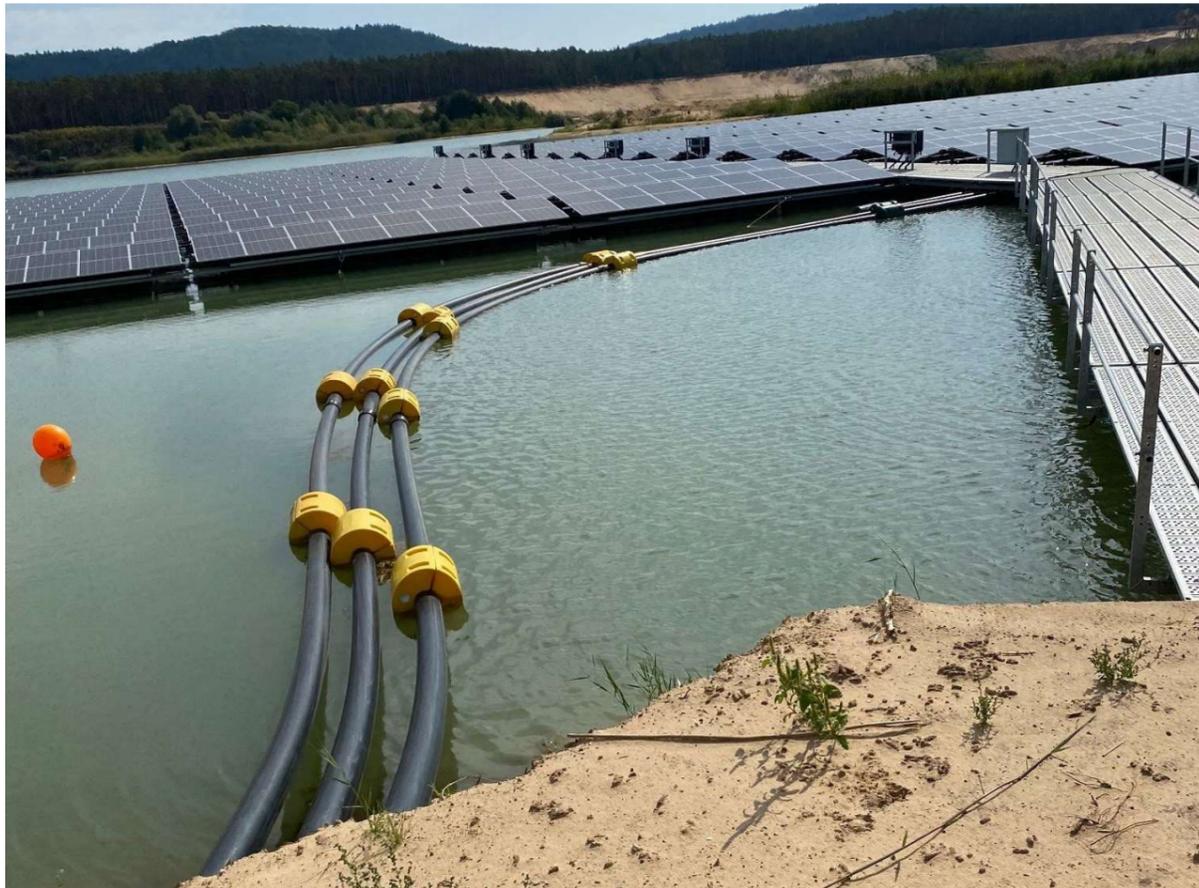


Abbildung 22: Beispielhafte Floating-PV-Anlage auf der Gewässer Oberfläche eines ehemaligen Sandabbaugebiets in der Oberpfalz. Quelle: IfE GmbH / Patrick Dirr

Bei der Errichtung dieser Anlagen müssen verschiedene Kriterien berücksichtigt werden, beispielsweise die Abstände zum Ufer, der maximale Anteil an bedeckter Gewässer Oberfläche, die Art der betrachteten Gewässer (künstlich oder erheblich verändert) sowie Natur- und weitere Schutzgebiete. Zur Ermittlung entsprechender Potenziale wurden, wie in Kapitel 3.4 ausgearbeitet, die allgemeingültigen Grundlagen und Kriterien berücksichtigt, relevante Flächen über eine GIS-Analyse identifiziert und priorisiert. Alle identifizierten Gewässer wurden in drei Kategorien unterteilt:

- nicht geeignet
- bedingt geeignet
- geeignet

Wie bereits erläutert, wurden bei der Kategorisierung verschiedene Faktoren berücksichtigt wie beispielsweise, aber nicht ausschließlich, Schutzgebiete. Nicht geeignet sind dementsprechend Gewässerflächen, die in Naturschutzgebieten liegen. Bedingt geeignete Flächen grenzen z. B. an Naturschutzgebiete an bzw. liegen zum Teil darin, während geeignete Gebiete grundsätzlich außerhalb von Schutzgebieten liegen. In der nachfolgenden Abbildung 23 sind die ermittelten Potenzialflächen dargestellt. Diese konzentrieren sich vor allem im süd-westlichen Teil des Landkreises, wie in der Abbildung zu sehen ist.

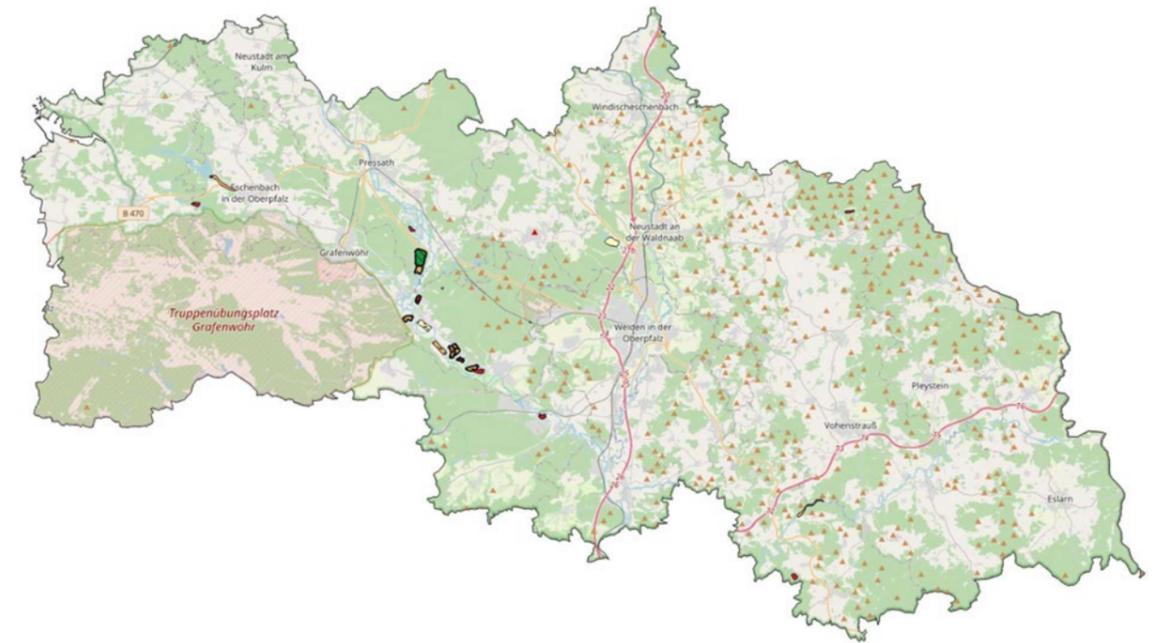


Abbildung 23: (Bedingt) geeignete Potenzialflächen Floating-PV (grün = Flächen > 8 ha, rot = < 2 ha; schraffiert = Bergbaugesamt)

Zu Beginn der GIS-Analyse wurden zunächst alle Gewässer im Landkreis identifiziert. Unter der Berücksichtigung des Mindestabstands von 40 m zum Ufer konnten im Landkreis NEW reduzierte sich die Anzahl der Gewässer auf 261. Von diesen Gewässern wurde schließlich eine nutzbare und belegbare Fläche mit max. 15 % der Gesamtfläche ermittelt. Nach Betrachtung einer für den wirtschaftlichen Betrieb notwendigen Mindestgröße von 1 ha, zusammenhängender nutzbarer Gewässerfläche reduziert sich die Anzahl der geeigneten Flächen auf 35 Gewässer. Daraus resultiert eine rein technisch nutzbare Gesamtfläche von 93 ha. Wie bereits erwähnt, wurden die Flächen zudem in die drei genannten Kategorien eingestuft. Für die Potenzialbetrachtung spielten daher nur die Flächen eine Rolle, welche als „bedingt geeignet“ und „geeignet“ eingestuft wurden. Zusätzlich müssen diese Flächen in einem künstlich errichteten bzw. einem erheblich veränderten Gewässer liegen. Mit diesen Kriterien reduziert sich die Gewässeranzahl auf acht Gewässer mit einer belegbaren Nutzfläche von ca. 24 ha. Dies entspricht einem nutzbaren Potential von rund 31 MWpeak bzw. 31.000 kWpeak. Mit dieser Leistung ist eine Stromproduktion von rund 34.000.000 kWh/a möglich, da der spezifische Ertrag von schwimmenden Photovoltaikanlagen höher ist als der von landbasierten Freiflächenanlagen. Der u. a. kühlende Effekt des Gewässers und die geringe Verschattung weisen einen positiven Einfluss auf den Ertrag der Module vor. Die nachfolgende Tabelle 5 stellt die Stromgestehungskosten von Floating-PV Anlagen an zwei geeigneten Gewässern im Landkreis (Größe und kleinste nutzbare Fläche) gegenüber. Es wird deutlich, dass mit zunehmender Größe der Anlagen bzw. nutzbarer Belegungsfläche auf dem Gewässer die Stromgestehungskosten sinken. Für die Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten im Elektrolyse-Fall 1 fließen die Stromgestehungskosten von 0,10 €/kWh bzw. 10 ct/kWh der Floating-PV Anlage auf dem Gewässer 2 ein.

Tabelle 5: Stromgestehungskosten Floating-PV.

	Gewässer 1	Gewässer 2
Nutzfläche in ha	8,6	1,1
Peak-Leistung in MW _p	11,2	1,5
Spez. Ertrag in kWh/a	12.200.000	1.600.000
Investitionskosten in €	9.200.000	1.500.000
Betrachtungszeitraum in a	20	20
Zinssatz	4 %	4 %
Jährliche Kosten gesamt in €/a	3.300.000	600.000
Ertrag gesamt in kWh	178.000.000	21.600.000
Stromgestehungskosten in €/kWh	0,07	0,10

Aus dem gesamten Floating-Zubaupotenzial von 31 MWp ergibt sich unter der Annahme von 1.100 Vollbenutzungsstunden pro Jahr ein theoretisches und bilanzielles Wasserstoffherzeugungspotenzial von 630 t/a. Gegenüber dem mittleren Bedarf von ca. 6.000 t/a im Jahr 2030 könnten damit ca. 11 % gedeckt werden.

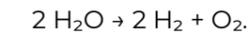
Für die Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse wird neben dem regenerativen Strom Wasser benötigt. In Verbindung mit der Floating-PV-Technologie lag die Frage nahe, ob man für eine Elektrolyse-Anlage am Ufer eines mit Floating-PV belegten Gewässers direkt Wasser aus diesem See oder Weiher (Oberflächenwasser) verwenden kann. Hierbei ist eine entsprechende Aufbereitung des für die Elektrolyse entnommenen Oberflächenwassers, z. B. mit Ultrafiltration und UV-Behandlung notwendig, bevor die Feinaufbereitung (siehe oben) beginnt. Die

notwendigen Verfahrensschritte müssen, basierend auf einer Beprobung des zu verwendenden Oberflächenwassers, ermittelt werden. Im Rahmen dessen sind auch (genehmigungs-) rechtliche Aspekte zu prüfen und berücksichtigen. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der Energieeinsatz für die Aufbereitung von Oberflächenwasser in Relation zur Elektrolyse selbst gering ist, nach [41] liegt der Energieaufwand bei rund 2,2 kWhel/m³. Dementsprechend sollte dieser Ansatz, insbesondere bei der Umsetzung von größeren Floating-PV-Anlagen vor der Umsetzung im Detail geprüft werden.

4.3.1.2 Marktübersicht Elektrolysetechnologien

Wasserstoff aus erneuerbaren Energien mittels Elektrolyse

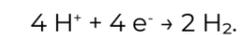
Die Elektrolyse ist eine Schlüsseltechnologie zur Erzeugung von Wasserstoff als sauberem und vielseitig einsetzbarem Energieträger. Das Grundprinzip der Wasser-Elektrolyse ist die Aufspaltung von Wasser (H₂O) in die beiden Moleküle Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O₂) gemäß der chemischen Reaktionsgleichung [42]:



Diese Gesamtreaktion teilt sich jedoch in der Elektrolyse-Zelle auf zwei Reaktionsschritte an den beiden Elektroden der Zelle auf. An der einen Elektrode, der sog. Anode, wird das Wasser zunächst in kleinere Bestandteile aufgespalten, im Falle einer PEM-Elektrolyse (mit einer proton-exchange-membrane, also Protonen-Austausch-Membran) in Sauerstoff, Protonen (H⁺) und Elektronen (e⁻):



Die Protonen werden daraufhin in der Zelle zur zweiten Elektrode, der sog. Kathode, transportiert. Gleiches gilt für die Elektronen, wobei diese über einen externen Stromkreis geleitet werden. An der Kathode reagieren (im Falle einer PEM-Elektrolyse) jeweils zwei Protonen mit zwei Elektronen zu einem Wasserstoff-Molekül:



Zwischen den beiden Elektroden befindet sich eine Membran mit einem Elektrolyten. Der Elektrolyt ist die chemische Substanz, die die geladenen Ionen (z. B. die Protonen H⁺), aber nicht die Elektronen e⁻ transportieren kann. Aus diesem Grund müssen die Elektronen über einen Stromleiter außerhalb der Elektrolyse-Zelle fließen. Die treibende Kraft für diesen Elektronenfluss (= elektrischer Strom) ist dabei eine an den externen Leiter angelegte elektrische Spannung, die im Falle der Produktion von „grünem“ Wasserstoff beispielsweise von einer nahegelegenen Windenergie- oder Wasserkraftanlage erzeugt wird.

In der Regel muss der Wert der stromnetzseitigen elektrischen Spannung auf einen für den Elektrolyseur geeigneten Wert angepasst werden. Dies geschieht mithilfe eines Transformators. Eine weitere wesentliche elektrische Komponente ist der Gleichrichter, der die für die Elektrolyse benötigte Gleichspannung bereitstellt.

Wie aus den obigen chemischen Reaktionsgleichungen ersichtlich, ist das einzige Edukt des Elektrolyse-Prozesses H₂O, also reines Wasser im chemischen Sinne. Da das Trinkwasser, das über das öffentliche Trinkwasser-Netz bezogen werden kann, neben dem H₂O noch andere, im Elektrolyseur unerwünschte Bestandteile, z. B. Salz-Ionen, enthält, müssen diese vor dem

Einleiten des Trinkwassers in die Elektrolyse-Zellen herausgefiltert werden. Dies erfolgt in der Wasseraufbereitungseinheit.

Es lässt sich nicht vermeiden, dass Wassermoleküle in die beiden Ausgänge der Elektrolyse-Zelle gelangen, in denen der Sauerstoff und der Wasserstoff ausgeleitet werden. Um also reine, trockene Produktgase zu erhalten, wird dem Elektrolyseur eine Gasreinigung nachgeschaltet, in der die Wassermoleküle abgeschieden werden.

Verschiedene Elektrolysetechnologien wurden entwickelt, um den steigenden Anforderungen an Effizienz, Kostenreduktion und Flexibilität gerecht zu werden. In diesem Kapitel werden vier Elektrolysetechnologien näher betrachtet: alkalische Elektrolyse (AEL), Proton Exchange Membrane Elektrolyse (PEM), Anion Exchange Membrane Elektrolyse (AEM) und Hochtemperatur Festoxid-Elektrolyse (SOEC).

Alkalische Elektrolyse (AEL)

Kurzbeschreibung

Bei der alkalischen Elektrolyse wird eine wässrige alkalische Lösung, üblicherweise Kaliumhydroxid (KOH) oder Natriumhydroxid (NaOH), als Elektrolyt verwendet. AEL-Systeme zeichnen sich durch ihre einfache Betriebsweise und aus und sind seit vielen Jahren am Markt verfügbar. Sie arbeiten bei niedrigen Temperaturen und Drücken. [43] Die Effizienz von AEL liegt typischerweise im Bereich von 70 - 80% [23]. Diese Technologie eignet sich gut für den Einsatz in großem Maßstab, um Wasserstoff aus stetig Strom produzierenden erneuerbaren Energiequellen, wie Wasserkraft und Offshore-Windkraft zu erzeugen.

Vor- und Nachteile der Technologie

Die AEL-Technologie bietet verschiedene Vor- und Nachteile. Ein wesentlicher Vorteil ist ihre einfache Betriebsweise, die zuverlässige und stabile Prozessbedingungen ermöglicht. Die AEL hat eine lange Markterfahrung und wird bereits in großem Maßstab eingesetzt. [43] Ein weiterer Vorteil ist die Fähigkeit, große Mengen Wasserstoff kostengünstig zu produzieren. Allerdings weist die AEL im Vergleich zu anderen Elektrolysetechnologien eine etwas niedrigere Effizienz auf, was dazu führt, dass mehr elektrische Energie benötigt wird, um eine bestimmte Menge an Wasserstoff zu erzeugen. [43]

Vorteile	Nachteile
Alkalische Elektrolyse (AEL)	
<ul style="list-style-type: none"> Einfache Betriebsweise mit hohen Lebensdauern (50.000 h) [23] Langjährige Markterfahrung Geeignet für den großmaßstäblichen Einsatz 	<ul style="list-style-type: none"> Niedrigere Effizienz im Vergleich zu anderen Elektrolysetechnologien Begrenzte Flexibilität bei variabler Leistungserzeugung (Erneuerbare Energien)

Besonderheiten in der Praxis

In der Praxis erfordert die AEL regelmäßige Überwachung und Wartung, um die Leistung und Effizienz der Elektrolyseure aufrechtzuerhalten. Die Alkalilösung muss kontinuierlich überwacht und gegebenenfalls aufgefrischt oder recycelt werden. Der Betriebstemperaturbereich der AEL liegt im Allgemeinen bei Raumtemperatur oder leicht erhöhten Temperaturen, was den Einsatz von herkömmlichen Materialien und Komponenten ermöglicht. Die Skalierbarkeit der AEL-Technologie ermöglicht den Einsatz sowohl in kleineren Anlagen für dezentrale Wasserstoffproduktion als auch in größeren Anlagen für den industriellen Maßstab.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die alkalische Elektrolyse zu den bewährten Elektrolysetechnologien gehört. Sie bietet einfache Betriebsbedingungen und kann auch in großem Maßstab eingesetzt werden. Die niedrigere Effizienz im Vergleich zu anderen Technologien wird jedoch als Herausforderung angesehen. Bei der Auswahl eines Standorts für eine AEL-Anlage sind Faktoren wie der Zugang zu erneuerbaren Energiequellen, die Verfügbarkeit von Wasserressourcen und die Nähe zu potenziellen Abnehmern von Wasserstoff von Bedeutung. Diese Standortfaktoren gelten jedoch übergreifend für alle Elektrolysetechnologien. Durch kontinuierliche Forschung und Entwicklung besteht das Potenzial, die Effizienz der AEL weiter zu verbessern und so ihre Rolle in einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft zu stärken.

Proton Exchange Membrane Elektrolyse (PEM)

Kurzbeschreibung

Die Proton Exchange Membrane Elektrolyse (PEM) stellt eine fortschrittliche Technologie zur Wasserstoffproduktion dar. PEM-Elektrolysesysteme nutzen eine Protonenaustauschmembran. Diese Membran ermöglicht den Transport von Protonen, während sie den Elektronenfluss blockiert. PEM-Elektrolyseure bieten viele Vorteile, die insbesondere für dezentrale Anwendungen und erneuerbare Energiequellen mit variabler Leistungserzeugung ausgespielt werden können. Die Effizienz von PEM-Elektrolyseuren liegt typischerweise im Bereich von 70-80% und reiht sich daher in den Bereich der AEL Elektrolyse ein [23].

Vor- und Nachteile der Technologie

Die PEM-Elektrolyse bietet mehrere Vorzüge. Die hohe Reaktionsgeschwindigkeit der PEM-Technologie ermöglicht eine effiziente und flexible Wasserstoffproduktion. PEM-Elektrolyseure weisen schnelle Startzeiten auf und können innerhalb von Sekunden von Leerlauf auf Volllast umschalten. Diese Flexibilität ermöglicht eine effiziente Anpassung an das schwankende Stromangebot durch erneuerbare Energien. Ein weiterer Vorteil der PEM-Technologie ist ihre kompakte Bauweise, was sie für den Einsatz in kleineren Anlagen und dezentralen Anwendungen geeignet macht. Allerdings sind PEM-Elektrolyseure aufgrund der benötigten Protonenaustauschmembran und anderer Komponenten kostspieliger im Vergleich zu anderen Elektrolysetechnologien. Sie arbeiten bei niedrigen Temperaturen (60-80°C), was abhängig vom Einsatzgebiet und der Konfiguration als Vor- oder Nachteil ausgelegt werden kann. So ist die Bereitstellung von Hochtemperatur-Wärme aus der Elektrolyse-Abwärme beim PEM-Elektrolyseur nicht möglich. In Niedertemperatur-Anwendungen kann die Technologie jedoch gewinnbringend eingesetzt werden.

Proton Exchange Membrane Elektrolyse (PEM)	
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> Stack-Lebensdauer (40.000 – 50.000 h) [23, 44] Hohe Betriebsflexibilität und Fähigkeit zum schnellen Umschalten zwischen Leerlauf und Vollast 	<ul style="list-style-type: none"> Höhere Kosten im Vergleich zu AEL Betriebstemperaturbegrenzung (60-80°C) [23]

Besonderheiten in der Praxis

In der Praxis erfordert die PEM-Technologie regelmäßige Überwachung und Wartung, um die optimale Leistung der Membran und anderer Komponenten sicherzustellen. Gerade die Membran ist eine teure und filigrane Komponente, der besondere Beachtung geschenkt werden muss, da sie anfällig für Degradation ist. Nachfolgende Abbildung 24 zeigt einen 1,25 MW PEM-Elektrolyseur von Siemens (links im Bild) im realen Betrieb, welcher vom Stadtwerk Haßfurt in Unterfranken betrieben wird.



Abbildung 24: 1,25 MWel PEM-Elektrolyseur (links) mit Wasseraufbereitung (rechts) beim realen Betrieb in der Stadt Haßfurt [45]

Er liefert dabei bis zu 225 Nm³ H₂/h aus Überschussstrom erneuerbarer Energien. Auf der rechten Seite befindet sich eine Wasseraufbereitung, welche das verwendete Leitungswasser vollständig entsalzt. Eine Aufbereitung des verwendeten Wassers ist für den störungsfreien Betrieb der gesamten Anlage essenziell.

Anion Exchange Membrane Elektrolyse (AEM)

Kurzbeschreibung der Technologie

Die Anion Exchange Membrane Elektrolyse (AEM) ist eine vielversprechende, sich derzeit im Markteintritt befindliche Technologie zur Wasserstoffproduktion. Im Gegensatz zur PEM-verwendet die AEM-Elektrolyse eine Anionenaustauschmembran. Diese Membran ermöglicht den selektiven Transport von Anionen (OH⁻) und blockiert, wie die PEM, den Elektronenfluss. Anders als PEM-Elektrolyseure transportieren AEM-Elektrolyseure Hydroxidionen (OH⁻) statt Protonen (H⁺). Die AEM bietet ähnliche Vorteile wie die PEM, darunter schnelle Reaktionszeiten und hohe Betriebsflexibilität. AEM-Elektrolyseure werden bei Temperaturen 60-90°C betrieben und weisen typischerweise etwas höhere Effizienzwerte auf. Die AEM-Technologie überwindet derzeit Schwelle zur Marktreife und hat das Potenzial, in Zukunft eine kostengünstige und effiziente Option für die Wasserstoffproduktion zu sein. [43, 46]

Vor- und Nachteile der Technologie

Die AEM-Elektrolyse bietet einige Vorteile, während die Technologie die gegenwärtige Forschung noch vor Herausforderungen stellt. AEM-Elektrolyseure sind ebenso effizient wie die alkalische Elektrolyse. Die niedrigen Betriebstemperaturen ermöglichen zudem den Einsatz kostengünstiger Materialien und Komponenten. Dabei sticht vor allem der Vorteil heraus, auf teure Katalysatormaterialien verzichten zu können. [43] Darüber hinaus ermöglicht die AEM-Technologie wie bei PEM-Elektrolyseuren eine flexible Anpassung an volatile Lastprofile durch erneuerbare Energiequellen. Allerdings befindet sich die AEM-Technologie noch in der Entwicklung und es gibt nur begrenzte Erfahrungen im kommerziellen Maßstab. Weitere Herausforderungen bestehen in der Optimierung der Membran und der Stabilität im Langzeitbetrieb.

Anion Exchange Membrane Elektrolyse (AEM)	
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> Hohe Betriebsflexibilität und schnelle Reaktionszeiten Hohe Lebensdauern bei guten Wirkungsgraden in Laborversuchen [47, 48] 	<ul style="list-style-type: none"> Begrenzte Erfahrung im kommerziellen Maßstab

Hochtemperatur Festoxid-Elektrolyse (SOEC):

Kurzbeschreibung der Technologie:

Die Hochtemperatur Festoxid-Elektrolyse (Solid Oxide Electrolysis Cell, SOEC) ist eine sich derzeit noch im frühen Marktstadium befindliche Technologie zur Wasserstoffproduktion. In einer SOEC-Zelle wird eine dünne keramische Festoxid-Elektrolyt-Membran verwendet, die den Transport von Sauerstoffionen anstelle von Wasserstoffionen ermöglicht. Im Gegensatz zu den vorherigen Technologien arbeitet die SOEC bei hohen Temperaturen von etwa 700-1.000°C [23]. Gleichzeitig

weist Technologie dabei deutlich höhere Wirkungsgrade auf, die den Bereich von 80-90 % erreichen können [23].

Durch die Anlegung eines elektrischen Stroms wird anstelle von flüssigem Wasser Wasserdampf in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Dies führt dazu, dass weniger elektrischer Strom im eigentlichen Elektrolyseprozess eingesetzt werden muss. So ist die Zufuhr von überschüssigem Prozessdampf eine lukrative Möglichkeit zu Speisung der SOEC-Elektrolyse.

Vor- und Nachteile der Technologie

Durch die hohe Betriebstemperatur können die Reaktionen effizienter ablaufen, was zu einem verbesserten Wirkungsgrad führt. Zudem ermöglicht die SOEC die direkte Nutzung von überschüssiger Wärmeenergie für andere Prozesse, was zu einer erhöhten Energieausnutzung beiträgt. Darüber hinaus hat die SOEC eine hohe Flexibilität bei der Art der eingesetzten Brennstoffe (zur Erzeugung des Wasserdampfes), einschließlich der Verwendung von Kohlenwasserstoffen oder Biogas. Darüber hinaus können SOEC-Systeme auch als Brennstoffzellen betrieben werden, wodurch eine bidirektionale Energieumwandlung möglich ist. Allerdings stellt die Betriebstemperatur hohe Anforderungen an die Materialien und die Langzeitstabilität der Zelle, was die Entwicklung und den Einsatz der Technologie herausfordert.

Hochtemperatur Festoxid-Elektrolyse (SOEC)	
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> Hohe Effizienz Bidirektionale Energieumwandlung möglich Höhere Effizienz im Vergleich zu AEL Potenzial zur Wärme- und Stromkopplung 	<ul style="list-style-type: none"> Hohe Betriebstemperaturen erfordern spezielle Materialien und Anlagendesigns, dadurch teuer Bislang noch geringe Lebensdauer (20.000 h) [23] Beschränkte Regelbarkeit

Besonderheiten in der Praxis

Bei der Auswahl eines geeigneten Standorts für SOEC-Anlagen sind mehr Faktoren als bei den anderen Elektrolysearten zu berücksichtigen. Die Verfügbarkeit von Wärmeenergiequellen, wie beispielsweise industrielle Abwärme oder geothermische Energie, ist ein entscheidender Standortfaktor. Insbesondere bei der Integration in industrielle Prozesse kann von der verbesserten Energieausnutzung profitiert werden. Wie bei den anderen Elektrolyse-Technologien auch, ist der Zugang zu erneuerbaren Energiequellen für den benötigten Strom wichtig. Da die SOEC bei hohen Temperaturen betrieben wird, erfordert sie spezielle Materialien und Komponenten, die den extremen Bedingungen über lange Zeit standhalten können. Die Wärme- und Gasmanagement-Systeme müssen sorgfältig ausgelegt werden, um eine optimale Leistung und Effizienz zu gewährleisten.

Obwohl SOECs aufgrund ihrer hohen Betriebstemperaturen technische Herausforderungen mit sich bringen, zeigen sie großes Potenzial für die Integration in Prozesse zur Wärme- und Stromkopplung.

4.3.1.3 Technisch-Wirtschaftliche Analyse

Auf Basis der GIS-Analyse (vgl. Kapitel 4.1.2) zur Ermittlung von Potenzialflächen für Elektrolyseure im Landkreis NEW, den Workshops und einzelnen Gesprächen mit den Beteiligten im Landkreis wurden drei mögliche Elektrolyseur-Standorte im Landkreis identifiziert. Hierzu wurden drei beispielhafte Szenarien definiert. Diese werden im Nachfolgenden als Fall 1, 2 und 3 deklariert, um die Übertragbarkeit auf andere Regionen zu bewahren.

Tabelle 6: Variantenbeschreibung der H₂-Erzeugung mittels Elektrolyse.

	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Szenario	Deckung Mobilitätsbedarf von 2030	Substitution grauer Wasserstoff	Auslegung nach Sauerstoff mit Wasserstoffnutzung
Elektrolysetechnik	AEM	PEM	SOEC
Stromquellen	EE-Mix (PPA) + Floating PV	EE-Mix (PPA)	EE-Mix (PPA)
H ₂ -Verwendung	Versorgung Tankstelle Fall 1,2 und 4	Stoffliche Nutzung Industrie	Versorgung Tankstelle Fall 3
Transport	Trailer		Vor-Ort

Der Standort im ersten Fall liegt im Raum Mantel/Weiherhammer und soll Wasserstoff für den Hochlauf der Mobilität bis zum Jahr 2030 produzieren. Eine Besonderheit an diesem Standort ist die geplante Floating-PV Anlage auf einem nahegelegenen Gewässer, welche einen Teil der benötigten elektrischen Energie bereitstellen kann. Konkret handelt es sich hierbei um das analysierte Gewässer 2 aus Tabelle 5 im Kapitel 4.3.1.1. Dabei wurde die AEM-Elektrolyse untersucht. Da es sich hierbei um eine neue Technik mit innovativem Charakter handelt und diese sich sehr gut auf das Zusammenspiel mit der Floating-PV Anlage einstellen kann. Im zweiten Fall liegt der Standort an einem Industriebetrieb im Raum Weiherhammer. Der dort produzierte Wasserstoff kann direkt vor Ort genutzt werden und soll grauen Wasserstoff ersetzen. Dort wurde ein PEM-Elektrolyseur betrachtet, da es sich hier um eine bewährte, ausfallsichere Technik für diese Größenordnung handelt. Im dritten Fall liegt ein Elektrolyseur an einem Industriestandort mit einem möglichen Abwärmepotenzial zur Dampferzeugung im Raum Weiden. Daher wurde hier die SOEC betrachtet. Das bereits im Kapitel 4.2.2 erwähnte Oxyfuel-Verfahren kann den anfallenden

Sauerstoff an diesem Standort direkt nutzen. Die Besonderheit ist hierbei die Dimensionierung nach dem benötigten Sauerstoffbedarf des Oxyfuel-Verfahrens während der Dauerlast.

Beim angesetzten EE-Mix handelt es sich um die Annahme, dass genügend elektrische Energie – gemäß den Vorgaben aus Kapitel 3.1 – zum Betrieb der Elektrolyseure über abgeschlossene PPAs vorhanden ist. Ein PPA ist ein sogenanntes „Power Purchase Agreement“, also ein Stromliefervertrag zwischen einem Stromlieferant und einem Abnehmer. Die gesamten Kosten der Wertschöpfungskette werden im nachfolgenden Punkt ausführlich dargestellt.

Die nachfolgende Tabelle 7 fasst die Rahmenbedingungen und die notwendigen geschätzten Investitionskosten sowie die jährlich anfallenden Kosten an den jeweiligen Standorten zusammen. Hierbei wurde der dynamischen Kostenentwicklung in den letzten Monaten Rechnung getragen, weitere Veränderungen können jedoch zum Zeitpunkt des Abschluss der Machbarkeitsstudie nicht ausgeschlossen werden. Da die nutzbare Energiemenge im Fall 1 aus der Floating-PV Anlage nicht ausreicht, muss zusätzlich aus einem Mix an erneuerbaren Energien zurückgegriffen werden. Der hier produzierte Wasserstoff soll anschließend beispielhaft die Tankstellenstandorte im Fall 1 mit ausreichend Wasserstoff versorgen. Dabei wurde hier die Belieferung der Tankstellen per Trailer bei 500 bar mit ca. 1.000 kg Wasserstoff berücksichtigt. Im Fall 2 wird der Wasserstoff am industriennahen Standort in einem Niederdruckspeicher bei ca. 50 bis 70 bar zwischengespeichert. Im dritten Fall erfolgt neben der direkten Nutzung von Wasserstoff und Sauerstoff im Prozess (Einnahmen beim Sauerstoff werden berücksichtigt) eine Tankstellenbelieferung per Wasserstoffdirektleitung.

Tabelle 7: Wirtschaftlichkeit der H₂-Erzeugung mittels Elektrolyse.

	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Strompreis EE-Mix in €/kWh	0,12	0,12	0,11
Strompreis Floating-PV in €/kWh	0,10	0	0
Wasserbezugskosten in €/m ³	2,25	2,25	2,25
Elektrische Leistung in MW _{el}	8,0	3,5	19,7
Vollbenutzungsstunden in h/a	3.400	3.500	3.500

H ₂ -Produktionsmenge in t/a	450	200	1.400
O ₂ -Produktion in t/a	3.600	1.600	11.200
Platzbedarf in ha	0,7	0,3	1,8
Ausgangsdruck Elektrolyse in bar	ca. 30	ca. 30	0
Investitionskosten gesamt in €	18.000.000	7.000.000	66.000.000
Betrachtungszeitraum in a	15	15	15
Kalkulatorischer Zinssatz	4 %	4 %	4 %
Jährlich laufende Kosten gesamt in €/a	7.000.000	3.000.000	20.000.000
H ₂ -Gestehungskosten in €/kg (netto)	14,70	14,40	13,50

Zusammenfassung

Aus den hier zusammengefassten Parametern ergeben sich den verschiedenen Fällen unter den genannten Rahmenbedingungen Wasserstoffgestehungskosten 14,70 €/kg (netto) im Fall 1 (Deckung Mobilitätsbedarf von 2030) und 13,50 €/kg (netto) im Fall 3 (Deckung vom Sauerstoffbedarf der Dauerlast). Demnach ist klar, dass die angepeilten Referenzpreise für die Wasserstoffgestehung ohne Investitionshilfen nicht erreicht werden kann.

Allerdings ergibt sich im Fall 2 eine Lösung mit Gestehungskosten von 14,40 €/kg (netto) im Fall 2 (Substituierung grauer Wasserstoff). Bei aktuell im Projektverlauf genannten Preisen von ca. 16 € pro kg grauen Wasserstoff (netto) per LKW-Trailer, liegt dieser Fall im Bereich der Referenzkosten, wobei noch eine Betreiber marge berücksichtigt werden muss. Somit ist dieser Fall nach einer ersten Einschätzung ein erster kurzfristiger Ansatz, grünen Wasserstoff zu produzieren und grauen Wasserstoff aus fossilen Energieträgern zu substituieren.

4.3.2 Oranger Wasserstoff

4.3.2.1 Marktübersicht Biomasse-Technologien

Im Rahmen von *NEW HyPerspectives* wurde neben der Wasserstoffproduktion aus der Elektrolyse auch die mögliche Wasserstofferzeugung an einer möglichen Bioabfallvergärungsanlage geprüft. Im Gegensatz zu grünem Wasserstoff aus erneuerbarem Strom und der Elektrolyse, handelt es sich bei Wasserstoff aus Biomasse um sog. orangen Wasserstoff. Es wurden mögliche Optionen und deren Funktionsweise erläutert, auf die Rahmenbedingungen im Landkreis ausgelegt und wirtschaftlich betrachtet. Aus den wirtschaftlichen Betrachtungen resultierten die H₂-Gestehungskosten, welche mit den Kosten aus der Elektrolyse verglichen werden konnten.

Für die Verwertung von Biomasse gibt es neben der klassischen Verbrennung und Vergärung verschiedene alternative Technologien. Eine Marktübersicht ist in Tabelle 8 dargestellt. Je nach Technologie können neben der Biomasse auch andere Edukte wie Klärschlamm, Autoreifen oder Holzabfälle eingesetzt werden. Für den Landkreis NEW als HyExperts-Wasserstoffregion sind vor allem die Technologien, bei welchen Wasserstoff als Produkt entsteht, interessant. Bei den Technologien blueFLUX, Plagazi, Green Hydrogen Technology (GHT), Haffner Energy (HYNOCA) und ConcordBlue wird H₂ als Produkt erzeugt. Bei einigen Technologien entsteht Synthesegas als Produkt. Unter Synthesegas versteht man industriell hergestellte Gasgemische, welche zu größten teilen aus CO und H₂ bestehen. Daher sind auch die Technologien TCR, Waste2Value, BHYO GmbH und Indeloop im Rahmen des Projekts relevant.

Tabelle 8: Marktübersicht Technologien Biomasseverwertung [49–64]

Hersteller	Prozess	Edukte	Durchsatz	Produkte
blueFLUX	HTC	Klärschlamm, Bioabfall, Gülle, Mist, Industrieabfall, Kunststoffe	560 – 18.667 t/a	H ₂ , CH ₃ OH, CH ₄
HTCycle	HTC	Klärschlamm, Biomasse	8.000 t/a, 16.000 t/a	HTC-Kohle, Aktivkohle, Nährstoffe (P, N ₂), Abwasser
Pyreg	Pyrolyse	Klärschlamm, Gülle, Gärrest, Grünschnitt, Abfälle Lebensmittelindustrie, Autoreifen, etc.	1.100 t/a, 3.300 t/a, (zeitnah PX 6.000)	Biokohle, Abwärme
TerraNova - Energy	HTC	Klärschlamm, Bioabfall	8.000 t/a, 14.000 t/a, 40.000 t/a	Klärschlamm-Kohle, Filtrat
Plagazi	Plasmalyse	Abfall: Industrieabfall, Medizinischer Abfall, Hausmüll, Klärschlamm, Biomasse	44.000 t/a 66.000 t/a	H ₂ , CO ₂
Fraunhofer UMSICHT	TCR	Verschiedene Biomassen: Klärschlamm, Grünschnitt, Rückstände Landwirtschaft und Papierrückstände	2 kg/h, 30 kg/h, 300 kg/h, 500 kg/h	Synthesegas, Bioöl, Biokohle, Abwasser

Waste2Value	Vergasung	Holz(reste), Klärschlamm, biogene Abfälle, Rückstände Papierindustrie	Synthesegas Klärschlamm: Phosphorrückgewinnung
Green Hydrogen Technology (GHT)	Vergasung	Klärschlamm und Kunststoff-/ Holzabfälle	H ₂ , CO ₂
Haffner Energy (HYNOCA)	Thermolyse, Dampfpreformierung	Landwirtschaftliche Abfälle, Holzabfälle, Organische Abfälle, Tierische Abfälle	H ₂ , Biokohle
ConcordBlue	Wasserdampf Thermolyse	Kunststoff, Agrar-, Bio-, Haushaltsabfälle, medizinische Abfälle, Industrie-, Gewerbeabfälle, Schlämme	Synthesegas, H ₂ , Strom, Biokraftstoffe, Nebenprodukte (Biokohle, Aktivkohle, Wärme)
BHYO GmbH	Pyrolyse	Klärschlamm, Biomüll, Grünschnitt,	Synthesegas 2.600 t/a (0,3 t/h), 5.200 t/a (0,6 t/h), 10.500 t/a (1,2 t/h)
Indeloop	Vergasung	Organisches Material	1 t/d, 2 t/d, 6 t/d, 25 t/d Synthesegas, Kohle
BtX energy	Reforming	Biogas	2.000 - 8.000 m ³ /d H ₂

blueFLUX

Dieses Verfahren beinhaltet drei Prozessschritte zur Verwertung der Biomasse und der Herstellung von Wasserstoff, die Hydrolyse, die Vergasung und die anschließende Wassergas-Shift Reaktion.

Die biogenen Stoffe (Klärschlamm, Gülle, Mist, Industrieabfälle, Bioabfall) werden durch Hydrolyse in festen Kohlenstoff und Wasserdampf abgetrennt. Der ideale Trockensubstanzgehalt der Eingangsstoffe liegt bei 30 – 40 %. Zur Erhöhung der Trockensubstanz können beispielsweise Hackschnitzel oder Grünschnitt beigemischt werden. Anschließend werden die beiden Komponenten in den Flugstromvergaser gegeben, wobei sich durch eine chemische Reaktion der Kohlenstoff mit dem Sauerstoff des Wasserdampfes verbindet. Das dabei entstehende Synthesegas enthält Wasserstoff und Kohlenmonoxid. Bei der Wassergas-Shift-Reaktion reagiert das Kohlenmonoxid mit Wasser zu Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff, wodurch eine Steigerung der H₂ Ausbeute erzielt wird. Als Reststoff bleiben 1,5 % vom Input als Schlacke übrig, die entsorgt werden muss.

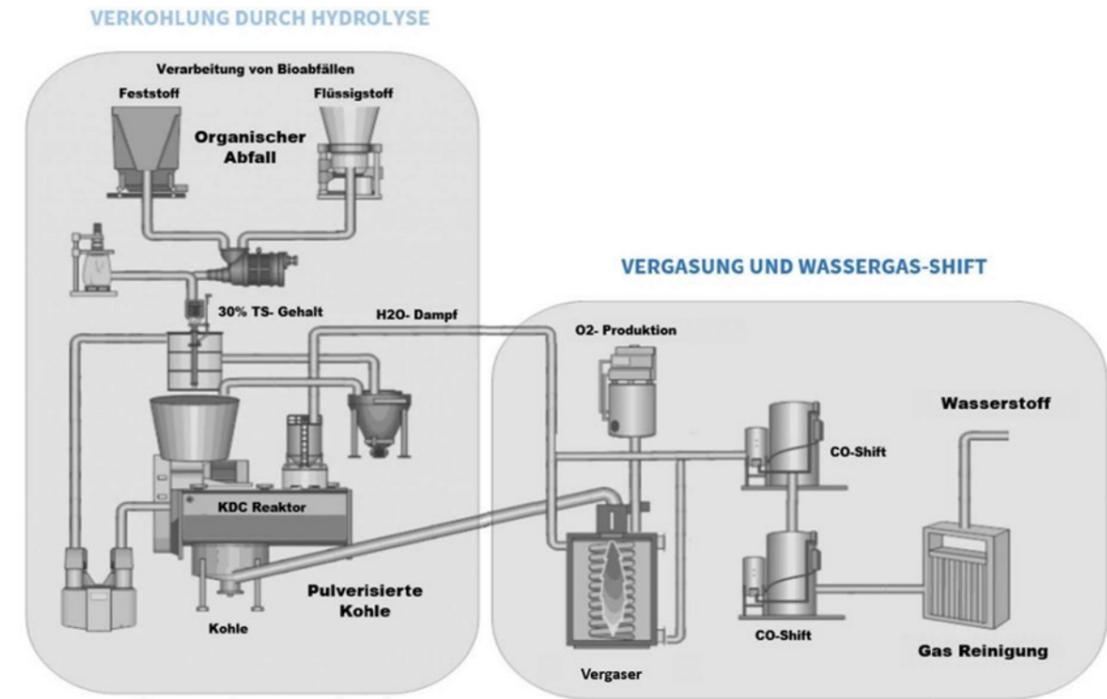


Abbildung 25: Verfahrensschema blueFLUX [64]

Das Verfahrensschema zeigt die drei wesentlichen Prozessschritte der blueFLUX Technologie. Als Alternative zu Wasserstoff kann der Prozess auch zur Herstellung von Methanol oder Methan genutzt werden. Das Verfahren befindet sich derzeit in der Pilotphase, für die aktuell zwei Pilotanlagen aufgebaut werden. Zum einen eine bf H₂ 10.000 Anlage bei der Firma Ziegelwerk Hörl und Hartmann, zum anderen die bf H₂ 6.000 bei einem Landwirt in Weilheim Schongau. Am Standort der Firma blueFLUX läuft eine kleine Demonstrationsanlage im Dauerbetrieb.

TCR

Beim TCR-Verfahren werden biogene Abfallstoffe thermisch karbonisiert. In diesem Prozess kann Bioabfall in getrockneter Form (90 % Trockensubstanz (TS)) verwendet werden. Nach einer katalytischen Reformierung entstehen diverse Produkte, welche in weiteren Prozessen genutzt oder weiter aufgewertet werden. Hierzu ist zu zählen:

- Synthesegas
- Bioöl
- Biokohle
- Wasser

Das Synthesegas kann energetisch verwertet werden, beispielsweise in Brennstoffzellen oder BHKW. Über eine CO-Shift Reaktion und anschließendes Entfernen der verbliebenen Stoffe mittels einer Druckwechseladsorptionsanlage (PSA) kann H_2 aus dem Synthesegas separiert werden. Auch Bioöl kann in Kraft-Wärme-Kopplung zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden. Vorstellbar ist auch die Anwendung als Kraftstoff in Fahrzeugen. Die Biokohle kann voraussichtlich, da es sich bei der TCR-Technologie um eine Art der Pyrolyse handelt, nach dem Koblenzer Urteil nicht als Düngemittel genutzt werden. Eine Einsatzmöglichkeit der Biokohle ist als Brennstoff in Kraftwerken. Bei der Monoverbrennung der Biokohle kann zudem Phosphor rückgewonnen werden, welcher ein wichtiges Düngemittel in der Landwirtschaft ist. Zur Erprobung des Verfahrens wurden Demonstrationsanlagen in den Landkreisen Schwandorf und Amberg-Sulzbach errichtet. Bis Ende 2022 wurde es im Forschungsprojekt „TO-SYN-FUEL“ für die großtechnische Produktion von Biokraftstoffen erforscht. Im Rahmen der Projektlaufzeit sollte der kontinuierliche Betrieb der Anlage erprobt werden. Aktuell soll der Reaktor in einer kleineren und kompakteren Bauweise noch optimiert werden.

HYNOCA

Haffner Energy bietet unter dem Namen HYNOCA eine Technologie an, mit welcher Wasserstoff aus Biomasse erzeugt wird. Aus 30 kg Biomasse mit einem Trockensubstanzgehalt von 70 % kann dabei ca. 1 kg Wasserstoff und 5,7 kg Biokohle erzeugt werden. Einsatzstoffe sind hier vor allem landwirtschaftliche Biomasse, wie Holzabfälle, Holzspäne, Getreidestaub und Maisstängel. Bei der Technologie handelt es sich im ersten Schritt um eine Thermolyse von Biomasse, bei welcher als Produkt Biokohle und Synthesegas entsteht. Das Synthesegas wird daraufhin in einer Hochtemperatur-Crackanlage veredelt. In der anschließenden Wassergas-Shift-Reaktion reagiert das Zwischenprodukt Kohlenstoffmonoxid zu Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff. Nachdem der Wasserstoff aus dem Synthesegas gereinigt wird, kann er als Treibstoff beispielsweise in der Mobilität eingesetzt werden. Haffner Energy bietet ein Betreibermodell für die HYNOCA-Anlage an, alternativ kann der Betrieb auch an den Kunden übergeben werden. Bei der Firma Carbonloop sollen in den nächsten Jahren zwei HYNOCA-Anlagen installiert werden, bei welchen 225 Tonnen Wasserstoff aus ca. 7.000 Tonnen Biomasse erzeugt werden sollen [65]. Zusätzlich soll in Straßburg eine Pilotanlage installiert werden [66].

BHYO GmbH

Die Firma BHYO GmbH, welche seit 2018 auf dem Markt ist, erzeugt mit ihrem patentierten Pyrolyse Verfahren Wasserstoff aus Abfall. Der Eingangstrockensubstanzgehalt muss dabei bei 90 % TS liegen. Bei dieser Technologie werden die beiden Arten der Pyrolyse „autotherm“ und „allotherm“ in einem Hybrid-modell miteinander verbunden. Bei der Reaktion entsteht Wärme,

welche für die Trocknung der Biomasse genutzt wird. Die entstehenden Pellets werden dann in den Reaktor gegeben und bei Temperaturen von ca. 900 °C erhitzt. Das entstehende Synthesegas besteht hauptsächlich aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid. Der Wasserstoff kann dann von dem Synthesegas separiert werden. Nach Herstellerangaben lassen sich mit dieser Technologie aus einer Tonne Biomasse ca. 100 kg H_2 erzeugen.

Die Technologie hat aktuell noch Pilotcharakter. Es gibt eine Versuchsanlage mit einer Kapazität von 8 t/a und Anfang 2023 sollte ein Pilotprojekt auf der Kläranlage Speyer umgesetzt werden. Auf der Kläranlage sollen 5.000 t Klärschlamm pro Jahr mit Hilfe der BHYO-Technologie zu Wasserstoff umgewandelt werden. [65, 67]

BtX Energy

Die Technologie der BtX Energy basiert auf dem Reforming von Biogas. Das bei Biogasanlagen oder Vergärungsanlagen entstehende Biogas wird hier im ersten Schritt mit Hilfe eines Gasfilters von den Störstoffen befreit. Im zweiten Schritt wird aus Kohlendioxid und Methan in einem Reformer mit Wassergas-Shift-Reaktion Wasserstoff und Kohlenmonoxid erzeugt. Der Wasserstoff wird dann mittels Druckwechseladsorption aus dem Synthesegas separiert. Für die Erzeugung von 1 kg Wasserstoff sind nach Herstellerangaben ca. 4,5 Liter Wasser und 10 m³ Biogas notwendig. Aktuell sind von BtX Energy zwei Anlagengrößen in kompakter Containerbauweise verfügbar, eine 100 kW Anlage (ca. 100 – 200 kg H_2 /d) und eine 400 kW Anlage (ca. 500 – 800 kg H_2 /d). Es steht eine 100 kg/d Pilotanlage auf einem Biogashof in Krefeld [49, 50].

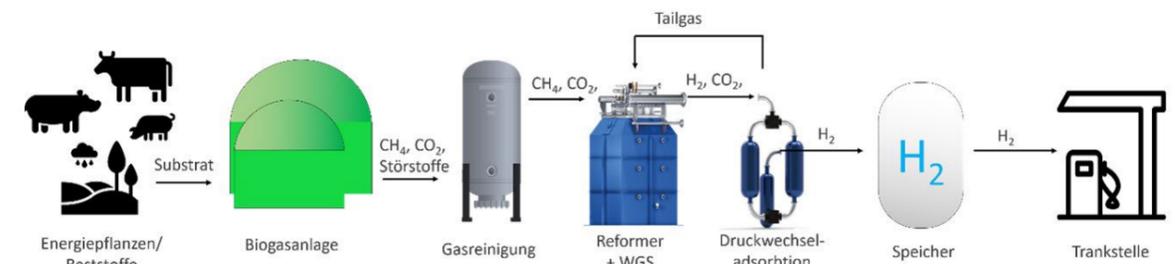


Abbildung 26: Verfahrensschema BtX Energy [49]

Mit allen der fünf betrachteten alternativen Verfahren kann Wasserstoff erzeugt werden. Allerdings unterscheiden sich die Technologien bezüglich dem Entwicklungsstand und dem Eingangstrockensubstanzgehalt. Bei der blueFLUX-Technologie und der HYNOCA-Technologie kann Biomasse mit einem TS-Gehalt von 30 % verwertet werden. Bei den beiden Pyrolyse-Technologien (TCR und BHYO) muss die Biomasse in getrockneter Form (90 % TS) vorliegen. Da der durchschnittliche Trockensubstanzgehalt bei den Co-Substraten der Bioabfallvergärung bei ca. 20 % liegt, müsste die Biomasse bei den Pyrolyse-Technologien vorher getrocknet werden. Diese werden daher in der Folge für die Anwendung in der Bioabfallverwertung nicht weiter betrachtet.

4.3.2.2 Technisch-Wirtschaftliche Analyse

In der Bioabfallvergärung Nordoberpfalz sollen laut vorliegenden Betrachtungen jährlich ca. 29.300 m³ bzw. 27.400 t Bioabfall vergärt werden. Als Co-Substrate werden hier zum Großteil Flotatschlamm und Bioabfall aus dem Haushalt eingesetzt. Daneben soll noch ein geringer Teil an Fettabscheiderrückstände, Grünschnitt und Altbrot vergärt werden (siehe Abbildung 27). Der Gasertrag pro Jahr wurde mit in Summe ca. 3,5 Mio. m³/a ermittelt, was einer Energiemenge von ca. 23,1 Mio. kWh/a entspricht. Das Biogas soll nach derzeitigem Stand anschließend in einem BHKW zu Strom und Wärme umgewandelt werden.

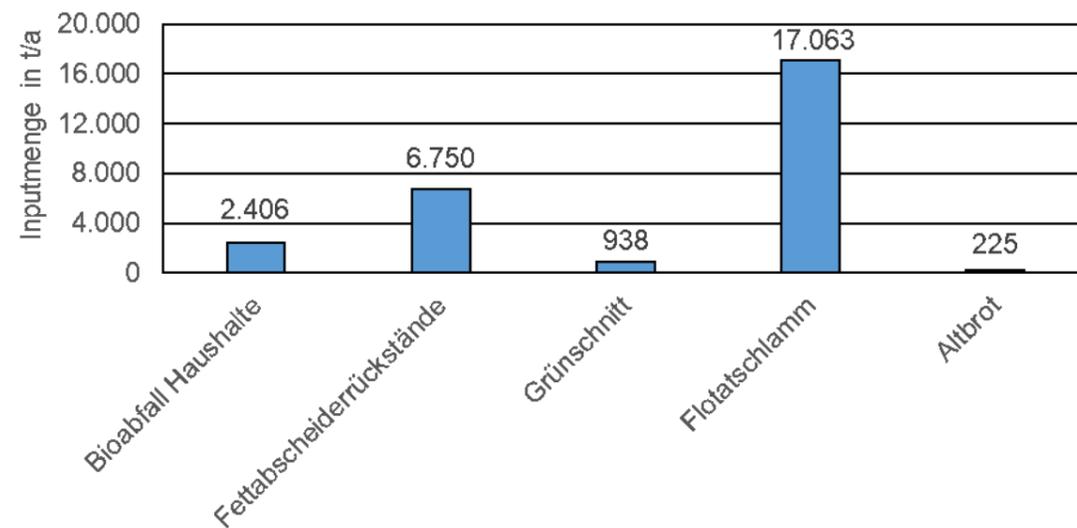


Abbildung 27: Inputmengen der Co-Substrate in der Vergärungsanlage Nordoberpfalz [68]

Unter Berücksichtigung der angedachten Menge der Co-Substrate der Bioabfallvergärung Nordoberpfalz, ist die Plagazi Technologie für den Landkreis NEW von den Durchsatzmengen nicht optimal geeignet. Zudem liegt hier, nach Rücksprache mit dem Hersteller, aktuell der Fokus bei Industrieabfällen als Edukte. Da bei Waste2Value und ConcordBlue keine Durchsatzmengen vom Hersteller angegeben sind und es hier noch keine Pilotanlagen gibt, werden diese Technologien im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

Bioabfallvergärung mit nachgeschalteter Wasserstoffherzeugung

Aus dem Biogas der Vergärungsanlage kann über Reforming Wasserstoff erzeugt werden. Die Firma BtX Energy bietet hier beispielsweise Kompaktanlagen an. Mit dieser Technologie können aus 10 m³ Biogas und ca. 4,5 Liter Wasser ca. 1 kg Wasserstoff erzeugt werden. Jährlich sollen bei der Bioabfallvergärung Nordoberpfalz ca. 3,5 Mio. m³ Biogas erzeugt werden, woraus somit mit ca. 1,6 Mio. Liter Wasser rund 355.200 kgH₂/a hergestellt werden können. [49] BtX Energy bietet aktuell zwei Anlagengrößen an, eine 100 kW Anlage, mit welcher zwischen 100 – 200 kgH₂/da hergestellt werden können, und eine 400 kW Anlage. Mit der größeren Anlagengröße können 500 – 800 kgH₂/d produziert werden. Für die Bioabfallvergärungsanlage Nordoberpfalz bietet sich unter der Annahme von 6.000 Betriebsstunden zweimal die Anlage mit je 400 kW an. Der Platzbedarf zweier 400 kW Anlagen beträgt ca. vier 40 Fuß-Container. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden folgende Annahmen getroffen:

- Investitionskosten BtX-Anlage ca. 6,0 Mio. €
- Planungskosten ca. 30 % der Investitionskosten
- Unvorhergesehenes 50 % der Investitionskosten (Technologie noch nicht Stand der Technik)
- Unsicherheit 20 % der Betriebs- und Verbrauchsgebundenen Kosten (Technologie noch nicht Stand der Technik)
- Strompreis 15,49 ct/kWh
- Biogaspreis 0 ct/kWh
- Betrachtungszeitraum 15 Jahre
- Zinssatz 4 %
- alle dargestellten Kosten sind Nettobeträge

Zusätzlich werden betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten mitberücksichtigt. Nach Herstellerangaben werden für die Erzeugung von einem Kilogramm Wasserstoff rund 2 kWh Strom benötigt. Die jährlichen betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten der BtX-Anlage belaufen sich in Summe auf ca. 483.000 €. Unter Berücksichtigung der betriebs- und verbrauchsgebundenen, sowie Kapitalkosten für die BtX-Anlage und der erzeugten Wasserstoffmenge, kann ein Wasserstoffgestehungspreis von ca. 5,00 €/kg H₂ berechnet werden. Die Kosten sind allerdings sehr abhängig von der Gasqualität [49]. Da im Falle einer Wasserstoffherzeugung aus dem anfallenden Biogas keine Einnahmen aus der Verwendung des Biogases in einem BHKW gegengerechnet werden können, müssen die Ausgaben für die Biomüllvergärung durch den Erlös beim Wasserstoffverkauf gedeckt werden. Unter Berücksichtigung dieses Aspekts liegen die Wasserstoffgestehungskosten bei rund 9,30 €/kg. Erlöse durch einen Verkauf des erzeugten Wasserstoffes bzw. Einnahmen für die Müllannahmen wurde hierbei nicht mitberücksichtigt. Es wird deutlich, dass die Erzeugung von Wasserstoff an einer bestehenden Biomüllvergärungsanlage ein entsprechend koordiniertes Vorgehen und abgestimmtes Geschäftsmodell aller Beteiligten erfordert.

Direkte Wasserstoffherzeugung aus Bioabfall

Alternativ zur Variante 1 wurde im Folgenden eine blueFLUX-Anlage als Alternative für die Errichtung einer Bioabfallvergärungsanlage dimensioniert und überschlägig wirtschaftlich betrachtet. Es wurde von der aktuellen Inputmenge an Co-Substraten (29.300 m³/a bzw. 27.400 t/a) ausgegangen. Unter der Annahme der Trockensubstanzgehalte (TS-Gehalt) der einzelnen Co-Substrate wurde eine Trockenmasse von ca. 5.400 t_{TM} berechnet. Der optimale Eingangs-TS-Gehalt der blueFLUX-Anlage liegt bei ca. 30 % - 40 %, der TS-Gehalt der Co-Substrate liegt bei ca. 20 %. Um den optimalen Trockensubstanzgehalt von 30 % - 40 % TS zu erreichen, wurde angenommen, dass der Flotatschlamm auf 25 % TS entwässert wird. Kosten für die Entwässerungsanlage wurden mit 1,5 Mio. € berücksichtigt. Für die Bioabfallvergärung Nordoberpfalz würde sich die bF H₂ 10.000 Anlage anbieten. Die benötigte Fläche einer bF H₂ 10.000 Anlage ist 23 m auf 15 m auf 10 m [64]. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Investitionskosten blueFLUX-Anlage ca. 12 Mio. €
- Planungskosten ca. 30 % der Investitionskosten
- Unvorhergesehenes 50 % der Investitionskosten (Technologie noch nicht Stand der Technik)
- Unsicherheit 20 % der Betriebs- und Verbrauchsgebundenen Kosten (Technologie noch nicht Stand der Technik)
- Strompreis 15,49 ct/kWh
- Betrachtungszeitraum 15 Jahre
- Zinssatz 4 %
- alle dargestellten Kosten sind Nettobeträge

Zusätzlich wurden Betriebskosten, verbrauchsgebundene Kosten und Kosten für Personal berücksichtigt. Die betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten belaufen sich auf ca. 1,7 Mio. €/a. Es wird davon ausgegangen, dass die Abwärme der blueFLUX-Anlage vor Ort nicht genutzt oder verkauft werden kann. Insgesamt können mit der vorhandenen Biomasse laut Herstellerangaben ca. 806.000 kg Wasserstoff erzeugt werden. Aus den jährlichen Gesamtkosten und der erzeugten Wasserstoffmenge lassen sich Wasserstoffgestehungskosten von ca. 5,00 €/kg H₂ berechnen. Erlöse durch einen Verkauf des erzeugten Wasserstoffes bzw. Einnahmen für die Müllannahmen wurde hierbei nicht mitberücksichtigt.

Zusammenfassung

Wird die aktuell geplante Vergärungsanlage umgesetzt, kann das entstehende Biogas für die Wasserstoffherzeugung mit der BtX Technologie genutzt werden. Hierfür muss das Biogas vor dem Einsatz noch mit zusätzlichen Aufbereitungsschritten von den Verunreinigungen gereinigt werden. Für die Herstellung von H₂ ist neben dem Biogas auch Wasser notwendig. Die Wasserstoffgestehungskosten liegen in diesem Fall bei ca. 9,30 €/kg H₂. Bei den Kostenschätzungen wurde der dynamischen Kostenentwicklung in den letzten Monaten Rechnung getragen, weitere Veränderungen können jedoch zum Zeitpunkt des Abschluss der Machbarkeitsstudie nicht ausgeschlossen werden.

Eine Alternative ist, die geplante Vergärungsanlage beispielsweise durch die blueFLUX-Technologie zu ersetzen. Die Biomasse kann hier direkt zu Synthesegas verwertet werden. Als Produkt entsteht neben Wasserstoff noch Abwärme, welche direkt vor Ort genutzt werden sollte. Eine erste Wirtschaftlichkeitsbetrachtung hat Wasserstoffgestehungskosten von ca. 5,00 €/kg H₂ ergeben. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9: Ergebnisse der H₂-Erzeugung mittels blueFLUX und BtX.

Technologie	Investitionskosten	H ₂ -Erzeugung in t/a	Wasserstoffgestehungskosten in €/kg (netto)
blueFLUX	12,0 Mio. €	806	5,00
BtX	6,0 Mio. €	355	5,00
BtX + Vergärung	16,0 Mio. €	355	9,30

Die Wasserstoffgestehungskosten sind somit bei beiden Technologien ähnlich. Allerdings kann mit der blueFLUX-Technologie auf den Aufbau einer Vergärungsanlage verzichtet werden und mit der gleichen Biomasse deutlich mehr Wasserstoff vor Ort erzeugt werden.

Grundvoraussetzung ist in beiden Fällen, dass die Inputstoffe, bzw. das entstehende Biogas für die technischen Einrichtungen geeignet sind, dies muss im Vorfeld einer Umsetzung im Detail geprüft und beprobt werden. Darüber hinaus ist zu bedenken, dass bei der Umsetzung der blueFLUX-Variante die bestehenden Planungsleistungen zur Bioabfallvergärungsanlage nicht weiter, oder nur sehr eingeschränkt genutzt werden können und zusätzlich eine längere Realisierungszeit einzuplanen ist.

4.3.3 Zusammenfassung

Aus den vorherigen Betrachtungen geht hervor, dass die Wasserstoff aus Biomasse bzw. Biogas der Bioabfallvergärungsanlage im Gegensatz zu den Elektrolyse-Varianten einen preislichen Vorteil bei der Wasserstoffgestehung aufweisen, was insbesondere auf den hohen Strombedarf der Elektrolyse zurückzuführen ist. Abbildung 28 stellt die Kosten der einzelnen Varianten nochmal im Vergleich gegenüber.

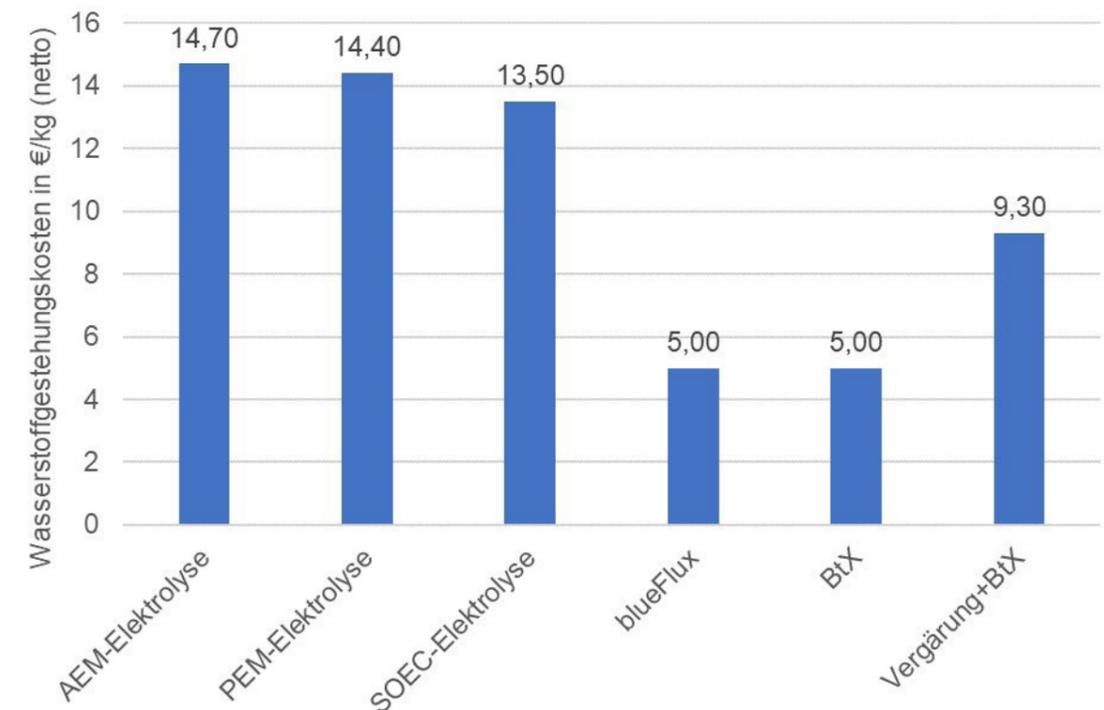


Abbildung 28: Wasserstoffgestehungskosten der Erzeugungsvarianten im Vergleich.

Die Preisspanne der Biomasse/Biogas-Varianten liegt zwischen 5,00 und 9,30 €/kg Wasserstoff. In die Variante „Vergärung+BtX“ gehen zusätzlich die Kosten der Vergärungsanlage mit ein, daher liegt der H₂-Gestehungspreis mit 9,30 €/kg über dem Preis der „BtX“ Variante. Die Kosten der Elektrolyse liegen mit 13,50 bis 14,70 €/kg über den Gestehungskosten der Erzeugungsvarianten blueFlux und BtX. Vor einer Umsetzung einer Wasserstoffherzeugung aus Biomasse ist jedoch zu prüfen, ob die Inputstoffe für eine technische Umsetzung geeignet sind.

Aus dieser Betrachtung wird klar, dass die alternativen Varianten ebenfalls einen wichtigen und sinnvollen Beitrag zum Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft im Landkreis leisten können. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass die Vermarktung von orangem Wasserstoff vermutlich größere Herausforderungen mit sich bringt, als die Vermarktung von grünem Wasserstoff.

Basierend auf den aktuellen Rahmenbedingungen sollte die Umsetzung des Falls 2 (Elektrolyse) und die Erzeugung von orangem Wasserstoff kurzfristig weiter verfolgt werden.

Bei den betrachteten Fällen handelt es sich um repräsentative Beispiele die sich im Projektverlauf herauskristallisiert haben. Diese Fälle können sich bei der weiterführenden Umsetzung einer Wasserstoffinfrastruktur im Landkreis NEW noch ändern, wenn beispielsweise neue Akteure hinzustoßen oder sich die örtlichen oder auch regulatorischen Rahmenbedingungen ändern.

4.4 Wasserstoff-Tankstellen

In diesem Kapitel wird nun die Bereitstellung von Wasserstoff für die Mobilität an Tankstellen beschrieben und ist das Ende der H₂-Erzeugungskette. Die Wasserstoffherstellungskette setzt sich aus der H₂-Erzeugung, dem H₂-Transport und der H₂-Bereitstellung an einer Tankstellen zusammen. Diese drei Dienstleistungen könnten in Zukunft von drei verschiedenen Dienstleistern, oder auch von einem Dienstleister übernommen werden. Um die anfallenden Kosten hier transparent aufzuschlüsseln, wird der Transport ebenfalls separat betrachtet.

4.4.1 Grundlagen Wasserstoff-Tankstellen

Nachdem im letzten Kapitel potenzielle Abnehmer von grünem Wasserstoff für Mobilitätsanwendungen identifiziert, deren Absätze berechnet und in Form von Hochlaufkurven dargestellt wurden, geht es in diesem Kapitel nun um die Distribution, also um die Verteilung, von grünem Wasserstoff. So kann, wie auch heute im Fall der klassischen Verbrenner, Wasserstoff ebenfalls an einer Tankstelle getankt werden. Hier spricht man von sog. „Hydrogen refueling stations“ (HRS). Ein wichtiger Unterschied zur klassischen Tankstelle für Benzin und Diesel ist allerdings, dass bei HRS verschiedene Druckniveaus zu beachten sind. Wie im Kapitel 4.2.1 beschrieben, liegt der PKW-Speicherdruck bei 700 bar, im Falle der Nutzfahrzeuge bei 350 bar.

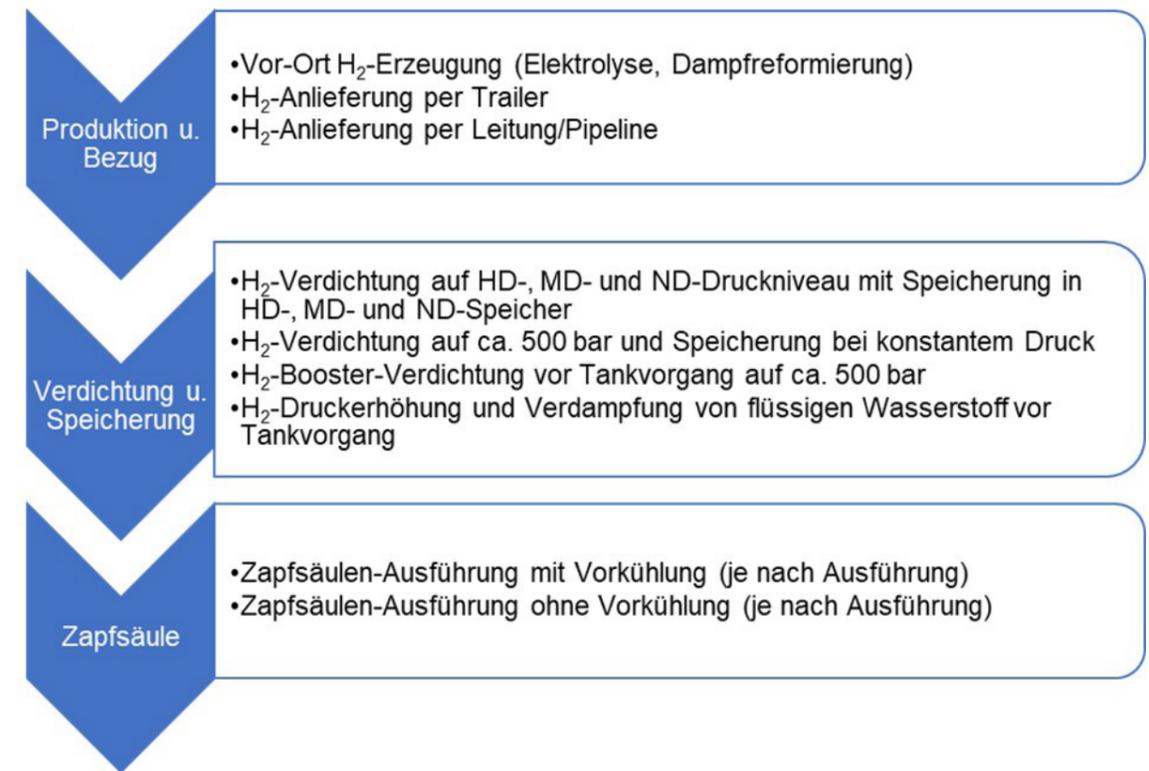


Abbildung 29: Kernkomponenten einer HRS nach [69].

In Abbildung 29 sind die wichtigsten Komponenten einer HRS für Nutzfahrzeuge wie Busse und LKW nach [69] dargestellt. So zeigt das Schema von oben nach unten die Bezugsmöglichkeiten von Wasserstoff, die Kompression und Speicherung und schließlich die Betankung. Die Produktions- und Bezugsmöglichkeiten für Wasserstoff sind die Vor-Ort-Produktion, der Bezug über eine Pipeline bzw. das Gasnetz und der Bezug über H₂-Trailer, welche flüssigen oder gasförmigen Wasserstoff transportieren. Das Herz einer HRS ist die Kompression bzw. Verdichtung und Speicherung von Wasserstoff.

Im ersten Fall nach [69] geschieht die Anlieferung bei < 350 bar. Danach wird der angelieferte Wasserstoff verdichtet und in Hochdruck-, Mitteldruck- und Niederdruckspeichern gelagert. Das Hochdruckniveau muss hier über dem Speicherniveau des Fahrzeugs liegen, z. B. für Nutzfahrzeuge bei ca. 500 bar. Im zweiten Fall erfolgt die Anlieferung bei einem Druckniveau < 350 bar mit Verdichtung auf z. B. 500 bar. Der Unterschied zum ersten Fall liegt in der Anzahl der Speicher. Der auf 500 bar komprimierte Wasserstoff wird, im Gegensatz zum ersten Fall, in einem Hochdruckspeicher auf konstantem Druckniveau gehalten. Im dritten Fall wird der Wasserstoff bei < 350 bar gespeichert und vor der Befüllung mittels Kompressors auf 500 bar verdichtet und vertankt. Im vierten Fall ist die Anlieferung von LH₂ möglich. Im Falle einer Vertankung wird LH₂ mittels Kryo-Pumpe auf einen hohen Druck gebracht und anschließend über einen Wärmetauscher verdampft. Bei der gasförmigen Anlieferung ist ab einem Betankungsdruckniveau von 700 bar eine Vorkühlung notwendig, da während des Betankungsvorgangs Wasserstoff entspannt und die Temperatur ansteigt [69]. Weiterhin gibt es auch Tankstellen, welche H₂ bei 700 bar und bei 350 bar liefern können. Hierbei wird die notwendige Systemtechnik komplexer. Diese Tankstellen können aber in Zukunft auch alle Fahrzeugarten bedienen. Damit steigen die Absatzmöglichkeiten für Wasserstoff und die Zielgruppen der Tankstellen.

4.4.2 Technisch-Wirtschaftliche Analyse Wasserstofftransport

Nach der Identifizierung eines Absatzpotenzials in der Industrie und Mobilität und der Darstellung, wie der Hochlauf bzw. der Absatz von grünem Wasserstoff in Zukunft aussehen kann, müssen zusätzlich die Verteilungswege von grünem Wasserstoff innerhalb der vorliegenden Machbarkeitsstudie im Landkreis NEW genauer betrachtet und analysiert werden. Die Anlieferung per Trailer ist dabei in aller Regel die kostenintensivste Variante. Da die Anlieferung aktuell mit dieselbetriebenen LKW erfolgt und die Preise hierfür in Zukunft weiter steigen, werden auch die Lieferkosten, welche sich auf den Wasserstoffabnahmepreis auswirken, steigen. Allerdings könnte per Trailer der regionale Hochlauf von grünem Wasserstoff erfolgen, sofern er nicht am Ort der Erzeugung benötigt wird. Für den kostengünstigen Transport größerer Mengen Wasserstoff, welche nur bedingt regional erzeugt werden können, eignet sich der leitungsgebundene Transport. Dies kann aktuell über die Beimischung in das Erdgasnetz oder in neu errichtete Wasserstoffleitungen erfolgen. Welche der Möglichkeiten für den jeweiligen Fall verwendet wird hängt von mehreren Faktoren ab, wie z. B.:

- Entfernung der Erzeugungsanlagen und Verbraucher
- Vorhandensein der nötigen Infrastruktur, wie (Erdgas-) Leitungen
- Transportkosten
- Benötigte Reinheit des Wasserstoffs

Neben diesen Möglichkeiten wird Wasserstoff in Zukunft über große, bestehende Erdgaspipelines verteilt werden, wie dem EHB. Da der EHB und die schrittweise Umstellung von Erdgasleitungen und der Neubau von Wasserstoffleitungen wird allerdings ein mittel- bis langfristiger Weg sein, Wasserstoff zu transportieren und zu beziehen. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden nun zwei Transport-Szenarien dargestellt, welche die zukünftigen H₂-Tankstellen im Landkreis mit grünem Wasserstoff versorgen können. Die zwei Transportszenarien können der Tabelle 10 entnommen werden. Als Transportkosten für Wasserstoff via Trailer wurden in beiden Szenarien 0,60 € pro kg H₂ angesetzt. Im ersten Fall wird Belieferung der zwei möglichen öffentlichen Tankstellen mit den notwendigen Auslegungsdaten sowie den Investitionskosten für eine Abfüllstation inklusive Dockingstation für Trailer analysiert. Im zweiten Fall wird dagegen die Belieferung der betrachteten nicht-öffentlichen Betriebstankstelle untersucht. In den Investitionskosten sind insgesamt vier Trailer, die mit einem Druckniveau von 500 bar je ca. 1.000 kg Wasserstoff transportieren, berücksichtigt. Die Anzahl der Trailer wurde redundant aufgebaut. So kann sichergestellt werden, dass kein Versorgungsengpass entsteht. Am Ort der Abfüllung ist ein Verdichter von 30 auf 500 bar berücksichtigt. Zudem befinden sich am Abfüll- und Lieferort je zwei „Dockingstations“, um die Trailer abzustellen, zu befüllen und zu entladen. Die Lieferorte sind dabei die möglichen Standorte der Tankstellen.

Tabelle 10: Belieferungsszenarien der Tankstellen.

	Transport 1	Transport 2
Szenario	Belieferung öffentlicher Tankstelle über Elektrolyse Fall 1	Belieferung nicht-öffentlicher Tankstelle über Elektrolyse Fall 1
Betriebstage in d/a	365	250
Wasserstoffmenge in t/a	365	250
Verdichtungs niveau in bar	500	500
H ₂ -Transportmenge in t/a	365	250
Kosten Verdichtungsstrom in €/kWh	0,16	0,16
Investitionskosten gesamt in €	4.000.000	4.000.000
Jährliche laufende Kosten gesamt in €/a	1.000.000	800.000
H ₂ -Transportkosten in €/kg (netto)	2,70	3,20

Die hier dargelegten Kosten basieren auf den Marktdialogen und den Gesprächen mit Herstellern und Tankstellenbetreibern. So ergeben sich als Transportkosten, welche ebenfalls auf ein Kilogramm Wasserstoff bezogen sind, in Szenario 1 ca. 2,70 € und in Szenario 2 ca. 3,20 €. Allerdings gibt es einen Unterschied bei der Anzahl der Betriebstage. Die öffentliche Tankstelle im Fall muss 365 Tage im Jahr Wasserstoff bereitstellen können. Die betriebsinterne Nutzfahrzeugtankstelle benötigt 250 Tage im Jahr Wasserstoff. Daraus ergeben sich die unterschiedlichen Transportkosten, welche in die Gesamtkosten der H₂-Erzeugungskette miteinfließen.

4.4.3 Technisch-Wirtschaftliche Analyse Wasserstofftankstellen

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurden mögliche Tankstellenstandorte identifiziert, die notwendige Systemtechnik genauer betrachtet und schließlich die für einen wirtschaftlichen Betrieb notwendigen Wasserstoffabnahmekosten ermittelt. Die Referenzkosten für den Bezug von Wasserstoff an einer Tankstelle liegen aktuell bei einem Preis von 13,85 € (brutto) bzw. 11,64 € (netto) pro kg Wasserstoff bei 700 bar und 12,85 € (brutto) bzw. 10,80 € (netto) pro kg Wasserstoff bei 350 bar [70]. Der preisliche Unterschied resultiert u. a. aus dem zusätzlichen Aufwand zur Verdichtung auf über 700 bar. Die Tankstellen sollen dabei an strategisch wichtigen Orten im Landkreis untersucht werden. Strategisch wichtige Orte für Tankstellen sind dabei Verkehrsknotenpunkte, wie Autobahnen (im Fall NEW sind dies die A6 und A93), Autobahnkreuze und Auffahrten, bestehende Tankstellen (an Raststätten) aufgrund ihrer bereits vorhandenen Infrastruktur, industriennahe Standorte und Standorte an möglichen H₂-Erzeugungsanlagen und/oder Anlagen für erneuerbare Energien. Die nachfolgende Abbildung 30 zeigt die GIS-Karte für den Landkreis NEW zusammen mit den resultierenden, flächenspezifischen Potenzialflächen für mögliche Wasserstofftankstellen. Im Landkreis NEW gibt es insgesamt neun Potenzialflächen. Auf Basis der flächenspezifischen Betrachtung wurden davon zwei Flächen als geeignet und sieben als bedingt geeignet eingestuft. Die Flächen verteilen sich überwiegend an den Hauptverkehrsachsen A93 und A6. Die Methodik hinter der GIS-Analyse wurde bereits unter Gliederungspunkt 4.1.2 ausführlich erläutert.

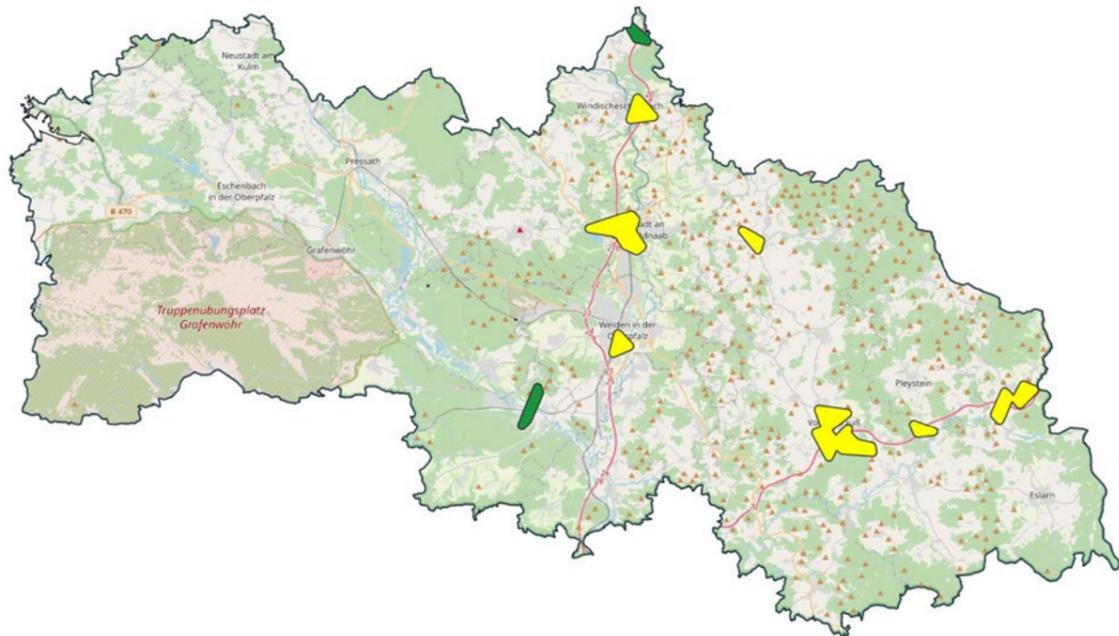


Abbildung 30: Ergebnislayer der H₂-Tankstellen Potenzialflächen (gelb = bedingt geeignet, grün = gut geeignet)

Im Rahmen der durchgeführten GIS-Analyse, Abstimmungen mit Flottenbetreibern und dem Landratsamt NEW wurden vier Tankstellenstandorte ausgewählt und dabei auf verschiedene Betankungs- und Belieferungsszenarien ausgelegt, welche Tabelle 11 entnommen werden können. Der erste Fall betrachtet einen möglichen, vergleichbaren Standort innerhalb der Stadt Neustadt an der Waldnaab und einen möglichen Standort an der A6 in der Nähe zur Stadt Vohenstrauß. Hierbei soll es sich um öffentliche Tankstellen mit 350 und 700 bar handeln. Da die Trailer bei 500 bar angeliefert werden und die Tankstelle in diesem Fall PKW bedienen kann, muss ein zusätzlicher

Verdichter auf 1000 bar am Tankstellenstandort vorgesehen werden. Der Tankstellenstandort im zweiten Fall liegt in der Nähe einer Floating-PV-Anlage im Bereich Mantel/Weiherhammer, welche im Kapitel 4.3.1.1 beschrieben wird. Dieser Standort ist nicht öffentlich und soll ausschließlich Nutzfahrzeuge der eigenen Flotte mit 350 bar Wasserstoff bedienen. An diesem Standort ist keine zusätzliche Verdichtung eingeplant, da die Trailer bereits mit dem notwendigen Druck angeliefert werden, der für Nutzfahrzeuge ausreichend ist. Im dritten Fall wird ein industrienaher Standort im Raum Weiden untersucht, dessen potenzielle Tankstelle ebenfalls bei 350 bar ausschließlich die eigene Flotte bedienen soll. Die Besonderheit an diesem Standort ist die eigene H₂-Erzeugung im Industrieprozess mittels Elektrolyse und die direkte Sauerstoffnutzung. H₂ kann dabei zu einem Teil dem für den Industrieprozess notwendigen Erdgas beigemischt und die Überschüsse an der Tankstelle verkauft werden. Die Vor-Ort-Verdichtung ist in diesem Fall für die Versorgung der Tankstelle notwendig.

Tabelle 11: Darstellung möglicher Tankstellenszenarien.

	Tankstelle 1 und 4	Tankstelle 2	Tankstelle 3
Szenario	Öffentliche Tankstelle an zwei betrachteten Standorten	Nicht-öffentlich Tankstelle für Firmenflotte	Nicht-öffentliche Tankstelle für Firmenflotte
Standortauswahl	Erweiterung bestehender Tankstelle an Hauptverkehrsachse	Nähe zu EE-Anlage und industrienaher Standort	Industrienaher Standort mit eigener Wasserstoff-erzeugung und Sauerstoffnutzung
Anlieferung	Wasserstoff via Trailer aus Elektrolyse Fall 1	Wasserstoff via Trailer aus Elektrolyse Fall 1	Vor-Ort Produktion über Elektrolyse Fall 3
Druckniveau bei Anlieferung in bar	500	500	30
Druckniveaus in bar	350 und 700	350	350
Betriebstage in d/a	365	250	250

Größe Tankstelle in kg/d	1.000	1.000	1.000
Wasserstoffbedarf in t/a	365	250	250
Zusätzliche Verdichtung notwendig?	Ja	Nein	Ja
Verdichtungsniveau in bar	1.000	-	500
Investitionskosten Tankstelle inkl. Verdichter und Bau in €	2.500.000	1.200.000	3.000.000
Jährliche laufende Kosten gesamt in €/a	500.000	200.000	500.000
H ₂ -Bereitstellungskosten in €/kg (netto)	1,30	0,60	1,80
THG-Erlöspotenzial in €/kg (netto)	2,90	0,00	0,00

Die H₂-Bereitstellungskosten für Wasserstoff an der Tankstelle belaufen sich auf 1,30 €/kg (öffentlichen Tankstelle 350/700 bar), 0,60 €/kg (betriebsinterne Nutzfahrzeugtankstelle bei 350 bar) und 1,80 €/kg (betriebsinterne Nutzfahrzeugtankstelle bei 350 bar mit leitungsgebundener H₂-Versorgung). Zusammen mit den H₂-Gestehungskosten aus 4.3.1.3, den H₂-Transportkosten aus Kapitel 4.4.2 ergeben sich daraus die für einen Tankstellenbetrieb mindestens notwendigen Wasserstoffabgabepreise. Die Gesamtkosten für den Wasserstoffabsatz an den einzelnen untersuchten Tankstellenstandorten gehen aus Abbildung 31 hervor.

Im Fall 1 können zusätzliche Erlöse aus Einnahmen des THG-Quotenhandels in Anspruch genommen werden. Ein öffentlicher H₂-Tankstellenbetreiber kann aktuell (Stand: 19.05.2023) bei einem CO₂-Quotenpreis von 150 € pro Tonne CO₂-Äquivalent und doppelter Anrechnung von Wasserstoff 2,90 € pro kg verkauften Wasserstoff geltend machen und somit die Wirtschaftlichkeit der Tankstelle erhöhen.

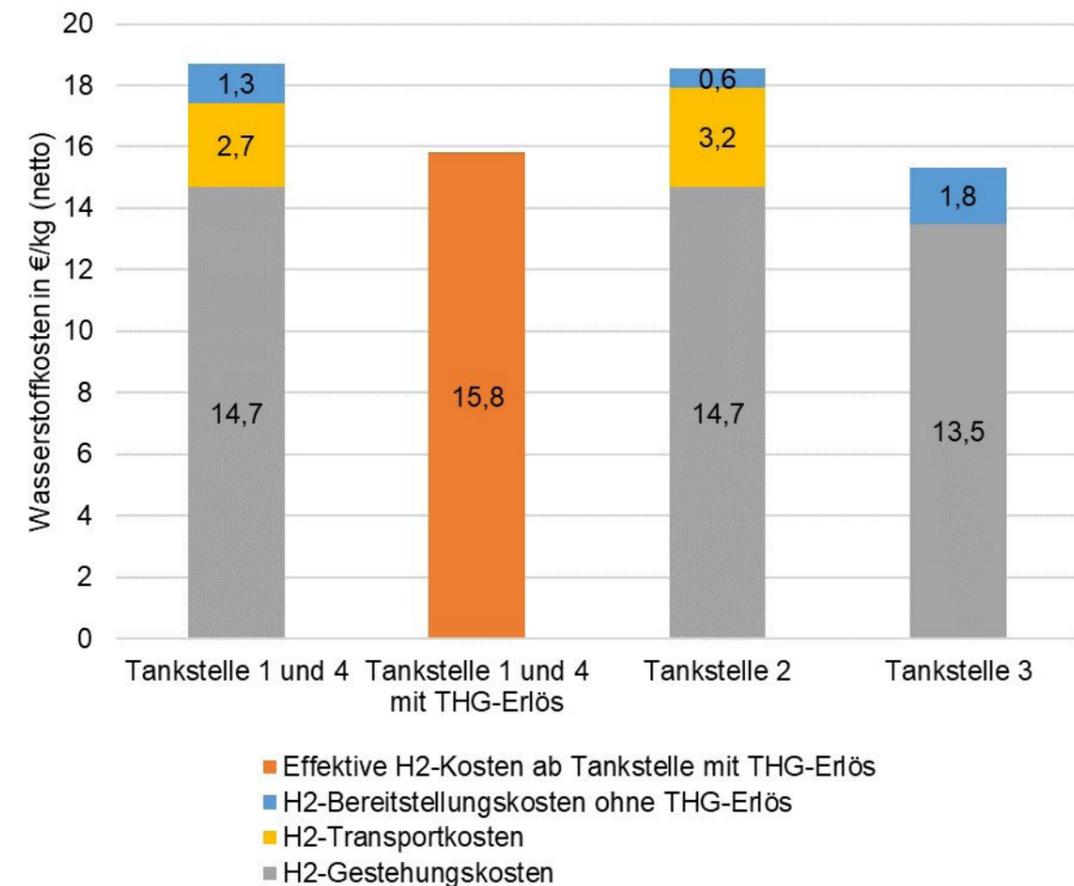


Abbildung 31: Wasserstoffkosten (netto) an Tankstellenstandorten.

Die dargestellten Balken zeigen die einzelnen Bestandteile des Wasserstoffpreises. Bei den errechneten Gestehungskosten handelt es sich um Kosten ohne den Einfluss potentieller Förderungen. Die Preisspanne der Gestehungskosten bewegt sich zwischen 13,50 und 14,70 € pro kg Wasserstoff. Für den Transport ergab sich eine Preisspanne zwischen 2,70 und 3,20 € pro kg Wasserstoff. Für die Bereitstellung an der Tankstelle errechnete sich eine Preisspanne von 0,60 bis 1,80 € pro kg Wasserstoff.

In Summe ergab sich ein maximaler Preis von 18,70 € pro kg an den Tankstellen 1 und 4 sowie 18,50 € pro kg an der Tankstelle 2. Im Vergleich zur Tankstelle am Standort 3 zeigt sich bei Betrachtung der einzelnen Kostenbestandteile, dass der Wasserstofftransport neben der Erzeugung ebenfalls ein großer Bestandteil der Kosten ist. Allerdings gibt es im Falle der öffentlichen Tankstellen 1 und 4 die Möglichkeit, einen Zuschuss in Form der THG-Quotenerlösen zu generieren. So ergibt sich nach Abzug der THG-Erlöse ein effektiver Preis von 15,80 € pro kg Wasserstoff an den betrachteten Tankstellen 1 und 4. Dieser Sonderfall ist unter „Fall 1 mit THG-Erlös“ dargestellt. Im Falle der nicht-öffentlichen Tankstellen (Fall 2 und 3) können dagegen keine zusätzlichen Erlöse aus dem THG-Quotenhandel geltend gemacht werden. Im Elektrolyse-Fall 3 könnte die überschüssige Wasserstoffmenge im Industrieprozess Vor-Ort genutzt werden, allerdings liegen die Gestehungskosten mit 13,5 € pro kg bzw. 39 ct/kWh Wasserstoff deutlich über dem heutigen Erdgaspreis. Damit ist eine interne Nutzung zur Bereitstellung thermischer Energie zum jetzigen Stand ausgeschlossen und somit die Umsetzung dieser Variante zum gegebenen Zeitpunkt ohne Förderung nicht umsetzbar.

Bei den betrachteten Fällen handelt es sich um repräsentative Beispiele, die sich im Projektverlauf herauskristallisiert haben. Diese Fälle können sich bei der weiterführenden Umsetzung einer Wasserstoffinfrastruktur im Landkreis NEW noch ändern, wenn beispielsweise neue Akteure hinzustoßen oder sich die örtlichen oder auch regulatorischen Rahmenbedingungen ändern.

4.5 Ergebnisse Wasserstoff-Infrastruktur im Landkreis NEW

Die ausgearbeiteten Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass der kurzfristige Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft im Landkreis NEW ein sehr großes Potenzial besitzt. Zum einen kann mit dem betrachteten Elektrolyse Fall 2 die komplette Menge an bisher eingesetzten grauen Wasserstoff durch grünen, regional vor Ort produzierten Wasserstoff kurzfristig ersetzt werden. Andererseits kann mit dem kurz- bis mittelfristigen Aufbau der Wasserstoffherzeugung, der zugehörigen Transportlogistik und dem Aufbau einer öffentlichen Tankstelle im Elektrolyse Fall 1 den Wasserstoffbedarf bis in das Jahr 2030 vollständig decken und bis dahin deutlich überdecken.

Neben den Elektrolyse-Varianten können nach ersten Erkenntnissen auch die Biomasse- bzw. Biogas-Varianten einen wichtigen Beitrag zum schnellen Aufbau leisten, da deren Wasserstoffgestehungskosten unter denen der Elektrolyse liegen, sofern die technischen Voraussetzungen erfüllt werden können. So könnte beispielsweise bereits der Wasserstoffbedarf für die erste Flottenumstellung ab 2025 bilanziell bereitgestellt werden: Der H₂-Bedarf von ca. 188 t/a liegt deutlich unter der H₂-Produktionskapazität der alternativen Erzeugungswege mit 355 bzw. 806 t/a, wobei die Frage der Anrechenbarkeit von orangem Wasserstoff abgewartet werden muss.

Aus allen Elektrolyse-Varianten wird ersichtlich, dass kein Fall bzw. kein Elektrolysemodell unter den getroffenen Rahmenbedingungen konkurrenzfähige H₂-Gestehungspreis erreicht. Beihilfen in Form von Förderprogrammen für Investitionskosten und/oder Zuschüssen zu den Betriebskosten sind hier ein relevanter Baustein, um den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft voranzutreiben. Absehbar ist vor allem das Elektrolyseförderprogramm des Land Bayerns vom Staatsministerium für Wirtschaft für „kleine“ Elektrolyseure zwischen einem und fünf Megawatt elektrischer Leistung. Weiterhin arbeitet auch das BMDV Förderprogramme für Elektrolyseure aus, die vor allem als Investitionszuschüsse dienen, nähere Informationen sind im nachfolgenden Kapitel dargestellt.

4.6 Fördermöglichkeiten

In diesem Kapitel sind die derzeit bestehenden Förderprogramme auf nationaler und EU-Ebene zusammengefasst. Die Förderlandschaft entwickelt sich, gerade in einem solch zukunftssträchtigen Feld wie der Wasserstoffwirtschaft, sehr dynamisch. Aus diesem Grund ist auf folgende Internetseiten zur Orientierung hinzuweisen:

<https://www.foerderdatenbank.de/FDB/DE/Home/home.html>

<https://www.bmwk.de/Navigation/DE/Wasserstoff/Foerderung-National/foerderung-national.html>

Die hier dargestellten Informationen entstammen im Wesentlichen den genannten Webseiten. Darüber hinaus sei auf die Förder-Hotline der Lotsenstelle Wasserstoff verwiesen, die unter der Rufnummer 030 201 99 420 und per E-Mail via lotsenstelle@nationale-wasserstoffstrategie.de zu erreichen ist.

4.6.1 Nationale Förderprogramme

4.6.1.1 Energieforschungsprogramm (Reallabore der Energiewende)

- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
- bis 30.06.2024
- Fristen: Die Einreichung von Projektskizzen ist jederzeit möglich.

Reallabore der Energiewende sind eine Programmsäule im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms, die in Ergänzung zur Grundlagenforschung und angewandten Forschung insbesondere dazu dienen soll, innovative Techniken im realen Umfeld und industriellen Maßstab zu erproben und weiterzuentwickeln. In Reallaboren erproben Projektpartner in einem ganzheitlichen Ansatz neue Technologien und Geschäftsmodelle unter realen Bedingungen. Reallabore der Energiewende starten in der Regel bei Technologiereifegrad, kurz TRL (englisch „Technology Readiness Level“) 6–7 und erreichen TRL 8–9. Dementsprechend zeichnen sie sich durch Marktnähe und einen hohen Reifegrad aus. Das Förderkonzept ist themenoffen gestaltet und kann somit Reallabore zu allen Forschungsbereichen der BMWK-Förderung im 7. Energieforschungsprogramm umfassen. Die Einreichung von Skizzen ist kontinuierlich möglich.

4.6.1.2 Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)

- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)
- bis 30.06.2024
- Fristen: Projektskizzen können kontinuierlich eingereicht werden. Die Begutachtung der Skizzen erfolgt zu den Stichtagen 31. März und 30. September eines Jahres.

Ziel des NIP ist die wettbewerbsfähige Etablierung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie im Verkehrssektor. Gefördert werden Vorhaben im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, insbesondere im Straßen-, Schienen-, Wasser- und Luftverkehr sowie in Sonderanwendungen. Die Forschungs- und Entwicklungs (FuE)-Förderung konzentriert sich dabei auf Maßnahmen der Demonstration, Innovation und Marktvorbereitung. Insbesondere Vorhaben, deren Entwicklungsziel der Erreichung eines Technologiereifegrads (TRL) von 5 bis 8 entspricht, werden im Rahmen der FuE-Förderrichtlinie gefördert.

4.6.1.3 Dekarbonisierung in der Industrie

- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
- 15.01.2021 – 30.06.2024
- Fristen: Die Einreichung von Projektskizzen ist jederzeit möglich.

Gefördert werden – jeweils im Bereich energieintensiver Industrien mit prozessbedingten Emissionen – die Forschung und Entwicklung ab Technologiereifegrad (TRL) 4, die Erprobung in Versuchs- bzw. Pilotanlagen sowie Investitionen in Anlagen zur Anwendung und Umsetzung von Maßnahmen im industriellen Maßstab, sofern sie geeignet sind, die Treibhausgasemissionen ausgehend vom aktuellen Stand der zugrunde liegenden Technologien, Verfahren bzw. Produkte möglichst weitgehend und dauerhaft zu reduzieren.

4.6.1.4 Förderung von Maßnahmen zur Entwicklung regenerativer Kraftstoffe

- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)
- Mai 2021 bis Dezember 2024
- Fristen: Die Begutachtung der Skizzen erfolgt grundsätzlich zu den Stichtagen 31. März und 30. September eines Jahres. Ergänzend zur kontinuierlichen Einreichung können zu gezielten Themenschwerpunkten auch entsprechende thematische Förderaufrufe mit gesonderten Einreichungsfristen erfolgen.

Technologieoffene und verkehrsträgerübergreifende Förderung zur (Weiter-) Entwicklung von erneuerbaren Kraftstoffoptionen. Abgedeckt werden insbesondere Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben sowie Innovationscluster für fortschrittliche Biokraftstoffe, Wasserstoff, Power-to-Gas und Power-to-Liquid. Die VDI/VDE Innovation + Technik GmbH und Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) sind als Projektträger für die Förderrichtlinie zuständig.

4.6.1.5 Förderung alternativer Antriebe im Schienenverkehr

- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)
- bis 30.06.2024
- Fristen: Stichtage in separaten Aufrufen

Maßnahmen dieser Förderrichtlinie sind Unterstützung von Unternehmen und Aufgabenträgern bei der Beschaffung von Schienenfahrzeugen mit innovativen emissionsarmen Antrieben für den Personen- und Güterverkehr und bei der Errichtung von Betankungs- bzw. Ladeinfrastruktur für diese Schienenfahrzeuge (technologieoffene Förderung).

4.6.1.6 Förderung alternativer Antriebe von Bussen im Personennahverkehr

- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)
- 07.09.2021 - 31.12.2025
- Fristen: Stichtage in separaten Aufrufen

Mit der Förderrichtlinie unterstützt das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) die Marktaktivierung und den Markthochlauf von Bussen mit klimafreundlichen, alternativen Antrieben im Personenverkehr. Im Fokus der Förderung steht die Beschaffung von Bussen mit alternativen Antrieben auf Basis von Batterie- und Brennstoffzellentechnologie sowie von Bussen, die zu 100 Prozent mit aus Biomasse erzeugtem Methan betrieben werden. Daneben ist die Unterstützung bei der Beschaffung von Lade- sowie Wasserstoff- und Methan-Betankungsinfrastruktur für den Betrieb der Busse und bei der Erstellung von Machbarkeitsstudien vorgesehen. Die Skizzeneinreichung erfolgt in separaten Förderaufrufen.

4.6.1.7 Programm Klimaschutzverträge (Carbon Contracts for Difference, CCfD)

- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
- Maßnahme befindet sich derzeit in Vorbereitung

Über sogenannte „Carbon Contracts for Difference“ (Klimaschutzdifferenzverträge) zwischen Staat und Unternehmen der energieintensiven Industrie sollen die Mehrkosten klimafreundlicher Produktionsverfahren gegenüber herkömmlichen Verfahren ausgeglichen werden. Ziel ist es, der Industrie dadurch Investitionssicherheit und Anreize für ein Vorziehen von Klimaschutz-Projekten zu geben. Die Bundesregierung erarbeitet derzeit ein entsprechendes Pilotprogramm, vorerst mit dem Fokus auf der Stahl- und Chemieindustrie. Später soll das Förderinstrument auf weitere Branchen ausgeweitet werden.

4.6.2 Internationale / EU-Förderprogramme

4.6.2.1 CETPartnership

- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
- Frist: 23. November 2023

Den Rahmen für den Förderaufruf bildet die Clean Energy Transition (CET) Partnership. Mit einem Budget von insgesamt rund 140 Millionen Euro veröffentlicht sie den ersten gemeinsamen Förderaufruf (Joint Call 2022), der eine Vielzahl von Technologien und Systemlösungen abdeckt, die für die Energiewende erforderlich sind. Das Ziel ist die gemeinsame Planung und Durchführung von Forschungsaktivitäten sowie die Entwicklung technologischer Innovationen. Hierzu haben sich 28 Staaten aus Europa sowie die USA, Kanada und Israel zu einer Ausschreibung verschiedener Themenschwerpunkte zusammengeschlossen.

Deutsche Antragsteller können sich je nach Call-Modul und Standort über das 7. Energieforschungsprogramm des Bundes sowie über die jeweiligen Förderprogramme der Länder Nordrhein-Westfalen und Sachsen beteiligen. Die speziellen Anforderungen der jeweiligen Förderprogramme sind im Anhang des Joint Calls (national/regional requirements) beschrieben.

4.6.2.2 H2Global

- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
- 01.08.2021 - 31.12.2023 | aktuell keine Antragstellung möglich

Durch H2Global werden Investitionen zum zügigen Aufbau von Wasserstoffproduktionsanlagen im industriellen Maßstab und in die zugehörigen Lieferketten erfolgen, die erzeugten Energieträger nach Deutschland transportiert und zu wettbewerbsfähigen Preisen verkauft. H2Global liegt ein Doppelauktionsmodell zu Grunde, bei dem die Differenz zwischen Ankaufs- und Verkaufspreis per Zuwendung des Bundes befristet ausgeglichen wird. Im Namen einer Tochtergesellschaft der H2Global-Stiftung findet eine internationale Auktion für den Einkauf von grünem Wasserstoff oder Wasserstoffderivaten statt. Das günstigste Angebot bekommt den Zuschlag und einen langfristigen Vertrag.

5 Ausbildung zukünftiger Wasserstoff-Fachkräfte

Dieses Kapitel beinhaltet die Sammlung, Analyse und Bewertung der aktuellen Technologien und Verfahren mit Bezug zu Wasserstoff, dessen Herstellung, Speicherung und Verwendung sowie die Analyse der zugehörigen Branchen zur Identifikation des Ausbildungsbedarfs für zukünftige Wasserstoff-Fachkräfte.

Die Sammlung beinhaltet im Kern die bereits angewandten Technologien, die in unmittelbarem Zusammenhang mit der Erzeugung von Wasserstoff in der PEM-Elektrolyse, der Speicherung und Verteilung in flüssiger und gasförmiger Form sowie der Verwendung in Fahrzeugen stehen. Sie sammelt und analysiert dabei die relevanten zugehörigen Branchen, die bereits damit in Verbindung stehen oder auf mittlere Sicht eine Veränderung erfahren werden. Die Analyse und Bewertung soll sich dabei explizit nicht den forschungs- und entwicklungsspezifischen Fragestellungen für den akademischen Wissensaufbau widmen, sondern den Fokus auf Praxis- und anwendungsbezogenen Wissensaufbau in den identifizierten Branchen legen.

Herstellung

Im Rahmen des Pariser Klimaschutzabkommens sollen in Deutschland die größten Treibhausgas-Verursacher durch klimafreundliche Energien ersetzt werden. Dabei steht unter anderem der grüne Wasserstoff im Fokus der Betrachtungen. Er ist speicherbar, transportabel und kann mithilfe von Brennstoffzellen in Strom und Wärme umgewandelt werden. Grün bedeutet dabei, dass bei der Erzeugung keine fossilen Brennstoffe genutzt werden, bzw. dass bei der Herstellung keine Treibhausgase entstehen. Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse aus Wasser hergestellt, wofür Strom aus erneuerbaren Energien verwendet wird, nähere Informationen dazu sind in Kapitel 3.1 erläutert. [71]

Andere Verfahren, wie z. B. die Dampfreformierung, partielle Oxidation oder thermochemische Verfahren werden nicht berücksichtigt, da ihre Herstellung überwiegend fossiler Brennstoffe bedarf.

Speicherung

Die Speicherung erfolgt auf unterschiedlichste Weise, je nachdem welche Mengen gelagert oder transportiert werden und auf welche Distanzen der Wasserstoff verteilt werden soll. Die Speicherung erfolgt in Druckspeichern oder chemische Speichern (z. B. LOHC). Bei kurzen Distanzen und großen Mengen bieten sich Wasserstoffleitungen an. Bei längeren Distanzen sind Transport bzw. Druckbehälter zum Beispiel auf LKWs, auf der Schiene oder im Schiffsverkehr geeignet. In diesen Behältnissen kann der Wasserstoff unter hohem Druck (300 – 900 bar), verflüssigt, in Gasform oder gebunden an eine Trägerflüssigkeit transportiert werden.

Verwendung

Der Einsatz von Wasserstoff in der Mobilität ist vor allem da sinnvoll, wo eine adäquate Elektrifizierung nur schlecht oder gar nicht möglich ist. Dies betrifft vor allem Verkehrsmittel und Fahrzeuge mit hoher Auslastung, da diese schnell wieder betankt werden und nicht bei der Energieaufnahme Einbußen bei der Auslastung hinnehmen müssen. Mithilfe einer Brennstoffzelle könnte der in den Fahrzeugen gespeicherte Wasserstoff zu Strom umgewandelt werden und die Fahrzeuge betreiben. Dieser klimafreundliche Kraftstoff könnte Flugzeuge, Schiffe, Züge, LKWs, Busse, Baufahrzeuge oder auch landwirtschaftliche (dauerausgelastete) Maschinen wie zum

Beispiel beim Maschinenring, antreiben. Für Personenkraftwagen erscheint im Moment noch die Elektrifizierung am geeignetsten. [71]

Bewertung

Für dieses Projekt ist die Mobilität am Projektstandort im Landkreis NEW mit grünem Wasserstoff – vorwiegend aus der Elektrolyse von grünem Strom als Schwerpunkt gesetzt.

Im Hinblick auf die Bewertung der Technologien und Verfahren, mit Bezugnahme auf den Projektauftrag, modellhafte Strukturen zur langfristigen Sicherstellung von Fachkräften mit wasserstoffspezifischen Kenntnissen in der Region zu beschreiben, wurden die regionalen Gegebenheiten genauer betrachtet und die relevanten Branchen mit Bezug zur Mobilität sondiert. Folgende Branchen wurden dabei als „sehr relevant“ ermittelt:

- Handwerk: Schwerpunktberücksichtigung auf gewerblich-technische Berufe (Elektro, Metall, Fahrzeuge, Gebäude, etc.)
- Industrie und Produktion, Maschinen und Anlagenbau: Bau und Einsatz von H₂ Anlagen; Wasserstofferzeugung; Energiebedarf und Prozessgase
- Landwirtschaft und Landmaschinentechnik: Energieerzeugung, Lagerung, und Landmaschinentechnik
- Transport und Logistik: Fahrzeugtechnik, -bedienung; Gefahren und Sicherheit; Versorgung und Instandhaltung

Aufbauend auf die Analyse und Bewertung der Technologien in diesem Arbeitsschritt wurden die betroffenen Berufe bzw. Berufsbilder abgeleitet. Diese wurden dahingehend identifiziert, welche konkreten Bedarfe und Kompetenzen in Bezug auf Wasserstoff notwendig sind und erworben werden müssen. Die Bedarfe sind zum einen bezüglich der Inhalte der Berufsbilder und zum anderen bezüglich der Anzahl des zu qualifizierenden Personals zu ermitteln. Dieser Bedarf war auf regionaler Ebene für einen Zeitraum bis 2030 darzustellen.

Unter Zuhilfenahme der Auswertung der bereits genannten Umfrage an die Beteiligten des Projektes sowie aus der Auswertung zur Wasserstoffrelevanz der Branchen standen Ausbildungsberufe und Weiterbildungen im Handwerk, in der Industrie, IT, kaufmännischen Berufen, Landwirtschaft und Technik, Transport, Logistik und Sicherheit zur Diskussion.

Die Ausbildungsberufe dieser Branchen wurden nach der Relevanz hinsichtlich der Einführung von Wasserstoff und der damit verbundenen inhaltlichen Änderungen betrachtet. So wurde ein Berufsbild als „sehr relevant“ angesehen, wenn es sich hinsichtlich des H₂ Umstiegs in wesentlichen Inhalten neu ausrichten muss. Als ein Beispiel dienen Speditionen, welche die Fahrzeuge auf Wasserstoff umstellen und diese auch selbst warten. Ein weiteres Beispiel ist im Heizungsbau zu finden. Hier ändert sich sowohl der Brennstoff als auch die Heizungsanlage (Ölbrenner vs. Gasbrenner).

Gemeinhin wird eine sehr hohe Relevanz dann erreicht, wenn sich also sowohl Betriebsmittel als auch Werkstoffe ändern.

Auswahl von vier Berufsbildern

In Anbetracht

- der Erkenntnisse in der Branchenauswahl mit den zugeordneten Berufen sowie
- der Ergebnisse und Bedarfe der Akteurs Befragung und
- der Vorgabe des Projektschwerpunktes „Mobilität“ sowie „Aus- und Weiterbildung“
- und der Übertragbarkeit auf andere Regionen

wurden die Berufsbilder des „**KFZ Mechatroniker Nutzfahrzeugtechnik**“ sowie des „**Land- und Baumaschinenmechatroniker**“ favorisiert

Tabelle 12: Analyse der Berufsbilder „KFZ Mechatroniker Nutzfahrzeugtechnik“ und „Land- und Baumaschinenmechatroniker“

	H ₂ - Erzeugung, - Verteilung - Speicherung	Anwendung Mobilität	Anwendung Industrie	Anwendung Gebäudeenergieversorgung
Kraftfahrzeugmechatroniker-Nutzfahrzeugtechnik	+++	+++	++	
Land- und Baumaschinenmechatroniker	+++	+++	++	

Diese 3,5-jährigen Ausbildungsberufe sind sowohl im Handwerk als auch in der Industrie anerkannt, und werden in Reparaturwerkstätten, bei Herstellern und Ausrüstern von Land- und Nutzfahrzeugen sowie bei Bau-, Forst- und Busunternehmen oder auch Expeditionen mit angeschlossener Werkstatt ausgebildet und benötigt. Rechtlich sind keine schulischen Zugangsvoraussetzungen erforderlich – die meisten Ausbildungsbetriebe erwarten jedoch einen mittleren Bildungsabschluss.

Als drittes Berufsbild wurde der Ausbildungsberuf des „**Anlagenmechanikers für Sanitär, Heizung- und Klimatechnik**“ in dieses Projekt integriert.

Tabelle 13: Analyse des Berufsbildes des „Anlagenmechanikers für Sanitär, Heizung- und Klimatechnik“

	H ₂ - Erzeugung, - Verteilung - Speicherung	Anwendung Mobilität	Anwendung Industrie	Anwendung Gebäudeenergieversorgung
Anlagenmechaniker für Sanitär, Heizung- und Klimatechnik	+++	++	++	+++

Dieser 3,5-jährige Ausbildungsberuf ist sowohl vom Handwerk als auch von der Industrie anerkannt. Er installiert vorwiegend ver- und entsorgungstechnische Anlagen und Systeme und kümmert sich um deren Instandhaltung. Sein vorwiegender Aufgabenbereich liegt in den Branchen der Heizungs- und Klimatechnik sowie in versorgungstechnischen Installationsbetrieben (zum Beispiel bei der Wartung und Instandhaltung von Wasserstoff Tankstellen).

Als vierter und letzter Ausbildungsberuf wurde der „**Industriemechaniker**“ mit aufgenommen. Die Branchenanalyse ergab eine hohe, bzw. sehr hohe Relevanz im Bereich Wasserstoffherzeugung, -Verteilung und -Speicherung sowie in der industriellen Anwendung. Die Branchenzugehörigkeit der Akteure (vorwiegend Mobilität) spielt dabei nach Absprache im Konsortium nicht die alleinentscheidende Rolle. Im Wesentlichen soll nicht nur das Kriterium der Mobilität erfüllt, sondern die tatsächlichen Bedarfe der Region und die Vielfältigkeit der Auswahlkriterien in den Vordergrund gestellt werden.

Tabelle 14: Analyse des Berufsbildes des „Industriemechanikers“

	H ₂ - Erzeugung, - Verteilung - Speicherung	Anwendung Mobilität	Anwendung Industrie	Anwendung Gebäudeenergieversorgung
Industriemechaniker	++	+	+++	

Dieser 3,5-jährige Ausbildungsberuf ist sowohl vom Handel als auch von der Industrie anerkannt. Die Ausbildung findet aber auch im Handwerk statt. Sie stellen überwiegend Baugruppen und Bauteile für Maschinen und Produktionsanlagen her. Diese werden von Industriemechanikern eingebaut, umgebaut, überwacht, gewartet, in Stand gehalten, und gegebenenfalls optimiert. Industriemechaniker werden vorzugsweise in produzierenden Wirtschaftsbereichen benötigt.

Spezifischer Personalbedarf (des skizzierten Projektes) auf regionaler Ebene bis 2030.

Die hier dargestellten Zahlen stellen eine Abschätzung zum Fachkräftebedarf in der wasserstoffbasierten Mobilität dar. Als primäre Datengrundlage dienen die Meta-Studie des Projekts „Wasserstoff-Kompass“ und die Beschäftigungszahlen des „Zentralverbands Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe“, sowie zum Abgleich die Zulassungszahlen des Kraftfahrt-Bundesamts mit Stand 1. Januar 2021.

Wasserstoffverbrauch in TWh im Verkehr



Abbildung 32: Potentieller Wasserstoffverbrauch 2025 bis 2045 mit Fokus Verkehr [72]

Fachkräftebedarf für brennstoffzellenbetriebene Nutzfahrzeuge über 3,5t (gesamt Deutschland)							
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bedarf Kfz-Meister	0	0	8	110	224	451	533
Bedarf Angestellte (40% technisch)	0	0	5	68	139	279	330
Bedarf gewerbliche Fachkräfte v. a. Kfz-Mechatroniker	0	0	14	194	394	792	936
Bedarf Azubi gewerblich	0	0	7	104	211	425	502
Bedarf Fachkräfte insgesamt	0	0	34	476	968	1948	2301

Abbildung 33: Möglicher Fachkräftebedarf für brennstoffzellenbetriebene Nutzfahrzeuge über 3,5 t in den Jahren 2025 bis 2050 für Gesamtdeutschland (eigene Berechnungen) [73–75]

Der tatsächliche Fachkräftebedarf lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt für die vier ausgewählten Ausbildungsberufe nur bedingt abschätzen. Die aktuelle politische Lage hinsichtlich der Unsicherheiten auf den Weltmärkten, der Energiewende oder auch der Umweltbelastungen lässt den Wunsch nach Unabhängigkeiten und klimafreundlicher Energie weiterwachsen.

Es wird davon ausgegangen, dass auf Druck der Politik die erneuerbare/grüne Energie in ausreichender Menge – unter anderem mit der Wasserstofftechnik in vielen Bereichen - künftig noch weiterwachsen wird. Einhergehend damit ist auch der zu erwartende Fachkräftebedarf, nicht nur in den Bereichen Mobilität, sondern auch in Anlagentechnik und Industrieproduktion, wesentlich höher und zeitlich noch früher als 2030 einzustufen.

5.1 Vorgehensweise zur Erstellung eines Bildungskonzepts

In diesem Kapitel wird die Erstellung eines Bildungskonzepts und dessen Etablierung in die regionale Bildungslandschaft erläutert.

Die identifizierten Kompetenzen und Bedarfe können einer schnellen Pilotierung zugeführt werden. Dazu wurden konkrete Konzepte für eine Erprobung relevanter Bildungsformate beschrieben. Es wurden Bildungskonzepte zu den identifizierten Berufsbildern für die Implementierung in der bestehenden Bildungslandschaft und Anforderungen an deren Erweiterung/Veränderung auf regionaler Ebene dargestellt. Erste Bildungsformate wurden mit Projektbezug konkret und detailliert ausgearbeitet.

Die künftigen, wasserstoffbezogenen Bedarfe an Fähigkeiten und Kenntnisse in den Ausbildungsberufen unterscheiden sich jeweils nach Branchenzugehörigkeit. So verlegt sich das branchenspezifische technologische Wissen beim Maschinen- Anlagen- und Fahrzeugbau vorwiegend auf Elektrolyseure, Brennstoffzellen, Rohre, Dichtungen und Ventile, Tanks, etc. Bei der Produktion von Wasserstoff liegen die Bedarfe tendenziell im Anlagenbetrieb und deren Integration. Bei der Anwendung von Wasserstoff sind die Bedarfe vorwiegend in der Stahlindustrie, in der chemischen Industrie und in der Mobilität von Belang. Was alle Branchen vereint, sind die inhaltlichen Grundkenntnisse über Wasserstoff und die damit verbundenen Sicherheitsfragen bei der Anwendung und im Umgang mit Wasserstoff.

Aus diesem Grund sollten in jedem Ausbildungsberuf, welcher in praxisnaher Form vom Thema Wasserstoff tangiert ist, mindestens die folgenden „**Grundlagen Wasserstoff**“ vermittelt werden:

- Definition Wasserstoff (Element, Zusammensetzung, Vorkommen)
- Eigenschaften und Unterschiede zu anderen Gasen
- Gefahrenpotential von Wasserstoff / Gefahrgut
- Arbeitssicherheit im Umgang mit Gasen, Drücken, Dichtigkeiten
- Grundlagen der Wasserstoffherstellung / Übersicht der Herstellungsmöglichkeiten
- „Farbenlehre Wasserstoff“ (grün, grau, ...)
- Übersicht der Verwendungsmöglichkeiten
- [Übersicht zu Vorschriften für stationäre und mobile Wasserstoffsysteme*](#)
- [Betriebssicherheitsverordnung*](#)
- [Haftbare Verantwortlichkeiten*](#)
- [Unfallverhütung und Verhalten bei Unfällen*](#)
- [Umweltaspekte*](#)

* nur in berufsbildenden Schulen

Aufbauend auf den Grundlagen in Kapitel 5 werden folgende weitere Qualifizierungsstufen für den jeweiligen Fachbereich und im dritten Schritt für den jeweiligen Beruf und im Einzelfall auch Produktbezogen erarbeitet:

- **Grundlagen Wasserstoff** (allgemeine Grundkenntnisse ohne direkten Berufsbezug)
- **Grundkenntnisse H₂ Fachbereich** (bereichsbezogene Grundkenntnisse)
 - Mobilität
 - Anlagen
 - Industrie-Mechanik
- **Fachkenntnisse H₂ Mobilität** (berufsbezogene Fachkenntnisse mit direktem Bezug zu einem Ausbildungsberuf, gegebenenfalls auch Spezialkenntnisse zu einem bestimmten Produkt)
 - Fachkenntnisse H₂-Mobilität KFZ-Mechatroniker Nutzfahrzeug
 - Fachkenntnisse H₂-Mobilität Land- und Baumaschinenmechatroniker
 - Fachkenntnisse H₂-Anlagen für Sanitär-, Heizung-, und Klimatechnik
 - Fachkenntnisse H₂- Industrie (Mechanik)*

* Durch die Branchen-Auffächerung in der Industrie muss die jeweilige Branchenzugehörigkeit und die damit verbundene Tätigkeit des Industriemechanikers beleuchtet werden. Eine generelle Involvierung des Industriemechaniker mit Bezug zu Wasserstoff ist daher nicht möglich - im Einzelfall jedoch unbedingt zu berücksichtigen.

5.2 Darstellung des Bildungskonzepts

Zur Veranschaulichung der Bildungskonzepte wird hier beispielhaft die „Grundstruktur-Bildungskonzept“ mit Variationsmöglichkeiten hinsichtlich der Kriterien und Akteure vorgestellt: (blaue Kennzeichnung für Variation)

Tabelle 15: Darstellung des Bildungskonzepts

<p><u>Maßnahme-Titel:</u></p> <p>„Grundlagen Wasserstoff“</p> <p>„Grundkenntnisse H₂ Fachbereich“ (Mobilität, Anlagen, Industrie, etc.)</p> <p>„Fachkenntnisse H₂ Mobilität“ (berufsbezogene Fachkenntnisse mit direktem Ausbildungsbezug)</p>
<p><u>Maßnahme-Träger:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Allgemeinbildende Schulen • Berufsschulen • Bildungsträger • Kammern IHK/ HWK • Berufsgenossenschaft • Technischer Überwachungsverein • Ausbildungsbetrieb

<ul style="list-style-type: none"> • Hersteller / Produzent • Experten der freien Wirtschaft • Sonstige 	
Maßnahme-Kurzbeschreibung	<p>Generell...</p> <p>...Individuelle Anpassung</p>
Grob- und Feinziele der Maßnahme	<p>Beispielsweise konkrete Erläuterungen zu</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grundlagen • Grundkenntnisse im Fachbereich • Fachkenntnisse in der H₂ - Mobilität • Ggf. Expertenwissen
Verfahren zur Unterrichtsdurchführung, methodisch-didaktische Konzeption...)	<p>Beispielsweise</p> <p>-Theoretischer- und fachpraktischer Unterricht im Rahmen eines Projekttag an der Berufsschule in Weiden sowie am ÜBZO Standort in Weiherhammer.</p> <p>- Prüfungen in Theorie und fachpraktische Lernerfolgskontrollen unmittelbar nach den abgeschlossenen Bildungsmodul</p> <p>- Das methodisch-didaktische Konzept hinsichtlich des fachpraktischen Unterrichts im folgt dem Prinzip der konstruktivistischen Didaktik, wonach handlungs-orientierte Methoden und Techniken zum Einsatz kommen.</p>
Maßnahmendauer und Gliederung	<p>x UE – y UE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inhaltlicher Aufbau - Anzahl der UEs <p>x UE für theoretische und</p> <p>x UE für praktische Vermittlung sowie im Anschluss</p> <p>x UE Prüfung</p>

Methoden und Materialien bei der Vermittlung (Frontal, Gruppen, Projekt)	<ul style="list-style-type: none"> • Werkstattunterricht • 4-Stufen-Methode • Kooperatives Lernen • Projektarbeit; Einzel-, Partner-, Gruppenarbeiten • Präsentationen • Versuche, Experimente • Lernaufträge • Prüfung und Feedback • Frontalunterricht
Zugangsvoraussetzungen der Teilnehmenden	<ul style="list-style-type: none"> • Schüler und Schülerinnen ab der 8. Klasse Mittelschule, Realschule, Gymnasium • Berufsschüler und Berufsschülerinnen im ersten 1./ 2. / 3. Ausbildungsjahr für technisch, gewerbliche Ausbildungsberufe • Abgeschlossene Ausbildung mit H₂-Vorkenntnissen
Erforderliche räumliche Ausstattung	<ul style="list-style-type: none"> • (Lehr)-Werkstatt oder Unterrichtsraum mit H₂-relevanten Ausstattungsmerkmalen • maker-space / digital-lab • z. B. Modelle wasserstoffbetriebener Fahrzeuge, Model-Gasdruckbehälter und -zuleitungen, Messgeräte, Oszilloskop, Schutztechnik, Leitungen, etc.;
Qualifikation und Kompetenz der Lehrkräfte	<p>Beispielsweise</p> <p>Lehrkräfte mit nachweisbaren Kenntnissen oder Erfahrungen im Umgang mit H₂ oder Auszubildende mit AdA-Schein und Erfahrung in der Ausbildung</p>
Besondere Berechtigungen zur Durchführung notwendig?	<p>Berechtigung durch Nachweise von</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kammern IHK/ HWK • Berufsgenossenschaft • Technischer Überwachungsverein • Kultusministerium • Hersteller / Produzent • Zeugnisse / Zertifikate • sonstige berechnigte Stellen

Berechtigungen für die Teilnehmenden nach Schulungsende	<p>Beispielsweise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transport und Lagerung von Wasserstoff • Einbau und Instandsetzung von H₂ – Systemen und Bauteilen • Prüfung von Drücken, Ventilen, Lecks und Dichtigkeiten • Befüllen und Entleeren von Gassystemen • Sicht-, Dicht- und Funktionsprüfung eingebauter, oder gewarteter Baugruppe • Anwendung von Gasmessgeräten • Erstellen von Prüfberichten • Gefahrenquellen und Schutzeinrichtungen in Werkstätten kennzeichnen • Dokumentation von Gefährdungsbeurteilungen • etc.
Maßnahme-Abschluss	<p>Beispielsweise</p> <ul style="list-style-type: none"> • mit / ohne Prüfung • Zeugnis • Trägerzertifikat • Teilnahmebescheinigung • Berechtigungsausweis • Leistungsnachweis • etc.

5.3 Handlungsempfehlung und Leitfaden

Dieses Kapitel führt zu Formulierungen von Handlungsempfehlungen zur Etablierung der Konzepte für den Landkreis NEW sowie für Kommunen, private Bildungsträger, Handwerk und Industrie. Die konkreten Bedarfe und Konzepte für die ausgewählten Ausbildungsberufsbilder wurden hinsichtlich der Regionalität sowie der zügigen Pilotierung zusammengefasst. Daraus wurde ein Handlungsleitfaden zur Adaption der relevanten Ausbildungsberufe und -inhalte unter Berücksichtigung etablierter Verfahren für die Sozialpartner, Handwerkskammern, IHK, Bildungseinrichtungen etc. der Region erstellt. Eine Abstimmung mit den Projektbeteiligten, den Kammern und Schulen, etc. wurde vorgenommen – BiBB und BMBF wurden konsultiert.

Die Handlungsempfehlungen zur Etablierung der Konzepte für Landkreis und Kommunen, private Bildungsträger, Handwerk und Industrie resultieren aus...

a) der Gegenüberstellung der Bildungskonzepte (aus Kapitel 5.1)

- **Grundlagen Wasserstoff** (allgemeine Grundkenntnisse ohne direkten Berufsbezug)
- **Grundkenntnisse H₂ Fachbereich (Mobilität, Anlagen, Industrie, etc.)** (bereichsbezogene Grundkenntnisse im Bereich Mobilität)
- **Fachkenntnisse H₂ Mobilität** (berufsbezogene Fachkenntnisse mit direktem Bezug zu einem Ausbildungsberuf, gegebenenfalls auch Spezialkenntnisse zu einem bestimmten Produkt)

b) den potenziell Beteiligten an der Einführung und Umsetzung der Bildungsformate
(aus Kapitel 5.1 sowie Interviews im Projektverlauf)

- Berufs- und allgemeinbildende Schulen
- Ausbildungsbetrieb
- Kammern (IHK, HWK)
- Berufsverbänden
- Bildungsträger
- BiBB / BMBF

c) unter Berücksichtigung folgender Prämissen:

- Möglichkeit zur zügigen Pilotierung
- Regionale Übertragbarkeit
- Implementierbar in die bestehende Bildungslandschaft
- Erweiter- und veränderbar
- Projektbezogene, wasserstoffbasierte Bildungsinhalte für Ausbildungsberufe

Die folgenden Ableitungen dienen als Handlungsempfehlungen zur Etablierung der Konzepte für Landkreis und Kommunen, private Bildungsträger, Handwerk sowie für die Industrie.

- Grundsensibilisierung und Förderung der Wissensvermittlung in allgemeinbildenden Schulen
Die allgemeinbildenden Schulen haben diverse Spielräume in welchem sie das Thema Wasserstoff in den Unterrichtsablauf einbringen könnten. Nach den erfolgten Recherchen und Gesprächen mit Mittel- und Realschulen sowie in Gymnasien wäre die Einführung von z. B. Umwelttagen, Projekttagen, Exkursionen, Berufsinformationstage - soweit noch nicht eingeführt – denkbar und sinnvoll.

Auch im Kontext von MINT-Fächern könnten hier nicht nur die chemischen Grundlagen zu Wasserstoff vermittelt, sondern auch die künftigen Einsatzmöglichkeiten sowie Chancen und Risiken der Wasserstoffwirtschaft kennengelernt werden.

Die Lernenden könnten auch durch direkte Angebote, zum Beispiel über Workshops im Rahmen von externen Laborkursen, an die Thematik herangeführt werden. Hierbei nehmen insbesondere auch außerschulische Lernorte, wie MINT-Initiativen, Fab-Labs, Maker Spaces oder technische Museen, eine wichtige Rolle ein.

An den Gymnasien könnte in einem Zeitraum von wenigen Wochen bis hin zu einem Schuljahr die Wasserstoffthematik auch über die Fachschaften der Schulen in den Fokus gebracht werden. Zudem gibt es künftig auch eine vorgeschriebene Wissenschaftswoche, welche fest im Lehrplan der 11. Jahrgangsstufe verankert wird, in die man das Thema ebenfalls integrieren könnte.

Empfohlen werden auch praxisorientierte Tool-Kits zur Veranschaulichung und den Praxisbezug des Lerninhaltes. Ziel ist es, bei den jungen Menschen Interesse am Thema Wasserstoff zu wecken, ggf. berufliche Möglichkeiten aufzuzeigen und den Unterricht dabei praxisnah zu gestalten.

Langfristig und dauerhaft müsste die Verankerung des Themas über eine Änderung oder Anpassung der Lernsequenzen durch das ISB, welches die Lehrpläne für alle allgemeinbildenden Schulen – also Mittel- und Realschulen sowie Gymnasien erstellt und überarbeitet, erfolgen.

- Künftige zu beschaffende Berufsschul- und Schulausstattung sollen auch unter der Thematik Wasserstoff betrachtet werden
- Unterstützung durch den Landkreis in allgemeinbildenden Schulen in Bezug auf Ausstattung und Fachpersonal – ggf. auch durch Beauftragung geeigneter Bildungsträger zur Vermittlung der Wasserstoff-Bildung

Für die Arbeit in den Schulen könnten verschiedene Medien (Equipment zum Experimentieren, Modelle, usw.) durch die FWU („Das Medieninstitut der Länder“ – www.fwu.de) oder die ZUM (Zentrale für Unterrichtsmedien – www.zum.de) bereitgestellt und das MINT-Programm bereitgestellt werden – das sollte kommuniziert und genutzt werden.

Die Konsultation des „Initiative Junge Forscher e.V.“ stellt ein für die Schulen kostenloses Angebot für Material und Personal für ihre Schulbesuche zur Verfügung.

- Austausch mit den Berufsschulen zur Einführung der Lernmodule / Vorrangige Themen sollten die Grundlagen Wasserstoff, Sicherheit und die Prozessketten von Wasserstoff sein

Die Berufsschulen haben die Möglichkeiten, das Modul „**Grundlagen Wasserstoff**“ kurzfristig und unbürokratisch, in kleinere Module aufgeteilt, aufzunehmen. Denkbar wären auch Wahlfächer, PLUS-Programme, Interessensgruppen, sowie projektbezogene praktische Lerneinheiten.

- Wasserstoffprojekte an Berufsschulen z. B. Grundkenntnisse Mobilität, berufsbezogene Fachkenntnisse, etc. (siehe Kapitel 5.2) initiieren

Einführung von relevanten Teilen der bereichsbezogenen **Grundkenntnisse H₂ Fachbereich Mobilität, Anlagen, Industrie, Erzeugung, Verwendung, Transport, etc.**

Mittel- bis langfristig kann über die Anpassung des Lehrplans oder auch das Einrichten einer Modellklasse mit neuen Lerninhalten, z. B. **Fachkenntnisse H₂ Mobilität** (berufsbezogene Fachkenntnisse mit direktem Bezug zu einem Ausbildungsberuf, ggf. auch Spezialkenntnisse zu einem bestimmten Produkt), als Bestandteil der berufsschulischen Bildung angeboten werden (Wasserstoff als Erweiterung zur E-Mobilität).

Dabei anzudenken ist auch ein vorübergehender Wechsel des Lernorts zu einem „High-Tech“-Bildungsanbieter. Die Nutzung des Future-Lab der ÜBZO in Weiherhammer als innovativer Lernort kann einen Einblick in eine praxis- und zukunftsbezogene Lernumgebung bieten (gilt auch für allgemeinbildende Schulen). Zudem können hier auch „Schüler-Bundle“ zwischen verschiedenen Schularten geschaffen werden, wobei z. B. nach erfolgreichem Projektabschluss zu Thema Wasserstoff in Gymnasien die Ergebnisse und Versuche anderen Schulen, inkl. Berufsschulen, vorgestellt werden. Neben der erwarteten höheren Schülermotivation böte dieses Vorgehen schon frühzeitig Perspektiven für die spätere Berufswahl, bzw. Spezialisierungswahl.

• Initiativen zu Lehrer- und Ausbilderqualifizierungen /-Fortbildungen

Leistbar wäre das von spezialisierten Bildungsträgern bzw. Bildungsträgern mit Fachpersonal und berufsbezogener technischer Ausstattung.

Der TÜV Süd bietet bereits vertieftes Wissen in einigen zertifizierten Kursen an. Allerdings nicht in der Region, sondern online – oder als Präsenzmaßnahme in Hamburg, Stuttgart oder Frankfurt.

Auch die Handwerkskammer Ulm (WBZU) verfügt über zertifizierte Bildungseinheiten z. B. wasserstoffführende Systeme, welche nach bestandener Prüfung und unter den Voraussetzungen der

- einschlägigen berufliche Ausbildung (Berufsausbildung, Studium),
- Berufserfahrung (mit den betreffenden oder vergleichbaren Arbeitsmitteln),
- zeitnahen Tätigkeit im beruflichen Umfeld der Prüfungen.

vom Arbeitgeber zur „Befähigten Person gemäß TRBS 1203“ ernannt werden kann.

• Informationsaustausch mit den Kammern über anstehende Neuerungen in den Ausbildungsberufen des Projektes

Wegen der geringen Zahl von Ausbildungsplätzen für Nutzfahrzeug- oder Landmaschinenmechatroniker in Bayern sieht die IHK Regensburg derzeit keine Notwendigkeit zur Änderung der Ausbildungsrahmenpläne. Die Anpassungen könnten noch in den Rahmen der „Technik-Offenen“ Flexibilität fallen, oder auch durch Weiterbildungen von/über Bildungsträger erfolgen.

Alle drei genannten Ausbildungsberufe, wie auch der Ausbildungsberuf zum Industriemechaniker sind „Technik-Offen“, sodass laut HWK innerhalb der Lehrpläne flexibel Anpassungen an regionale Schwerpunkte, z. B. bei Firmen, bzw. an den aktuellen Bedarf vorgenommen werden können.

• Überbetriebliche Ausbildung zu Wasserstoff (als Zusatzmodul) über Innungen/Kammern in Abstimmung mit dem Landratsamt initiieren

Der Verband des Deutschen Kraftfahrzeuggewerbes kann, bei gegebener Notwendigkeit (wie bei der Hochvolttechnik / E-Auto), Weiterbildungskurse mit relevanten Lerninhalten der Wasserstofftechnik über die Akademie des Deutschen Kraftfahrzeuggewerbes (TAK) zertifizieren.

In einem ersten Schritt würden für diese Kurse die Auszubildenden geschult. Daran anschließend, in weiteren Bildungseinheiten, die Fachkräfte aus den Werkstätten (i.d.R. Gesellen und Meister). Gleichzeitig würden die Ausbildungsinhalte novelliert, sodass entsprechende Inhalte der Wasserstofftechnik fortan schon während der Ausbildung vermittelt würden. Ab dem Einlaufen dieser Novelle würde die Befähigung automatisch mit der bestandenen Facharbeiterprüfung nachgewiesen.

• Kommunikation mit den Projekt-Akteuren bezüglich ausbildungsrelevanter Neuerungen in den betreffenden Berufen und Aufforderung, diese an die Fachverbände weiterzugeben

Hier müssen die Unternehmen tätig werden und ihren Verbänden, Fachverbänden und Sozialpartnern den Wunsch einer Ausbildungsnovellierung mitteilen. Schließen sich genügend (auszubildende) Firmen diesem Änderungswunsch mit den gleichen Novellierungsinhalt an, werden diese i.d.R. durch die Verbände beim Zentralverband des deutschen Handwerks (ZDH) eingereicht und dann die „Ordnungsarbeit“ angestoßen.

Ablauf eines Ordnungsverfahrens



Abbildung 34: Ablauf eines Ordnungsverfahrens [76]

- Bildungsträger / Bildungszentren über die Bildungsmodule informieren und mit Weiterbildungsmodulen betrauen

Prinzipiell können technisch versierte Bildungsträger Module zum Thema Wasserstoff anbieten. Eine spezielle technische Ausstattung ist dabei nicht zwangsläufig erforderlich. Speziell die Bildungseinheit „Grundlagen Wasserstoff“ eignet sich dafür, da die Inhalte ohne Praxisanteile absolviert werden können. Allerdings wäre hierbei ein spannender und interessanter Unterricht, insbesondere für jüngere Menschen, nur schwerlich zu erreichen. Um mit dem Unterricht für Schüler und Jugendliche Interesse für „Mehr“ zu wecken, bedarf es praktischem Anschauungsmaterial oder Schulungsmaterial zum Vorführen oder gar zum selbst zusammenbauen.

Zur Vermittlung der „Grundkenntnisse H₂-Mobilität“ (Anlagen, Industrie, etc.) bedarf es einer Werkstatt und einer Mindestausstattung von Bauteilen, Gassystem, Prüfsystem, ggf. auch H₂-Technik vom Hersteller. Die Unterrichtung kann eine ausbildende Person aus dem Elektro- oder Metallbereich übernehmen, die spezielle Schulungen und/oder Zertifikate nachweisen kann. Beispielhaft kann diese Schulung, in Anlehnung an die Elektrifizierung von Kfz (Hochvolttechnik) von der Akademie des Deutschen Kraftfahrzeuggewerbes (TAK), für Auszubildende und Meister angeboten werden.

Ein Angebot für Wasserstoff-Fachkräfte im Bereich Mobilität bietet derzeit auch der TÜV Süd. Hier werden nach den Richtlinien und Vorschriften des DGUV Qualifizierungen für Arbeiten an Fahrzeugen mit Gasantrieb und oder Hochvolttechnik unterwiesen. Die Unterweisungen beziehen sich auf Entwicklung und Fertigung sowie auf Arbeiten in Servicebetrieben. Diese Kurse können auch zur Multiplikatorenbildung für Schulen und Bildungsträger dienen, welche die Befähigung und Legitimierung zur Unterrichtung bestimmter wasserstoffbezogener Inhalte, auch auf gehobenem technischem Niveau, anbieten. Personelle Voraussetzungen wären dabei die Vorhaltung von Fachkräften oder Verantwortlichen gemäß StVZO § 41a.

6 Öffentlichkeitsarbeit

Die Öffentlichkeitsarbeit für den HyExperts-Prozess des Landkreises NEW fokussierte sich auf die Präsentation des Prozesses und der Ergebnisse dieser zweiten Phase des Projekts *NEW HyPerspectives*. Eines der Ziele war die Erweiterung und Festigung des Kreises von Akteurinnen und Akteuren, die als tragende Organisationen mit sicherstellen, dass die Projektideen einer Machbarkeit zugeführt werden. Um dazu beizutragen, erhielten die bestehenden Projektbeteiligten regelmäßig Informationen. Außerdem wurde die Öffentlichkeit kontinuierlich informiert, um die Akzeptanz in der Bevölkerung für die Realisierung einer regionalen Wasserstoffwirtschaft zu erhöhen. Für all das wurden im Rahmen eines Kommunikationskonzept geeignete Maßnahmen festgelegt sowie umgesetzt. Zudem wurden darüberhinausgehende Handlungsempfehlungen gegeben.

6.1 Kommunikationskonzept / Redaktionsplan

Zielgruppen der Prozesskommunikation

Zunächst wurden die wesentlichen Zielgruppen der Prozesskommunikation identifiziert. Diese sind in erster Linie die H₂-Akteurinnen und -Akteure, die in vier Arbeitsgruppen eingeteilt sind: EE-Erzeugende und Verteilende von regenerativ erzeugtem Strom, H₂-Erzeugende, H₂-Infrastrukturbetreibende und H₂-Anwenderinnen und -Anwender mit den Untergruppen Busse, Lkws und Schwerlastverkehr, Intralogistik und Flurförderfahrzeuge sowie Prozesse, bei denen Erdgas durch H₂ ersetzt wird. Die zweite Gruppe bilden potenzielle Akteurinnen und Akteure, deren Gewinnung zu den vorrangigen Zielen der Projektphase gehört. Angesprochen werden sollten – vorrangig auf regionaler Ebene – weitere Abnehmerinnen und Abnehmer von Wasserstoff (Industriebetriebe, Betreiberinnen und Betreiber größerer Flotten, Speditionen, Energieversorger, Verkehrsunternehmen, größere Handwerksbetriebe), Erzeugende von Wasserstoff, Investoren, Technologiepartnerinnen und -partner sowie weitere Expertinnen und Experten und Netzwerke. Die größte Zielgruppe stellt jedoch die breite Öffentlichkeit dar, die die wirtschaftliche und technologische Entwicklung im Landkreis NEW aus eigenen Interessen – beispielsweise Bildungs- und Berufschancen – aufmerksam verfolgt.

Kommunikationsziele

Wasserstoff als Energieträger der Zukunft in der Region – in der Wirtschaft, im öffentlichen Raum, in Privathaushalten und im Verkehr – zu kommunizieren, war das übergeordnete Ziel der Öffentlichkeitsarbeit. Hierfür wurde die Vernetzung der Akteurinnen und Akteure vorangetrieben sowie der gemeinsame Aufbau von Wissen und der Austausch von Informationen rund um die Wasserstoffwirtschaft begleitet. Die an die breite Öffentlichkeit gerichteten Informationen dienten dazu, diese für das Thema H₂ zu sensibilisieren und insbesondere die Mehrwerte in den Mittelpunkt zu stellen, welche die innovativen Technologien bieten. Ziel hierbei war, in der Bevölkerung mehr Zustimmung zu Wasserstoff-Projekten zu schaffen und Vorbehalte abzubauen.

Positionierung und Kernbotschaften

Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit wurde eine Positionierung der HyExperts-Region Landkreis NEW herausgearbeitet und als Basis für alle Maßnahmen genutzt. Zum einen ging es dabei um die Fokussierung auf die Distribution des erzeugten Wasserstoffs. Ein weiterer Punkt war, dass die Region mit ausreichend Flächen für die Ausweitung von EE-Erzeugung als Basis für grünen Wasserstoff aufwarten kann. Und schließlich wurde ein Schwerpunkt im Bereich der Mobilität gesetzt, da diese für die Dekarbonisierung eine der Hauptrollen spielt und zudem für jede und jeden erlebbar und relevant ist.

Bei den Kernbotschaften für die an alle Zielgruppen gerichtete Kommunikation wurde auf die zurückgegriffen, welche das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) für die HyLand-Initiative erarbeitet hat:

1. NEW ist Wasserstoffregion und verfolgt den Aufbau einer regionalen Wasserstoffwirtschaft.
2. NEW ist Vorreiter – und wirkt als Innovationstreiber im Bereich der Wasserstofftechnologie.
3. NEW hat die Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik, die diese Innovationen erforschen, realisieren und einsetzen werden.
4. NEW vernetzt diese Akteure und ist so ein starker Partner für Wissenschaft und Forschung.
5. NEW bietet Raum und Entwicklungspotenzial für weitere innovative Akteure in diesem und in weiteren Zukunftsbereichen.

Die allgemein-fachliche Botschaft lautet: Wasserstoff ist eine nachhaltige, sichere, regional erzeugbare sowie einsetzbare Zukunftstechnologie.

6.2 Landingpage wasserstoff.new-perspektiven.de

Um allen Zielgruppen fortlaufend die (Zwischen-)Ergebnisse des Prozesses zu präsentieren, wurde eine Landingpage erstellt – mit festen und wechselnden Inhalten. Der Internetauftritt ist vorrangiges und kontinuierliches Informationsmedium und ermöglicht die direkte Kontaktaufnahme neuer interessierter Akteurinnen und Akteure, die den Erfolg der Projekte mit befördern sollen. Da mit der Seite auch neue Akteurinnen und Akteure angesprochen werden sollten, wurde ein Kontaktformular integriert. Zudem dient die Landingpage der Wissensvertiefung mittels externer Links. Weitere Elemente sind unter anderem Antworten auf häufig gestellte Fragen (FAQ), eine anschauliche und kompakte Aufbereitung der wichtigsten Fakten zu Wirtschaft, Wissenschaft, Bildung und Zielen in der HyExperts-Region NEW sowie die Vorstellung der Beteiligten, Konzepte und Projektideen. Ein ständig aktualisierter Newsbereich hielt Besucherinnen und Besucher auf dem Laufenden, was Fortschritte und Meilensteine des NEW-HyPerspectives-Prozesses betrifft. Hier wurden unter anderem Veranstaltungen wie Akteurs-Workshops oder Marktdialoge kommuniziert. Zusätzlich fanden sich Branchennews und Updates zu rechtlichen Neuerungen.

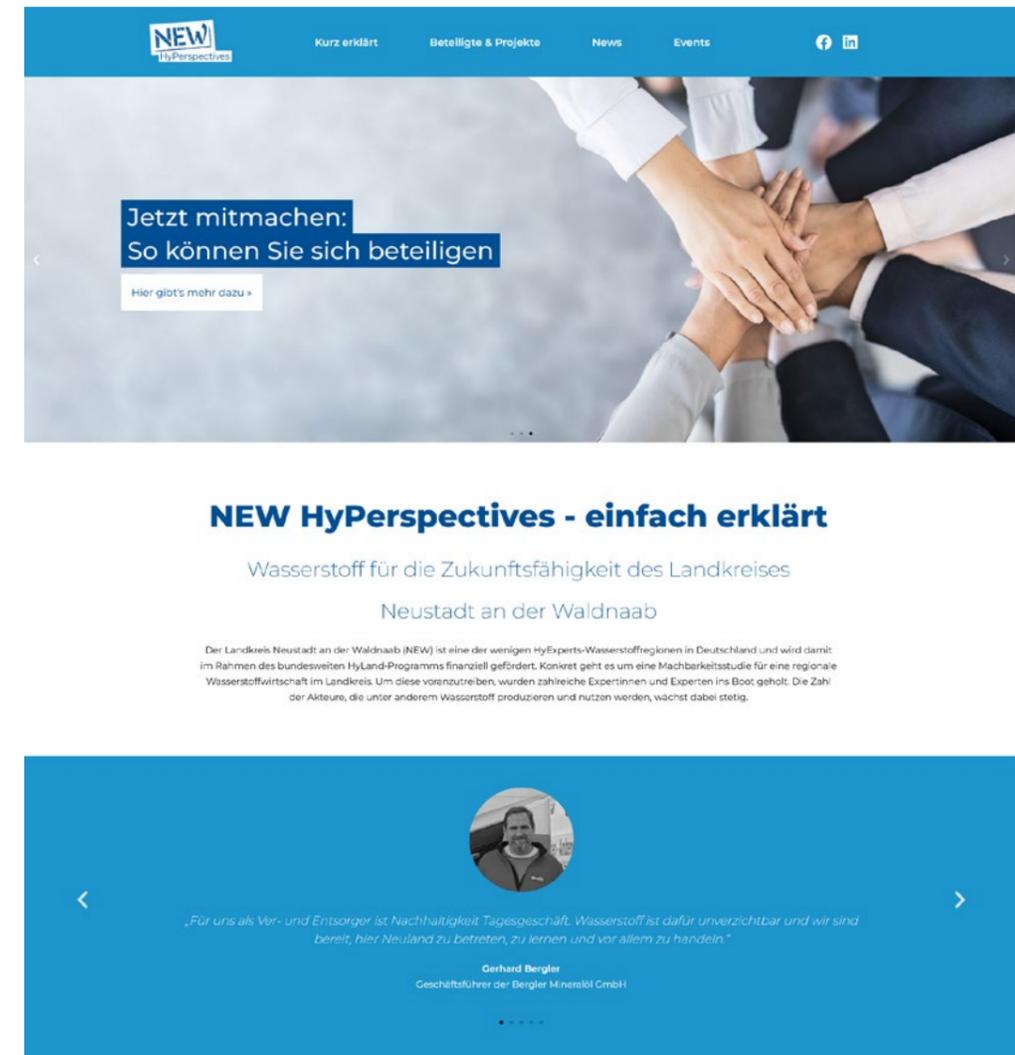


Abbildung 35: Ansicht Landingpage wasserstoff.new-perspektiven.de mit Testimonial

6.3 Newsletter und Presseberichte

Im Rahmen einer Testimonialstrategie wurden H₂-Akteurinnen und Akteure als Botschafterinnen und Botschafter für *NEW HyPerspectives* gewonnen. Sie warben für das Projekt und unterstrichen die H₂-Kompetenz, die sukzessive ausgebaut wurde und weiter ausgebaut werden soll. Präsentiert wurden und werden die Testimonials auf der Landingpage.

Ein zentraler Baustein der Projektkommunikation war der Fachnewsletter für Akteurinnen und Akteure. Damit wurde in etwa monatlich über den aktuellen Stand und Fortschritt beim Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in der Region informiert und es konnten so ständig neue Impulse gesetzt werden. Empfängerinnen und Empfänger erhielten zudem Hintergrundwissen, beispielsweise zu rechtlichen Aspekten von H₂-Projekten. Versendet wurde über das Newsletter-Tool Cleverreach.

Darüber hinaus wurden für die externe Projektkommunikation, basierend auf einem Redaktionsplan, in unregelmäßiger Folge Pressemitteilungen erstellt. Sie enthielten Neuigkeiten rund um das *NEW HyPerspectives*-Projekt, die auch von überregionalem Interesse sind – beispielsweise rund um die einzelnen Projekte und Veranstaltungen. Der Versand der Pressemitteilungen erfolgte ausschließlich über das Landratsamt NEW.

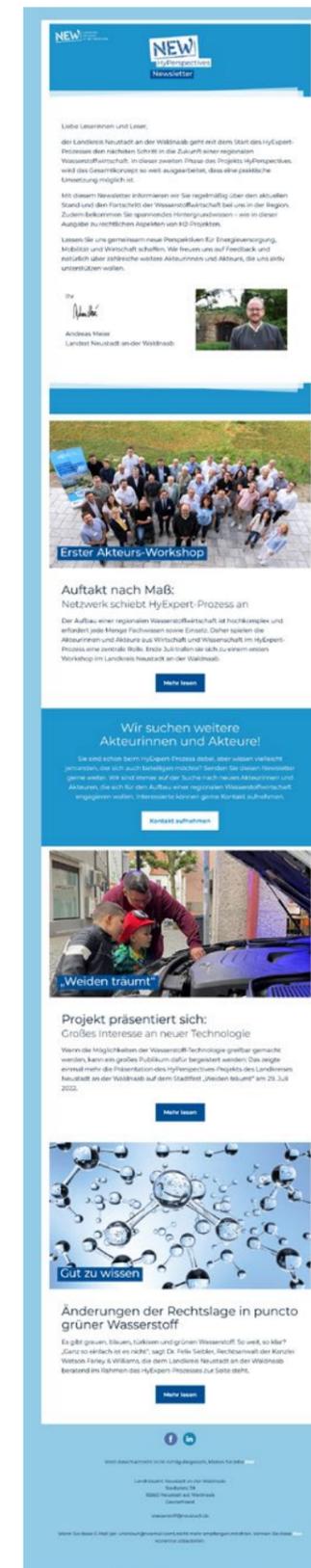


Abbildung 36: Ansicht Newsletter Nummer 1

7 Zusammenfassung und Ausblick

Der Landkreis NEW ist mit dem Projekt „HyPerspectives“ Wasserstoffpionier und wird über die HyLand-Initiative des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr gefördert. Basierend auf einer erfolgreichen HyStarter Phase von 2019 bis 2021 wurden in der anschließenden HyExperts Phase von Juni 2022 bis Mai 2023 die identifizierten Projektideen vertieft und vor dem Hintergrund des übergeordneten Ziels – den Aufbau einer regionalen Wasserstoffwirtschaft – detailliert auf ihre Machbarkeit hin geprüft. Elementarer Bestandteil war die Einbindung der lokalen Akteure im Rahmen von Workshops und Marktdialogen sowie im Rahmen der Datenerfassung als Grundlage für die weiteren Betrachtungen.

Das Projekt war in drei sachlogische Schwerpunkte aufgeteilt, die im Rahmen des Projektverlaufs ineinandergreifend erarbeitet wurden: Dabei handelte es sich zum einen um die gesetzlichen Grundlagen und den regulatorischen Rahmen für die identifizierten Projektideen, der technisch-wirtschaftlichen Bewertung der örtlichen Potentiale und Detailprojekte sowie der Ausarbeitung einer Bildungsstrategie mit Fokus auf handwerklich-technische Berufe. Begleitet wurden diese Maßnahmen durch eine zielgerichtete Öffentlichkeitsarbeit mit der Einrichtung einer Projekt-Landingpage sowie dem Versand eines monatlichen Newsletters.

Das Projekt *NEW HyPerspectives* soll eine anwendungsorientierte Grundlage für den Aufbau einer regionalen Wasserstoffwirtschaft bilden. Nach einem Kick-Off-Workshop mit allen beteiligten Akteuren wurde deshalb der Bedarf an Wasserstoff sowohl im Bereich der Mobilität als auch in der Industrie über einen online Datenerfassungsbogen bestimmt. Parallel wurden weitere Informationen, beispielsweise für die gemeinschaftliche Beschaffung von Wasserstoff Fahrzeugen oder den Fortbildungsbedarf bei Mitarbeitern, identifiziert.

Mit diesen Informationen wurden im Nachgang verschiedene Szenarien für den Wasserstoffhochlauf in der Region NEW erarbeitet. Es zeigt sich, dass für die Versorgung des Landkreises mit Wasserstoff bis zu 7.500 Tonnen Wasserstoff im Jahr 2030 benötigt werden. Damit einher geht ein Ausbaubedarf der erneuerbaren Energien zur bilanziellen Deckung der Wasserstoffbedarfs in Höhe von 300.000 Megawattstunden.

Bezüglich der Ausbaupotentiale an erneuerbaren Energien konnte auf Ergebnisse aus dem digitalen Energienutzungsplan für den Landkreis zurückgegriffen werden. Zusätzlich wurden die Potentiale für Floating-PV-Anlagen untersucht mit dem Ergebnis, das unter Berücksichtigung aller Restriktionen weitere 31 Megawatt an PV-Leistung auf Gewässern in der Region möglich sind. Parallel wurden die regulatorischen Rahmenbedingungen für die Erzeugung von sogenanntem „grünem“ Wasserstoff aus erneuerbaren Energien und die Nutzung von Strom aus sog. „EEG-Altanlagen“ als Grundlage für die weiteren Betrachtungen ausgearbeitet.

Die gesammelten Informationen und Potentiale wurden anschließend basierend auf den örtlichen Gegebenheiten georeferenziert für die Region NEW aufbereitet. Mit den ermittelten Potentialflächen für erneuerbare Energien, Elektrolyseure und Tankstellen wurden Szenarien für die anschließende detaillierte technisch-wirtschaftliche Betrachtung identifiziert.

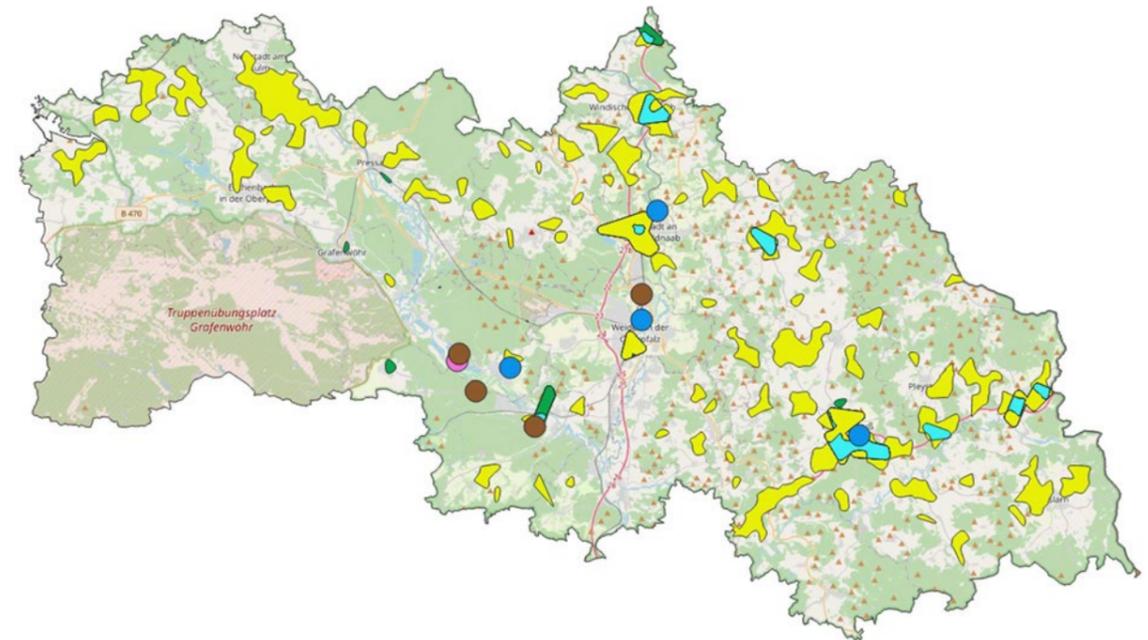


Abbildung 37: Darstellung der ermittelten Potentialflächen für Elektrolyseure, Tankstellen und Standorte der Detailprojekte

Für die Erzeugung von grünem Wasserstoff wurden drei Varianten betrachtet. Für die Erzeugung von sogenanntem orangenem Wasserstoff aus Biomasse (in diesem Fall Bioabfällen) wurden zwei Varianten betrachtet. Je nach Variante wurde angenommen, dass der erzeugte Wasserstoff direkt vor Ort verwendet oder zu einer Tankstelle, beziehungsweise einem weiteren Abnehmer, transportiert wird. Für den Transport wurden, basieren auf den Entfernungen im Landkreis NEW, zwei LKW-Transportszenarien berücksichtigt. Darüber hinaus wurden vier Varianten für den Aufbau einer Wasserstofftankstellen-Infrastruktur in der Region geprüft. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht zu den betrachteten Szenarien und den gewonnenen Ergebnissen wieder.

Tabelle 16: Übersicht der betrachteten Szenarien und der gewonnenen Erkenntnisse im Verlauf der Machbarkeitsstudie.

Priorisierung	Mittelfristig		Langfristig	Kurzfristig	
	Erzeugung aus EE-Strom	Erzeugung aus EE-Strom		Erzeugung aus Biomasse	Erzeugung aus Biogas
H2- Erzeugungsanlagen	Deckung Mobilitätsbedarf von 2030	Deckung Mobilitätsbedarf von 2030	Auslegung nach Sauerstoff mit Wasserstoffnutzung	Substitution grauer Wasserstoff	Wasserstoff direkt aus Biomasse
	Versorgung von (nicht-)öffentlicher Tankstelle	Versorgung von (nicht-)öffentlicher Tankstelle	prozessintern und Tankstelle vor Ort	Versorgung direkt Vor-Ort	Wasserstoff aus Biogas
	AEM-Elektrolyse	AEM-Elektrolyse	SOEC-Elektrolyse	PEM-Elektrolyse	BlueFlux
	-	-	prozessintern (Oxyfuel-Verbrennung)	-	-
	8 MWel	8 MWel	20 MWel	4 MWel	bF H2 10.000
	14,70	14,70	13,50	14,40	5,00
	2 x 400 KW				5,00 bzw. 9,30
H2-Transport					
	Transport 1	Transport 2			
Transportzenario	Belieferung öffentlicher Tankstellenstandort mit Wasserstoff aus Erzeugung 1	Belieferung nicht-öffentlicher Tankstellenstandort mit Wasserstoff aus Erzeugung 1			
Belieferung von	Tankstelle 1 und 4	Tankstelle 2			
Betriebstage d/a	365	250			
Transport	Trailer (500 bar/500 kg)	Trailer (500 bar/500 kg)			
H2-Transportkosten €/kg	2,70	3,20			-

H2-Tankstelle	Tankstelle 1 und 4			Tankstelle 2			Tankstelle 3			
	Öffentliche Tankstelle an zwei betrachteten Standorten	Erweiterung bestehender Tankstelle an Hauptverkehrsachse	Trailer über Elektrolyse Fall 1	Nicht-öffentlich Tankstelle für Firmenflotte	Nähe zu EE-Anlage und industriennaher Standort	Trailer über Elektrolyse Fall 1	Nicht-öffentliche Tankstelle für Firmenflotte	Industrienaher Standort mit eigener H2-Erzeugung und Sauerstoffnutzung		
Tankstellenszenario	500	350 und 700	500	500	350	500	30			
Standortauswahl	365	365	350	350	250	350	350			
Anlieferung	1000	1000	1000	1000	250	1000	1000			
Druckniveau bei Anlieferung in bar	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja			
Druckniveau in bar	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein			
Druckniveau in d/a	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein			
Größe Tankstelle in kg/d	1,3	1,3	0,6	1,8						
Zusätzliche Verdichtung notwendig?										
Zusätzlicher THG-Ertrags möglich?										
H2-Bereitstellungskosten €/kg										

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für den Aufbau einer regionalen Wasserstoffinfrastruktur im Landkreis NEW folgende Schritte notwendig sind:

- Kurzfristig: Substitution der vorhandenen Industrie-Bedarfe an (grauem) Wasserstoff in der Region durch grünen Wasserstoff aus regionaler Erzeugung (Variante 2 Wasserstoffherzeugung): Sofern der Strom in räumlicher Nähe erzeugt und – ohne oder mit nur anteiliger Durchleitung durch das öffentliche Netz – für die Wasserstoffherstellung genutzt werden kann, erscheint in diesem Fall die wirtschaftliche Umsetzung mit entsprechender Förderung am wahrscheinlichsten.
- Kurzfristig: Die Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse sollte grundsätzlich geprüft werden, wobei die Vermarktung von orangem Wasserstoff gegenüber grünem Wasserstoff voraussichtlich schwieriger ist. Grundvoraussetzung für diese technische Möglichkeit ist allerdings, dass die Inputströme für die entsprechenden Technologien geeignet sind. Da die Planungen für eine Bioabfallvergärungsanlage bereits laufen, sollte geprüft werden, ob die anfallenden Bioabfallströme für eine entsprechende Anwendung geeignet sind. Sofern eine Eignung festgestellt wird, sollte zeitnah eine Entscheidung getroffen werden, ob die Wasserstoffherzeugung anstelle der Biomüllvergärung bzw. ergänzend zur geplanten Biomüllvergärung umgesetzt werden kann. Nach derzeitigem Stand kann mit dem vorhandenen Bioabfallpotential eine Wasserstoffmenge von 300-800 Tonnen pro Jahr erzeugt werden. Gesteigert werden könnte dieses Potential evtl. durch das am Standort anfallende Deponiegas. Dies ist jedoch im weiteren Projektverlauf technisch zu prüfen, könnte jedoch einen positiven Synergieeffekt ermöglichen.
- Mittelfristig: Aufbau eines Elektrolyseurs zur Deckung des Wasserstoffbedarfs für den Sektor Mobilität bis 2030 (Variante 1 Wasserstoffherzeugung): In der weiteren Detaillierung sollte der Fokus auf einer Konkretisierung des Elektrolyse- und Tankstellenstandortes liegen, um bestenfalls auf den Trailer-Transport von Wasserstoff verzichten und gleichzeitig die anfallenden Nebenprodukte nutzen zu können. Diese Maßnahme sollte durch eine regional koordinierte und gebündelte Beschaffung von Wasserstofffahrzeugen unterstützt werden, hierfür sollte auf den bestehenden Akteurskreis aufgebaut werden.
- Langfristig: Die Errichtung größerer Wasserstoffherzeugungskapazitäten für die Industrie sollte geprüft werden, um ab Ende der 2020er und zu Beginn der 2030er Jahre den Bedarf bis zu einem möglichen Anschluss an den Hydrogen Backbone (ca. 2030-2035) decken zu können. Zur Überbrückung bietet sich der Aufbau einer industrienahen Wasserstoffherzeugung (Variante 3 Wasserstoffherzeugung) an. Die Vorteile durch die Nutzung entsprechender Nebenprodukte wird in dieser Variante deutlich; bestenfalls können noch weitere Synergieeffekte an potentiellen Industriestandorten identifiziert werden, um die laufenden Kosten zu minimieren und zusätzliche Einnahmen zu erschließen.

Mit dem Ausbau der Wasserstoffherzeugungskapazitäten einhergehen müssen entsprechende Ausbaumaßnahmen für erneuerbaren Energien. Zur bilanziellen Deckung des Strombedarfs in den drei Szenarien werden bis 2030 rund 100 Mio. kWh grüner Strom benötigt. Hierbei spielt auch das Erzeugungsprofil der Stromproduktion eine wichtige Rolle. Dies geht u. a. aus Kapitel 4.2.3.3 hervor. Aus diesem Grund sind EE-Anlagenkombinationen aus mehreren Technologien (z. B. PV und Windkraft) anzustreben.

Die erarbeiteten Ergebnisse verdeutlichen, dass der Aufbau einer regionalen Wasserstoffwirtschaft in der Region NEW gelingen kann. Gleichzeitig machen insbesondere die technisch-wirtschaftlichen Betrachtungen offensichtlich, dass eine koordinierte Vorgehensweise benötigt wird, um die notwendigen Investitionssummen stemmen zu können.

Um den Hochlauf nachhaltig und mit besonders hoher regionaler Wertschöpfung gestalten zu können sollte gleichzeitig mit der Umsetzung der ausgearbeiteten Bildungsstrategie begonnen werden:

Zur langfristigen und nachhaltigen Sicherstellung des Fachkräftebedarfes mit H₂-spezifischen Kenntnissen und Fähigkeiten sollte schon heute mit dem Aufbau einer Bildungsinfrastruktur im Landkreis NEW und darüber hinaus begonnen werden. Da sich aus heutiger Sicht die Bedarfe schon vor 2030 abzeichnen, sollen bereits jetzt die allgemeinbildenden Schulen bis hin zu den Berufsschulen zur zügigen Pilotierung einbezogen werden. Die Schulform sowie das Alter der Schüler/innen muss dahingehend in den Konzepten Berücksichtigung finden um vorwiegend Interesse zu wecken, erste Versuche und praxisnahe Veranstaltungen zu gewährleisten. Weitere Schritte, die einer der vier analysierten Ausbildungen zuzurechnen sind und fachlich immer spezifischer werden, sollten zeitnah initiiert werden. Dazu sollte mit den jeweiligen Sozialpartnern Kontakt aufgenommen werden, um zu klären, wie die wasserstoffrelevanten Ausbildungsinhalte in die Ausbildung einfließen – Stichwort „Technik-Offenheit“. Von einer Novellierung oder der Konzeption neuer Berufsbilder sehen beide Kammern, wie auch das BiBB noch ab, da weder die aktuell zu erwartenden Ausbildungszahlen eine Änderung notwendig machen, noch ein exakter Bedarf in abzusehen ist. Für den Landkreis wäre es daher wichtig, schon jetzt mit den Schulen, den Kammern, den Sozialpartnern und Bildungsträgern verbindliche Schritte einzuleiten und ggf. unterstützend einzugreifen, um gewappnet zu sein, um Vorreiter zu sein – für eine Energiewende, die nicht abzuwenden ist.

Das Ende der HyExperts-Phase soll gleichzeitig den Beginn der Umsetzung der Machbarkeitsstudie einläuten. Hierfür soll in den nächsten Monaten das Akteurs-Netzwerk erweitert und ein zentraler Akteur identifiziert bzw. geschaffen werden, um eine erfolgreiche Antragsstellung in der nächsten Stufe der HyLand-Initiative, dem HyPerformer, zu erreichen.

Neben Fördermitteln für die erforderlichen Investitionen ist, auch um die Hochlaufphase sinnvoll gestalten zu können, eine Verstärkung der Akteursbeteiligung und Intensivierung der Vernetzungsarbeit erforderlich. Die Erweiterung des Akteurskreises in die Tschechische Republik sollte hier einen großen Stellenwert einnehmen. Auch die Verknüpfungspunkte zu anderen HyLand-Regionen in Bayern und Deutschland können hier eine entscheidende Rolle im Sinne einer gemeinschaftlichen Lösung für die anstehenden Aufgaben spielen. Darüber hinaus sollte, aufbauend auf der bereits bestehenden Zusammenarbeit, eine weitere Stärkung der Kooperation beim Aufbau einer regionalen Wasserstoffwirtschaft mit der kreisfreien Stadt Weiden in der Oberpfalz und dem Nachbarlandkreis Tirschenreuth angestrebt werden.

Hierfür sollten weitere Workshops durchgeführt werden, welche insbesondere die Koordination bei der Beschaffung von Wasserstoff-Fahrzeugen und der Wasserstoffherzeugung behandeln. Ergebnis soll eine Priorisierung der betrachteten Maßnahmen sein, mit dem Ziel die der Unterzeichnung von LoIs der zentralen Akteure zur Konkretisierung der weiteren Vorgehensweise.

Notwendig ist, die von zentraler Stelle koordinierter Ausarbeitung eines tragfähigen Geschäftsmodells für alle Beteiligten, um den notwendigen Wasserstoffhochlauf wirtschaftlich und ökologisch auf ein gesundes Fundament stellen zu können. Im Rahmen dessen ist auch die Koordination der notwendigen Fördermittelakquise und die Identifikation von Synergieeffekten voranzutreiben. Bestenfalls können regional etablierte Teilnehmer aus dem Akteurskreis, beispielsweise Energiegenossenschaften oder Energieversorger, eine Führungsrolle übernehmen.

8 Literatur

1. Schmidt A, Epp J, Scheidler V, Steiger P, (Nuts One GmbH) (2021) New HyPerspectives
2. Landkreis Neustadt an der Waldnaab (2023) Regionale Statistiken. <https://www.neustadt.de/landkreis-aktuelles/daten-fakten-zahlen/regionale-statistiken>. Zugegriffen: 15. Mai 2023
3. Datenbank des Bayerischen Landesamtes für Statistik. Bevölkerungszahlen der Gemeinden zum 31.12.2022. https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online?language=de&sequenz=tabellen&selectionname=12411*#abreadcrumb. Zugegriffen: 13. Juni 2023
4. Landkreis Neustadt an der Waldnaab (2014) Kreisentwicklungskonzept 2014 des Landkreises Neustadt an der Waldnaab: Zukunftsstrategien des regionalen Managements und regionalen Marketings
5. Landkreis Neustadt an der Waldnaab (2019) Neuigkeiten Landratsamt. Wie attraktiv ist NEW als Wirtschaftsstandort? LRA startet Unternehmensbefragung. <https://www.neustadt.de/landkreis-aktuelles/neuigkeiten-landratsamt-neustadt-an-der-waldnaab/wie-attraktiv-ist-new-als-wirtschaftsstandort-lra-startet-unternehmensbefragung/>. Zugegriffen: 15. Mai 2023
6. Euregio Egrensis (2023) „(E-) Mobilität verbindet“ - eine Radtour durch das Herz Europas. <https://www.euregioegrensis.de/index.php/de/aktuell-top>. Zugegriffen: 15. Mai 2023
7. Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden (2023) Studiengänge. <https://www.oth-aw.de/studium/studienangebote/studiengaenge/>. Zugegriffen: 15. Mai 2023
8. Naturpark Nördlicher Oberpfälzer Wald (2023) Naturpark. Unser Lebensraum. <https://www.naturpark-now.de/lebensraum.htm>. Zugegriffen: 15. Mai 2023
9. Naturpark Nördlicher Oberpfälzer Wald (2023) Tourismus. Viabono. <https://www.naturpark-now.de/tourismus.htm>. Zugegriffen: 15. Mai 2023
10. Bayerisches Landesamt für Umwelt (2021) Schutzgebiete. Grüne Liste der Naturschutzgebiete in der Oberpfalz. https://www.lfu.bayern.de/natur/schutzgebiete/schutzgebetslisten/doc/nsg_oberpfalz.pdf. Zugegriffen: 15. Mai 2023
11. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2023) Bayerisches Klimaschutzgesetz. <https://www.stmuv.bayern.de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz/index.htm>. Zugegriffen: 15. Mai 2023
12. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2023) Unsere Energiewende: sicher, sauber, bezahlbar. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/energiewende.html>. Zugegriffen: 15. Mai 2023
13. Landkreis Neustadt an der Waldnaab (2022) Digitaler Energienutzungsplan Landkreis Neustadt a. d. Waldnaab
14. Ringer M (2023) Wasserstoff statt Erdgas: Erfolgreicher Test in Waidhaus. <https://www.br.de/nachrichten/bayern/wasserstoff-statt-erdgas-erfolgreicher-test-in-waidhaus,TSdfdVv>. Zugegriffen: 19. Mai 2023
15. Bayerisches Landesamt für Statistik (2021) Verarbeitendes Gewerbe in den kreisfreien Städten und Landkreisen Bayerns 2021. (sowie Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden). korrigierte Fassung vom 10.06.2022. https://www.statistik.bayern.de/mam/produkte/veroeffentlichungen/statistische_berichte/e1111c_202100.xla
16. Landkreis Neustadt an der Waldnaab Neuigkeiten. „www.neustadt.de“. www.neustadt.de
17. Die Bundesregierung (2022) Nationale Wasserstoffstrategie. Wasserstoff - Energieträger der Zukunft. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/wasserstoff-technologie-1732248>. Zugegriffen: 15. Mai 2023
18. Open Energy Tracker Wasserstoff - Installierte Leistung Elektrolyse. <https://openenergytracker.org/docs/germany/hydrogen/>. Zugegriffen: 15. Mai 2023
19. Zweites Deutsches Fernsehen (2023) Ausnahme aber für E-Fuels. EU beschließt Verbrenner-Aus ab 2035. <https://www.zdf.de/nachrichten/politik/eu-abstimmung-verbrenner-zukunft-100.html>. Zugegriffen: 31. Mai 2023
20. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2022) Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge. <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/clean-vehicles-directive.html>. Zugegriffen: 05. April 2023
21. Bundesverband Geothermie (2021) Bibliothek - Lexikon der Geothermie - Brennwert. <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/b/brennwert.html>. Zugegriffen: 06. April 2023
22. NOW GmbH (2022) Genehmigungsleitfaden Wasserstoff-Tankstellen
23. Schmidt T (2022) Wasserstofftechnik. Grundlagen, Systeme, Anwendung, Wirtschaft. Hanser Verlag, München
24. NOW GmbH (2018) Einführung von Wasserstoffbussen im ÖPNV. Fahrzeuge, Infrastruktur und betriebliche Aspekte. https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2018/12/NOW-Broschuere_Wasserstoffbusse-im-OePNV.pdf. Zugegriffen: 06. April 2023
25. NOW GmbH (2021) Leitfaden für Busse mit alternativen Antrieben. <https://www.now-gmbh.de/aktuelles/pressemitteilungen/neue-publikation-der-now-gmbh-leitfaden-fuer-busse-mit-alternativen-antrieben/>. Zugegriffen: 06. April 2023
26. Solaris (2023) Hydrogen. New chapter in electromobility. <https://www.solarisbus.com/en/vehicles/zero-emissions/hydrogen>. Zugegriffen: 06. April 2023
27. Caetano Bus H2.City Gold. Hydrogen in, water out. <https://caetanobus.pt/en/buses/h2-city-gold/>. Zugegriffen: 06. April 2023
28. Wuppertaler Stadtwerke Datenblatt A330 FC. https://www.wsw-online.de/fileadmin/Mobil/Dokumente/Service/WSW_Aktuelles-Wasserstoffbus_A330_Datenblatt.pdf. Zugegriffen: 06. April 2023
29. NOW GmbH (2022) Innovative Antriebe für Busse im ÖPNV: Abschlussbericht sammelt Wissen aus drei Jahren Begleitforschung. <https://www.now-gmbh.de/aktuelles/pressemitteilungen/innovative-antriebe-fuer-busse-im-oepnv-abschlussbericht-sammelt-wissen-aus-drei-jahren-begleitforschung/>. Zugegriffen: 06. April 2023
30. Stadt Heidelberg (2023) Heidelberg setzt wasserstoffbetriebenes Müllfahrzeug ein. Erste Kommune im Rhein-Neckar-Kreis mit emissionsfreier Müllabholung. https://www.heidelberg.de/hd/HD/service/17_03_2023+heidelberg+setzt+wasserstoffbetriebenes+muellfahrzeug+ein.html. Zugegriffen: 24. Mai 2023
31. Gomoll W (2022) Alternative zu Diesel- und Batterie-Brummis. 12 Minuten tanken statt stundenlang laden: Mercedes testet Brennstoffzellen-LKW. https://www.focus.de/auto/neuheiten/die-wuerfel-sind-gefallen-technik-daimler-truck-testet-brennstoffzellen-lkw-mit-fluessigwasserstoff_id_107995514.html. Zugegriffen: 05. Mai 2023
32. Hyundai (2020) Erste Brennstoffzellen-Lkw Hyundai Xcient Fuel Cell kommen nach Europa. <https://www.hyundai.news/de/articles/press-releases/erste-brennstoffzellen-lkw-hyundai-xcient-fuel-cell-kommen-nach-europa.html>. Zugegriffen: 05. Mai 2023
33. Quantron AG QHM FCEV / FCEV AERO. Neue Maßstäbe im schweren Fernverkehr. <https://www.quantron.net/q-truck/q-heavy/qhm-fcev/>. Zugegriffen: 05. Mai 2023
34. Quantron AG QLI FCEV. Brennstoffzellen-Transporter 4,2 t. <https://www.quantron.net/q-truck/q-light/qli-fcev/>. Zugegriffen: 05. Mai 2023
35. Hylane hylane startet erste Nutzfahrzeugvermietung mit Wasserstoff-Lkw in Deutschland. <https://www.hylane.de/hylane-startet-erste-nutzfahrzeugvermietung-mit-wasserstoff-lkw-in-deutschland/>. Zugegriffen: 05. Mai 2023
36. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2020) Herstellung von Wasserstoff nach Produktionsprozess in Deutschland im Jahr 2020. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1194793/umfrage/produktion-von-wasserstoff-nach-prozess/>. Zugegriffen: 16. Mai 2023

37. Agora Energiewende Klimaneutrales Deutschland (Anhang) Version 1.2. <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-datenanhang/>. Zugegriffen: 15. Mai 2023
38. European Hydrogen Backbone The European Hydrogen Backbone (EHB) initiative. <https://ehb.eu/#mission>. Zugegriffen: 19. Mai 2023
39. DVGW (2023) DVGW-Studie belegt: Deutschlands Gasleitungen sind bereit für Wasserstoff. <https://www.dvgw.de/der-dvgw/aktuelles/presse/presseinformationen/dvgw-presseinformation-vom-28032023-forschungsbericht-staehle-h2ready>. Zugegriffen: 19. Mai 2023
40. Pausch A (2023) Erfolgreicher Versuch mit Wasserstoff in der Verdichterstation Waidhaus. <https://www.onetz.de/deutschland-welt/waidhaus/erfolgreicher-versuch-wasserstoff-verdichterstation-waidhaus-id3905373.html>. Zugegriffen: 19. Mai 2023
41. Madsen HT (2022) Water treatment for green hydrogen: what you need to know. <https://hydrogentechworld.com/water-treatment-for-green-hydrogen-what-you-need-to-know>. Zugegriffen: 22. Mai 2023
42. Brinner A (2013) Elektrolyse – Basics III. Funktionsprinzip der elektrochemischen Wasserspaltung (Elektrolyse)
43. Geitmann S, Augsten E (2021) Wasserstoff und Brennstoffzellen. Die Technik von gestern, heute und morgen, 4. Aufl. Hydrogeit Verlag, Oberkrämer
44. Smolinka T, Wiebe N, Sterchele P, Palzer A, Franz Lehner MJ, Kiemel S, Mieke R, Wahren S, Zimmermann F (2018) Studie IndWEDe: Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme. Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie – NOW GmbH, Berlin
45. Zösch N (2023) Präsentation Sonne, Wind & Mehr, Haßfurt
46. Neugebauer R (Hrsg) (2022) Wasserstofftechnologien. Fraunhofer-Forschungsfokus. Springer Vieweg, Wiesbaden
47. Zignani SC, Lo Faro M, Carbone A, Italiano C, Trocino S, Monforte G, Arico AS (2022) Performance and stability of a critical raw materials-free anion exchange membrane electrolysis cell. *Electrochimica Acta* 413
48. MethQuest (2021) Die Gruppe für elektrochemische Katalyse-, Energie- und Materialwissenschaften (ECEMS) an der TU Berlin stellt sich vor. <https://www.methquest.de/partner/portraits/detail/artikel/die-tub-stellt-sich-vor/>
49. BtX Energy GmbH (2023) Präsentation Bio-to-X - Wasserstoff aus Biogas
50. BtX Energy GmbH BioH2Ref. Dezentrale Wasserstoffaufbereitung von Biogas durch Dampfreformierung - Ein BMWi-gefördertes Verbundvorhaben. <https://btx-energy.de/projekte/bioh2ref/>
51. Indeloop Ltd. (2022) Indeloop: A visual identity that has made a full circle. <https://bruketa-zinic.com/2022/08/18/a-visual-identity-that-has-made-a-full-circle/>. Zugegriffen: 31. Mai 2023
52. Concord Blue Engineering GmbH Erneuerbarer Wasserstoff. Nachhaltige Energieträger für eine grünere Zukunft. <https://www.concordblue.de/>. Zugegriffen: 31. Mai 2023
53. Haffner Energy Über uns. <https://www.haffner-energy.com/about-us/?lang=en>. Zugegriffen: 31. Mai 2023
54. Diermann R (2022) Green Hydrogen Technology startet Pilotanlage für Wasserstoff aus Klärschlamm, Kunststoff- und Holzabfällen. <https://www.pv-magazine.de/2022/11/07/green-hydrogen-technology-startet-pilotanlage-fuer-wasserstoff-aus-klaerschlamm-kunststoff-und-holzabfaellen/>. Zugegriffen: 31. Mai 2023
55. Green Hydrogen Technology (2022) Grüner Wasserstoff: Jetzt, lokal, günstig. Industrielle Herstellung von grünem H2 aus Klärschlamm und Abfall
56. Hochschule Kaiserslautern Waste2Value. Mikroorganismen verändern die Westpfalz. <https://w2v-rlp.de/>. Zugegriffen: 31. Mai 2023
57. H2 News Wasserstoffreiches Synthesegas aus Klärschlamm. <https://h2-news.eu/gassektor/wasserstoffreiches-synthesegas-aus-klaerschlamm/>. Zugegriffen: 31. Mai 2023
58. Fraunhofer UMSICHT (2022) Fraunhofer UMSICHT. Overview TCR-Technology. Converting biobased residues into next generation biofuels
59. Kuhn M (2022) Decarbonised hydrogen from waste – a regulatory framework to climate neutrality. In: DVGW (Hrsg) energie | wasser-praxis kompakt. PYROLYSIS. Potential and possible applications of a climatefriendly hydrogen production, Oktober 2022, S 32–35
60. TerraNovaEnergy (2016) TerraNova Ultra. Klärschlammverwertung statt teurer Entsorgung
61. Pyreg GmbH (2021) Broschüre PYREG Biomass
62. HTCycle Innovation. Research. Sustainability. <https://htcycle.ag/>. Zugegriffen: 31. Mai 2023
63. HTCycle (2021) HTCycle. Weltmarktführer in der Hydrothermalen Carbonisierung
64. blueFLUX Energy AG blueFLUX Prozess. <https://www.bluefluxenergy.com/de/prozess>. Zugegriffen: 30. Mai 2023
65. Honsel G (2021) Wasserstoff aus Biomüll: Start-up hat neues Verfahren entwickelt. <https://www.heise.de/hintergrund/Wasserstoff-aus-Biomuell-Start-up-hat-neues-Verfahren-entwickelt-6131286.html>. Zugegriffen: 08. Juli 2021
66. Haffner Energy (2022) Haffner Energy Launches a New Roll-Out Phase of Its Hynoca® Technology. <https://www.businesswire.com/news/home/20220531005894/en/Haffner-Energy-Launches-a-New-Roll-Out-Phase-of-Its-Hynoca%C2%AE-Technology>. Zugegriffen: 30. Mai 2023
67. Stadtwerke Speyer GmbH (2021) BHYO und IGATEC mit Pilotprojekt an der Kläranlage Speyer. <https://www.speyer-kurier.de/kuriere/wirtschafts-kurier/artikel/bhyo-und-igatec-mit-pilotprojekt-an-der-klaeranlage-speyer>. Zugegriffen: 30. Mai 2023
68. Sporrer M (2023) Bioabfallvergärung Nordoberpfalz
69. Reuter B, Faltenbacher M, Schuller O, Whitehouse N, Whitehouse S (2017) New Bus ReFuelling for European Hydrogen Bus Depots. Guidance Document on Large Scale Hydrogen Refuelling, Leinfelden-Echterdingen
70. H2 MOBILITY Deutschland GmbH Co. KG Unsere Wasserstoffpreise an H2 MOBILITY Wasserstofftankstellen. <https://h2-mobility.de/>. Zugegriffen: 22. Mai 2023
71. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022) Nationale Wasserstoffstrategie. Wissenswertes zu Grünem Wasserstoff. <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/kurzmeldungen/de/wissenswertes-zu-gruenem-wasserstoff.html>. Zugegriffen: 31. Mai 2023
72. acatech, DECHEMA (2022) Wasserstoff im Mobilitätssektor, Berlin
73. Agora Energiewende (2021) Klimaneutrales Deutschland 2045 (Datenanhang). Software & Daten, Version: 1.0. <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-2045-datenanhang/>. Zugegriffen: 31. Mai 2023
74. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021) Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende
75. Dispan J (2021) Branchenanalyse Kraftfahrzeuggewerbe. Digitale Transformation, Technologiewandel und Beschäftigungstrends in Autohäusern und Kfz-Werkstätten. Working Paper Forschungsförderung
76. Bundesinstitut für Berufsbildung (2021) Infografik. Wie eine Ausbildungsordnung entsteht. https://www.bibb.de/images/sidebar/a2_ordnungsverfahren_ablauf.jpg. Zugegriffen: 31. Mai 2023

9 Abkürzungsverzeichnis

AdA	Ausbildung der Ausbilder, Ausbilderschein
AEL	Alkalische Elektrolyse
AEM	Anion Exchange Membrane Electrolyses
AP	Arbeitspaket
BauBG	Baugesetzbuch
BayKlimaG	Bayerisches Klimaschutzgesetz
BEV	Battery electric vehicle
BHKW	Blockheizkraftwerk
BiBB	Bundesinstitut für Berufsbildung
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr (ehem. BMVI)
BtX	Biomass to X
CCfD	Carbon Contracts for Difference, Klimaschutzdifferenzverträge
CET	Clean Energy Transition
CGH ₂	Komprimierter Wasserstoff
CO _{2e}	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
CVD	Clean Vehicles Directive
DA	Delegated Act

DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
E-Fuel	Electrofuel (mittels elektrischer Energie erzeugter synthetischer Kraftstoff)
EHB	European Hydrogen Backbone
EMN	Europäische Metropolregion Nürnberg
ENP	Energienutzungsplan
EuGH	Europäischer Gerichtshof
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
FuE	F&E, Forschung und Entwicklung
GIS	Geoinformationssystem, Geographic Information System
HD	Hochdruck
HRS	Hydrogen Refueling Stations
IfE	Institut für Energietechnik GmbH
ISB	Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LEP	Landesentwicklungsprogramm

LH ₂	Flüssiger Wasserstoff
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carrier
MD	Mitteldruck
MEGAL	Mittel-Europäische Gasleitung
ND	Niederdruck
NEW	Landkreis Neustadt an der Waldnaab
NIP2	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie GmbH
NWN	Nahverkehrsgemeinschaft Weiden-Neustadt
ÖA	Öffentlichkeitsarbeit
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OTH	Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
PEM	Proton Exchange Membrane - Elektrolyse
PM	Projektmanagement
POI	Point of Interest, Ort von spezifisch erhöhtem Interesse
PPA	Power Purchase Agreement
PSA	Pressure Swing Adsorption, Druckwechseladsorption

PtG, PtL	Power-to-Gas, Power-to-Liquid
PtH	Power-to-Heat
PtJ	Projekträger Jülich
PV	Photovoltaik
RDE	Real Driving Emission
RED II	Renewable Energy Directive II
RW	Raumwärme
SOEC	Solid Oxide Elektrolyzer Cell, Hochtemperatur-Festoxid-Elektrolysezelle
TCR	Thermo-Catalytic-Reforming
THG	Treibhausgas
TM	Trockenmasse
TRL	Technology Readiness Level
TS	Trockensubstanz
ÜBZO	Überbetriebliches Bildungszentrum in Ostbayern
WtW	Well-to-wheel (Zyklus-Betrachtung Bohrloch zu Rad)
WW	(Trink-)Warmwasser
zGM	Zulässige Gesamtmasse
ZOB	Zentraler (Omni-)Busbahnhof

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Veranstaltung im Rahmen der vertieften Akteursbeteiligung	11
Tabelle 2: Roadmap der Clean Vehicles Directive, eigene Darstellung nach [20].....	40
Tabelle 3: Übersicht Busse für ÖPNV [26–28].....	43
Tabelle 4: Übersicht LKW und Nutzfahrzeuge für Logistik und Industrie [31–34].....	46
Tabelle 5: Stromgestehungskosten Floating-PV.....	58
Tabelle 6: Variantenbeschreibung der H ₂ -Erzeugung mittels Elektrolyse.....	65
Tabelle 7: Wirtschaftlichkeit der H ₂ -Erzeugung mittels Elektrolyse.....	66
Tabelle 8: Marktübersicht Technologien Biomasseverwertung [49–64].....	69
Tabelle 9: Ergebnisse der H ₂ -Erzeugung mittels blueFLUX und BtX.....	76
Tabelle 10: Belieferungsszenarien der Tankstellen.....	81
Tabelle 11: Darstellung möglicher Tankstellenszenarien.....	83
Tabelle 12: Analyse der Berufsbilder „KFZ Mechatroniker Nutzfahrzeugtechnik“ und „Land- und Baumaschinenmechatroniker“.....	92
Tabelle 13: Analyse des Berufsbildes des „Anlagenmechanikers für Sanitär, Heizung- und Klimatechnik“.....	93
Tabelle 14: Analyse des Berufsbildes des „Industriemechanikers“.....	93
Tabelle 15: Darstellung des Bildungskonzepts.....	96
Tabelle 16: Übersicht der betrachteten Szenarien und der gewonnenen Erkenntnisse im Verlauf der Machbarkeitsstudie.....	112

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufteilung der Akteure in die Bereiche der Wasserstoff-Wertschöpfungskette	11
Abbildung 2: Darstellung des finalen Projektplans für NEW HyPerspectives	14
Abbildung 3: Wärmebedarf der einzelnen Verbrauchergruppen im Jahr 2019 im Landkreis NEW [13] ..	16
Abbildung 4: Anteil der Energieträger an der Wärmebereitstellung im Jahr 2019 im Landkreis NEW [13].....	16
Abbildung 5: Erdgasversorgte Kommunen im Landkreis NEW [13].....	17
Abbildung 6: Strombedarf der einzelnen Verbrauchergruppen im Jahr 2019 im Landkreis NEW [13] ..	18
Abbildung 7: Strombezug und Stromeinspeisung nach Energieträger im Jahr 2019 im Landkreis NEW [13].....	18
Abbildung 8: Ermittelte Potenziale erneuerbarer Energien im Jahr 2019 im Landkreis NEW [13].....	19
Abbildung 9: Potenzialflächen Windkraft und Freiflächen-PV im Landkreis NEW [13].....	20
Abbildung 10: Bahnstrecken und Bahnhöfe im Landkreis NEW [13].....	21
Abbildung 11: Speditionen im Landkreis NEW [13].....	22
Abbildung 12: Schematische Darstellung des ÖPNV im Landkreis NEW [13].....	23
Abbildung 13: Tankstellen im Landkreis NEW [13].....	24
Abbildung 14: Potenzialflächen für Elektrolyseurstandorte	36
Abbildung 15: Ergebnislayer für bewertete Elektrolyseur-Potenzialflächen (gelb = bedingt geeignet; grün = gut geeignet).....	37
Abbildung 16: Flächenspezifische Darstellung der Ergebnislayer für bewertete Elektrolyseur-Potenzialflächen gelb = bedingt geeignet, grün = gut geeignet).....	38
Abbildung 17: Ergebnislayer: Potenzialflächen verschnitten.....	39
Abbildung 18: H ₂ -Absatzpotenzial Mobilität ab 2025 im Landkreis NEW	48
Abbildung 19: Aufteilung der erfassten Energieträger im Landkreis NEW.....	50
Abbildung 20: Wasserstoffhochlaufkurve in der Mobilität für den Landkreis NEW bis 2045.....	52
Abbildung 21: Wasserstoffhochlaufkurve der Industrie für den Landkreis NEW bis 2045.....	53
Abbildung 22: Beispielhafte Floating-PV-Anlage auf der Gewässeroberfläche eines ehemaligen Sandabbaugebiets in der Oberpfalz. Quelle: IfE GmbH / Patrick Dirr	56
Abbildung 23: (Bedingt) geeignete Potenzialflächen Floating-PV (grün = Flächen > 8 ha, rot = < 2 ha; schraffiert = Bergbaugebiet)	57
Abbildung 24: 1,25 MWel PEM-Elektrolyseur (links) mit Wasseraufbereitung (rechts) beim realen Betrieb in der Stadt Haßfurt [45].....	62
Abbildung 25: Verfahrensschema blueFLUX [64].....	71
Abbildung 26: Verfahrensschema BtX Energy [49].....	73
Abbildung 27: Inputmengen der Co-Substrate in der Vergärungsanlage Nordoberpfalz [68].....	74
Abbildung 28: Wasserstoffgestehungskosten der Erzeugungsvarianten im Vergleich.....	77
Abbildung 29: Kernkomponenten einer HRS nach [69].....	79
Abbildung 30: Ergebnislayer der H ₂ -Tankstellen Potenzialflächen (gelb = bedingt geeignet, grün = gut geeignet).....	82
Abbildung 31: Wasserstoffkosten (netto) an Tankstellenstandorten.....	85
Abbildung 32: Potentieller Wasserstoffverbrauch 2025 bis 2045 mit Fokus Verkehr [72].....	94
Abbildung 33: Möglicher Fachkräftebedarf für brennstoffzellenbetriebene Nutzfahrzeuge über 3,5 t in den Jahren 2025 bis 2050 für Gesamtdeutschland (eigene Berechnungen) [73–75]	94
Abbildung 34: Ablauf eines Ordnungsverfahrens [76].....	103
Abbildung 35: Ansicht Landingpage wasserstoff.new-perspektiven.de mit Testimonial.....	107
Abbildung 36: Ansicht Newsletter Nummer 1.....	109
Abbildung 37: Darstellung der ermittelten Potentialflächen für Elektrolyseur, Tankstellen und Standorte der Detailprojekte	111

12 Anhang

Zur Landingpage:



13 Impressum

Herausgeber

Landkreis Neustadt an der Waldnaab
Stadtplatz 38
92660 Neustadt an der Waldnaab
vertreten durch Landrat Andreas Meier

Projektleitung

Landkreis Neustadt an der Waldnaab
Sachgebiet 15 | Kreisentwicklung, Wirtschaftsförderung, Naturpark
Barbara Mädl, Stefan Härtl, Nathalie Büttner (wasserstoff@neustadt.de)

Verantwortlich für den Inhalt

Institut für Energietechnik (IfE) GmbH
Kaiser-Wilhelm-Ring 23a
92224 Amberg
ifeam.de

Titelbild und Rückseite

©Alexander Limbach-stock.adobe.com

Layout

OM Netzwerk GmbH
Weigelstraße 16
92637 Weiden
om-netzwerk.de

Druck

Druckerei Stock GmbH
Marienplatz 35
92676 Eschenbach



Landkreis
Neustadt
an der Waldnaab

Sachgebiet 15 | Kreientwicklung, Wirtschaftsförderung, Naturpark
Stadtplatz 38
92660 Neustadt an der Waldnaab
Telefon +49 9602 79 1510
Telefax +49 9602 79 97 1510
www.neustadt.de