

HyStarter Region Ostallgäu

Unser Weg zur Wasserstoffregion





Stadt



Kaufbeuren



Wasserstoffmodellregion
Ostallgäu



Herausgeber

Landkreis Ostallgäu

Kreisfreie Stadt Kaufbeuren

Gemeinde Fuchstal

Projektleitung

Landkreis Ostallgäu

Klimaschutzbeauftragter

Johannes Fischer (Johannes.Fischer@lra-oal.bayern.de)

Stadt Kaufbeuren

Wirtschaftsförderung, Marketing, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Büro des Oberbürgermeisters

Peter Igel (peter.igel@kaufbeuren.de)

Gemeinde Fuchstal

Geschäftsstellenleiter

Gerhard Schmid (schmid@vgem-fuchstal.de)



Stadt



Kaufbeuren



Unter Beteiligung von

Dorr GmbH & Co. KG, Erdgas Schwaben GmbH, Fernwärme Marktoberdorf GmbH, Georg Jos. Kaes GmbH, Hoerbiger, IHK Schwaben, iwis smart connect GmbH, Lechwerke AG, LENA Service GmbH, Maschinenring Ostallgäu GmbH, Spedition Ansorge GmbH & Co. KG, Vereinigte Wertach-Elektrizitätswerke GmbH



Maschinenring
Ostallgäu



Autoren

Verantwortlich:

Patrick Steiger und Anke Schmidt (Nuts One GmbH)

Unter Mitarbeit von:

Dr. Frank Koch und Frederik Budschun (EE ENERGY ENGINEERS GmbH)

Laura Wienpahl, Tim Röpcke und Ciara Dunks (Reiner Lemoine Institut)

Nikolas Beneke, Dr. Hanno Butsch, Shaun Pick, Fabian Rottmann und David Siegler (Becker Büttner Held Consulting AG)

Stand: Oktober 2021

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

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	vi
Abkürzungsverzeichnis	vi
Grußwort	1
Zusammenfassung	2
1. Die Region Ostallgäu wird HyStarter-Region	3
2. Unsere Ausgangslage & Motivation	5
2.1 Energie- und klimapolitische Ziele stärken	5
2.2 Nachhaltige Entwicklung von Industrie und Tourismus fördern	12
2.3 Wasserstoff: Potenziale für Bayern und die HyStarter-Region nutzen	13
3. Vision und Ziele einer regionalen Wasserstoffwirtschaft Ostallgäu für das Jahr 2030	17
4. Unsere Handlungsansätze	20
4.1 Wasserstoff-Erzeugung	21
4.2 Wasserstoff-Verteilung	31
4.3 Wasserstoff-Einsatz in der Logistik	33
4.4 Wasserstoffherzeugung aus (biogenen) Reststoffen für Müllsammelfahrzeuge	41
4.5 Wasserstoff in der Energieversorgung ländlicher Gemeinden	46
4.6 Stoffliche Nutzung von Wasserstoff in der Industrie	50
4.7 Weitere diskutierte Projektansätze	52
5. Fahrplan zur Umsetzung des Zielsystems	59
5.1 Planungsphase: Planungs- und Umsetzungshorizont 2021 / 2022	60
5.2 Demonstrationsphase: Planungs- und Umsetzungshorizont ab 2023	61
5.3 Skalierungsphase: Regionale Wasserstoffwirtschaft ab 2028	62
6. Unterstützungsbedarfe	63
7. Reflektion und Ausblick	64
Anhang	66
Anhang 1: Übersicht der regionalen HyStarter-Akteure	66
Anhang 2: Offener Brief an Wirtschaftsminister Altmaier	70
Anhang 3: Wasserstoff-Marktmodelle	74

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Die neun HyStarter Wasserstoff-Regionen in Deutschland (2019 - 2021), © NOW GmbH ..3	
Abbildung 2 Energieträger Strom Ostallgäu 2017 (Quelle: Landratsamt Ostallgäu)	6
Abbildung 3 Energieträger Wärme Ostallgäu 2016 (Quelle: Landratsamt Ostallgäu)	9
Abbildung 4 Energieträger Verkehr Ostallgäu 2016 (Quelle: Landratsamt Ostallgäu)	10
Abbildung 5 Entwicklung der Wasserstoffnutzung in verschiedenen Anwendungsbereichen (Quelle © BMVI/BBHC)	13
Abbildung 6 Pfade der Wasserstoffherzeugung (© BMVI/BBHC)	15
Abbildung 7 Visualisierung der regionalen Wasserstoffwirtschaft der HyStarter-Region Ostallgäu (©BMVI/David Borgwardt)	17
Abbildung 8 Entwickelte Projektansätze in der HyStarter-Region Ostallgäu (Eigene Darstellung: © HyStarter-Region Ostallgäu/Nuts One, Kartegrundlage: © 2021 GeoBasis-DE/BKG (© 2009), Google)	20
Abbildung 9 Erzeugungsweg Elektrolyse-Wasserstoff (© Stadtwerke Esslingen)	22
Abbildung 10: Energie-/Stoffströme in der Elektrolyse (© BMVI/BBHC).....	22
Abbildung 11: Erlöse der Elektrolyseprodukte (© BBHC)	23
Abbildung 12 Sensitivität der Wasserstoffgestehungskosten in Abhängigkeit der Volllaststunden (© BBHC).....	24
Abbildung 13 Sensitivität der Volllaststunden eines Elektrolyseurs in Abhängigkeit der Leistungsverhältnisse (© BBHC)	25
Abbildung 14: Mögliche Strompreisbestandteile für Elektrolyseure (2021) (© BBHC)	27
Abbildung 15: Wege der EEG-Umlagereduzierung (© BBHC).....	27
Abbildung 16: Anforderungen an eine Befreiung der EEG-Umlage nach § 69b (© BBHC)	28
Abbildung 17: Strombezugskosten für Elektrolyseure in verschiedenen Konstellationen (© BBHC)	29
Abbildung 18: Wasserstoffgestehungskosten in der Elektrolyse in den Jahren 2020 und 2030 (© BMVI/BBHC)	30
Abbildung 19 H2-Straßentransport (Quelle: Shell Studie, 2017)	32
Abbildung 20: Minimale Wasserstofftransportkosten in Abhängigkeit von Durchsatz und Transportdistanz	32
Abbildung 21 Wasserstoffmarge an der Tankstelle und Tankstellenkosten (© BMVI/BBHC).....	37
Abbildung 22 Schematische Darstellung des simulierten Technologiekonzepts PV-Tankstelle- LKW (© HyStarter-Region Ostallgäu/Reiner-Lemoine-Institut).....	38
Abbildung 23 blueFLUX H2 - grüner Wasserstoff aus biologischen Reststoffen (© blueFLUX Energy AG)	42
Abbildung 24: Schematische Darstellung des simulierten Technologiekonzepts der blueFLUX Anlage ((© HyStarter-Region Ostallgäu/Reiner-Lemoine-Institut)).....	44
Abbildung 25: Energie-/Stoffströme in der Dampfreformierung von (Bio-)Methan (© BMVI/BBHC)	56
Abbildung 26: Wasserstoffgestehungskosten in der Dampfreformierung von Biomethan für zwei Anlagengrößen (© BMVI/BBHC).....	57
Abbildung 27 Zeitplan zur Umsetzung des regionalen Handlungsansätze ((C) HyStarter-Region Ostallgäu/Nuts One).....	59
Abbildung 28 Die HyStarter-Akteure beim 6.Dialog in Kaufbeuren © Stadt Kaufbeuren	65
Abbildung 29 Marktmodell: Basic (© BMVI/BBHC)	74
Abbildung 30: Marktmodell: Advanced (© BMVI/BBHC)	75
Abbildung 31: Marktmodell: Sorglos (© BMVI/BBHC).....	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wege und Anforderungen zur Stromsteuerbefreiung für Elektrolyseure (© BBHC) 29

Abkürzungsverzeichnis

CCfD	Carbon Contracts for Difference
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CVD	Clean Vehicle Directive
BBHC	Becker Büttner Held Consulting
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BZ	Brennstoffzelle
CAPEX	Investitionsausgaben (engl. Capital expenditure)
CH ₄	Methan
CVD	Clean Vehicles Directive
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
Fa.	Firma
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (Brennstoffzellenfahrzeug)
FT	Fuss (engl. Feet)
H ₂	Wasserstoff
H2.B	Zentrum Wasserstoff Bayern
HRS	Hydrogen Refueling Station (HRS)
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LK	Landkreis
MHKW	Müllheizkraftwerk
MW	Megawatt



Stadt



Kaufbeuren



Wasserstoffmodellregion
Ostallgäu

NIP	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NOW	Nationale Organisation für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
O ₂	Sauerstoff
OPEX	Betriebskosten (engl. operational expenditure)
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PEM	Proton Exchange Membrane
PV	Photovoltaik
RLI	Reiner Lemoine Institut
SOFC	Festoxidbrennstoffzelle (engl. solid oxide fuel cell)
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
STMUV	Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
STMWI	Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Grußwort



Liebe Leserinnen und Leser,

mit dem nun vorliegenden HyStarter-Konzept macht die Wasserstoffmodellregion Ostallgäu einen weiteren Schritt hin zur stärkeren Nutzung von Wasserstoff als Energieträger. Die hierfür angetretenen Kommunen Landkreis Ostallgäu, Stadt Kaufbeuren und Gemeinde Fuchstal hatten sich alle als Wasserstoffregion beworben, da jede Einzelne über gute Grundvoraussetzungen für Erzeugung und Nutzung von grünem Wasserstoff verfügt: Der Landkreis Ostallgäu zeichnet sich durch einen sehr hohen Anteil an erneuerbaren Energien aus, die Gemeinde Fuchstal betreibt eigene Bürgerwindanlagen sowie ein Nahwärmenetz und in Kaufbeuren findet Wasserstoff bereits gewerblichen Einsatz. Die Zusammenarbeit aller drei Kommunen eröffnet künftig erfolgsversprechende Perspektiven für viele im neuen Netzwerk agierende regionale Firmen. Nach der Arbeit an diesem Konzept können wir unisono sagen: Der Wasserstoff ist in Zeiten einer fortschreitenden Klimakrise ein absolut zukunftssträchtiger Energieträger – sein konkreter Einsatz ist stark ausbaufähig und im Detail mit vielen Herausforderungen verbunden. Das gleichwohl überaus Positive: Wir gehen mit diesem Konzept und dem entstandenen Netzwerk gute Schritte voran, um die Chancen von Wasserstoff zu nutzen und für Probleme Lösungen zu finden. Dazu gilt es beispielsweise zu erkennen, wo und wie Wasserstoff wirklich sinnvoll in der Region eingesetzt werden kann.

Das Konzept trägt zur bereits gelegten Saat bei, dass sich die umsetzbare und zukunftsweisende Wasserstofftechnologie in der Region Bahn brechen kann. Unser Ziel ist es, beim Aufschwung von Wasserstoff von Anfang an dabei zu sein und einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

Im folgenden Schritt wird mit dem HyExpert-Prozess der nächste wichtige Meilenstein in Richtung der konkreten Umsetzung, beispielsweise im Bereich der Nutzfahrzeuge wie Bus oder LKW, anvisiert.

Sicher ist: Die Wasserstoffmodellregion Ostallgäu ist ganz klar gewillt, voranzuschreiten und dieser wertvollen Technologie weiter auf die Sprünge zu helfen. Denn: Die längste Reise beginnt mit den ersten Schritten.



Maria Rita Zinnecker
Landrätin



Stefan Bosse
Oberbürgermeister



Erwin Karg
Bürgermeister

Zusammenfassung

Die vorliegende Konzeptstudie ist die Zusammenfassung eines intensiven Austauschprozesses über die Potenziale und Herausforderungen beim Einsatz von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in der Region Ostallgäu. Die HyStarter Region mit dem Landkreis Ostallgäu, der kreisfreien Stadt Kaufbeuren und der Gemeinde Fuchstal sieht zusammen mit einer Vielzahl bedeutender Akteur*innen aus der Region in den Technologien einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der regionalen Energie- und Verkehrswende.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) geförderten HyStarter-Projektes wurde ein regionaler Akteurskreis aufgebaut, der im Laufe von zwölf Monaten die Potenziale und Grenzen der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien diskutierte und Handlungsansätze für die Region entwickelt hat.

Als übergeordnete Ziele sind dabei die Stärkung der regionalen Wertschöpfung und die möglichst CO₂-neutrale Erzeugung des Wasserstoffs zu nennen. Neben der Wasserelektrolyse mit Photovoltaik-Strom stellt die Nutzung biogener Reststoffe im blueFLUX-Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff einen Kern der entwickelten Handlungsansätze dar.

Der regional erzeugte Wasserstoff soll primär im Mobilitätsbereich und insbesondere in der Logistik Anwendung finden. Mit mehreren namhaften Unternehmen aus der Region ist dieses Thema stark besetzt. Kern der Projektideen stellt die Wasserstofferzeugung über die Elektrolyse mit PV-Strom und seine Nutzung als Kraftstoff für Brennstoffzellen-LKW dar. Perspektivisch soll auch beim ÖPNV, dem SPNV und bei kommunalen Nutzfahrzeugen der Einsatz von Wasserstoff eine Rolle spielen.

Neben der Mobilität wurden ebenfalls Projektansätze diskutiert, welche Wasserstoff-Anwendungen im Bereich der Wärme- und Energieversorgung von ländlichen Quartieren vorsehen sowie die Erzeugung und stoffliche Nutzung von grünem Wasserstoff in der Industrie.

Das Ende der HyStarter-Arbeiten bildet gleichzeitig den Beginn der weiteren umsetzungsorientierten Arbeit der Akteure in der Region. Hierfür wurden bereits vielfältige Anstrengungen unternommen, die darin mündeten, dass unter dem Namen HyAllgäu*-Bodensee ein Antrag für eine HyExpert-Förderung beim Bundesverkehrsministerium eingereicht und im September 2021 bewilligt wurde. Zudem wird das regionale Akteursnetzwerk mit Unterstützung des Landratsamtes Ostallgäu, der Stadt Kaufbeuren, der Gemeinde Fuchstal und der IHK Schwaben weiter fortgeführt.

1. Die Region Ostallgäu wird HyStarter-Region

Im September 2019 wurde die Region Ostallgäu als eine von neun HyStarter-Regionen ausgewählt (vgl. Abbildung 1). Die HyStarter-Regionen bilden die erste Stufe des Dachprogramms „HyLand“ – Sektorenkopplung mit Wasserstoff. Diese werden von der Nationalen Organisation für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) GmbH und dem Projektträger Jülich (PTJ) begleitet und vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) beauftragt. Das dreistufige HyLand-Programm soll bei der Sensibilisierung für das Thema Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien und der initialen Organisation der Akteurslandschaft unterstützen (HyStarter), die Erstellung von integrierten Konzepten und tiefgehenden Analysen finanzieren (HyExperts) sowie die Beschaffung von Anwendungen und die Umsetzung von Konzepten fördern (HyPerformer).



Abbildung 1 Die neun HyStarter Wasserstoff-Regionen in Deutschland (2019 - 2021), © NOW GmbH

Die HyStarter-Region Ostallgäu besteht aus dem Landkreis Ostallgäu, der kreisfreien Stadt Kaufbeuren und der Gemeinde Fuchstal im oberbayerischen Landkreis Landsberg am Lech, die jeweils eine eigenständige Bewerbung eingereicht hatten und sich während des Auswahlprozesses zusammengeschlossen haben. Alle drei Akteure sind im Bereich der erneuerbaren Energien stark aufgestellt und möchten die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien als weiteren Baustein in ihre Energie- und Verkehrswendeaktivitäten aufnehmen. Mit dem HyStarter-Projekt wurde die regionale Vernetzung aller für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft relevanten Akteure verfolgt, das eigene Wissen zur Technologie und deren Einsatzmöglichkeiten gestärkt sowie umsetzungsfähige Wasserstoff-Projekte initiiert, die mit lokalen Strukturgewinnen und langfristiger Arbeitsplatzsicherung mit örtlicher Wertschöpfung einhergehen sollen.

Über einen Zeitraum von zwölf Monaten (Oktober 2020 – Oktober 2021) wurden sechs Strategiedialoge mit einem regionalen Akteurskreis durchgeführt, um das Thema Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien zu diskutieren und konkret auf die Region zugeschnittene Handlungsansätze zu entwickeln. Im Zuge der Konzeptentwicklung wurden die Potentiale, die Chancen und die Grenzen der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien zur Beschleunigung einer auf erneuerbaren Energien basierenden, sektorengekoppelten Energiewirtschaft identifiziert und quantifiziert sowie geeignete Systemlösungen zur Umsetzung entwickelt. Die Diskussionen wurden in einem von den Initiatoren ausgewählten Kernteam geführt und münden als Ergebnis in diesem Bericht. Die Region wurde von der Nuts One GmbH inhaltlich und organisatorisch unterstützt und vom gesamten HyStarter-Projektkonsortium bestehend aus Spilett new technologies (Projektleitung HyStarter), Reiner-Lemoine-Institut (RLI), Becker Büttner Held Consulting (BBHC) und EE Energy Engineers fachlich begleitet.

In Vorbereitung des Dialogprozesses wurde ein Kick-off-Treffen mit den Initiatoren (Landratsamt Ostallgäu, Stadt Kaufbeuren und Gemeinde Fuchstal) durchgeführt. Der erste Dialog wurde auf Wunsch der Akteure als größere Veranstaltung mit über 40 Personen in der Kreisstadt Marktoberdorf durchgeführt, um die breite Fachöffentlichkeit über das Projekt zu informieren und in thematischen Workshops mögliche Anknüpfungspunkte zu identifizieren. Als Ergebnis der ersten Veranstaltung wurde ein offener Brief an Bundeswirtschaftsminister Altmaier verfasst, in welchem regulative Änderungen zum erfolgreichen Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in der Region dargestellt wurden. Nach einer Interessensabfrage und gemäß der Präferenzen der Initiatoren wurden im Anschluss die Auswahl des Kernteams für die weitere Dialogteilnahme zusammengestellt.

Begleitend zum Dialogprozess wurden Tiefeninterviews mit allen Teilnehmenden geführt sowie bilaterale Abstimmungen mit einzelnen Akteuren. Aufgrund der Corona-Pandemie konnten nur der erste und der sechste Dialog in Präsenz durchgeführt werden. Um für eine stärkere und verbindlichere Vernetzung der Akteure zu sorgen, wurden zusätzlich mehrere themenspezifische Online-Fachaustausche angeboten, bei denen unter anderem auf unterschiedliche Technologien in der Wasserstoffherzeugung eingegangen wurde oder von Erfahrungen aus Wasserstoff Modellvorhaben berichtet wurde. Die Teilnehmer am Dialogprozess erhielten keine Vergütung durch das HyStarter-Projekt, sondern haben aus eigenem Engagement und individueller Motivation teilgenommen.

Neben den HyStarter-Initiatoren Landratsamt Ostallgäu, der Stadt Kaufbeuren und der Gemeinde Fuchstal waren folgenden Akteure Teil des HyStarter-Kernteams:

Aus dem Bereich der Energieversorgung waren *Erdgas Schwaben GmbH*, die *Lechwerke AG* und die *Vereinigte Wertach-Elektrizitätswerke GmbH* beteiligt, die allesamt eine nachhaltige Energieversorgung verfolgen. Die *LENA Service GmbH* berät und projektiert im Bereich erneuerbare Energien in Kommunen, Quartieren und Unternehmen. Die *Dorr GmbH & Co. KG* ist ein Entsorgungsunternehmen und sowohl potenzieller Erzeuger als auch Verbraucher von Wasserstoff in ihrer Fahrzeugflotte. Die *iwis smart connect GmbH* ist als Spezialist für elektrische Verbindungstechnik sowohl für Automotive- als auch Non-Automotive-Anwendungen wie im PV-Bereich tätig. *HOERBIGER ist weltweit im Energiesektor, in der Prozessindustrie, in der Automobilindustrie, in der Maschinenbauindustrie und der Sicherheitstechnik tätig.* Das Handelsunternehmen *Georg Jos. Kaes GmbH* ist neben der Erzeugung von Wasserstoff anhand ihrer PV-Anlagen am Einsatz des Wasserstoffs in der Logistik interessiert. Auch die *Spedition Ansorge GmbH & Co. KG* zeigt Interesse am Einsatz von BZ-Fahrzeugen in der Logistik. Weiterhin wird der Akteurskreis durch den *Maschinenring Ostallgäu GmbH* unterstützt, der u.a.

Landwirte vernetzt und durch die *IHK Schwaben*, die Akteure aus der Wirtschaft, u.a. zum Thema Wasserstoff, begleitet. Weiterhin wurde der Kreis themenbezogen durch die *Fernwärme Marktoberdorf GmbH* unterstützt.

2. Unsere Ausgangslage & Motivation

Der Landkreis Ostallgäu liegt im Südosten des bayrischen Regierungsbezirks Schwaben, reicht bis zur österreichischen Grenze und gehört gleichzeitig zur Metropolregion München. Der Landkreis (141.907 Einwohner*innen)¹ setzt sich aus 45 Kommunen² zusammen, von denen sich 34 Kommunen zu 10 Verwaltungsgemeinschaften³ zusammengefügt haben. Er umschließt die kreisfreie Stadt Kaufbeuren (44.662 Einwohner*innen)⁴ wodurch eine hohe Verflechtung zwischen diesen beiden Räumen besteht. Die Gemeinde Fuchstal (4.035 Einwohner*innen)⁵ liegt im Landkreis Landsberg am Lech und grenzt östlich an den Landkreis Ostallgäu. Bis 1972 war sie Teil des Altlandkreises Kaufbeuren.

Die HyStarter-Region Ostallgäu ist dünn besiedelt und hat eine starke landwirtschaftliche Tradition. Die Wirtschaftsstärke der Region wird durch eine Vielzahl an mittelständischen und international bedeutenden Unternehmen wie Maschinenbau- und Fahrzeug- bzw. Traktorenhersteller, Papier- und Wellpappeherstellern und Unternehmen der Lebensmittelindustrie geprägt. Der Tourismus spielt mit rund 4 Mio. Übernachtungen und geschätzten weiteren 4 Mio. Tagesgästen jährlich eine ebenso wichtige Rolle in der landschaftlich reizvollen Region mit Königsschlössern - wie dem weltberühmten Schloss Neuschwanstein - oder der mittelalterlichen Stadt Kaufbeuren. Zudem gibt es sechs Naturschutzgebiete und 18 Landschaftsschutzgebiete mit Voralpenseen, Felspyramiden und Hochlagen-Moorlandschaften in den Alpen.

Die Region Ostallgäu ist Vorreiter im Umwelt- und Klimaschutz und der Nachhaltigkeit verpflichtet. Sie verfügt über zahlreiche erneuerbare Energien-Anlagen. Der Landkreis Ostallgäu ist eine von 27 staatlich anerkannten Öko-Modellregion in Bayern, in denen neue regionale Wertschöpfungsketten für Bioprodukte geschaffen und das Bewusstsein für die regionale Identität gestärkt werden.⁶ Der Landkreis wurde zudem als Pilotregion für regenerative Antriebe auf der Schiene vom Freistaat Bayern benannt.

2.1 Energie- und klimapolitische Ziele stärken

Im November 2020 hat der Bayerische Landtag ein Klimaschutzgesetz mit einem Zehn-Punkte-Plan verabschiedet, der auf den drei Säulen der Klimapolitik des Freistaats basiert: Minderung des Treibhausgas-Ausstoßes in Bayern, Anpassung an die Folgen des Klimawandels und verstärkte Forschung zu Umwelt- und Klimaschutz. Neben Maßnahmen und Empfehlungen für Kommunen, sind

¹ Stand 12/2020: [Genesis Online-Datenbank des Bayerischen Landesamtes für Statistik Tabelle 12411-001 Fortschreibung des Bevölkerungsstandes: Gemeinden, Stichtage \(letzten 6\)](#)

² mach! 2019. Das Statistikheft zum Wirtschaftsstandort Ostallgäu | 2019

³ Landkreis Ostallgäu (<https://www.landkreis-ostallgaeu.de/280.html> | 2019)

⁴ Stand 12/2020: [Genesis Online-Datenbank des Bayerischen Landesamtes für Statistik Tabelle 12411-001 Fortschreibung des Bevölkerungsstandes: Gemeinden, Stichtage \(letzten 6\)](#)

⁵ Stand 12/2020: [Genesis Online-Datenbank des Bayerischen Landesamtes für Statistik Tabelle 12411-001 Fortschreibung des Bevölkerungsstandes: Gemeinden, Stichtage \(letzten 6\)](#)

⁶ Landkreis Ostallgäu (<https://www.landkreis-ostallgaeu.de/oekomodellregion.html>)

diese auch auf die Stärkung der Alltagskompetenz der jungen Generation in Sachen Klimaschutz ausgelegt. Im Fokus stehen dabei 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.⁷

Für den Landkreis Ostallgäu und die Stadt Kaufbeuren wurde mit Unterstützung des Bayerischen Landesamts für Umwelt ein Klimaanpassungskonzept erarbeitet. Dies soll insbesondere die vielfältige Ausgangslage der Region mit ihren Höhendifferenzen (Alpen und Voralpenland), unterschiedlichen Böden, Vegetation und Landnutzung und ihrer Vulnerabilität gegenüber Klima- und Umweltveränderungen berücksichtigen. Das Ostallgäu ist der erste Landkreis in Bayern, der sich umfassend mit dem Thema Klimaanpassung auseinandersetzt und dieses konkret auf die lokale Ebene überträgt.⁸

Energieversorgung

Im Landkreis Ostallgäu werden jährlich rund **788.000 MWh Strom** verbraucht (vgl. Abbildung 2). Fast der gesamte Strom (95 %) wird erneuerbar erzeugt (in Gesamtbayern nur 36%)⁹.

Energieträger Strom Ostallgäu 2017

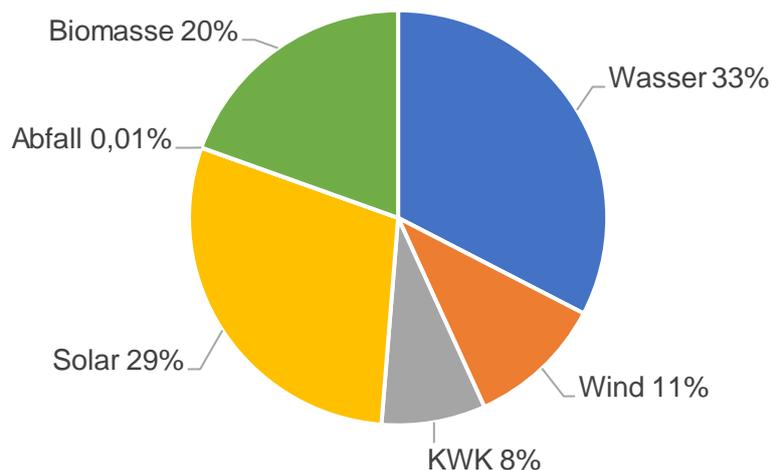


Abbildung 2 Energieträger Strom Ostallgäu 2017 (Quelle: Landratsamt Ostallgäu)

Diese Werte liegen sowohl über Landes- als auch Bundesdurchschnitt und machen Ostallgäu hinsichtlich regenerativer Energieerzeuger zu einem der Vorreiter.

Der Landkreis Ostallgäu hat 2008 mit einer Klimaschutzresolution¹⁰ Ziele für die Klimawende der Region definiert. So soll zukünftig eine 100% Versorgung des Landkreises mit erneuerbaren Energien durch erhöhten und alleinigen Einsatz von regenerativen Energien gewährleistet werden sowie alle

⁷ STMUUV Bayern (<https://www.stmuv.bayern.de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz/index.htm>)

⁸ Landkreis Ostallgäu (<https://www.landkreis-ostallgaeu.de/9438.html>)

⁹ Bundesnetzagentur 2020

¹⁰ Landkreis Ostallgäu (<https://www.landkreis-ostallgaeu.de/617.html>)

Entscheidungen des Landkreises mit Blick auf Klimaauswirkungen geprüft werden. Die Region möchte sich ebenfalls als CO₂-neutrale und umweltgerechte Urlaubsregion etablieren. Aufbauend auf die Klimaresolution wurde 2012 der Masterplan Energiezukunft 2020¹¹ aufgestellt, um für verschiedene gesellschaftliche Bereiche Ziele und Maßnahmen zu definieren. Diese beinhalteten u.a. Maßnahmen zu nachhaltigem Bauen und Sanieren, zur Mobilität, zum Ausbau erneuerbarer Energien und zur Energieeffizienz. Der Masterplan wird 2021 fortgeschrieben und aktualisiert. Um nachhaltige Energiekonzepte im Landkreis unterstützen zu können, wurde die Initiative ‚Energiezukunft Unternehmen‘ in Zusammenarbeit der Allgäu GmbH mit den Landkreisen und kreisfreien Städten der Region Allgäu sowie der IHK Schwaben und Handwerkskammer für Schwaben etabliert. Die Umsetzung fand durch das Energie- und Umweltzentrum Allgäu (eza!) bzw. ECA Concept statt. Ziel der Initiative ist eine gezielte Energieberatung für KMUs und eine Förderung eines Effizienznetzwerks für Unternehmen. Zweiteres soll eine Energieeffizienz durch freiwillige Maßnahmen der Unternehmen steigern. Auch wurde eine kostenlose Energieberatung eingeführt. In mittlerweile 14 Gemeinden und 2 Verwaltungsgemeinschaften bestehen solche Vor-Ort-Beratungsstellen für Bürgerinnen und Bürger. Diese können sich auch direkt bei eza! beraten lassen.

Die Stadt Kaufbeuren hat in den vergangenen Jahren zwei CO₂-Bilanzen erstellen lassen. Die Treibhausgas-Emissionen lagen 2016 demnach mit 8,0 t CO₂-Äquivalenten pro Einwohner unter dem bundesdeutschen Durchschnitt von 11,0 t CO₂-Äquivalenten pro Einwohner. Etwa die Hälfte der gesamten Treibhausgas-Emissionen sind wirtschaftlichen Aktivitäten (Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistung) zuzuordnen.

Zum bereits erwähnten Klimaanpassungskonzept setzt die Stadt Kaufbeuren eine Vielzahl von Maßnahmen um, die dem Klimaschutz dienen. Dazu zählen die energetische Ertüchtigung der städtischen Liegenschaften, Nahwärmenetze für öffentliche Gebäude, Umbau der Straßenbeleuchtung auf energiesparende Systeme, Ausbau der Ladeinfrastruktur für E-Mobilität, Förderung des nicht-motorisierten Individualverkehrs durch Ausbau von Rad- und Fußwegen sowie Stärkung und Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs, um nur einige Beispiele zu nennen.

Konkret saniert die Stadt Kaufbeuren beispielsweise das Jakob-Brucker-Gymnasium aus den 1970er Jahren im Energie-Plus-Standard mit einer Gesamtinvestitionssumme von 25 Mio. €. Das Projekt wird von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt und im Rahmen eines Bundesforschungsprojekts als eines von bundesweit sieben Modellvorhaben gefördert.

Die Gemeinde Fuchstal ist ebenfalls Vorreiter in Hinblick auf erneuerbare Energien und erzeugt mit Bürgerwindkraftwerken (12MW), Photovoltaik-Anlagen (2MW)¹², einem Biogas-BHKW (750kW_{el}) und einem Kleinstwasserkraftwerk (15kW) etwa doppelt so viel erneuerbar erzeugten Strom, wie (ohne Wärme und Verkehr) in der Gemeinde verbraucht wird. Durch KWK und ein Wärmenetz findet in Fuchstal bereits Sektorenkopplung statt: Dies wird im Rahmen eines Projekts zur Nationalen Klimaschutzinitiative mit einem Wärmespeicher, einem Power-to-Heat-Modul und ein Batteriespeicher realisiert, um überschüssigen, regenerativ erzeugten Strom regional nutzen zu können. Eine

¹¹ Landkreis Ostallgäu (https://www.landkreis-ostallgaeu.de/fileadmin/landkreis/klimaschutz/Ziele_und_Ma%C3%9Fnahmen/Masterplan.pdf)

¹² <https://www.solar-monitoring.net/>

Erweiterung um 3 Bürgerwindenergieanlagen (12,6MW) und ein zusätzliches Niedertemperatur-Wärmenetz ist geplant.

Der Arbeitskreis Energie (AKE) ist eine Initiative einiger Gemeinderäte und beschäftigt sich mit den Themen Energie und Klimaschutz. Sowohl Gemeinderatsmitglieder als auch Bürger können und sollen im Arbeitskreis mitgestalten¹³. Als Ziele¹⁴ werden u.a. die Entwicklung eines kommunalen Handlungsprogramms auf dem Energiesektor, kommunales Energiemanagement, der Aufbau einer zukunftsfähigen Energieerzeugung in Fuchstal zur Stärkung der heimischen Wertschöpfung und CO₂-Reduktion als auch die öffentliche Bewusstseinsbildung betreffend Energiesparen und dem Einsatz erneuerbarer Energieträger genannt. Zudem können Fuchstaler Ökostrom aus ihren Bürgerenergieanlagen via FuXstrom beziehen.¹⁵

Im Bereich der Wärmeversorgung werden allein im Landkreis Ostallgäu jährlich rund 2.368.000 MWh Wärme verbraucht. Etwa ein Viertel der Wärmeversorgung erfolgt durch erneuerbare Energien, insbesondere Biomasse (vgl. Abbildung 8). Hier besteht noch erheblicher Bedarf hinsichtlich des Ausbaus erneuerbarer Kapazitäten bzw. der Reduzierung des Gesamtverbrauchs, um die größtenteils auf fossiler Energie beruhende Wärmeversorgungen klimafreundlicher zu gestalten. In der HyStarter-Region besteht zudem keine flächendeckende Gasnetzinfrastruktur, weshalb der Aufbau dezentraler Strukturen für die Wärmeversorgung mitgedacht werden soll. Sowohl für die Strom- als auch die Wärmeversorgung gilt neben der Nutzung erneuerbarer Energien die Energieeffizienz und Einsparung als Ziel.

¹³ Gemeinde Fuchstal (2021) (https://www.fuchstal.de/pvd8oy3wcgbjfuchstal-cms_extract.l112312.html?BUTTON_REC_ID=112312)

¹⁴ Gemeinde Fuchstal (2021) (https://www.fuchstal.de/pvd8oy3wcgbjfuchstal-cms_extract.l112314.html?BUTTON_REC_ID=112314)

¹⁵ Gemeinde Fuchstal (2021) (https://www.fuchstal.de/hptjwcid8m0gfuchstal-cms_extract.l121026.html?BUTTON_REC_ID=121026)

Energieträger Wärme Ostallgäu 2016

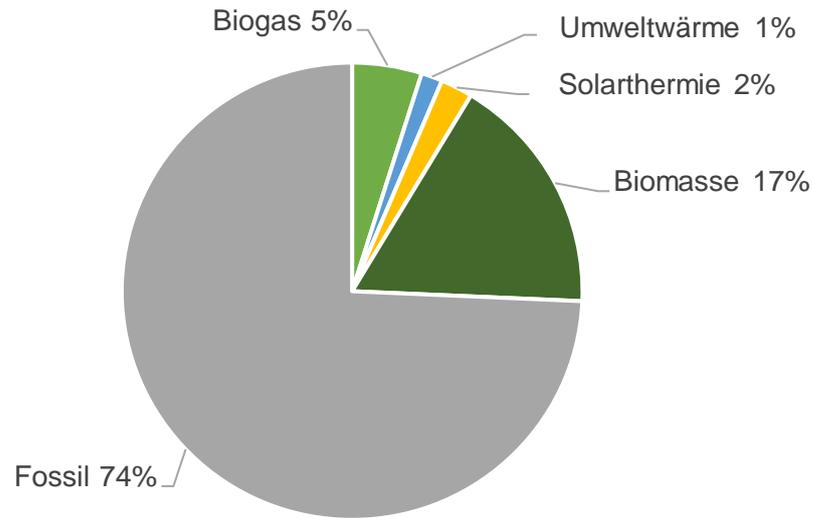


Abbildung 3 Energieträger Wärme Ostallgäu 2016 (Quelle: Landratsamt Ostallgäu)

Verkehr

Für den Verkehr werden im Landkreis Ostallgäu rund 1.170.000 MWh benötigt. Der Anteil erneuerbarer Energien liegt bei rund 5 % (vgl. Abbildung 4). Weitere Maßnahmen zur Dekarbonisierung sind hier unerlässlich. Neben einer Effizienzsteigerung und eines Antriebwechsels wird ebenfalls die Reduktion des motorisierten Individualverkehrs (MIV) angestrebt. Mit einer PKW-Dichte von 647,8 PKW pro 1.000 Einwohner*innen (Stand 2020) liegt der Landkreis Ostallgäu ebenso wie der Landkreis Landsberg am Lech (Gemeinde Fuchstal) mit 679,3 PKW pro 1.000 Einwohner*innen deutlich über dem bayrischen (616,9) und gesamtdeutschen Durchschnitt (573,7). Lediglich die kreisfreie Stadt Kaufbeuren liegt mit 565,6 PKW pro 1.000 Einwohner*innen darunter.¹⁶ Die Abhängigkeit vom PKW in gering besiedelten Gegenden ist bekannt, dennoch soll eine Minderung des MIV, auch im Tourismus angestrebt werden.¹⁷

¹⁶ Statistische Ämter des Bundes und der Länder (<https://regionalatlas.statistikportal.de/>)

¹⁷ https://www.landkreis-ostallgaeu.de/fileadmin/landkreis/klimaschutz/Ziele_und_Ma%C3%9Fnahmen/Masterplan.pdf

Energieträger Verkehr Ostallgäu 2016

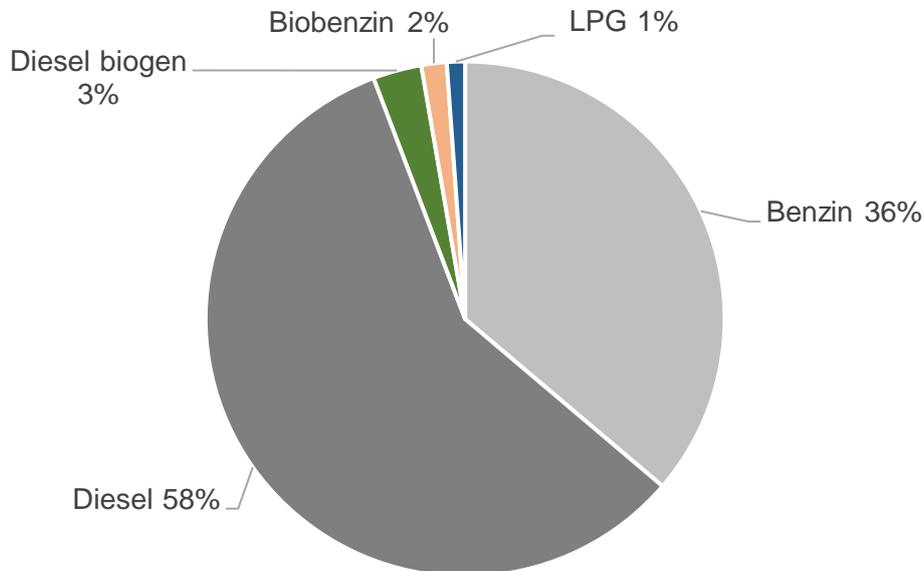


Abbildung 4 Energieträger Verkehr Ostallgäu 2016 (Quelle: Landratsamt Ostallgäu)

Die PKWs in der HyStarter-Region von Einwohner*innen und Tourist*innen werden überwiegend mit fossilen Kraftstoffen betrieben. Um den Anteil erneuerbarer Energien und damit der Elektromobilität zu fördern, wurden in den Landkreisen Ostallgäu und Landsberg am Lech sowie in der Stadt Kaufbeuren verschiedene Maßnahmen zum Aufbau einer Ladeinfrastruktur und zur Fahrzeuganschaffung vorgenommen.¹⁸ So wurde in einem Kaufbeurer Innenstadtparkhaus im Jahr 2021 die größte Ladestelle für E-Autos im Allgäu in Betrieb genommen.

Weiterhin spielt die Stärkung des ÖPNV und SPNV eine wesentliche Rolle, um den MIV zu reduzieren. Die Stadt Kaufbeuren hat dazu beispielsweise einen eigenen kostenlosen City Bus erprobt, der Bahnhof, Busbahnhof sowie Einkaufszentren mit der Altstadt verbunden hat.

Die Stadt Kaufbeuren und der Landkreis Ostallgäu haben aktuell ihren Nahverkehrsplan fortgeschrieben. Wesentliche Ziele darin sind weitere Taktverdichtungen und Serviceverbesserungen für Kunden*innen. Bereits zuvor im Jahr 2019 haben die Gebietskörperschaften im Rahmen einer Fahrgastoffensive die Preise im ÖPNV für ABO-Kunden um bis zu 33 % gesenkt. Durch die Doppelstruktur in Kaufbeuren mit einem Zentrum Altstadt und einem Zentrum Neugablonz werden unter Abbildung des Bahnhofes schon heute sehr gute Taktichte im ÖPNV erreicht.

Die Nutzung des Schienenverkehrs in der Region soll durch zusätzliche Bahnhalte gestärkt werden. Allein im Stadtgebiet Kaufbeuren sollen zwei neue Bahnhalte entstehen.

¹⁸ Landkreis Ostallgäu (<http://klimaschutz-ostallgaeu.de/9347.html>)

Die Struktur des öffentlichen Nahverkehrs wird im Landkreis Landsberg am Lech durch Buslinien der Landesberger Verkehrsgemeinschaft sowie der Regionalbus Augsburg GmbH durchgeführt.¹⁹ Vier weitere Linienbusunternehmen bilden eine Verkehrskooperation, die Ostallgäuer Verkehrsgemeinschaft (OVG), welche den Nahverkehrsraum des Landkreises Ostallgäu und der Stadt Kaufbeuren beinhalten.²⁰ Der ÖPNV wird in der gesamten HyStarter-Region durch Anrufsammeltaxis (AST) ergänzt.^{21,22} Im südlichen Landkreis wird der ÖPNV für Urlaubsgäste kostenlos angeboten, diese Leistung wird mit einer Umlage auf die Gästeübernachtungen refinanziert. Hierdurch können mehrere Hunderttausend MIV-Personenkilometer jährlich eingespart werden.

Seit 2015 setzt sich der Landkreis für alternative Antriebstechniken auf der (bislang stark dieselgeprägten) Schiene ein. Ein Ministerratsbeschluss zur Bayrischen Elektromobilitätsstrategie (BESS) 2018 lautet, dass testweise ein Regionalzug mit LOHC-Technik (Liquid organic hydrogen carriers) im Ostallgäu fahren müsse. Dieser Prototyp sei jedoch noch in der Entwicklung, wodurch der erste Test erst Mitte der 2020er Jahre erfolgen könne.²³ Ab 2023 sind Testfahrten und ab 2024 ist ein Probebetrieb des Mireo Plus H (Siemens Mobility) im Netzbetrieb der Bayerischen Regionbahn (BRB) zwischen Augsburg und Füssen für 30 Monate geplant.²⁴ Ein erster Brennstoffzellen-Testzug (Coradia iLint) ist im September 2021 in Kaufbeuren gefahren.

Ein weiterer relevanter CO₂-Emittent sind die Logistikverkehre im Landkreis Ostallgäu. 5.599 LKW und 15.694 Zugmaschinen sind dort zugelassen.²⁵ Da die Straßengüterverkehre in Deutschland fast ausschließlich mit Dieselfahrzeugen erbracht werden, wird in diesen Fahrzeugsegmenten erwartet, dass der Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen erhebliche CO₂- und NO₂-Minderungspotenziale mit sich bringt²⁶.

¹⁹ Gemeinde Fuchstal (https://www.fuchstal.de/wjnkez5p2qlxfuchstal-cms_extract.l106477.html?BUTTON_REC_ID=106477)

²⁰ Landkreis Ostallgäu (<https://www.buerger-ostallgaeu.de/oepnv.html>)

²¹ Kreisbote 2019 (<https://www.kreisbote.de/lokales/landsberg/anrufsammeltaxi-fuchstal-12126520.html>)

²² Landkreis Ostallgäu (<https://www.buerger-ostallgaeu.de/640.html?url=%2FLRA-Oepnv.aspx%3Fview%3D~%2Fkxp%2Forgdata%2Fdefault%26orgid%3Df1575764-541a-4e6c-80d1-cb2ea9d12e27>)

²³ B4B Wirtschaftsleben Schwaben 2019 (https://www.b4bschwaben.de/b4b-nachrichten/kaufbeuren-ostallgaeu_artikel,-bahnverkehr-im-ostallgaeu-wird-ausgebaut-_arid,257505.html)

²⁴ LOK Report (2021): Bayern: Probebetrieb Wasserstoffzug Augsburg – Füssen, (<https://www.lok-report.de/news/deutschland/aus-den-laendern/item/26428-bayern-probebetrieb-wasserstoffzug-augsburg-fuessen.html>)

²⁵ Zulassungsstelle Ostallgäu (<https://zulassungsstelle.de/landkreis-ostallgaeu/?cn-reloaded=1>)

²⁶ BVL Factsheet Emissionen in der Logistik, 2018 (<https://www.bvl.de/themenkreise/urbane-logistik/factsheet-emissionen-in-der-logistik>)

2.2 Nachhaltige Entwicklung von Industrie und Tourismus fördern

Die HyStarter-Region Ostallgäu ist eine entwicklungsstarke Wirtschaftsregion, die vor allem durch eine familiengeführte, mittelständische Wirtschaftsstruktur geprägt ist.²⁷ Industrie, Handwerk und Tourismus bieten ein reichhaltiges Angebot an Arbeitsplätzen. Allein der Landkreis Ostallgäu meldet 68.200 Erwerbstätige und davon ca. 46.200 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte, die in über 7.800 Betrieben arbeiten. Mit einer Arbeitslosenquote von durchschnittlich etwa 1,9 – 3,2 % herrscht Vollbeschäftigung.²⁸ Die meisten Beschäftigten sind im produzierenden Gewerbe tätig (knapp 39%), gefolgt von sonstigen Dienstleistungen (knapp 33%) und Handel, Gastgewerbe, Verkehr, Information und Kommunikation (knapp 23%). In der Land- und Forstwirtschaft arbeiten knapp 5% der Beschäftigten. Im Bereich der Handwerksbetriebe sticht der Landkreis in der Region mit einem Umsatz von 1,7 Mrd. Euro (ohne MwSt.) hervor: Das Ostallgäu ist die zweitumsatzstärkste Region im Regierungsbezirk Schwaben. Hinsichtlich der Beschäftigten und den Ausbildungsverträgen im Handwerksbetrieb, liegt der Landkreis auf Platz 3 innerhalb des Regierungsbezirks.²⁹ In der Wirtschaftsregion Ostallgäu-Kaufbeuren werden die Rahmenbedingungen darauf ausgelegt, dass Kreativität und Innovation Platz finden und dass modernes und erfolgreiches Wirtschaften möglich ist. Die seit Jahrhunderten bestehende Mächler-Kultur zeigt sich zum einen durch vielzählige „Hidden Champions“ in der Region, Unternehmen, die in ihren Spezialgebieten und Nischenmärkten Weltmarktführer sind.³⁰ Zum anderen prägt sie die Offenheit in der Region gegenüber neuen *Technologien*. Die Gemeinde Fuchstal hat zudem die 2030 Agenda für Nachhaltige Entwicklung – *Nachhaltigkeit auf kommunaler Ebene gestalten* unterzeichnet.

Ein weiterer wichtiger wirtschaftlicher Aspekt der Region ist der Tourismus. Steigende Gästezahlen zeigen einen Aufwärtstrend für die Region Ostallgäu als Urlaubsziel. Mit durchschnittlich 3,23 Tagen Aufenthaltsdauer ist die Region als Kurzurlaubsort beliebt.

Ziel der HyStarter Region ist es sowohl die Industrie als auch den Tourismus noch nachhaltiger zu gestalten und die in der Klimaschutzresolution³¹ festgelegten Ziele zu erreichen. Der Einsatz von 100% erneuerbaren Energien sowie deren weiterer Ausbau wird dazu in der Region verfolgt.

²⁷ mach! 2019. Das Statistikeft zum Wirtschaftsstandort Ostallgäu | 2019

²⁸ Landkreis Ostallgäu (<https://www.wirtschaft-ostallgaeu.de/startseite1.html>)

²⁹ mach! 2019. Das Statistikeft zum Wirtschaftsstandort Ostallgäu | 2019

³⁰ mach!3 Hidden Champions. Das Standortjournal für den Landkreis Ostallgäu | 2019: [mach3_web.pdf](#) (wirtschaft-ostallgaeu.de)

³¹ Landkreis Ostallgäu (<https://www.landkreis-ostallgaeu.de/617.html>)

2.3 Wasserstoff: Potenziale für Bayern und die HyStarter-Region nutzen

Um die Klimaschutzziele des Bundes und des Freistaats zu erreichen, bedarf es der Nutzung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in verschiedenen Sektoren. Sowohl die energetische Nutzung des Wasserstoffs für die Erzeugung von höherwertiger Energie (Strom), Kraft und/oder Wärme als auch die stoffliche Nutzung in der Industrie tragen idealerweise zur Minderung von Emissionen bei. Die Studie Klimaneutrales Deutschland (2020)³² beschreibt einen volkswirtschaftlich kostenminimalen Pfad zur Erreichung des Ziels „Netto-Null-Treibhausgasemissionen“ bis 2050. Sie geht von einem nahezu linearen Anstieg der Wasserstoffnutzung bis zum Jahr 2050 auf 268 TWh in Deutschland auf (vgl. Abbildung 5).³³ Sie beschreibt einen volkswirtschaftlich kostenminimalen Pfad zur Erreichung des Ziels „Netto-Null-Treibhausgasemissionen“ bis 2050.

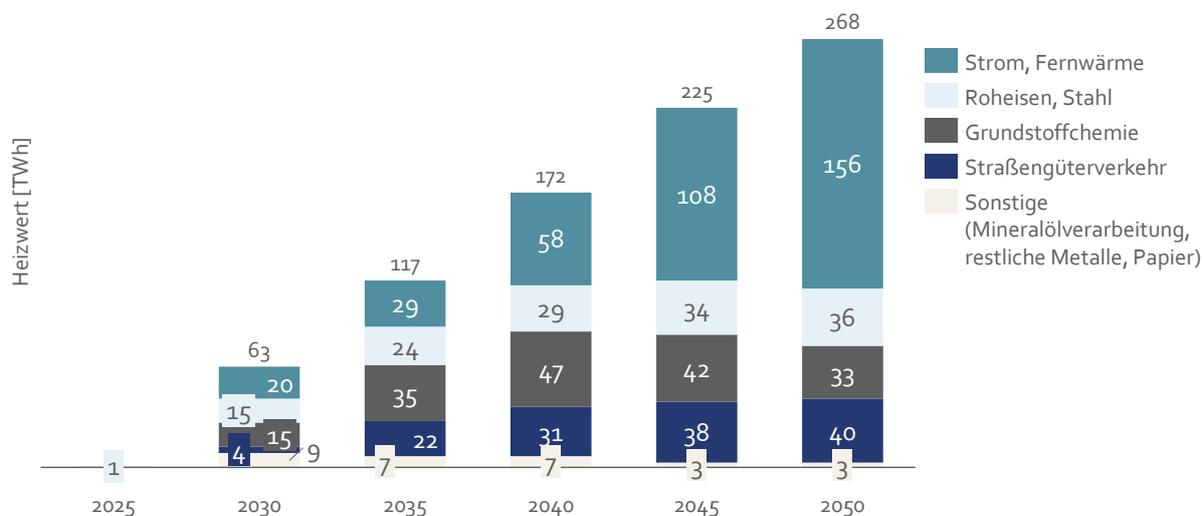


Abbildung 5 Entwicklung der Wasserstoffnutzung in verschiedenen Anwendungsbereichen (Quelle © BMVI/BBHC)

Neben der Nutzung des Wasserstoffs sollen auch die Technologien zur Herstellung und Nutzung an Bedeutung gewinnen und weitere Absatzmärkte für bayerische Hightech-Produkte schaffen.³⁴ Der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Bayern geht mit Potenzialen entlang der gesamten Wertschöpfungskette und der Schaffung neuer Arbeitsplätze einher. Besondere Chancen liegen nach der bayerischen Wasserstoffstrategie in der Wasserstoff-Erzeugung, im Gebiet der Komponentenentwicklung und -fertigung, bspw. im Automotive-Bereich (große OEMs und

³² Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020): Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität.

³³ Bei einem in der Studie für 2050 prognostizierten Endenergieverbrauch von 1.611 TWh entspricht dies 16 Prozent des Endenergieverbrauchs.

³⁴ Positionspapier des Wasserstoffbündnis Bayern zu bayerischen Wasserstoffwirtschaft, 2020 (https://h2.bayern/wp-content/uploads/2020/05/Positionspapier_Wasserstoffbueundnis_Bayern_052020_web.pdf)

Zulieferindustrie), in der Anwendung in der Industrie und Logistik sowie in der Forschung und Entwicklung. Dabei kann der Fokus sowohl auf der Erzeugung neuer Wertschöpfung, einer Substitution bestehender Wertschöpfung oder vorbereitenden Maßnahmen für zukünftige Wertschöpfung beinhalten. In der HyStarter-Region lassen sich die bayernweit beschriebenen Potenziale für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft wiederfinden. Neben einer starken Zulieferindustrie und Lebensmittelindustrie kann hier ebenfalls die Erzeugung von grünem Wasserstoff und der Einsatz im Verkehr einen Beitrag zur Emissionsminderung sowie zur Steigerung der Wertschöpfung leisten. Der Einsatz von Wasserstoff im Wärmemarkt soll in der Region ebenfalls geprüft werden.

Wasserstoff wird somit als stärkendes Element für den Industriestandort Bayern, aber auch für die Region Ostallgäu gesehen sowie als wesentlicher Baustein der Energie- und Wirtschaftspolitik³⁵. Die drei Säulen der Wasserstoffstrategie Bayerns sind:

- Ausbau der Technologieführerschaft und Ausbau weiterer Marktpotenziale,
- Beschleunigung der industriellen Skalierung und Wirtschaftlichkeit,
- Wasserstoffanwendungen in die Industrie und den Verkehr (Busse, Nutzfahrzeuge, LKW) bringen und die dafür benötigte Infrastruktur aufbauen.

Die HyStarter-Region Ostallgäu hat durch das [Zentrum Wasserstoff.Bayern \(H2.B\)](#) und das Bayerische Wasserstoffbündnis ein unterstützendes Netzwerk auf Landesebene, das auch vor Ort beim Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft unterstützen kann. H2.B hat bereits während des HyStarter-Prozesses für eine Vernetzung aller bayerischen HyLand-Regionen gesorgt. Auch die IHK Schwaben unterstützt bei der Vernetzung von Akteuren im Wasserstoffbereich.

Die Motivation der HyStarter-Initiatoren ist sehr hoch, die Vernetzung der regionalen Akteure voranzutreiben und zu koordinieren und die zahlreichen Einzelaktivitäten in ein gemeinsames Konzept zu integrieren. Administrative Grenzen spielen dabei keine Rolle, die erfolgreiche Zusammenarbeit und Nutzung von Synergien beim Aufbau von Wasserstofferzeugungskapazitäten und Wasserstoffbedarfen stehen im Fokus.

³⁵ Bayerische Wasserstoffstrategie, 2020 (<https://www.stmwi.bayern.de/wasserstoffstrategie/>)

Infobox 1: Farbenlehre Wasserstoff

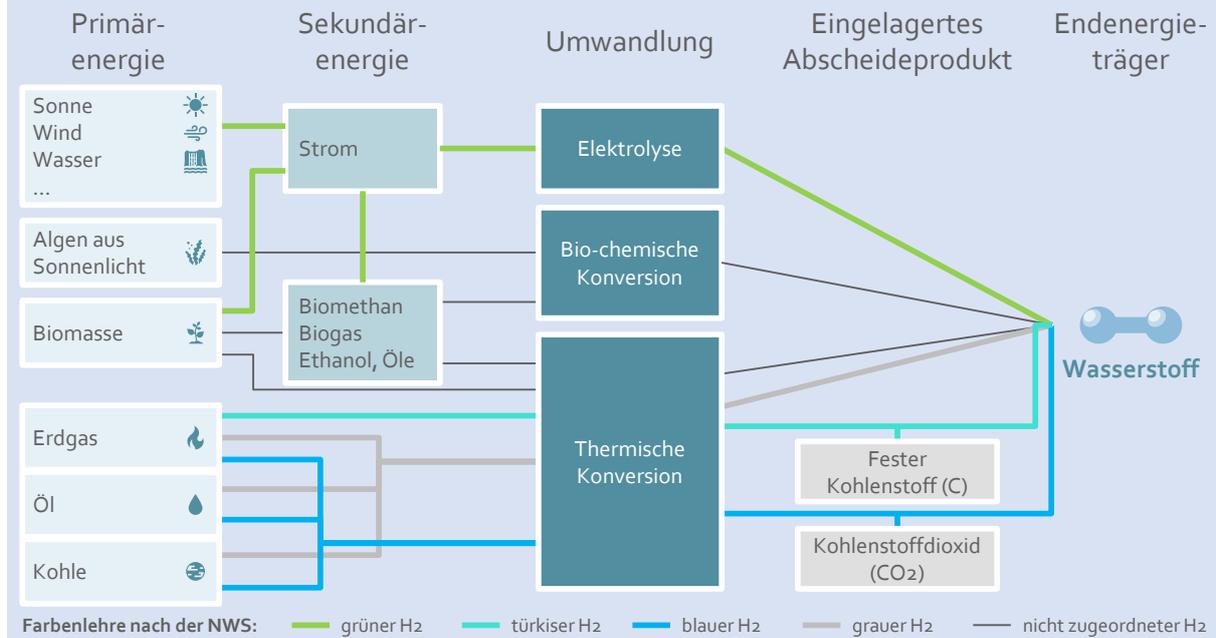


Abbildung 6 Pfade der Wasserstoffherzeugung³⁶ (© BMVI/BBHC)

Wasserstoff ist farblos. Dennoch sollen verschiedene Farben Rückschluss auf die Pfade seiner Gesteherung geben. So bezeichnet man Elektrolyse-Wasserstoff, der mit erneuerbaren Energien produziert wurde, als *grünen Wasserstoff*. Dieser ist CO₂-frei. Weiterhin weisen *türkiser* und *blauer Wasserstoff* eine geringe CO₂-Intensität auf. Die C-Atome werden eingelagert (blauer Wasserstoff) oder abgeschieden und weitergenutzt (türkiser Wasserstoff). Da sichergestellt werden muss, dass die abgeschiedenen Produkte (CO₂ bzw. C) dauerhaft nicht in die Atmosphäre gelangen, ist die Nutzung umstritten. *Grauer Wasserstoff* weist eine fossile Ausgangsbasis und eine CO₂-Intensität von ungefähr 9 kg CO₂/kg Wasserstoff auf. Der überwiegend in der Industrie eingesetzte Wasserstoff soll durch CO₂-ärmere Varianten substituiert werden. Die farblich nicht zugeordneten Pfade der Wasserstoffherstellung aus Algen oder Biomasse über die chemische oder thermische Konversion weisen je nach Ausgangsstoff ebenfalls eine geringe CO₂-Intensität auf. Die Dampfreformierung mit Biogas (thermische Konversion) birgt das Potenzial, Wasserstoff CO₂-neutral herzustellen und erprobte Technologien zu nutzen. Seine Anerkennung als grüner Wasserstoff wird derzeit auf politischer Ebene diskutiert. Ebenso die Einordnung von Wasserstoff auf Basis von Strom aus Müllheizkraftwerken und Biomasse, der derzeit der Farbe *Orange* zugeordnet wird.

Die biochemische Konversion von Algen hingegen befindet sich noch im Forschungsstadium und wird voraussichtlich nicht in den kommenden Jahren großflächig einsetzbar sein.

³⁶ Pfade in denen Wasserstoff als Beiprodukt (z. B. Chloralkali-Elektrolyse) anfällt, sind hier nicht berücksichtigt.

Infobox 2: Relevanz der Wasserstofffarbe für unterschiedliche Akteure

Bis zum Jahr 2040 möchte der Freistaat Bayern klimaneutral sein. Das impliziert ein schnelles Handeln, um die CO₂-Emissionen in allen Sektoren zu mindern. Eine Möglichkeit stellt die Substitution von grauem Wasserstoff oder Erdgas durch grünen Wasserstoff dar. Ziel der HyStarter-Region ist daher, soweit es geht, grünen Wasserstoff einzusetzen. Ob Wasserstoff aus biogenem Ursprung als „grün“ gilt, ist dabei noch nicht abschließend geklärt. Aber nicht für jeden Akteur ist die Nutzung grünen Wasserstoffs Voraussetzung.

Für Mineralölunternehmen ist die Herkunft (Quelle) des Wasserstoffs relevant, dieser muss grün sein. Um die in der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (EU) 2018/2001 (RED II) festgelegten Treibhausgasemissionen der Kraftstoffe zu erzielen, können klimafreundliche Energieerzeugnisse wie grüner Wasserstoff, Strom oder fortschrittliche Biokraftstoffe eingesetzt werden.³⁷

Zur Einhaltung der CVD hingegen ist der Einsatz grünen Wasserstoffs keine Voraussetzung. Für die Nutzung von Fördermitteln kann die Nutzung grünen Wasserstoffs jedoch wieder relevant sein. Sollte in der Richtlinie keine Definition von grünem Wasserstoff enthalten sein, kann Bezug auf das CMS-70 Zertifikat vom TÜV Süd und die CertifHy Definition genommen werden. Demnach ist Wasserstoff aus biogenen Quellen als grüner Wasserstoff zulässig, sofern die CO₂-Minderung 60% unter dem Schwellenwert für die Emissionsintensität des Benchmarks (Erdgas) liegt³⁸³⁹.

Die Befreiung von der EEG-Umlage für Strom kann allerdings ausschließlich für die Herstellung grünen Wasserstoffs in Anspruch genommen werden⁴⁰.

³⁷ BMU, 2021 (<https://www.bmu.de/pressemitteilung/schulze-wir-foerdern-kraftstoffe-die-das-klima-schuetzen-ohne-die-natur-zu-zerstoeren>)

³⁸ CertifHy, 2016

(https://www.certifhy.eu/images/media/files/CertifHy_Presentation_19_10_2016_final_Definition_of_Premium_Hydrogen.pdf)

³⁹ TÜV Süd, CMS-70 Zertifikat, 2020 (<https://www.tuvsud.com/de-de/-/media/de/industry-service/pdf/broschueren-und-flyer/is/energie/standard-cms-70-greenhydrogen-ts-is-ut.pdf?la=de-de&hash=73E98931F8657D0313E27ED725C6B45D>)

⁴⁰ BMWI, 2021 (<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/05/20210519-Kabinetts-beschliesst-grosses-Verordnungspaket-zur-Umsetzung-des-EEG-2021.html>)

3. Vision und Ziele einer regionalen Wasserstoffwirtschaft Ostallgäu für das Jahr 2030



Abbildung 7 Visualisierung der regionalen Wasserstoffwirtschaft der HyStarter-Region Ostallgäu (© BMVI/David Borgwardt)

Als Wasserstoffmodellregion ist es unser Ziel, als einer von mehreren bundesweiten Leuchttürmen eine regionale Wasserstoffwirtschaft anzustoßen und zu etablieren. Politik und zahlreiche Unternehmen in der Region haben die Notwendigkeit erkannt, nun mutige Schritte in Richtung Zukunft zu gehen. „Zukunft“ bedeutet in diesem Sinne, Verfahren zu implementieren, die den Ausstoß von klimaschädlichem CO₂ reduzieren oder ganz vermeiden. „Zukunft“ bedeutet aber auch, Technologie- und damit Marktführerschaft bei innovativen und sauberen Technologien anzustreben. „Zukunft“ bedeutet damit schließlich die Sicherung unseres prosperierenden Lebens- und Wirtschaftsraums! Wasserstoff als Energieträger und als Rohstoff für verschiedenste Produktionsprozesse hat das Potential, diese „Zukunft“ real werden zu lassen. Die HyStarter Region hat ihre Ziele bereits in einem offenen Brief an den Bundeswirtschaftsminister formuliert.

Wir möchten grünen Wasserstoff in der Region erzeugen. Wir verfügen über eine Vielzahl an erneuerbaren Energien Erzeugungsanlagen, möchten den Ausbau intensivieren und wenn möglich überschüssigen grünen Strom für die Erzeugung von Elektrolyse-Wasserstoff nutzen. Mit der Gemeinde Fuchstal als Pionier in der Energiewende und motivierten Akteuren in der Region möchten wir die Chance nutzen, lokale Wasserstofferzeugung aus Windkraft- und PV-Anlagen sowie Wasserkraft zu realisieren. Darüber hinaus sollen alternative Erzeugungspfade für Wasserstoff geprüft und pilotiert werden. Gerade in der Entsorgung organischer Reststoffen und den zahlreichen regionalen Biogasanlagen können alternative Verfahren Anwendung finden.

Wir schaffen einen diversifizierten regionalen Absatzmarkt für unseren grünen Wasserstoff im polyzentrischen ländlichen Raum. Der von uns erzeugte Wasserstoff soll möglichst vor Ort genutzt werden. Dazu sind unsere Arbeiten eng mit denen der umliegenden Regionen verzahnt. Der Transport

von Wasserstoff ist energetisch aufwendig und kostspielig. Im Sinne der Effizienz und Wirtschaftlichkeit sind daher kurze Prozesse und Wege geplant. Dezentrale Strukturen und Akteure sollen eine möglichst regionale Produktions- und Wertungskette garantieren. In Bereichen, in denen der Energieträger auch mittelfristig noch transportiert werden muss, soll dies so effizient und wirtschaftlich wie möglich erfolgen. Perspektivisch sollen weitere Erzeugungskapazitäten für grünen Wasserstoff in der Region identifiziert und dessen Transport analysiert werden.

Die (öffentlichen) Verkehre in unserer Region werden CO₂-neutral. Ein attraktiver ÖPNV ist Voraussetzung für das Gelingen der Verkehrswende. Für den ÖPNV wird - zur Einhaltung der Clean Vehicle Directive (CVD) und der selbst gesetzten Klimaziele - der Einsatz von klimafreundlichen Antriebsarten geprüft. Insbesondere kleine Unternehmen sollen bei der Beschaffung von Wasserstoffbussen sowie der technologischen, rechtlichen und betrieblichen Herausforderungen bei der Einführung von Wasserstoffbussen unterstützt werden. Synergien beim Aufbau von entsprechenden Betankungsinfrastrukturen, Werkstätten und Qualifizierungsmaßnahmen für das Personal können gehoben, indem ein regionaler, gemeinsamer Service-Hub entwickelt wird.

Die HyStarter-Akteure sehen ebenfalls im Bereich der Abfallentsorgung einen interessanten Anwendungsfall für BZ-Fahrzeuge. Emissionen, die bei der Fortbewegung des Fahrzeugs entstehen, aber auch erhebliche Energiemengen, die für das Anheben und Entleeren der Abfallcontainer aufzuwenden sind, sollen reduziert werden. Der Kreislauf zwischen Abfallentsorgung – Wasserstoffherzeugung – und Wasserstoffnutzung soll als Vorreiterprojekt bei der Dorr Unternehmensgruppe geschlossen und pilotiert werden.

Für die zahlreichen Speditionen, Werks- und Industrielogistik in der HyStarter-Region prüfen wir ebenfalls den Einsatz von BZ-LKW und Staplern. Dies umfasst auch die Nutzung von Wasserstoff-LKWs im Verkehr zwischen einzelnen Werkstandorten von Betrieben (Werkslogistik). Eine lokale Erzeugung von Wasserstoff mit Ausbau und Nutzung der PV-Dachanlagen ermöglicht eine direkte Verwendung vor Ort und verhindert hohe Transportkosten. Der bedarfsgerechte Aufbau von Wasserstofftankstellen im Landkreis wird für alle Mobilitätsanwendungen angestrebt.

Wir entwickeln innovative Gebäudeenergiekonzepte für unsere Quartiere. Die erneuerbaren Energieanlagen in unmittelbarer Nähe von ländlichen Quartieren sollen für deren Energieversorgung genutzt werden. Die (de)zentrale saisonale Speicherung des Stroms in Wasserstoff soll geprüft werden. Die anfallende Abwärme des Elektrolyseurs und der Brennstoffzelle kann für die Wärmeversorgung genutzt werden, um die Effizienz der Anlagen weiter zu erhöhen. Insbesondere für ländliche Quartiere ohne Gasnetz sollen klimaneutrale Optionen der Wärmeversorgung untersucht werden. Den Wasserstoff direkt über Gasnetze für die Wärmeversorgung zu nutzen, wird dabei nicht verfolgt.

Wir möchten die regionale Industrie über den aktuellen Stand der Wasserstoffwirtschaft informieren. Dazu möchten wir die regionale Industrie, die bislang überwiegend Erdgas oder grauen Wasserstoff einsetzt, weiterhin in unsere Netzwerke einbinden und über die Entwicklung regionaler grüner Wasserstoffangebote informieren und ihre Bedarfe in die Produktionsplanungen integrieren.

Unsere Wasserstoffregion ist grenzenlos. Unser bestehendes HyStarter-Netzwerk soll verstetigt und erweitert werden und die Zusammenarbeit über die HyStarter Grenzen hinaus ausgeweitet werden. Ziel ist es, kleinräumig vorhandene Ansätze der Wasserstoffwirtschaft in den ländlichen Raum des Allgäus und der Bodenseeregion ausdehnen sowie Produktionskapazitäten und Abnahmekapazitäten

zusammen zu denken. Dazu haben sich die HyStarter-Akteure bereits mit weiteren Wasserstoff-interessierten Akteuren sowie der HyExpert-Region HyAllgäu zusammengeschlossen, um eine gemeinsame Planung unter dem Namen „HyAllgäu*-Bodensee“ im Rahmen einer HyExpert-Förderung fortzuführen.⁴¹

Wir möchten die neuen Technologien für die Gesellschaft sichtbar und erlebbar machen. Die Allgäuerinnen und Allgäuer sind neuen Technologien – und insbesondere erneuerbaren Energien – gegenüber seit jeher aufgeschlossen. Die neuen Technologien sollen zeitnah in Pilotprojekten umgesetzt und sichtbar gemacht werden. Die Tourismusregion soll ebenfalls als Schaufenster für die neuen Wasserstofftechnologien genutzt werden. Die Akzeptanz soll auf diesem Weg gestärkt werden.

⁴¹ [Stadt Kaufbeuren - „HyAllgäu*-Bodensee“ Antrag soll zur Nutzung von grünem Wasserstoff in der Region führen](https://www.now-gmbh.de/aktuelles/pressemitteilungen/neuer-schub-fuer-lokale-wasserstoffwirtschaft-hyland-startet-mit-30-neuen-regionen-in-die-zweite-runde/) (24. Juni 2021) und NOW, 2021 (<https://www.now-gmbh.de/aktuelles/pressemitteilungen/neuer-schub-fuer-lokale-wasserstoffwirtschaft-hyland-startet-mit-30-neuen-regionen-in-die-zweite-runde/>)

4. Unsere Handlungsansätze

Zur Reduzierung der CO₂-Emissionen in den relevanten Sektoren müssen ausreichend Wasserstofftechnologien in die Anwendung gebracht werden, um fossile Energieträger durch Wasserstoff zu ersetzen. Zeitgleich muss sichergestellt werden, dass der Produktionspfad des Wasserstoffs klimaschonend ist, um über den Anwendungssektor hinaus einen nachhaltigen Beitrag zum Klima- und Umweltschutz zu leisten. Die Quantität (Menge der Wasserstoffnutzung) als auch die Qualität (CO₂-Fußabdruck des Wasserstoffs) der regionalen Wasserstoffnutzung muss stimmen.

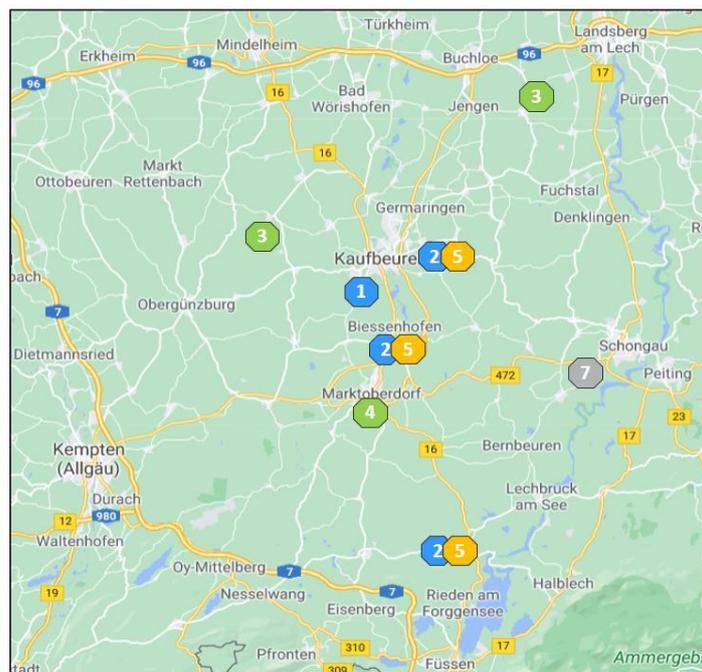
In den HyStarter-Dialogen wurde mit diesem Hintergrund eine Vielzahl an Einzelideen entwickelt und Handlungsansätzen diskutiert, die sich aus den Bereich der Wasserstofferzeugung sowie den Anwendungsfeldern Mobilität, Logistik und Wärmeversorgung zusammensetzen (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Primäres Ziel bei der Wasserstofferzeugung ist die Nutzung regionaler Energiequellen. Dabei wurde zum einen der durch die Nationale Wasserstoffstrategie fokussierte Elektrolysewasserstoff betrachtet, zum anderen die Erzeugung von Wasserstoff aus biogenen Reststoffen. Hinsichtlich der Anwendungen wurde im Logistikbereich der stärkste Wunsch gesehen, die Fahrzeugflotten lokal emissionsfrei zu gestalten und auf Brennstoffzellenantriebe zu setzen. Um die regionale Wertschöpfung zu stärken und die Akzeptanz für den erforderlichen Ausbau erneuerbarer Energien zu erhöhen, wurden ebenfalls Ansätze wie Energie- und Wärmekonzepte für ländliche Gemeinden näher beleuchtet. Alle Themen wurden in unterschiedlicher Intensität bearbeitet.

H2-Erzeugung aus PV-Strom und biogenen Stoffen

- (1) Anwendung des blueFLUX Verfahrens zur H₂-Erzeugung aus biogenen Stoffen am Standort der Dorr GmbH und Co. KG in Kaufbeuren
- (2) PV Elektrolyse bei V-Markt Standort in Mauerstetten, Ansorge Logistik in Biessenhofen und iwis smart connect in Rieden

H2-Einsatz in der Energie- und Wärmeversorgung

- (3) Stationäre Energie- und Wärmeversorgung in ländlichen Gemeinden von LENA Service und VWEW, Partnergemeinde gesucht
- (4) Modernisierung der Wärmeversorgung in Marktoberdorf



H2-Einsatz in Mobilität und Logistik

- (5) Einsatz von H₂-LKWs in den LKW Flotten der Unternehmen V-Markt, iwis smart connect und Ansorge Logistik
- (6) Einsatz von Wasserstoff im ÖPNV und SPNV im Landkreis, Kooperation mit Erzeugern

Wasserstoff-Einsatz in der Industrie

- (7) Substitution von grauem durch regional erzeugten grünen Wasserstoff für Industrieprozesse bei Hoerbiger

Abbildung 8 Entwickelte Projektansätze in der HyStarter-Region Ostallgäu (Eigene Darstellung: © HyStarter-Region Ostallgäu/Nuts One, Kartgrundlage: © 2021 GeoBasis-DE/BKG(© 2009), Google)

Für die tiefergehend betrachteten Themen war Voraussetzung, dass

- die dafür notwendigen Technologien zeitnah verfügbar sind,
- eine Perspektive auf Wirtschaftlichkeit besteht, und
- es regionale Akteure gibt, welche die Projektansätze treiben und umsetzen wollen.

Drei Handlungsansätze wurden entsprechen der Kriterien tiefergehend analysiert und werden im Folgenden hinsichtlich ihrer Technologie und Funktionsweise, ihrer Wirtschaftlichkeit und den Herausforderungen und Perspektiven, die sie mit sich bringen, vorgestellt.

4.1 Wasserstoff-Erzeugung

Wasserstoff kann auf verschiedenen Wegen erzeugt werden. Mit weitem Abstand wird derzeit die Dampfreformierung am häufigsten praktiziert, bei der aus Erdgas grauer Wasserstoff entsteht. Die klimaschonende Alternative dazu ist die Elektrolyse, bei der mit erneuerbar erzeugtem Strom grüner Wasserstoff erzeugt wird. Daneben entstehen derzeit weitere Verfahren zur Wasserstoff-Erzeugung, wie die Dampfreformierung mit Biogas, das blueFLUX Verfahren, die Pyrolyse, Hydrolyse und Thermolyse. Im HyStarter-Projekt wurde primär die Elektrolyse unter Einsatz verschiedener regenerativer Stromquellen wie Photovoltaik (PV), Windkraft und Wasserkraft diskutiert. Zu den weiteren Pfaden wurden verschiedene Online-Fachauskünfte organisiert, bei denen die Verfahren vorgestellt wurden. Die Quellen für grünen Strom sind alle in der Region vorhanden und bieten sich theoretisch für die Erzeugung von grünem Wasserstoff an. Windkraftanlagen sind in der Region zwar vorhanden, spielen aufgrund der ungewissen Restlebensdauer im Vergleich zu den langlebigen Elektrolyseuren⁴² aber nur eine geringe Rolle für die Wasserstoffproduktion. Die Wasserkraft, die sich aufgrund der konstanten Erzeugung von Strom gut für die Elektrolyse eignet, wird nachrangig behandelt, da der erzeugte Strom primär in der Grundlastversorgung angewendet werden soll. Im Fokus stehen daher die PV Freiflächen- und Dachanlagen, insbesondere auf den Dächern der Logistikunternehmen. Die Elektrolyse mit PV-Strom ist demnach bis auf eine Ausnahme (Siehe Kap. 4.3) die Grundlage aller Projektansätze. Bevor die konkreten Projektideen dargestellt werden, wird daher im Folgenden die Elektrolyse erläutert.

4.1.1 Elektrolyse – Technologie und Marktreife

Bei der Wasserelektrolyse wird gereinigtes Wasser (H_2O) unter Einsatz von elektrischem Strom in die Bestandteile Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) im Verhältnis 1:8 zerlegt (vgl. Abbildung 9 und Abbildung 10). Theoretisch wird für die Produktion von einem Kilogramm Wasserstoff 33,3 kWh elektrischer Strom benötigt.

⁴² Die Lebensdauer eines alkalischen und PEM-Elektrolyseurs wird auf ca. 10.000 Zyklen (15 Jahre) geschätzt.

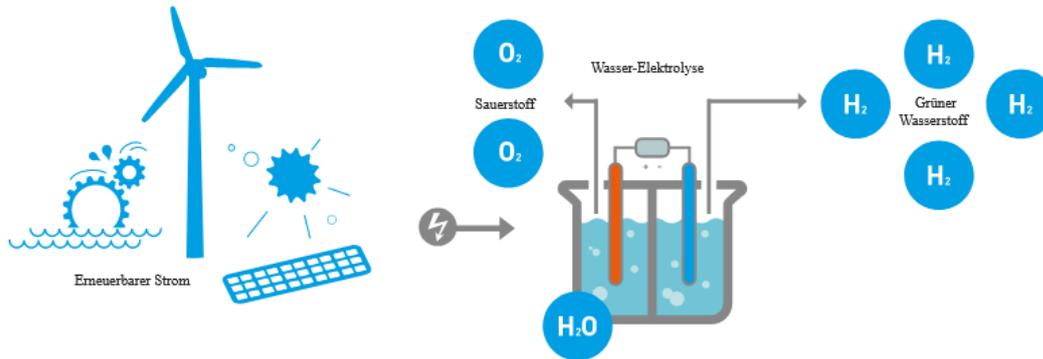


Abbildung 9 Erzeugungsweg Elektrolyse-Wasserstoff (© Stadtwerke Esslingen)

Dies entspricht gleichzeitig der Energiemenge, die bei der Rückreaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser frei wird. In der Praxis weist der Prozess der Wasserelektrolyse je nach eingesetzter Technologie unterschiedliche Wirkungsgrade auf.⁴³ Bei einem angenommenen Wirkungsgrad von ca. 66 Prozent werden für die Bereitstellung von einem Kilogramm Wasserstoff statt 33,3 kWh ca. 50 kWh elektrischer Strom benötigt. Die Differenz zwischen theoretischem und realem Strombedarf von ca. 17 kWh/kg_{H₂} geht dabei in Wärme über. Je nach benötigtem Temperaturbedarf kann ein Teil dieser entstehenden Wärme bspw. in Wärmenetzen für die Gebäudebeheizung genutzt werden (vgl. Abbildung 10). Die Nutzung der Abwärme wird auch in den Projektideen in Kapitel 0 diskutiert.

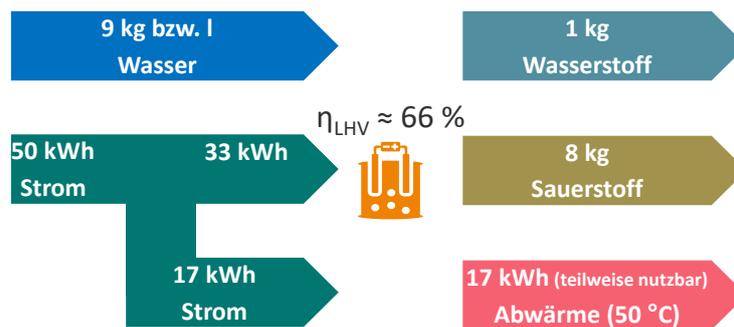


Abbildung 10: Energie-/Stoffströme in der Elektrolyse (© BMVI/BBHC)

Die Leistung von Elektrolyseuren wird meistens in MW_{el} oder in Nm³H₂/h angegeben. Während sich die Angabe in MW_{el} auf die Eingangsstromleistung bezieht, beschreibt die Angabe in Nm³H₂/h als Ausgangsleistung des Prozesses die produzierte Menge Wasserstoff pro Stunde. Ein Elektrolyseur mit einer elektrischen Eingangsstromleistung von 1 MW_{el}, entspricht ca. einer Ausgangsleistung von 220 Nm³H₂/h und kann unter Vollast ca. 500 kg Wasserstoff pro Tag produzieren.

Bei der Vermarktung der Elektrolyseprodukte wird der Haupterlös aktuell mit dem Verkauf von Wasserstoff erzielt. Dies liegt an der derzeit deutlich höheren Zahlungsbereitschaft im Markt für

⁴³ Die gängigsten Verfahren der Wasserelektrolyse sind die alkalische Elektrolyse (AEL), die Proton Exchange Membrane-Elektrolyse (PEMEL) und die Solid oxide-Elektrolyse (SOEL). Während die PEM-Elektrolyse tendenziell einen etwas geringeren Wirkungsgrad als die alkalische Elektrolyse aufweist, werden in der SO-Elektrolyse, je nach Bilanzierung der zugeführten Wärme, aktuell bereits Wirkungsgrade von 80% und mehr erreicht.

Wasserstoff gegenüber Sauerstoff oder Wärme (vgl. Abbildung 11). Aber es gibt durchaus Anwendungsfelder für die Nutzung des Sauerstoffs. So könnte der Sauerstoff zum Beispiel in den Belebungsbecken bei Kläranlagen Anwendung finden oder nach einer Aufreinigung zu medizinischem Sauerstoff Krankenhäusern zur Verfügung gestellt werden.

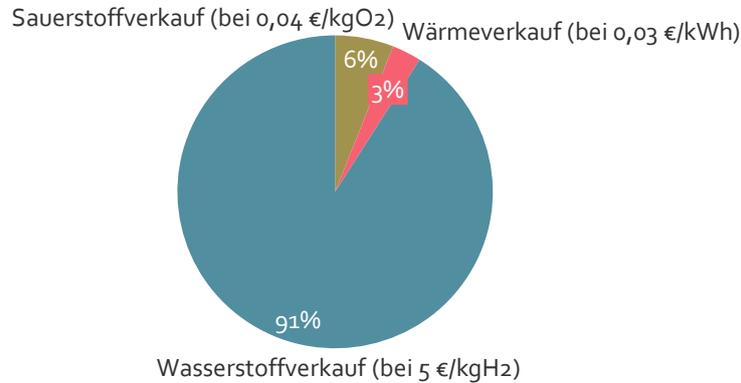


Abbildung 11: Erlöse der Elektrolyseprodukte⁴⁴ (© BBHC)

Geeignet für die H₂-Produktion aus erneuerbaren Energiequellen sind insb. Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM) sowie alkalische Elektrolyseure, u.a. aufgrund ihrer Skalier- und Modulierbarkeit. Da der Elektrolyseur als Containerlösung installiert wird, kann er auch nachträglich an einen anderen Standort verlegt und darüber hinaus an einzelne oder mehrere Erzeugungsanlagen gekoppelt werden. Dies ist insb. bei Windkraftanlagen relevant, da sowohl alkalische als auch PEM-Elektrolyseure häufig eine höhere Nutzungsdauer (ca. 15 Jahre) aufweisen als alte Windkraftanlagen (ungewiss, ca. sieben weitere Jahre), die bei Wegfall der EEG-Förderungen mit dem Ziel der H₂-Erzeugung weiterbetrieben werden. Auch die gleichzeitige Kopplung eines Elektrolyseurs an PV- und Windanlagen ist umsetzbar. Für die Speicherung des Wasserstoffs ist ein Verdichter notwendig. Alle benötigten Komponenten für die Wasserstofferzeugung, mit Ausnahme des Verdichters, werden im Container installiert. Je nach Elektrolyseurgröße wird eine Aufstellfläche für zwei 20 ft Container benötigt. Zusätzlich bedarf es einer Wasserversorgung mit mindestens Leitungswasserqualität, die oftmals nicht in Windparks oder PV-Freiflächenanlagen vorhanden sind. Ist die vorhandene Wasserqualität unzureichend bedarf es einer separaten Wasseraufbereitungsanlage, die zusätzlich zum Container errichtet werden muss.

Im zweiten Schritt wird der Wasserstoff in Druckflaschen oder Röhrenspeichern gespeichert. Hier bedarf es je nach Elektrolyseur-Ausgangsdruck zusätzlich eines Verdichters (z.B. Kolbenkompressor). Ebenfalls ist die Distribution des produzierten Wasserstoffs zum Ort des Verbrauchs durch Trailer-Abfüllungen oder per Einspeisung in ein ggf. zu errichtendes Pipelinennetz möglich.

⁴⁴ Die Verkaufspreise der Produkte basieren auf Erfahrungswerten. Je nach Bezugsmenge und Qualität können die erzielbaren Verkaufspreise abweichen. Entsprechend dient die Grafik eher der Einordnung der Größenordnungen.

HERSTELLER & ERFAHRUNGEN

Elektrolyseure sind in einem großen Leistungsspektrum (0,1 – 10 MW) bereits erhältlich und breitflächig im Einsatz. Sie sind von verschiedenen Herstellern erhältlich wie z. B. Areva, iGas, ITM Power, NEL, H-TEC SYSTEMS GmbH, Siemens u.v.m. Trailer, Pipelines und Speichersysteme, werden u.a. von Linde (Röhrenspeicher), VAKO (Hochtank), Mannesmann Line Pipes und Rehau (Pipelines), Wystrach (Trailer) u.v.m. angeboten. Preise der genannten Komponenten sind ebenfalls stark von den Leistungs- und Kapazitätskennzahlen abhängig.

Von der Planung bis zur Errichtung eines Elektrolyseurs ist mit einem Zeithorizont von mindestens einem Jahr zu kalkulieren. Verzögerungen aufgrund von regionalen Komplikationen, wie z. B. andauernde Genehmigungsprozesse, können auftreten. Der Standort des Elektrolyseurs ist hinsichtlich Umlagen und Abgaben zu analysieren. Bei Post-EEG-Anlagen sind der technische Zustand, Kosten-Aufwendungen, OPEX und CAPEX für ein wirtschaftliches Betreiben ausschlaggebend. Technisch ist die Kopplung mit noch zu errichtenden Anlagen, laufenden EEG-Anlagen und mit Post-EEG-Anlagen möglich. Bei Stilllegung einer Anlage ist auch ein Standortwechsel des Elektrolyseurs möglich. Neben der Strombereitstellung durch die PV-Module oder das Windrad muss die Wasserversorgung mit deionisiertem Wasser sichergestellt werden.

4.1.2 Wirtschaftlichkeit der Wasserstoffherzeugung

Um die Wasserstoffgestehungskosten zu senken, gibt es im Wesentlichen zwei Hebel: Die Auslastung des Elektrolyseurs und die anfallenden Kosten für die Zahlung von Abgaben, Umlagen auf den Strombezug.

DER FAKTOR AUSLASTUNG

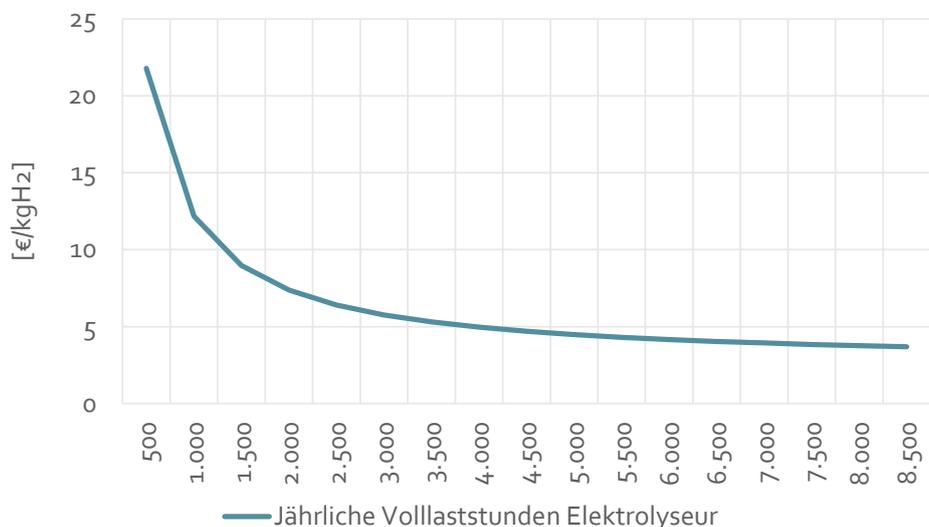


Abbildung 12 Sensitivität der Wasserstoffgestehungskosten in Abhängigkeit der Volllaststunden (© BBHC)

In Abbildung 12 ist der Zusammenhang zwischen den Gestehungskosten und der Auslastung in Volllaststunden des Elektrolyseurs deutlich zu erkennen. Je höher die Auslastung bzw. die jährlichen Volllaststunden, desto geringer der zusätzliche wirtschaftliche Mehrwert. Als Faustformel gilt, dass ab einem Volllaststundenbereich von 2.000 – 3.000 h/a oder mehr, ein Elektrolyseur wirtschaftlich betrieben werden kann. Inwiefern dieser Betrieb dann realisiert werden kann, hängt allerdings auch maßgeblich vom zeitlichen Lieferprofil der Strombereitstellung ab. Zusätzlich kann man bei zukünftiger Serienfertigung der Elektrolyseure mit geringeren Anschaffungskosten rechnen. Dies hätte zur Folge, dass der Break-Even Point weiter in Richtung einer geringeren Stundenanzahl rutscht. Gleiches würde für eine Effizienzsteigerung oder einen geringeren Preis bei den PV-Modulen gelten.

Im Falle einer Strombereitstellung über eine Direktleitung von einer EE-Anlage an einen Elektrolyseur ohne zusätzliche Versorgung über das Stromnetz sind die erzielbaren Volllaststunden in der Elektrolyse insbesondere von der Stromerzeugungstechnologie und dem Verhältnis der installierten Leistung von EE-Anlage zu Elektrolyseur abhängig. Die Analyse in Abbildung 13 zeigt diesen Zusammenhang auf⁴⁵. Beispielsweise sagt die Grafik aus, dass ein 1-MW-Elektrolyseur an einer 2-MW-PV-Anlage (Leistungsverhältnis von 0,5) 2.000 Volllaststunden aufweist und damit eine Auslastung von etwas mehr als 20 Prozent erzielt.

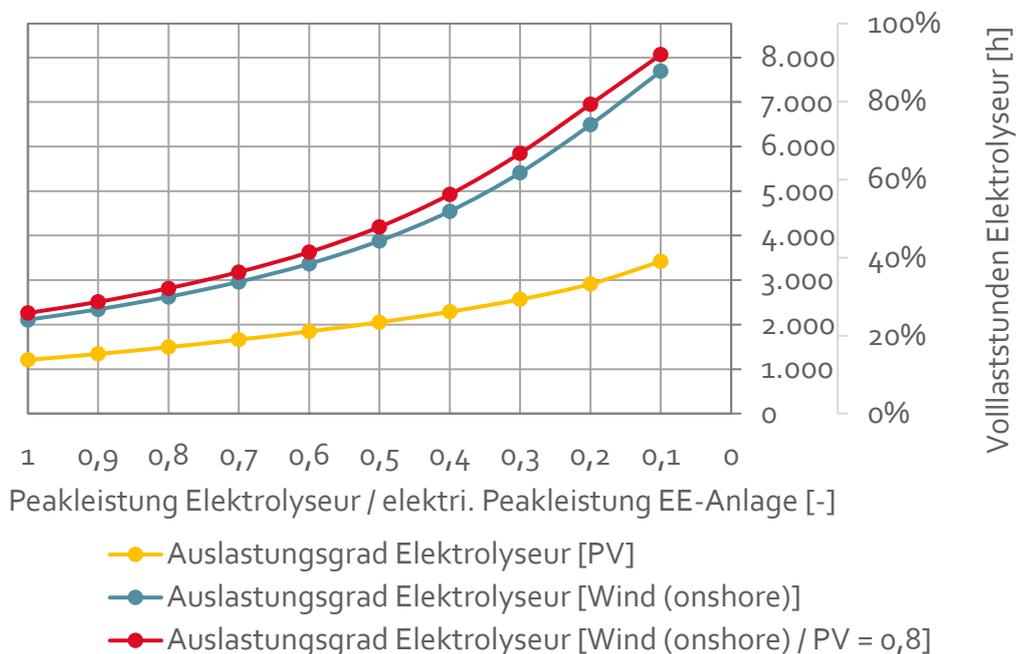


Abbildung 13 Sensitivität der Volllaststunden eines Elektrolyseurs in Abhängigkeit der Leistungsverhältnisse (© BBHC)

⁴⁵ Für die Windkraft- und die PV-Anlage wird ein normiertes Stromerzeugungsprofil für das Jahr 2019 herangezogen.

Folgende Rückschlüsse lassen sich aus der Grafik ableiten⁴⁶:

- Elektrolyseure an Windkraftanlagen (s. rote Linie) können bei gleichem Verhältnis der Anlagenleistungen weitaus höhere Volllaststunden erreichen als an PV-Anlagen (s. gelbe Linie).
- Bei einer vergleichsweise klein dimensionierten Elektrolyseanlage in Relation zur Windkraftanlage können Auslastungsgrade der Elektrolyse nahe der 100 Prozent erreicht werden.
- An PV-Anlagen gekoppelte Elektrolyseure haben weitaus niedrigere Auslastungsgrade. Je nach Konfiguration sind Auslastungen über 2.000 Volllaststunden aber ebenfalls realistisch zu erzielen.
- Aufgrund von Gleichzeitigkeitseffekten lassen sich die Volllaststunden eines Elektrolyseurs, der sich sowohl aus einer Windkraft- als auch aus einer PV-Anlage speist, im Vergleich zum reinen Strombezug aus einer Windkraftanlage nur geringfügig steigern (s. petrolfarbene Linie).

DER FAKTOR STROMKOSTEN

Die Stromkosten setzen sich aus den beiden Parametern **Strombezugskosten** und **Stromnebenkosten** **zusammen**. Die Bezugskosten sind primär von der gewählten Stromquelle abhängig und orientieren sich daran, was der Betreiber des Elektrolyseurs dem Betreiber der Stromanlage zahlen muss. Zu überbietende Referenz sind im Regelfall die EEG-Vergütungssätze. Für ausgeforderte Anlagen muss der gezahlte Strompreis einerseits die im EEG 2021 geregelte Anschlussförderung sowie andererseits die Weiterbetriebskosten plus eine gewisse Renditeanforderung übersteigen⁴⁷.

Der zweite Parameter, die **Stromnebenkosten**, setzen sich aus den Netzentgelten, der EEG-Umlage, der Stromsteuer sowie den netzentgeltgekoppelten Abgaben und Umlagen zusammen und müssen auf den Strombezugspreis addiert werden. Da Elektrolyseure als Letztverbraucher gelten, müssen sie für den Strombezug grundsätzlich alle Abgaben und Umlagen entrichten, wenn das Netz der allgemeinen Versorgung genutzt wird. Eine Ausnahme sind die **Netzentgelte**, von denen Elektrolyseure für 20 Jahre ab Inbetriebnahme befreit sind⁴⁸. Folglich muss ein Elektrolyseur die in Abbildung 14 aufgeführten Abgaben und Umlagen zunächst entrichten. Im Vergleich zu den in Abbildung 14 ausgewiesenen Strombezugskosten zeigt sich, dass die Stromnebenkosten von maximal knapp 10 ct/kWh (exkl. EE-Strombezugskosten) einen großen Einfluss auf die Wasserstoffgestehungskosten von ca. 5 €/kg_{H2} haben. Bei der Projektkonzeptionierung in der Region Ostallgäu müssen folglich Wege gefunden werden, um diese zu verringern.

⁴⁶ Hierbei ist zu beachten, dass den Rechnungen verschiedene Annahmen unterliegen, weshalb die gezogenen Rückschlüsse nicht verallgemeinert werden können.

⁴⁷ Strompreis \geq Alternativerlöse im EEG (= energieträgerspezifischer Monatsmarktwert - Vermarktungskosten) + Rendite und Strompreis \geq Weiterbetriebsinvestition + Betriebskosten + Rendite.

⁴⁸ * § 118 Abs. 6 S. 1 und 7 EnWG; nach der Rechtsprechung des BGH umfasst die Befreiung nach § 118 Abs. 6 EnWG nicht die netzentgeltgekoppelten Abgaben und Umlagen.

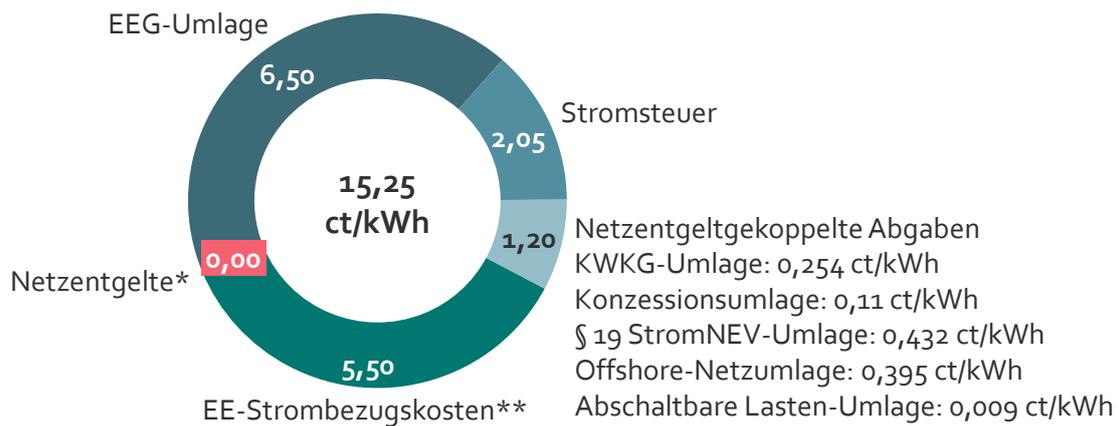


Abbildung 14: Mögliche Strompreisbestandteile für Elektrolyseure (2021)⁴⁹ (© BBHC)

STELLSCHRAUBEN

Die **EEG-Umlage** ist der meistdiskutierte Preisbestandteil, da er den größten Anteil an den Stromnebenkosten ausmacht. Über das EEG 2017 gab es bereits Möglichkeiten, eine (Teil-)Befreiung zu erzielen. Im Zuge des EEG 2021 werden zwei weitere Möglichkeiten geschaffen (vgl. Abbildung 15).

EEG 2017 & EEG 2021		EEG-E 2021	
Option 1 Eigenversorgung		Option 2 Grüne H₂-Produktion	
1a § 61a EEG 2017	↓ auf 0 %	2 § 69b EEG 2021	↓ auf 0 %
1b § 61b EEG 2017	↓ auf 40 %	+ § 93 EEG 2021	
		Option 3 Stromkostenintensive Unternehmen zur Herstellung von Industriegasen	
		3 § 64a EEG 2021	↓ auf 15 %

Abbildung 15: Wege der EEG-Umlagereduzierung⁵⁰ (© BBHC)

Eine wesentliche Anforderung für die EEG-Umlagebefreiung/-reduktion nach den Optionen (1a) und (1b) ist die sogenannte Eigenversorgung⁵¹. Option (2) ermöglicht grundsätzlich eine EEG-Umlagebefreiung für grünen Wasserstoff um 100 Prozent. Diese Vorschrift greift unabhängig davon, ob die Voraussetzungen der Eigenversorgung gegeben sind.⁵² Die Anforderungen an grünen Wasserstoff sind nach § 93 EEG 2021 über eine Verordnung definiert (vgl. Abbildung 16).

⁴⁹ ** Angenommene Ausschreibungsergebnisse für große PV-/Windkraftanlagen 2021.

⁵⁰ Die Abbildung zeigt die wesentlichen Möglichkeiten auf – jedoch nicht alle potenziellen Wege. Auch bietet § 64a unter gewissen Voraussetzungen die Möglichkeit der Reduzierung der EEG-Umlage auf 0,1 ct/kWh.

Je nach Einzelfall kann die EEG-Umlage zudem auf 0,5 % der Bruttowertschöpfung begrenzt werden (s. Text).

⁵¹ Voraussetzungen für die Eigenversorgung: (i) räumlicher Zusammenhang zwischen der Elektrolyseanlage und der Stromerzeugungsanlage, (ii) Personenidentität zwischen dem Betreiber der Stromerzeugungsanlage und der Elektrolyse, (iii) keine Netzdurchleitung des Stroms (stattdessen Direktleitung zwischen Stromerzeugungsanlage und Elektrolyse) sowie (iv) die Zeitgleichheit.

⁵² BT-Drs. 19(9)909, S. 291.

Strombezug aus EE	Systemdienliche Fahrweise	Räumliche und weitere Anforderungen an Systemdienlichkeit
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Strom muss aus EE-Anlage nach § 3EEG Nr. 21 stammen (umfasst nach 21e auch MHKW's) <ul style="list-style-type: none"> ▶ Keine Zusätzlichkeit oder Altersvorgabe ▶ Strom muss zu 85 % aus Preiszone DE stammen und zu max. 15 % aus ausländischer Preiszone, die mit der Preiszone DE elektrisch verbunden ist ▶ Strom darf keine EEG- oder KWK-Förderung erhalten (keine Doppelvermarktung) ▶ Netzdurchleitung: <ul style="list-style-type: none"> ▶ Mit: Verpflichtung zur Nutzung gekoppelter Herkunftsnachweise (wenn Strom aus Preiszone DE; außerhalb Deutschlands nicht, da es gekoppelte HKN nur in DE gibt) ▶ Ohne: Zeitgleicher Verbrauch (15-min-Intervall) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Elektrolyseur darf maximal 5.000 Vollbenutzungstunden aufweisen <ul style="list-style-type: none"> ▶ Hintergrund: Elektrolyseure sollen eingesetzt werden, wenn Strompreise aufgrund hoher EE-Einspeisung gering sind. Durch eine derartige Fahrweise soll das Netz entlastet werden. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Für die aktuelle Phase des Markthochlaufs gibt es keine Standortkriterien ▶ Standortkriterien und weitere Anforderungen an Systemdienlichkeit werden „unverzüglich“ eingeführt, wenn die EU Vorgaben für grünen H2 erstellt hat (insbesondere über den Delegated Act zur REDII)

Abbildung 16: Anforderungen an eine Befreiung der EEG-Umlage nach § 69b (© BBHC)

Wichtig ist darauf hinzuweisen, dass die Anforderungen an EU-Vorgaben angepasst und aktualisiert werden, wenn die EU ihrerseits Anforderungen für grünen Wasserstoff (vor allem in Bezug auf Standort und Systemdienlichkeit) näher bestimmt hat. Bestehende Anlagen genießen jedoch Vertrauensschutz. Zusätzlich schafft das EEG 2021 die Option (3) der EEG-Umlagereduzierung auf 15 Prozent für stromkostenintensive Unternehmen nach § 64a EEG 2021. Je nach Einzelfall kann die EEG-Umlage zudem auf 0,5 Prozent der Bruttowertschöpfung begrenzt werden, die ein Unternehmen im arithmetischen Mittel der letzten abgeschlossenen Geschäftsjahre erzielt hat, sofern die Stromkostenintensität des Unternehmens mindestens 20 Prozent betragen hat (sog. Super-Cap). Wird die EEG-Umlage begrenzt, wird auch die KWK- und Offshore-Haftungsumlage begrenzt. Insgesamt lässt sich festhalten, dass es eine gewisse Palette an Wegen zur EEG-Umlagebefreiung/-reduktion gibt. Welcher Weg der sinnvollste ist, muss projektspezifisch geklärt werden.

Um eine Befreiung des in der Elektrolyse genutzten Stroms von der **Stromsteuer** zu erreichen, gibt es verschiedene Wege, die in Tabelle 1: Wege und Anforderungen zur Stromsteuerbefreiung für Elektrolyseure (© BBHC) Tabelle 1 dargestellt sind.

Tabelle 1: Wege und Anforderungen zur Stromsteuerbefreiung für Elektrolyseure⁵³ (© BBHC)

Hintergrund im StromStG	Größe Stromerzeuger	EE-Strom	Eigenversorgung	Anbindung & Verortung	Weiteres
§9a Abs. 1 Nr. 1	egal	-	-	egal	Unternehmen des produzierenden Gewerbes ⁵⁴
§9 Abs. 1 Nr. 1	> 2 MW	x	x	Direktleitung ⁵⁵	-
§9 Abs. 1 Nr. 3a	≤ 2 MW	x	x	Direktleitung	-
§9 Abs. 1 Nr. 3b	≤ 2 MW	x	-	Räumlicher Zusammenhang	-
§9 Abs. 1 Nr. 6	≤ 2 MW	-	-	Inselnetz	-

Die **netzentgeltgekoppelten** Abgaben können vermieden werden, indem der Strom, zum Beispiel im Wege einer Direktleitung zwischen Stromerzeugungsanlage und Elektrolyseur, nicht durch das Netz der allgemeinen Versorgung geleitet wird. Wird das Netz genutzt, fallen netzentgeltgekoppelte Abgaben an.

Um die Auswirkungen aufzuzeigen, wenn verschiedene Abgaben und Umlagen vermieden werden, gibt Abbildung 17 einen Überblick über die Stromkosten für gängige Konstellationen:

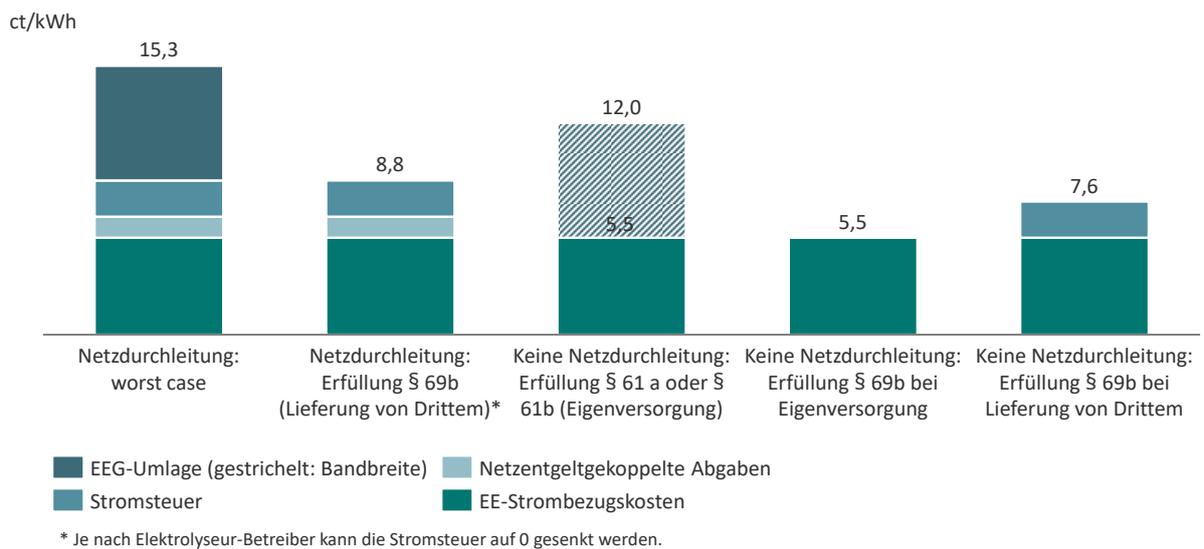


Abbildung 17: Strombezugskosten für Elektrolyseure in verschiedenen Konstellationen⁵⁶ (© BBHC)

⁵³ Vereinfachte Darstellung. Die Abbildung zeigt die wesentlichen Möglichkeiten auf – jedoch nicht alle potenziellen Wege. Im spezifischen Fall bedarf es einer projektscharfen Prüfung, ob die Anforderungen zur Steuerbefreiung erfüllt werden.

⁵⁴ Die Einstufung als Unternehmen des Produzierenden Gewerbes muss unternehmensspezifisch geprüft werden.

⁵⁵ Als Teil der Eigenversorgung.

⁵⁶ Säule 1 gilt für den Fall, dass es sich nicht um ein Unternehmen des produzierenden Gewerbes handelt.

Es zeigt sich, dass es verschiedene Pfade gibt, um die Stromnebenkosten zu minimieren und diese projektspezifisch zu eruiieren sind. Im Regelfall ist weiterhin die Eigenversorgung ohne Netzdurchleitung der „Königsweg“. In Abhängigkeit des Projektdesigns kann dabei die EEG-Umlagenreduzierung/-befreiung nach § 61a bzw. §61b oder nach § 69b vorteilhafter sein. Die Befreiung nach §61a oder §61b könnte bspw. bei Strombezug aus einem MHKW von Vorteil sein, da die Begrenzung des Elektrolyseurs auf 5.000 Volllaststunden hinderlich wirken kann, weil das MHKW nahezu ein Stromband liefern kann. Bei Eigenversorgungskonzepten mit fluktuierenden EE-Anlagen ist ggf. § 69b vorteilhafter, da die EEG-Umlage auf 0 % gesenkt werden kann, wenn der Elektrolyseur neben dem Strombezug aus der EE-Anlage auch noch Strom aus dem Netz bezieht, um eine höhere Auslastung (< 5.000 Volllaststunden) zu erreichen.

Um quantitativ bewerten zu können, zu welchen wirtschaftlichen Resultaten die aufgezeigten Stellschrauben in der Region Ostallgäu führen, werden abschließend für die Jahre 2020 und 2030 die Wasserstoffgestehungskosten für zwei Best-Case Konstellationen berechnet (vgl. Abbildung 18). Hierbei werden die vier Parameter, worauf der Elektrolysebetreiber Einfluss hat, für beide Jahre wie folgt definiert⁵⁷:

- Volllaststunden: 4.000 h/a
- Nutzungsdauer: 20 a (2020) / 23 a (2030)
- Strombezugskosten: Onshore-Windkraftanlage mit Strombezugskosten von 5 ct/kWh
- Stromnebenkosten: auf 0 gesenkt

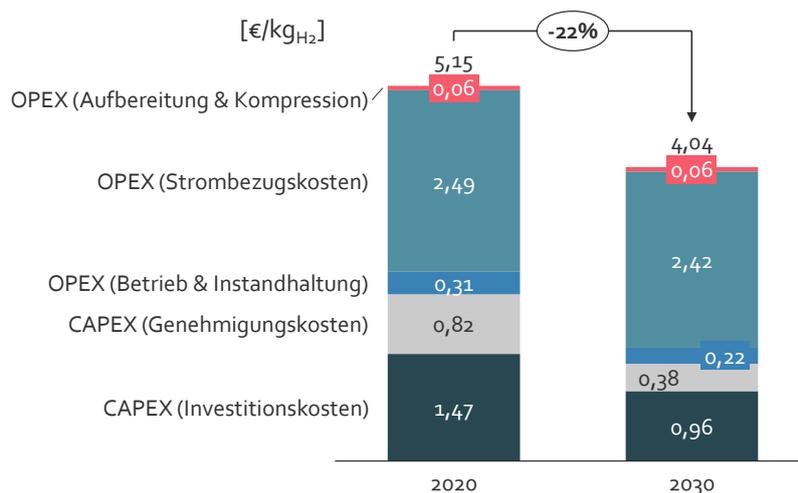


Abbildung 18: Wasserstoffgestehungskosten in der Elektrolyse in den Jahren 2020 und 2030 (© BMVI/BBHC)

Die Berechnungsergebnisse zeigen für die getroffenen Annahmen, dass 2020 in der Region Ostallgäu durch die Berücksichtigung der Optimierungsparameter Gestehungskosten für grünen Wasserstoff von ca. 5 €/kg_{H2} realisiert werden können. Durch günstigere Systemkosten, bessere Wirkungsgrade und niedrigere Genehmigungskosten sinken diese bis 2030 um gut 1 €/kg_{H2} auf etwas mehr als 4 €/kg_{H2}.

⁵⁷ Weitere Annahmen: 1-MW-Elektrolyseur, EL-Stack-Wirkungsgrad 2020: 67 Prozent und 2030: 69 Prozent, Genehmigungskosten 2020: 700.000 € und 2030: 350.000 €, spezifische Investitionskosten des EL-Systems 2020: 1.250 €/kW und 2030: 900 €/kW, Ausgangsdruckniveau: 30 bar.

FAZIT

Die Wasserstofferzeugung durch Sonnenenergie sollte nach Prüfung der relevanten Faktoren (Umlagen, Netzentgelte, technischer Zustand etc.) im Ostallgäu realisiert werden. Zunächst sollten H₂-Bedarf und -Abnahme sichergestellt werden. Ansorge Logistik, iwis smart connect und V-Markt bieten dafür eine solide Grundlage. Darüber hinaus wird in Kempten die Wasserstoffherstellung via Elektrolyse an einem Müllheizkraftwerk geplant und deren Wirtschaftlichkeit im Rahmen einer HyExpert-Förderung geprüft. Zukünftig könnte der dort produzierte Wasserstoff etwaige Lücken in der Erzeugung füllen sowie das Tankstellennetz für die Region erweitern.⁵⁸

4.2 Wasserstoff-Verteilung

Beim Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in der Region Ostallgäu stellt sich die Frage, wie der Transport und die Speicherung erfolgen können und welche Wege am kostengünstigsten sind. Deshalb werden folgend die wesentlichen Grundzüge vorgestellt: Der physikalische **Wasserstofftransport**⁵⁹ kann gasförmig und flüssig erfolgen. Bei Umgebungstemperatur und Normaldruck liegt Wasserstoff **gasförmig** vor und kann per Trailer (vgl. Abbildung 19) oder Pipeline transportiert werden:

- Sogenannte Tube-Trailer transportieren circa 500 kg_{H₂} mit einem Druck von 200 bis 250 bar. In Container-Trailern hingegen wird Wasserstoff auf bis zu 500 bar verdichtet, sodass circa 1.000 kg_{H₂} mit einem Trailer transportiert werden können. Ein Trailertransport hat die Vorteile, dass er vergleichsweise wenig kapitalintensiv ist und schnell und flexibel aufgebaut werden kann.
- Darüber hinaus kann Wasserstoff analog zu Erdgas in Pipelines transportiert werden. Hierfür kann er einerseits in existierende Gasnetze beigemischt oder in reinen – neu zu errichtenden – Wasserstoffnetzen transportiert werden. Die Beimischung von Wasserstoff in bestehende Gasnetze ist aktuell in der Regel auf Werte kleiner 10 Volumenprozent beschränkt. Je nach örtlichen Gegebenheiten kann der Wert in Einzelfällen teilweise überschritten, teilweise jedoch auch nicht vollständig ausgeschöpft werden. Zum einen muss der Wobbe-Index⁶⁰, die Methanzahl und die relative Dichte des Gasgemisches weiterhin in einem vom DVGW vorgegebenen Bereich liegen. Zum anderen gibt es vereinzelte sensible Gasverbraucher, die eine geringere Toleranzgrenze für die Wasserstoffbeimischung aufweisen, wodurch die Wasserstoffbeimischung begrenzt wird.
- Wasserstoff kann ebenfalls in einem flüssigen, organischen Trägerstoff (LOHC) gespeichert und bei Normaldruck transportiert werden. Der Wasserstoff wird am Ort des Verbrauchs bei ca. 300 °C vom Trägerstoff getrennt und muss anschließend auf Brennstoffzellenqualität aufgereinigt werden. Die Wasserstoffspeicherung in LOHC bietet sich insbesondere für den

⁵⁸ NOW, 2021 (<https://www.now-gmbh.de/aktuelles/pressemitteilungen/wasserstoffregion-hyallgaeu-beauftragt-machbarkeitsstudie/>)

⁵⁹ Wasserstoff kann auch in stofflicher Form (Methanol, Ammoniak oder aromatische Träger, die hydriert werden) gespeichert und transportiert werden. Dieser Weg befindet sich zum Teil allerdings noch im Forschungs- und Erprobungsstadium. Zudem gehen die stoffliche Speicherung und der Transport mit hohen Wandlungsverlusten einher, die die kurzen Distanzen und kleinen Mengen in regionalen Wasserstoffsystemen nicht rechtfertigen. Aus den genannten Gründen wird dieser Weg nicht berücksichtigt.

⁶⁰ Quotient aus dem Heizwert eines Gasgemisches und der Quadratwurzel der relativen Dichte. Der Index ist ein Kennwert für die Austauschbarkeit von Gasen hinsichtlich der Wärmebelastung der Gasgeräte.

Transport großer Wasserstoffmengen über längere Distanzen (300-400 km) an. LOHC-Betankungen von Fahrzeugen gibt es standardmäßig noch nicht, das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie finanziert aber derzeit die Erforschung und Entwicklung des LOHC-Einsatzes in einem Zug. Dieser soll direkt mit dem LOHC betankt werden, der Wasserstoff im Fahrbetrieb freigesetzt in der Brennstoffzelle genutzt werden.⁶¹ LOHC Onboard-Systeme werden ebenfalls für die Schifffahrt entwickelt.⁶²



Abbildung 19 H2-Strasßentransport (Quelle: Shell Studie, 2017)

Wie in Abbildung 20 dargestellt, sind die Wasserstofftransportkosten und der kostengünstigste Pfad insbesondere von den zu transportierenden Mengen und der Transportdistanz abhängig.

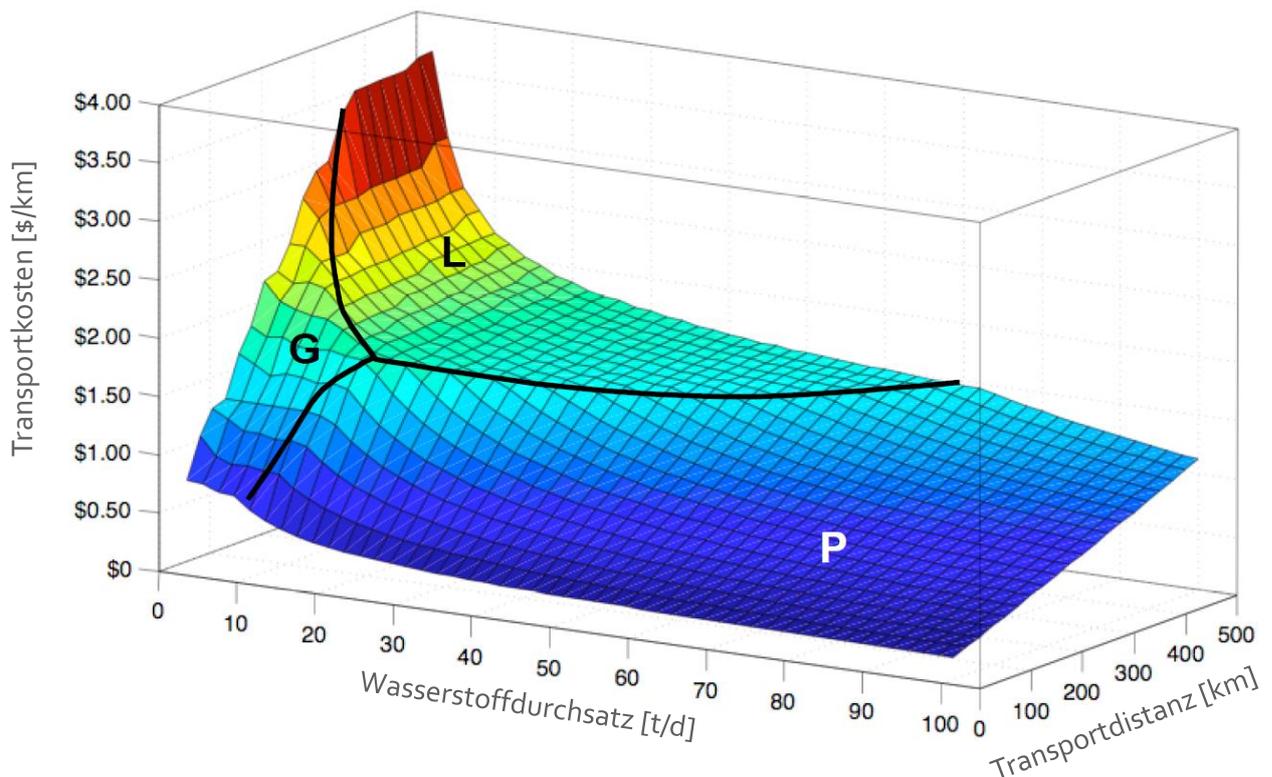


Abbildung 20: Minimale Wasserstofftransportkosten in Abhängigkeit von Durchsatz und Transportdistanz⁶³

⁶¹ Helmholtz-Institute Erlangen-Nürnberg, 2018 (<https://www.hi-ern.de/hi-ern/DE/Projekte/node.html>)

⁶² Hydrogenious, 2019 (<https://www.hydrogenious.net/index.php/de/2019/01/24/hydrogenious-juelich-kooperation/>)

⁶³ Quelle: UC Davis, C. Yang und J. Moan (2008): Determining the Lowest-Cost Hydrogen Delivery Mode.

Vor allem in der Aufbauphase einer Wasserstoffwirtschaft in der Region Ostallgäu werden die Wasserstofftransportmengen zunächst eher gering und die Transportdistanzen im Regelfall kleiner 100 km sein. Folglich wird kurz- bis mittelfristig der gasförmige Wasserstofftransport per Trailer die wirtschaftlichste Option sein. Erst perspektivisch und bei hohen Mengen werden Pipelinesysteme in der Region wirtschaftlich konkurrenzfähig. Überregionale Transporte hingegen werden aufgrund höherer Transportdistanzen und Wasserstoffdurchsätze auch in der Aufbauphase zu Teilen verflüssigt oder gasförmig per Pipeline erfolgen. Beispielsweise planen die europäischen Fernleitungsnetzbetreiber ein sogenanntes „European Hydrogen Backbone“, welches europaweit die großen Nachfragezentren verbinden soll.⁶⁴

4.3 Wasserstoff-Einsatz in der Logistik

Logistik und Transport sind ein großer Hebel, um die CO₂-Emissionen im Verkehrsbereich zu senken. Mit den Unternehmen Ansorge Logistik, iwis smart connect und V-Markt sind drei starke Player aus der Region im Akteurskreis vertreten, die sich gegenüber dem Thema Dekarbonisierung der Transportinfrastruktur und Logistik durch Umstieg auf Brennstoffzellen-LKW aufgeschlossen zeigen. LKWs mit Brennstoffzellen sind bereits im größeren Stil in der Schweiz und im Rahmen von verschiedenen Pilot- und Forschungsprojekten in Deutschland und Europa im Einsatz. Die Projektideen der drei Akteure beinhalten nicht nur die Verwendung von Wasserstoff in Fahrzeugen, sondern explizit auch die Erzeugung vor Ort sowie die notwendige Tankinfrastruktur. Hier bietet sich insbesondere der Pfad über die Elektrolyse mit PV-Strom an. Große Teil der Dachflächen auf den Werksgeländen und den Dächern der Verbrauchermärkte und Lagerhallen sind bereits mit PV-Modulen bebaut und weitere Flächen könnten entwickelt werden. Hier gilt aber auch, dass vor der Wasserstoff-Erzeugung primär die Stromversorgung der Standorte gewährleistet sein muss. Im Falle von V-Markt betrifft dies zum Beispiel die Kühlsysteme an den Verbrauchermärkten. Überschüssiger Strom, der ansonsten in das Netz geleitet werden müsste, stünde dann zu Wasserstoffherzeugung bereit. Im Folgenden wird auf die einzelnen Aspekte der Projektidee detaillierter eingegangen.

⁶⁴ Guidehouse (2020): European Hydrogen Backbone, How a dedicated Hydrogen Infrastructure can be created. Im Auftrag der europäischen Fernleitungsnetzbetreiber.

WAS WIR VORHABEN

GRÜNER WASSERSTOFF IN DER LOGISTIK

Projektidee 1: Das Unternehmen **Georg Jos. Kaes GmbH** betreibt unter dem Firmennamen **V-Markt** eine Reihe von Verbrauchermärkten in der Region. Um den Lieferverkehr zwischen der Zentrale in Mauerstetten und den Märkten klimafreundlicher zu machen, wird über den Einsatz von Wasserstoff-LKW nachgedacht. Dabei soll die Wertschöpfungskette möglichst vollständig aus eigener Hand abgedeckt werden. Die Erzeugung von Grünem Wasserstoff soll mittels Elektrolyse aus PV Strom erfolgen. Vorhandene PV Dachanlagen sollen genutzt und die Kapazitäten ausgebaut werden. Der erneuerbar erzeugte Strom soll allerdings primär die Stromversorgung der Märkte, insb. für die Kühlleistung decken. Der mit Überschuss-Strom erzeugte Wasserstoff soll an den unternehmenseigenen Tankstellen an den Verbrauchermärkten eingesetzt werden, wenn diese entsprechend umgerüstet werden.



Projektidee 2: **iwis smart connect** ist ein weiteres Unternehmen aus der Region, das am Einsatz von Wasserstoff in der Werkslogistik interessiert ist. Als Erzeugungs-Pfad bietet sich auch hier der Weg über Photovoltaik und Elektrolyse an. Zusätzlich wurde im HyStarter Projekt auch der Bezug von Wasserstoff über die Biogasdampfreformierung an einer benachbarten Biogasanlage geprüft.



Projektidee 3: Das Unternehmen **Ansorge Logistik** betreibt einen großen Logistik Standort in Biessenhofen. Von dort werden intermodal Waren und Güter im gesamten Bundesgebiet verteilt. Erste Erfahrungen wurden bereits mit batterieelektrischen Fahrzeugen gemacht. Die Idee im HyStarter-Projekt soll die Wasserstoff-Erzeugung mit PV Strom avisiert werden. Es sind bereits große Mengen PV Flächen verfügbar, ein weiterer Ausbau ist aber möglich.

Initiatoren: V-Markt, iwis smart connect, Ansorge Logistik

Mögliche Partner: Hoerbiger, weitere Verbraucher aus dem Mobilitätsbereich, evtl. ÖPNV Betreiber

Umsetzungsstandort: An den Standorte der Initiatoren in der Region

Herausforderungen: Kosten der Wasserstoff-Erzeugung, Effizienz der Elektrolyse mit PV-Strom, Beschaffung der Wasserstoff-LKW, Betankung, evtl. notwendige Anpassung der Tankintervalle

Stand: Die aufgeführten Projektideen befinden sich alle in unterschiedlichen Phasen der Konkretisierung. Im Rahmen des HyStarter-Projektes wurden für iwis smart connect und V-Markt Modellierungen durchgeführt, um einen ersten Eindruck von möglichen Wasserstoff-Erzeugungspotenzialen, Verbräuchen und Kosten zu bekommen.

4.3.1 Wasserstoff-LKW

Ähnlich wie bei Bussen, ist im Schwerlastverkehr die größere Nutzlast bei hohen Reichweiten und kurzen Tankzeiten das ausschlaggebende Argument für den Einsatz von Wasserstoff. Bislang gibt es schwere LKW nur von Hyundai, die seit kurzem in der Schweiz in Einsatz sind. Aufgrund des dort genutzten pay-per-use-Modells, wo die Nutzer eine fixe Rate zahlen, ohne selbst die Fahrzeuge anschaffen zu müssen, und des Wegfalls der sehr hohen Maut rechnen sich hier die Fahrzeuge bereits ab 70.000 km Jahresfahrleistung.

HERSTELLER & TECHNOLOGIEVERFÜGBARKEIT

Im Bereich der schweren LKW bietet aktuell nur Hyundai Fahrzeuge (Gliederzüge) an. Eine Sattelzugmaschine soll Anfang 2022 vom Hersteller Hyzon auf den Markt kommen. Deutsche Hersteller kündigen Serienfahrzeuge ab 2025 an, Prototypen ab 2023. Opel wird zum Ende des Jahres einen Transporter der Typs Vivaro auf den Markt bringen. Darüber hinaus sind Fahrzeuge des niederländischen Herstellers Holthausen in kleiner Stückzahl verfügbar. Holthausen baut herkömmliche Fahrzeuge wie den E-Crafter auf H₂-Antrieb um und bietet vor allem LKW an. Die Fa. Hyzon aus den Niederlanden hat angekündigt, dass ab dem ersten Quartal 2022 eine Sattelzugmaschine mit Brennstoffzellenantrieb verfügbar sein wird.

4.3.2 Betankungsinfrastruktur und Transport

Wasserstoff-Tankstellen benötigen immer einen Niederdruck H₂-Speicher, der durch Trailerbelieferung oder wie im Falle der hier diskutierten Projektansätzen durch Elektrolyse (mittels PV-Strom) mit vor Ort erzeugten Wasserstoff befüllt werden. Alternativ kann auch der Trailer selbst bei neueren Konzepten als Niederdruckspeicher verwendet werden, indem er an der Tankstelle abgestellt wird. Dies erspart den fest installierten Niederdruckspeicher vor Ort. Im zweiten Schritt wird ein Verdichter benötigt, der den Wasserstoff auf bis zu 900 bar verdichtet. Für den Tankvorgang wird bei Nutzfahrzeugen eine 350 bar und für Pkw eine 700 bar Zapfsäule benötigt. Beide können an einer öffentlichen HRS (hydrogen refueling station) errichtet werden, jedoch müssen die Tanks über ein ausreichendes Speichervolumen verfügen.

Das Unternehmen Wystrach bietet eine mobile H₂-Tankstelle für ca. 1.2 Mio €, inkl. Speichercontainer an. Die Tankgeschwindigkeit ist an dieser Tankstellenart gedrosselt, sodass keine Kühlung benötigt wird. Für H₂-Züge wird eine Tankvorrichtung am bzw. im Depot benötigt, die dafür notwendigen Komponenten sind mit denen der bereits genannten Tankstellensysteme im Prinzip identisch, jedoch den größeren H₂-Mengen entsprechend größer dimensioniert.

Die Kosten einer HRS liegen bei einer Tagesdurchlaufmenge von 200 kg und einer Anlieferung des Wasserstoffs zwischen 1 – 1,5 Mio. €. Wird der H₂ vor Ort per Elektrolyse erzeugt, ergeben sich bei einem Tagesbedarf von 400 kg (entspricht 1 MW Elektrolyseleistung) durchschnittliche Investitionskosten von 5 Mio. €. Die Dauer von der Planung bis zur Abnahme beträgt zwischen 12 – 19

Monate. Der Platzbedarf richtet sich nach Speichergröße und H₂-Bezug, sodass zwischen 350 und 700 m² benötigt werden.

Es ist zu empfehlen, bei der Planung von H₂-Tankstellen verschiedene H₂-Anwender und -Anwendungen zusammen zu betrachten, um eine möglichst hohe Auslastung zu erzielen. Je gleichmäßiger verteilt und je weniger Spitzenlasten es gibt, desto günstiger wird das Gesamtsystem. Eine punktuell hohe Nachfrage macht größere Speicher notwendig. Für Logistikunternehmen und Busbetreiber*Innen impliziert das, dass bestehende Tankmuster eventuell angepasst und entzerrt werden müssen. Zusätzlich sollten möglichst kurze H₂-Transportwege bei einer H₂-Anlieferung geplant werden, falls der H₂ nicht vor Ort produziert werden kann.

Aus Anzahl und Fahrzeugart der lokalen Akteure, die künftig mit Wasserstofffahrzeugen fahren wollen, kann ein zeitabhängiger Wasserstoffbedarf bestimmt werden, der für die Konzeption der Tankstelle benötigt wird. Es ist dabei zu prüfen, ob die verschiedenen Anwender bereit sind, alle an einer Station zu tanken, oder ob ggf. mehrere Tankstellen errichtet werden müssen. Mit dem Mengengerüst kann beispielsweise auf die H₂Mobility zugegangen und angefragt werden, ob H₂Mobility ggf. bereit ist, eine Tankstelle zu errichten (Mindestabnahmemenge aber 25 t/a). Ansonsten ist ein anderer Betreiber zu ermitteln, der ggf. auch die Investitionen tragen will.

Für Ausschreibung, Engineering und Vergabe der Tankstelle sind ca. 3 – 6 Monate einzuplanen, ggf. ist auch eine Förderung zu beantragen. Nach Auftragsvergabe (nicht vor Bewilligung der Förderung) beträgt die Lieferzeit der Komponenten 8 – 12 Monate, parallel sind Genehmigungen (BlmSchV, Brandschutz, Gefahrenabwehr, Arbeitsschutz) einzuholen, um die HRS errichten zu können. Nach erfolgreicher Errichtung muss die HRS noch abgenommen werden, hierfür ist ein Monat zu kalkulieren. Insgesamt sind gut 2 Jahre einzuplanen. Bei einer H₂-Produktion vor Ort müssen die bereits beschriebenen Komponenten wie PV-Anlage, Elektrolyseur, Kompressor etc. am Standort mitgeplant werden oder bereits errichtet sein. Dies läuft ebenfalls parallel zur Tankstellenplanung, sodass sich die Planungs- und Umsetzungszeit nicht verlängert.

Im Falle einer Wasserstoffnutzung im Verkehrssektor bedarf es spezieller Wasserstofftankstellen für die Betankung von Fahrzeugen mit Wasserstoff. Der Betrieb einer Wasserstofftankstelle ist mit nicht unwesentlichen Kosten verbunden, die zur Sicherstellung einer Wirtschaftlichkeit durch die Marge zwischen Bezugskosten und Verkaufspreisen gedeckt werden sollten.⁶⁵ Die Abbildung 21 zeigt eine mögliche Marge durch den Verkauf von Wasserstoff (links) sowie die (Voll-)Kosten der Wasserstoffbereitstellung bei unterschiedlichen Tankstellengrößen und Investitionsförderquoten (rechts).

Bei Tankstellenkosten in einer Vollkostenbetrachtung von 4 – 7 €/kg_{H₂} ist ein wirtschaftliche Betrieb, bei dem die Tankstellenkosten durch die Marge des Wasserstoffverkaufs gedeckt werden sollen, nur unter Berücksichtigung entsprechender finanzieller Förderungen möglich. In Bayern sind für den Aufbau von 100 Wasserstofftankstellen bis 2025 50 Mio. € vorgesehen. Die Fördersummen unterscheiden sich dabei zwischen 90 Prozent der Investitionskosten für öffentliche Tankstellen und 40 Prozent der Investitionsmehrkosten für nicht-öffentliche Tankstellen.

⁶⁵ Darüber hinaus gibt es bei aktuellen konventionellen Tankstellen oftmals noch zusätzliche Erlöse aus dem Verkauf von Waren und Dienstleistungen.

Um die Tankstellenkosten möglichst gering zu halten ist die Sicherstellung einer möglichst hohen Auslastung von zentraler Bedeutung. Entsprechend wichtig ist es, die Dimensionierung der Tankstellengröße an den erwarteten Wasserstoffbedarfen auszurichten.

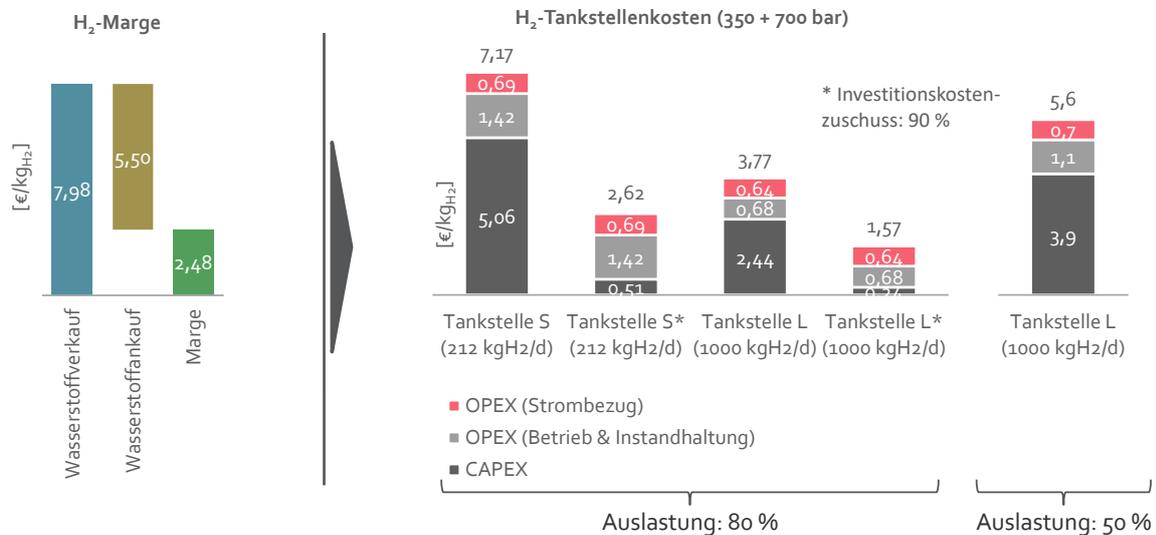


Abbildung 21 Wasserstoffmarge an der Tankstelle und Tankstellenkosten (© BMVI/BBHC)

4.3.3 Modellierung der Idee

Im Rahmen von HyStarter wurden vom Reiner-Lemoine-Institut (RLI) ausgewählte Handlungsansätze in einem regionalen Energiesystem modelliert, analysiert und bewertet. Dazu wurde das RLI-eigene Simulationstool SMOOTH⁶⁶ verwendet, welches die Modellierung eines Energiesystems auf Komponentenbasis ermöglicht. In der HyStarter-Region Ostallgäu wurden sowohl Erzeugungsmöglichkeiten von Wasserstoff als auch die Bedarfe an Wasserstoff eingebunden. Es wurden alle Komponenten, außer den festgelegten Erzeugern und Verbrauchern, in ihrer Dimensionierung optimiert. Die Optimierung erfolgte nach den geringsten Kosten. Die Ergebnisse sind in die Diskussion und Erarbeitung der Konzeptstudie eingeflossen, werden aber aufgrund des Umfangs hier nur beispielhaft dargestellt.

Ein modelliertes System umfasste eine Wasserstofftankstelle für den Logistik-Bereich (LKW) mit einem Druckniveau von 350 bar. Der Wasserstoff wird durch eine On-Site Elektrolyse bereitgestellt, die den Strom von einer lokalen Dach-PV-Anlage bezieht. Für die Simulation wurden die realen Daten eines der beteiligten Unternehmen verwendet. Die grundsätzlichen Aussagen lassen sich aber auch auf vergleichbare Fälle anderer Akteure anwenden.

Die Stromversorgung wird in dieser Betrachtung über 2 PV-Anlagen modelliert. Im Modell wird eine Bestandsanlage mit einer festen Anlagenkapazität und der Zubau einer möglichen PV-Anlage über die vorhandenen Dachflächen abgebildet. Hinsichtlich der Versorgung mit Strom aus PV-Dachanlagen

⁶⁶ <https://github.com/rl-institut/smooth>

wurden zwei Szenarien gerechnet, die beide eine gute Grundlage zur Eigenproduktion von Wasserstoff bieten.

Die Bedarfszeitreihe der Tankvorgänge der LKW mit Wasserstoff weist hohe Bedarfsspitzen auf, was durch die Übernahme des Diesel-Tankverhaltens begründet ist. Die hohen Spitzen resultieren in einer notwendigen großen Dimensionierung für Speicher und Kompressoren, die dadurch einen hohen Anteil an den Gesamtkosten haben. Die Limitierung der Bedarfsspitzen durch betriebliche Anpassungen bewirkt eine Kostensenkung des Gesamtsystems. In diesem Szenario der angepassten Nachfrage können alle Komponenten (bis auf den notwendigen Zubau der PV-Anlage) in ihrer Dimensionierung verkleinert und die entsprechenden Wasserstoffgestehungskosten somit reduziert werden.

Eine weitere Stellschraube zur Kostensenkung und Verbesserung der Wirtschaftlichkeit ist die Anpassung der Kostenbestandteile bei Netzbezug von Strom. Es sei darauf hingewiesen, dass ohne das Nutzbarmachen von Fördermöglichkeiten zum derzeitigen Zeitpunkt keine Umsetzung realisierbar wäre.

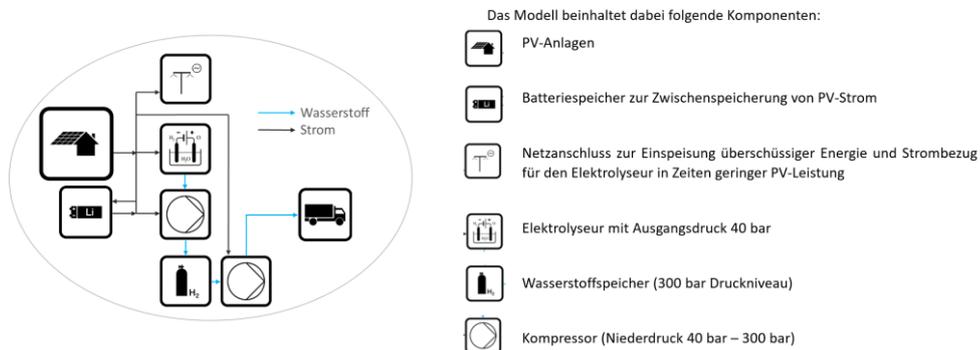


Abbildung 22 Schematische Darstellung des simulierten Technologiekonzepts PV-Tankstelle-LKW (© HyStarter-Region Ostallgäu/Reiner-Lemoine-Institut)

4.3.4 Empfehlungen

Überlegungen zur Flottengröße, externen Tankstellenkunden und zusätzlichen Strombeschaffung:

Vor dem Hintergrund der oben genannten Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit des Systems sollten in erster Instanz Überlegungen zu einer realistischen eigenen Flottengröße und eventuellen externen Tankstellenkunden angestellt werden. Sofern nur eine geringfügige Anzahl an eigenen Fahrzeugen für eine Umstellung auf Wasserstoffnutzung in Frage kommt, wäre anfänglich gegebenenfalls auch eine Betankung an einer externen Tankstelle eine denkbare Option oder die Beschaffung eines mobilen Systems. Alternativ sollten, im Falle des Betriebs einer eigenen Tankstelle bei gleichzeitig wenigen Fahrzeugen, in Gesprächen mit anderen potenziellen Wasserstoffabnehmern Interessensbekundungen für eine Mitnutzung der Wasserstofftankstelle eingeholt werden. Dies ist unter anderem auch für eine mögliche gemeinsame Wartung der Fahrzeuge zwischen unterschiedlichen Betreibern eine sinnvolle Überlegung.

Um eine bessere Auslastung des Elektrolyseurs zu erreichen, sollte zudem der Zukauf von Strom aus einer gleichmäßigeren Stromquelle in Erwägung gezogen werden.

Für eine mögliche Förderung der Tankstelle sollten möglichst frühzeitig die Gespräche mit dem zuständigen Ministerium gesucht werden.⁶⁷

Wahl der Stromquelle im Hinblick auf eine attraktive Auslastung des Elektrolyseurs:

Die Auslastung des Elektrolyseurs ist eine Größe, die erheblichen Einfluss auf die H₂-Gestehungskosten hat. PV-Anlagen weisen grundsätzlich eine geringe Auslastung von ca. 1.000 Volllaststunden auf. Um die Elektrolyse dennoch mit einer attraktiven Auslastung betreiben zu können ist es förderlich den Elektrolyseur mit einer PV-Anlage zu koppeln, deren installierte Leistung die Leistung des Elektrolyseurs deutlich übersteigt.

Alternativ zur ausschließlichen Strombereitstellung über die eigene PV-Anlage könnte der Zukauf von Strom aus einer gleichmäßigeren Stromquelle, wie bspw. einer Windkraftanlage, das PV-Strombereitstellungsprofil sinnvoll ergänzen und für eine bessere Auslastung des Elektrolyseurs sorgen. Um die Umlagen zu umgehen, wäre für diesen Fall eine Direktleitung zur Erzeugungs-Anlage notwendig. Für Unternehmen wird vom Bundeswirtschaftsministerium ab 2022 die Begrenzung der EEG-Umlage bzw. die vollständige Befreiung bei der Erzeugung von Wasserstoff in Aussicht gestellt. Dabei muss der Strom vollständig und nachweisbar aus erneuerbare Energien stammen.⁶⁸

Anzahl und Betankungszeitfenster der Brennstoffzellenfahrzeuge im Hinblick auf eine attraktive Auslastung der Wasserstofftankstelle:

Die Auslastung der Tankstelle ist eine Größe, die erheblichen Einfluss auf die Kosten pro verkauftem Kilogramm Wasserstoff hat. Entsprechend ist eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Betankungszeiten über den Tagesverlauf von zentraler Bedeutung.

Dies bedingt einerseits, dass die LKW möglichst zu unterschiedlichen Zeiten betankt werden, was eine erhebliche Anforderung an die Logistik mit sich bringt und mit den Einsatzzeiten der Fahrzeuge, wie auch den Arbeitszeiten der Mitarbeiter vereinbar sein sollte.

Zudem ist eine über den Tagesverlauf verteilte Betankung nur mit einer ausreichenden Anzahl an zu betankenden Fahrzeugen möglich. Sofern die Anzahl der BZ-LKW in der eigenen Flotte vor allem anfangs klein bleiben wird, wäre hier die Öffnung der Tankstelle für externe Kunden mit optimalerweise antizyklischen Betankungszeiten eine vielversprechende Option, um die Auslastung der Tankstelle zu erhöhen und die Kosten zu reduzieren.

Nutzung von Fördermitteln, um die hohen Investitionskosten der Wasserstofftankstelle zu reduzieren:

Wasserstofftankstellen sind vor allem im Vergleich zu konventionellen Diesel- und Benzintankstellen aktuell noch sehr teuer. Entsprechend hoch sind die umgelegten Investitionskosten pro verkauftem Kilogramm Wasserstoff.

⁶⁷STMWI Bayern, 2020

(<https://www.stmwi.bayern.de/service/foerderprogramme/wasserstofftankstelleninfrastruktur/>)

⁶⁸ Verordnung zur Umsetzung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2021 und zur Änderung weiterer energierechtlicher Vorschriften, 2021 (<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/V/verordnung-zur-umsetzung-des-ee-2021-und-zur-aenderung-weiterer-energierechtlicher-vorschriften.html>)



Stadt



Kaufbeuren



Wasserstoffmodellregion
Ostallgäu

Um diesem Problem zu begegnen, fördert das Land Bayern den Aufbau von 100 Wasserstofftankstellen bis 2025 mit 50 Mio. Euro.

Die hohen Fördersätze von bis zu 90 Prozent der Investitionskosten für öffentliche Tankstellen können dabei ein entscheidender Faktor für die Wirtschaftlichkeit eines Systems darstellen.

4.4 Wasserstofferzeugung aus (biogenen) Reststoffen für Müllsammelfahrzeuge

Die HyStarter-Region Ostallgäu möchte im Sinne einer umweltfreundlichen Kreislaufwirtschaft die Abfallentsorgung, Wasserstofferzeugung und Wasserstoffnutzung in der Region verbinden. Das blueFLUX-Verfahren des gleichnamigen regionalen Unternehmens aus Peißenberg soll dazu beitragen, die Reststoffe der Landwirtschaft, Kommunen und Industrie u.a. zu Wasserstoff zu wandeln, der am Standort als Kraftstoff für die Abfallsammelfahrzeuge eingesetzt werden soll.

WAS WIR VORHABEN

WASSERSTOFF ERZEUGUNG AUS BIOGENEN RESTSTOFFEN

Projektidee: Die Dorr Unternehmensgruppe stellt derzeit Überlegungen an, über das blueFLUX Verfahren aus dem in der Region gesammelten Müll Wasserstoff zu erzeugen. Große Mengen kohlestoffhaltiger Abfälle und klassischer Biomüll werden am Standort in Kaufbeuren gesammelt und in die Kompostierung gebracht. Die blueFLUX Energy AG hat ein Verfahren entwickelt, wie aus diesen Stoffen zu vergleichsweise günstigen Kosten Wasserstoff erzeugt werden kann (vgl. Kap. 4.4.1 Wasserstoff-Erzeugung via blueFLUX). Der lokal erzeugte Wasserstoff könnte in einem nächsten Schritt am Standort über eine zu errichtende Tankstelle verteilt werden. Abnehmer wären unternehmenseigene Entsorgungsfahrzeuge oder andere Mobilitätsanwender, wie der ÖPNV.



Der Maschinenring Ostallgäu betreut Landwirte in der gesamten Region und hat ca. 2500 Mitglieder, die hauptsächlich aus dem Bereich der Viehhaltung kommen. Eine Herausforderung bei der Viehhaltung sind die großen Mengen an Gülle, die nicht als Düngemittel auf den Feldern verteilt werden dürfen (Gülle-Verordnung). Interessant wäre es daher zu prüfen, ob mit dem blueFLUX-Verfahren (oder ähnlichen Technologien) separiertes Material der Landwirte (u.a. Gülle) oder Klärschlamm von Kommunen in einer solchen Anlage verwertet werden können.

Initiator: Dorr GmbH & Co.KG

Mögliche Partner: blueFLUX Energy AG, Maschinenring Ostallgäu

Umsetzungsstandort: Standort der Dorr Unternehmensgruppe in Kaufbeuren

Herausforderungen: Bei der Erzeugung ist primär die fehlende Praxiserfahrung mit dem Betrieb der blueFLUX Anlagen zu nennen. Beim Einsatz von Müllfahrzeugen und der Errichtung einer Tankstelleninfrastruktur stellen die hohen Anschaffungskosten, die Verfügbarkeit der Technologie eine Herausforderung dar. Weiterhin müssten weitere Abnehmer für den erzeugten Wasserstoff identifiziert werden.

Stand: Es wurden bereits intensive Gespräche mit der blueFLUX Energy AG geführt und die Projektidee weiter konkretisiert. Im Rahmen von HyStarter fand durch das RLI eine Modellierung der potenziellen Erzeugungskapazitäten statt.

4.4.1 Wasserstoff-Erzeugung via blueFLUX

Die blueFLUX Energy AG verwendet ein Wasserstoff-Gewinnungsverfahren aus Reststoffen, das in drei Schritte gegliedert ist. Im ersten Schritt werden inhomogene Stoffe zu Bio-Kohle verarbeitet. Die Bio-Kohleproduktion ist aus Klärschlamm, Gülle, Mist, Bio- und Organischen Abfällen, Plastik (bis zu 30 %) und auch faserhaltigen Abfällen wie Glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) oder Glasfaser Verbundstoffen (GFC) möglich. Voraussetzung der Eingangsstoffe ist ein 30%iger Feststoffanteil. Mittels produzierter Bio-Kohle wird in einem KDC-Reaktor Dampf erzeugt. Im zweiten Schritt wird der Dampf und die Bio-Kohle in einem Flugstromvergaser zu Synthesegas umgewandelt. Bei diesem Vorgang beträgt die Arbeitstemperatur <math><180\text{ }^\circ\text{C}</math>, sodass die Gasphase nicht erreicht wird und aufgrund der homogenen Bio-Kohle die Teerbildung und somit ein Verkleben der Anlage ausbleibt. Das Synthesegas wird im letzten Schritt genutzt, um über eine CO-Shift-Reaktion Wasserstoff zu erzeugen. Für die einzelnen Prozessschritte werden verschiedene Systeme benötigt, die modular als Containerlösung zu errichten sind. Anstelle von Wasserstoff kann über die Anlage auch Bio-Kohle, -Methan oder -Methanol gewonnen werden, hierzu muss der Prozess nur zur Produktion (zum Prozessschritt) des gewünschten Produkts durchgeführt werden.

HERSTELLER & TECHNOLOGIEVERFÜGBARKEIT

Das blueFLUX-Verfahren wird bislang einmalig vom gleichnamigen Hersteller angeboten und befindet sich in der Prototypenphase, welche 2020 startete. Ab dem 4. Quartal 2022 plant der Hersteller die Anlage in verschiedenen Leistungsklassen anzubieten. Die einzelnen Prozessschritte sind erprobt und gelten als zuverlässig. Das Gesamtkonzept muss aber noch den Testbetrieb absolvieren.

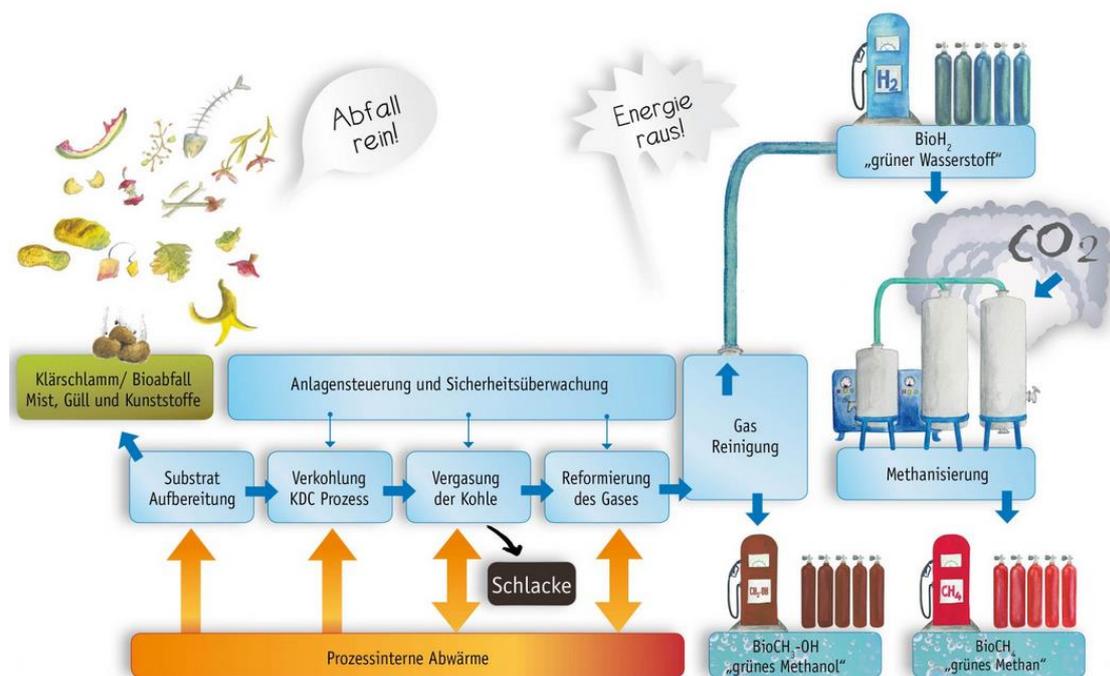


Abbildung 23 blueFLUX H2 - grüner Wasserstoff aus biologischen Reststoffen (© blueFLUX Energy AG)

HERAUSFORDERUNGEN & EMPFEHLUNG

Wasserstoff-Gewinnung aus Reststoffen über das blueFLUX-Verfahren wird derzeit noch erprobt. Bislang sind keine Referenzprojekte oder alternative Hersteller am Markt verfügbar, sodass noch keine Erfahrungswerte vorhanden sind. Für eine solche Anlage ist das BlmSch-Verfahren notwendig und die Einordnung als grüner Wasserstoff ist noch ungeklärt. Die Wasserstoff-Produktionskosten gibt der Hersteller mit < 2€ je kg H₂ an, was ebenfalls noch zu prüfen ist. Der Wasserstoff wird mit einem Ausgangsdruck von 40 bar und einer 3.0 Qualität (99,9 % Reinheit) produziert. Für die H₂-Anwendung in Brennstoffzelle im Mobilitätsbereich ist eine Aufreinigung auf 5.0 (99,999 %) Qualität notwendig.

Die einzelnen Komponenten und Prozessschritte der blueFLUX-Anlage sind erprobt und langjährig im Einsatz. Die Inhomogenität der Einsatzstoffe wird durch den ersten Prozessschritt umgegangen. Ein solches Konzept ist aus technischen Aspekten sinnvoll und sollte von der Region umgesetzt werden.

4.4.2 Müllsammelfahrzeuge

In der Region wird langfristig auch bei Nutzfahrzeugen die Umrüstung auf alternative Antriebe angestrebt bzw. notwendig. Wird der Einsatz der Müllsammelfahrzeuge durch die öffentliche Hand beauftragt, sollen diese zukünftig die Kriterien der Clean Vehicles Directive (CVD)⁶⁹ erfüllen.

Bei Brennstoffzellen-Müllsammelfahrzeugen wird die gesamte Technik mit elektrischer Energie versorgt, sowohl der Antrieb des Fahrzeugs als auch die Hydraulikpresse. Bei einem durchschnittlichen Wasserstoff-Verbrauch von ca. 8 kg/100 km, sind Reichweiten zwischen 200 – 400 km möglich. Brennstoffzellen-Müllsammler des Herstellers Faun können auch mit 700 bar betankt werden, sodass eine Nutzung des öffentlichen Tankstellennetzes möglich ist. Um die benötigten Reichweiten zu erreichen, werden von manchen Herstellern Brennstoffzellen-REX (Range Extender) Konzepte eingesetzt, der Elektromotor kann über eine Batterie oder die Brennstoffzelle Strom beziehen. Aufgrund des Speicherbackup-Systems können die Fahrzeuge eine geringe Distanz batterieelektrisch zurücklegen.

Bezüglich der Kosten sind die Fahrzeuge durchschnittlich um den Faktor drei teurer als die herkömmliche Verbrenner-Variante. Eine Kostensenkung ist zu erwarten, da Brennstoffzellen künftig in deutlich größeren Stückzahlen produziert werden. Bei allen Fahrzeugsegmenten wird im Prinzip die gleiche Technik verwendet. Stolpersteine technischer Art gibt es bei den Fahrzeugen nicht. Die Kaltstartfähigkeit ist kein Problem mehr, die Fahrzeuge können bei bis zu – 30 °C starten und die Lebensdauern der Brennstoffzellen liegen bei über 30.000 h. Darüber hinaus sind alle Wasserstoff-Mobilitätslösungen lokal emissionsfrei und leise.

HERSTELLER & TECHNOLOGIEVERFÜGBARKEIT

Brennstoffzellen-Müllsammelfahrzeuge werden von diversen europäischen Herstellern angeboten, wie u.a. Faun auf Basis eines Daimler Econic sowie E-Trucks und HS Fahrzeugbau auf Basis eines DAF. Die

⁶⁹ BMVI, Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge, 2021
(https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/clean-vehicles-directive_en,
<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/K/clean-vehicles-directive.html>)

Lieferzeit beträgt mindestens ein Jahr. In dem EU-Projekt „HECTOR“ (Hydrogen Waste Collection Vehicles in North West Europe) wird der Einsatz von insgesamt sieben Fahrzeugen an sieben Standorten (in Schottland, Niederlande, Frankreich, Belgien und Deutschland) erprobt. Die ersten Fahrzeuge wurden bereits 2020 ausgeliefert. Interessenten können durch die Fa. Faun eine Rohdatenermittlung durchführen lassen, bei der der Energiebedarf für den Wasserstoff-Einsatz über ein konventionelles Fahrzeug ermittelt wird. Durch die Sammlung und Auswertung der Rohdaten können die Anlagengröße der Wasserstoff-Tankstelle sowie die Brennstoffzellen-Leistung bedarfsgerecht ausgelegt werden.

HERAUSFORDERUNGEN & EMPFEHLUNG

Neben den Anschaffungskosten ist die notwendige Tankinfrastruktur für den Einsatz des regional erzeugten Wasserstoffs in Brennstoffzellen-Müllsammelfahrzeugen eine Hürde bzw. Voraussetzung.

Öffentliche Tankstellen gibt es in der Region derzeit nicht. Für die Anlagengröße und den Standort der Tankstelle sollten die weiteren regionalen Bedarfe berücksichtigt werden.

4.4.3 Modellierung der Idee

Es gibt derzeit noch wenig Erfahrung mit den Anlagen der Firma blueFLUX. Daher wurde bei der Untersuchung der Projektidee das eigentliche Verfahren als Blackbox modelliert. Es wurde ausschließlich der im Verfahren produzierte Wasserstoff zu einem festen Bezugspreis im System berücksichtigt. Die Effizienz und Kostenbestandteile der einzelnen Prozessschritte der Anlage wurde hier nicht betrachtet und sind Teil der Pilotprojekte und Vorhaben.

In der Modellierung wurde der Wasserstoffbezug aus dem blueFLUX-Verfahren mit anschließender Gasreinigung und Verdichtung zur Weiterverwendung abgebildet. Zur Gasreinigung wurde angenommen, dass das blueFLUX-Verfahren Wasserstoff mit einer Reinheit von 3.0 bereitstellt und dieser in der Reinigung auf 5.0 erhöht wird. Die anschließende Verdichtung hat das Enddruckniveau von 300 bar. Damit kann der Wasserstoff zur weiteren Verwendung zum Beispiel gasförmig per Trailer abtransportiert werden.

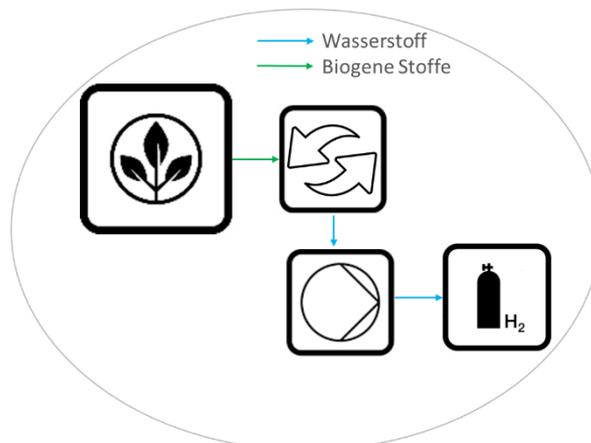


Abbildung 24: Schematische Darstellung des simulierten Technologiekonzepts der blueFLUX-Anlage ((© HyStarter-Region Ostallgäu/Reiner-Lemoine-Institut))

Zur Simulation wurde die blueFLUX-Anlage „bF H2 3000“ betrachtet. Damit könnten die in der Region verfügbaren Mengen an biogenen Reststoffen (ca. 5000 – 6000 t/a) verarbeitet werden. Die Anlage hat einen Output an Wasserstoff von ca. 250 t/a. Die Produktionskosten liegen laut Herstellerangaben bei 2 €/kg und müssen im Pilotbetrieb nachgewiesen werden. Die Zusatzkomponenten für Reinigung und Verdichtung erhöhen die Gestehungskosten des Gesamtsystems um ca. 20 ct/kg.

Bilanziell könnte die gewählte blueFLUX Anlage eine Produktionskapazität von 250 t/a erzeugen. Dieser Wert wäre ausreichend, um die einer weiteren Simulation ermittelten Bedarfe eines Industriestandorts für die Substitution von grauen mit regional erzeugtem grünen Wasserstoff zu 60% zu decken.

4.4.4 Empfehlungen

Die optimistischen Kostenerwartungen bei dem blueFLUX-Verfahren werden sich nur durch den Praxiseinsatz der Technologie prüfen lassen. Mit 2 €/kg_{H2} verspricht das blueFLUX-Verfahren eine vergleichsweise kostengünstige Produktion von Wasserstoff und liegt damit weit unterhalb der Kosten des Elektrolyse-Wasserstoffs. Bei den Kosten ist zu berücksichtigen, dass diese herstellerseitig unter anderem eine Einnahmequelle durch die Abnahme des Klärschlammes annehmen. Dieser stellt das Eingangsmaterial des Prozesses dar und müsste alternativ kostenpflichtig einer Monoverbrennung zugeführt werden.

Ein zeitnahe Betrieb einer Anlage im Marktumfeld kann dazu dienen diese Erlös- und Kostenerwartung seitens der Nutzer zeitnah zu bestätigen, um eventuell vorhandene Unsicherheiten auf der Anwenderseite auszuräumen und die Risikobereitschaft für einen Betrieb von Anlagen in größeren Dimensionen zu erhöhen.

4.5 Wasserstoff in der Energieversorgung ländlicher Gemeinden

Die Gebäudeenergieversorgung möglichst klimaneutral zu gestalten bzw. den CO₂-Ausstoß deutlich zu reduzieren ist ein weiteres Handlungsfeld der Region. Ländliche Regionen sind durch ihre hohe Flächenverfügbarkeit pro Einwohner dazu geeignet eine fossilfreie Energieversorgung direkt aus den lokalen Ressourcen darzustellen. Als Basis einer fossilfreien energetischen Versorgung für ländliche Quartiere, sollen in der HyStarter-Region Ostallgäu landwirtschaftlich benachteiligten Flächen für den Ausbau von erneuerbaren Energien, insbesondere PV-Anlagen, genutzt werden. Der dort erzeugte Grünstrom kann idealerweise lokal eingesetzt werden, um ganze Gemeinden oder Ortsteile mit Energie zu versorgen. Neben der direkten Nutzung des Stroms bietet Wasserstoff eine Option als saisonaler Speicher. Mit Einbindung des Elektrolyseurs und einer Brennstoffzelle bzw. eines Wasserstoff BHKWs ins Gesamtkonzept fällt Abwärme an, die für die Wärmeversorgung über ein Nahwärmenetz genutzt werden soll. Zusammen mit dem Einsatz von Wärmepumpen, Solarthermie und Brennstoffzelle kann die Wärmeversorgung vollständig und ganzjährig sichergestellt werden.

Ganz allgemein können Strom und Wärme über eine stationäre Brennstoffzelle oder über ein gasmotorisches H₂-BHKW für die Gebäudeenergieversorgung zur Verfügung gestellt werden. Die verschiedenen Leistungsklassen erlauben einen Technologieeinsatz für verschiedenste Quartiere, entweder über ein Nahwärmekonzept oder im Einzelgebäude. Verschiedene Hersteller bieten diese Technologien auch mit einem Gas-Mischbetrieb an. Dies ermöglicht einen wechselweisen Betrieb mit Erd-, Biogas oder Wasserstoff, je nach Verfügbarkeit. Zur Gebäudeenergieversorgung wird Wasserstoff (oder Wasserstoff-Erdgasgemische) per Brennstoffzelle rückverstromt, um Strom- und Wärmebedarf der Gebäude zu decken. Die PEM-Brennstoffzelle bietet zwar hohe Stromkennzahlen und einen hohen elektrischen Wirkungsgrad, hat aber nur eine vergleichsweise geringe Abwärme bei Temperaturen um 50 °C. Gebäude, die weit vom Niedrigenergie- oder Passivhausstandard abweichen und hohen Wärmebedarf haben, sollten daher diese H₂-Anwendung nicht primär verfolgen. Niedertemperatur-Brennstoffzellen wie die PEM sind bei schwankenden Leistungsanforderungen aufgrund ihrer Kaltstartfähigkeit und ihrem hohen Wirkungsgrad sowohl im Voll- als auch (je nach Anwendung) Teillastbetrieb anwendbar.

Für die Wärmeversorgung einzelner Gebäude können auch H₂-Brennwertkessel (umgerüstete Erdgaskessel) eingesetzt werden. Dieser ist im Heizraum des Gebäudes zu errichten. Der Wasserstoff kann über bestehende Erdgasleitungen oder ein neu zu errichtendes H₂-Pipelinennetz transportiert werden. Dies trifft allerdings nicht auf den regionalen Handlungsansatz zu.

WAS WIR VORHABEN

WASSERSTOFF IN DER QUARTIERSVERSORGUNG

Projektidee 1: Die Vereinigte Wertach-Elektrizitätswerke möchten ein Demonstrationsprojekt in einem Quartier im Ostallgäu entwickeln und die Idee bei Erfolg skalieren. Ziel ist es, erneuerbare Energien in Gemeinden ohne Erdgasanschluss zu nutzen und dabei möglichst viel Wertschöpfung im Ort zu halten. Ort der Umsetzung soll eine kleine Gemeinde mit kompakter Bebauung und vorwiegend Wohnhäuser oder landwirtschaftliche Gebäude sein. Die zentrale Stromerzeugung für die Elektrolyse erfolgt durch eine Freiflächen-PV-Anlage (in landwirtschaftlich benachteiligten Gebieten). Die PV-Anlage erzeugt im Sommer Strom für die Wasserstoffproduktion, um auch im Winter die Gemeinde mit Strom und Wärme zu versorgen. Der erzeugte Wasserstoff kann nach Bedarf über ein Wasserstoffnetz zu den Verbrauchern gebracht werden und dort mittels eines Wasserstoffbrennwertgerätes zur Wärmeerzeugung genutzt werden. Alternativ ist auch der Aufbau eines Nahwärmenetzes möglich. Der Wasserstoff wird dann einer Brennstoffzelle zugeführt, deren Abwärme in das Nahwärmenetz eingespeist wird. Die Stromproduktion wird für gemeindliche Anwesen verwendet. Diese Maßnahmen dienen dazu möglichst viel an Wertschöpfung, die heute an Stromversorger, Heizöllieferanten und Öl-Konzerne fließen, in der Gemeinde zu halten und die Akzeptanz für den Ausbau erneuerbarer Energien im ländlichen Raum zu erhöhen.



Projektidee 2: Die LENA Service GmbH setzt sich ebenfalls mit dem Thema Wasserstoff als saisonaler Speicher in ländlichen Quartieren auseinander, legt aber eher einen Schwerpunkt auf die kombinierte Wärmeversorgung. Auf Basis einer Fernwärmeversorgung in einer ländlichen Gemeinde sollen Abwärme, solare Wärme und Umweltwärme direkt und mittels Wärmepumpen die Hauptlast der Wärmeversorgung tragen. Erneuerbarer Strom, der auf dem Gemeindegebiet erzeugt wird, soll mittels Elektrolyseur in Wasserstoff umgewandelt werden. Der gespeicherte Wasserstoff steht dann für die Bedarfszeiten im Winter zur Verfügung und erzeugt bei Erzeugung und Nutzung jeweils Strom und Wärme, die jeweils lokal zu verwerten sind. Aktuell werden zwei energetische Konzepte für ländliche Quartiersstandorte im Landkreis Landsberg vorbereitet, um die Sektorenkopplung auf Quartiersebene PV – Wärme – Wasserstoff – Mobilität im oberen konzeptionellen Rahmen voranzubringen.

Projektidee 3: Die Fernwärme Marktoberdorf GmbH arbeitet an der regenerativen Weiterentwicklung ihres Unternehmens und denkt dabei die Erzeugung von Wärme und Strom aus grünem Wasserstoff ebenso wie die Wasserstofferzeugung aus Biomasse und/oder PV mit. Sie verfügen über ein Fernwärme-Netz mit ca. 7 Kilometer Netzlänge und 11.000 MWh Wärmeverkauf pro Jahr. Die bisherige Wärmeerzeugung kommt aus KWK-Anlagen, Biomasse und Biogas. Die größten Wärmeabnehmer sind öffentliche kommunale und staatliche Liegenschaften.

Initiatoren: LENA Service GmbH, VWEW, Fernwärme Marktoberdorf

Mögliche Partner: Partnergemeinden

Umsetzungsstandort: Erste Gespräche mit einer Gemeinde wurden geführt, weitere Partnergemeinden werden gesucht. Marktoberdorf.

Herausforderungen: Die lokale Vermarktung von Strom und Wärme ist administrativ mit erheblichen Auflagen und Abgaben verbunden. Könnte die Vermarktung lokal auf Basis der Energieerzeugungskosten erfolgen, wäre ein Energieversorgungssystem in ländlichen Gemeinden umsetzbar, das einerseits eine ganzjährige sichere Versorgung sicherstellt, darüber hinaus ohne wertvolle Biomasse auskommt und im Idealfall sogar Überschüsse bei Strom und Wasserstoff außerhalb der Gemeinde vermarkten kann.

Stand: Die Projektideen befinden sich derzeit im Ideenstadium bzw. in der Entwicklung eines konkreten Konzepts.

HERSTELLER & TECHNOLOGIEVERFÜGBARKEIT

Stationäre Brennstoffzellensysteme und H₂-BHKW sind in verschiedenen Leistungsklassen marktreif und verfügbar. Hersteller wie 2G (Verbrennungsmotor) oder Fuji N2telligence (PAFC) bieten H₂-BHKW mit einem Gas-Mischbetrieb bereits an. Dies ermöglicht einen wechselweisen Betrieb mit Erd-, Biogas oder Wasserstoff, je nach Verfügbarkeit. Gebäude oder Quartiere können, wenn eine entsprechende Anbindung vorhanden ist, zunächst mit Erdgas versorgt werden und nach Etablierung einer ausreichenden Wasserstoff-Produktion, kann das System auf Wasserstoff umgestellt werden. Die Fuji N2telligence wird bereits von Wolf ButterBack KG oder von Nordfrost in Herne in Tiefkühlagern genutzt sowie das 2G BHKW in Haßfurt. Brennstoffzellen mit höherer Leistung, ab 1,5 MW elektrisch, 1 MW thermisch, bietet Fuel Cell Energy an. Eine Lösung für sektorenübergreifende „Inseldörfer“ ohne Netzzugang wird in dem Projekt Smart Quart in Kaisersesch umgesetzt.

H₂-Brennwertkessel werden von Remeha angeboten und seit 2019 im niederländischen Rozenburg eingesetzt. In Deutschland werden sie aktuell von Westnetz in einem Gewerbegebiet in Holzwickede zur Wärmeversorgung genutzt.

HERAUSFORDERUNGEN & EMPFEHLUNG

Für den reinen oder einen priorisierten Wärmebedarf eignen sich die brennstoffzellenbasierten Systeme nicht, da sie auf hohe Stromkennzahlen und einen hohen elektrisch Wirkungsgrad ausgelegt sind. H₂-Motor-BHKW oder Brennwertthermen sind hier sinnvoller. Wärmebedarf, der über die Abwärme der Brennstoffzelle hinausgeht, sollte über Wärmepumpen oder über Strom bereitgestellt werden. Bei einer leitungsgebundenen Gebäudeversorgung muss eine kontinuierliche, ganzjährige Gasversorgung sichergestellt werden. Zudem ist die Verlegung von Pipelines vor allem in Siedlungsbereichen kostspielig, da u.a. Tiefbauarbeiten und Genehmigungen erforderlich sind.

Für die Wasserstoff-Versorgung bei stationären Brennstoffzellen ist ein H₂-Speicher vor Ort oder ebenfalls ein Gasanschluss notwendig. Je nach Größe und Energiebedarf muss der Speicher wöchentlich befüllt werden.

Die Technologieauswahl orientiert sich ebenfalls an der Gebäudeart. In Bestandsgebäuden können SOFC-Systemen eingesetzt werden. Bürogebäude sind individuell zu prüfen, auch hier ist je nach Energiebedarf und Grundlast der Wasserstoff-Einsatz möglich.

Ein System mit PEM-Elektrolyseur und Niedertemperatur-Brennstoffzelle empfiehlt sich bei Niedrigenergiestandard- oder Passivhäusern mit niedrigem Wärmebedarf. Zusätzliche Wärmeerzeugung ist z.B. durch Wärmepumpen sicherzustellen. Hierbei handelt es sich meist um Neubauten von Ein- oder Mehrfamilienhäusern.

Bei hohem Wärmebedarf sollte man auf Technologien wie wasserstofftaugliche Brennwertthermen oder motorische BHKW ausweichen.

Vollautarke Systeme sollten nur realisiert werden, wenn es wie in den Projektideen beschrieben, keine Netzanschlüsse gibt. Ein Netzanschluss ist aus Redundanzgründen zur Sicherstellung der Energieversorgung immer sinnvoll, da die letzten 10 % bis zur echten Autarkie in der Regel die teuersten sind. Die Umsetzung eines Komplettsystems wird von HPS (aus Berlin), Emcel (aus Köln), HyCon (aus Herten) und diversen versierten Ingenieurbüros angeboten.

Die genannten Technologien sind alle am Markt verfügbar, wodurch sich Projekte relativ schnell realisieren lassen. Zeitaufwändig sind Konzepte, wo Wasserstoff per Pipeline zu den Gebäuden transportiert werden soll. Je nach verwendeter Technologie kann es sich dann anbieten, zunächst mit Erd-/Biogas zu beginnen und später auf Wasserstoff umzusteigen.

4.5.1 Empfehlung und Nächste Schritte

Die Wahl der Stromquelle hat enormen Einfluss auf eine attraktive Auslastung des Elektrolyseurs. Mit einer großzügig dimensionierten PV-Anlage kann grundsätzlich der Elektrolyseur auch bei PV-Teillast betrieben werden und somit bis zu 3000 Std/a aus PV Leistung dargestellt werden. Dennoch sollte über die Kombination mit weiteren Stromquellen nachgedacht werden. Neben Windenergieanlagen weisen Laufwasserkraftwerke tendenziell eine hohe Auslastung auf und sind somit als Stromlieferung für die Elektrolyse gut geeignet.

Für eine kWh bereitgestellter Wärme wird im Markt deutlich weniger bezahlt als für eine kWh bereitgestellten Strom. Entsprechende Bedeutung kommt der Vermarktung des zusätzlich zur Wärme im BHKW produzierten Stroms zu. Der Gesetzgeber sieht jedoch keine besondere Förderung für die Einspeisung von aus erneuerbarem Wasserstoff produziertem Strom vor. Die attraktivsten Vergütungssätze sind dementsprechend im Rahmen des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG) oder des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) zu erwarten. Da der aus der Wasserelektrolyse erzeugte Wasserstoff⁷⁰ gemäß EnWG⁷¹ unter den Biogasbegriff fällt, könnte das im Rahmen des Konzepts

⁷⁰ Dies gilt nur, sofern der zur Elektrolyse eingesetzte Strom nachweislich weit überwiegend aus erneuerbaren Energiequellen im Sinne der Richtlinie 2009/28/EG (ABl. L 140 vom 5.6.2009, S. 16) stammt.

⁷¹ § 3 Nr. 10c EnWG

geplante BHKW an den EEG-Ausschreibungen für Biomasseanlagen teilnehmen. Alternativ könnte der im geplanten BHKW produzierte Strom einen KWKG-Zuschlag beziehen und wäre vermutlich auch für den iKWK-Bonus⁷² für innovative erneuerbare Wärme qualifiziert. Darüber hinaus fördert der Gesetzgeber über das KWKG innovative KWK-Systeme. Die Höhe der finanziellen Förderung für innovative KWK-Systeme, die eine alternative und keine zusätzliche Förderung zum oben genannten KWK-Zuschlag darstellt, wird dabei per Ausschreibung ermittelt.

Die fossilfreie Energieversorgung ländlicher Gemeinden zu gestalten, weist eine hohe Komplexität auf. Insbesondere die verschiedenen Energieformen und Abnahmesektoren auf der Verbraucherseite gestalten eine überschlägige Wirtschaftlichkeitsanalyse schwierig. Es sind direkte Abnehmer des in der PV-Anlage produzierten Stroms wie bspw. batterieelektrischen Fahrzeugen an der Ladestation vorgesehen. Darüber hinaus sind indirekte Strom- und Wärmeabnehmer im Rahmen der teilweise saisonalen Speicherung und anschließenden Rückverstromung des Wasserstoffs in einem BHKW angedacht. Sowohl die Energieflüsse über den Jahresverlauf wie auch die Zahlungsflüsse sollten für ein repräsentatives System einmal betrachtet werden, um eine Aussage zur Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems tätigen zu können.

4.6 Stoffliche Nutzung von Wasserstoff in der Industrie

Erst zum Ende des Projektzeitraums kristallisierte sich im Akteurskreis Interesse am Thema der stofflichen Nutzung von Wasserstoff heraus. Grüner Wasserstoff birgt ein hohes Potenzial zur Reduktion von CO₂-Emissionen in der Industrie. Grauer Wasserstoff oder Erdgas können mit grünem Wasserstoff substituiert werden und dadurch Prozesse klimafreundlicher gestalten. Bislang bestehen aber, wie auch in der HyStarter-Region, noch einige Hürden für dessen Nutzung. Die Kosten für den grünen Wasserstoff stellen eine große Herausforderung für Industrieunternehmen, die grauen Wasserstoff derzeit für teilweise weit unter 2 €/kg beziehen können. Hohe Wasserstoffkosten bzw. Stromkosten bei einer Onsite-Elektrolyse können sich nachteilig auf die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Unternehmen auswirken. Der Verband der Chemischen Industrie (VCI) verweist daher auf die notwendige Sicherstellung niedriger Stromkosten oder Kompensationsmechanismen wie die Carbon Contracts for Difference (CCfD), um Unternehmen für die Mehrkosten ihrer klimafreundlichen Strategien zu entschädigen.⁷³ Zukünftig ist aber ebenfalls mit nicht unerheblichen Kosten für den Zukauf von Verschmutzungsrechten im Rahmen des EU-Emissionshandels zu rechnen. Dies ist ein Grund, warum große Industrieunternehmen bereits im Rahmen von Demonstrationsvorhaben wie *GrInHy2.0 (Green Industrial Hydrogen)*⁷⁴ die Erzeugung und Nutzung grünen Wasserstoffs erproben.

Zusätzlich muss geprüft werden, inwiefern vorhandene Anlagen, Infrastrukturen oder auch Prozesse in der Industrie bei einer Umstellung von Erdgas auf grünen Wasserstoff angepasst werden müssen.

⁷² § 7a KWKG 2020

⁷³ VCI, 2020 (<https://www.vci.de/vci/downloads-vci/2020-09-29-ig-bce-vci-h2-strategie-final.pdf>)

⁷⁴ Salzgitter AG, 2021 (<https://www.salzgitter-ag.com/de/newsroom/pressemeldungen/details/grinhy20-eufoerdertraeger-besichtigt-weltweit-groessten-hochtemperaturelektrolyseur-bei-der-salzgitter-flachstahl-gmbh-15143.html>)

Darüber hinaus ist insbesondere beim Bezug von Wasserstoff die unterbrechungsfreie und sichere Versorgung Voraussetzung.

WAS WIR VORHABEN

GRÜNER WASSERSTOFF IN DER FERTIGUNG

Projektidee: Das Unternehmen Hoerbiger verwendet Wasserstoff in der Fertigung von Antriebstechnik am Standort Schongau. Die Projektidee umfasst die Erzeugung von grünem Wasserstoff am Standort in Schongau, um die Fertigungsprozesse klimafreundlicher zu gestalten. Als Erzeugungspfad ist die Elektrolyse mit PV Strom aus den firmeneigenen PV-Anlagen angedacht. Je nach Erzeugungs-Kapazität ist eine Kooperation mit weiteren Verbrauchern oder ein Zukauf von grünem Wasserstoff denkbar.



Initiator: Hoerbiger

Mögliche Partner: Je nach Erzeugungsmenge werden regionale Erzeuger von grünem Wasserstoff oder Abnehmer in der Region gesucht.

Umsetzungsstandort: Firmenstandort in Schongau

Herausforderungen: Die Kosten für grünen Wasserstoff überstiegen die Preise für grauen Wasserstoff um ein Vielfaches. Die Qualitätsanforderungen an den Wasserstoff in der Industrie sind höher als bei mobilen Anwendungen, was eine Aufreinigung nötig machen könnte. Um kontinuierliche Versorgung zu gewährleisten sind evtl. große Speicherkapazitäten notwendig.

Stand: Der Projektansatz befindet sich derzeit im Ideenstadium. Eine erste Modellierung im Rahmen von HyExpert durch das RLI gibt erste Hinweise zu den Potenzialen.

4.7 Weitere diskutierte Projektansätze

Nicht alle Technologien und Anwendungen, die im Projektverlauf diskutiert werden, wurden in konkrete Projektideen überführt. Dies gilt u.a. für alternative Pfade der Wasserstofferzeugung per Biogasdampfreformierung, aber auch beim Einsatz von Brennstoffzellen-Fahrzeugen im ÖPNV und SPNV. Hier fehlt es derzeit noch an umsetzungswilligen Akteuren in der Region, die das Thema eigenständig vorantreiben können bzw. die hohen Kosten tragen können. Da hier dennoch große Potenziale gesehen werden und sich insbesondere Synergien mit den Anwendungen in der Logistik anbieten, werden diese Anwendungsbereiche im Folgenden grob skizziert.

4.7.1 ALLGEMEINES ZU BRENNSTOFFZELLEN-FAHRZEUGEN

Allgemein gelten Brennstoffzellenfahrzeuge als ausgereift und sicher. Die größten Hemmnisse stellen Lieferzeiten, Kosten und die Tankinfrastruktur da. Für die Lieferzeit bei allen Fahrzeugsegmenten ist mit mindestens einem Jahr zu kalkulieren, lediglich PKW bilden hier mit zwischen 3 – 6 Monaten die Ausnahme. Um BZ-Züge für Testzwecke zu beziehen, ist mit Wartezeiten zwischen 6 – 9 Monaten zu rechnen. Schwere LKW sind derzeit nur in der Schweiz verfügbar.

Die Tankstellen-Infrastruktur kann von mehreren Akteuren und Fahrzeughaltern genutzt werden, wobei die verschiedenen Betankungsdrücke von 350 und 700 bar zu berücksichtigen sind. Dabei kann die Tankstelle auf einem privaten Betriebsgelände oder öffentlich errichtet werden. Flächendeckend ist die Infrastruktur noch nicht vorhanden, insb. das Tanken mit 350 bar an öffentlichen Tankstellen ist meist aufgrund der fehlenden Druckstufe nicht möglich. Viele öffentliche Wasserstofftankstellen sollen jedoch auf 350 bar nachgerüstet werden.

Bezüglich der Kosten sind die Fahrzeuge durchschnittlich um den Faktor drei teurer als die herkömmliche Verbrenner-Variante. Eine deutliche Kostensenkung ist zu erwarten, da Brennstoffzellen künftig in deutlich größeren Stückzahlen produziert werden. Bei allen Fahrzeugsegmenten wird im Prinzip die gleiche Technik verwendet. Stolpersteine technischer Art gibt es bei den Fahrzeugen nicht. Die Kaltstartfähigkeit ist kein Problem mehr, die Fahrzeuge können bei bis zu -30 °C starten und die Lebensdauer der Brennstoffzelle liegt bei über 30.000 Stunden. Ein Pkw mit Verbrennungsmotor weist durchschnittlich 150.000 km auf, was bei 30 km/h ca. 5.000 Betriebsstunden entspricht. Im ÖPNV verfügen Busse über eine ähnliche Reichweitenperformance wie die Verbrenner-Alternative, sowohl im Winter als auch im Sommer, sodass Routen nicht angepasst werden müssen. Darüber hinaus sind alle H₂-Mobilitätslösungen lokal emissionsfrei und leise.

Als Basisinfrastruktur sollen bis 2023 bayernweit 100 Wasserstofftankstellen errichtet werden. Bayern soll führender Standort für H₂-Technologien werden und positioniert sich damit klar: Wasserstofferzeugung im windreichen Norden und anderen Regionen der Welt, Know-how und High-Tech im Süden. Zu den Umsetzungsschritten gehören eine Forschungsoffensive „H₂ Hightech Bayern“, der Aufbau von Entwicklungs- und Testinfrastrukturen zur beschleunigten industriellen Skalierung und eine Förderrichtlinie für Wasserstofftankstellen, in Kombination auch für Elektrolyseanlagen und Brennstoffzellenfahrzeuge wie Busse, Nutzfahrzeuge und LKW. Daneben werden Bayerische

Wasserstoff-Modellregionen und Demonstrationsprojekte ausgebaut und eine Wasserstoff Roadmap Bayern erarbeitet.⁷⁵

4.7.2 H₂-BUSSE IM ÖPNV

Brennstoffzellenbusse sind im H₂-Mobilitätssektor am weitesten technologisch fortgeschritten und gelten als serienreif. Im Vergleich zur batterieelektrischen Variante verfügen sie über höhere Reichweiten von bis zu 350 km und können darüber hinaus in 5 bis 15 Minuten an einer 350 bar Tankstelle getankt werden. Üblicherweise werden 30 kg Wasserstoff bei 350 bar in einem Typ 3 Tank (metallisches Liner) oder Typ 4 Tank (Kunststoffliner) gespeichert. Zur H₂-Bereitstellung kann eine H₂-Tankstelle auf dem Betriebshof errichtet oder eine öffentliche Tankstelle genutzt werden, die neben 700 bar auch über eine 350 bar-Zapfsäule verfügt. Bei letzterem Modell muss sichergestellt sein, dass die Tankstelle der baulichen Gegebenheiten (Breite der Fahrspuren, Höhe des Daches) und von der Leistungsfähigkeit der H₂-Tankanlage für Busse geeignet ist. Eine solche Anlage wurde u. a. an folgenden Standorten bereits errichtet: Düsseldorf Holthausen, HafenCity in Hamburg, Holzmarkstraße in Berlin; H₂-Anwenderzentrum Herten, Flughafen Köln und am Flughafen-BER.



H₂-Busse werden von verschiedenen Herstellern angeboten, die etabliertesten sind Van Hool, Caetano und Solaris. Bei kleineren Herstellern können auch Fahrzeug bezogen werden, jedoch können aus Erfahrung Liefertermine meist nicht eingehalten werden und die langfristige Verfügbarkeit von Ersatzteilen und Serviceleistung ist nicht immer gegeben. In Köln sind aktuell 30 und in Wuppertal 10 Busse von Van Hool im Einsatz, die über das Förderprojekt JIVE gefördert wurden (in Kombination mit Landes- und Bundesförderungen). Ebenfalls werden H₂-Busse in Hamburg, Frankfurt und Stuttgart eingesetzt. In den Werkstätten müssen H₂-Sensoren mit automatischer Öffnung der Dachluke installiert werden, ebenfalls sind Hebebühnen notwendig, um am Dach der Busse, hier befinden sich die H₂-Tanks, arbeiten zu können. Für den Linienbetrieb müssen die Fahrer für die Bedienung der Fahrzeuge geschult werden, was üblicherweise durch den Fahrzeughersteller erfolgt. Des Weiteren muss das Werkstattpersonal für Arbeiten an Hochvoltanlagen geschult sein, sofern die Wartungsarbeiten nicht ohnehin an externe Serviceunternehmen vergeben wird.

Die ÖPNV-Betreiber in der Region sind häufig Kleinunternehmen. Dem Interesse an Bussen mit Brennstoffzellen-Antrieb stehen häufig fehlendes Fachwissen über die Umrüstung und Erfahrung bei Service und Wartung alternativer Antriebe gegenüber. Darüber hinaus stellen die hohen Anschaffungskosten insbesondere kleinere Unternehmen vor große wirtschaftliche Herausforderungen. Dennoch wird zur Einhaltung der CVD-Vorgaben gerade aufgrund des kupperten Geländes, den erheblichen Höhenunterschieden und harten Wintern in der Region der Einsatz von Wasserstoffbussen empfohlen. Gerade im ländlichen Raum zeigen sich deutliche Vorteile gegenüber der batterieelektrischen Alternative. Flottenbetreiber und Fuhrparkmanager sollen hier bei der Beschaffung von Wasserstoff-

⁷⁵ STMWI Bayern, 2020 (<https://www.stmwi.bayern.de/wasserstoffstrategie/>)

Bussen unterstützt werden. Um die Schwierigkeiten rund um Wartungs- und Serviceaufwands zu minimieren, wird ein gemeinsamer Service-Hub empfohlen. Außerdem sollten die regionalen Verwaltungen die ÖPNV-Betreiber bei der Beschaffung geeigneter Fahrzeuge unterstützen.

4.7.3 BZ-TRIEBWAGEN IM SPNV

BZ-Triebwagen werden bereits für den Personenverkehr eingesetzt. Sie sollten aufgrund des schlechteren Wirkungsgrads gegenüber Batterietriebwagen und konventionellen E-Loks nur dort eingesetzt werden, wo keine Oberleitungen vorhanden bzw. umsetzbar sind. Hier sind ebenfalls mehrere Brennstoffzellen-Triebwagen Modelle von verschiedenen Herstellern verfügbar. Der Tank eines H₂-Zuges umfasst durchschnittlich 170 kg, womit Strecken von bis zu 1.000 km mit einer Tankfüllung zurückgelegt werden können. Am Depot wird für die Betankung eine H₂-Zapfstelle benötigt.



H₂-Züge des Typs Alstom Coradia iLint werden erfolgreich in Norddeutschland auf der Strecken Bremervörde – Buxtehude bereits eingesetzt. Interessenten können Fahrzeuge ausleihen, um den regionalen Einsatz vor Ort zu testen. Der dortige Betreiber, die Eisenbahnen und Verkehrsbetriebe Elbe-Weser GmbH (EVW), sowie die Taunusbahn haben insgesamt 41 solcher Triebwagen bereits geordert.

In Süddeutschland, z.B. LK Tübingen, soll ab 2024 wird der Mireo Plus H eingesetzt werden, welcher von Siemens Mobility in Kooperation mit der Deutschen Bahn AG entwickelt wird. Oberleitungs-Fahrzeuge der Mireo-Plattform befinden sich bereits im Rheintal im Planbetrieb. Der Mireo soll über zwei Traktionsanlagen mit den jeweils zugehörigen Batterien und Brennstoffzellen verfügen, 160 km/h erreichen und als 2-Wagen-Zug mit 120 bzw. 3-Wagen-Zug mit 165 Sitzplätzen angeboten werden und über bis zu 600 km bzw. 900 km Reichweite verfügen.

Weitere Brennstoffzellenzüge werden in Europa getestet und eingesetzt. In Österreich werden von der Zillertalbahn Brennstoffzellenzüge des Herstellers Stadler einsetzen, und auch in Spanien wird derzeit in Brennstoffzellenzug durch Talgo entwickelt, der 2023 in Serie gehen soll. Belastbare Aussagen bzgl. der Lieferzeit und Preise können nicht getroffen werden, sondern müssten bei den Herstellern angefragt werden.

4.7.4 WASSERSTOFF-ERZEUGUNG AUS BIOGAS

Die Dampfreformierung ist das zurzeit bedeutendste Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff aus kohlenstoffhaltigen Energieträgern unter Zugabe von Wasserdampf. Derzeit ist Erdgas der am meisten eingesetzte Rohstoff für den Prozess. Es ist aber auch möglich, die Dampfreformierung mit Biogas zu betreiben und somit einen weiteren Pfad für die Erzeugung klimaschonenden Wasserstoffs zu eröffnen. Für die Dampfreformierung von Biogas gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten: Einerseits kann Biogas zu reinem (Bio-)Methan mit Erdgasqualität aufbereitet werden, bevor es dann anschließend in dem Prozess zu Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid reformiert wird. Andererseits kann der Reformer auch direkt mit Biogas betrieben werden. Im letztgenannten Verfahren entfallen zwar die Aufwände für die Aufbereitung des Biogases zu (Bio-)Methan, stattdessen reduziert die Zufuhr vom im Biogas enthaltenen Kohlenstoffdioxid jedoch den Wirkungsgrad des Prozesses. Mangels verfügbarer Datengrundlage für die

Direktreformierung von Biogas wird im Folgenden der erstgenannte Prozess beschrieben, ausgehend von dem bereits zu (Bio-)Methan aufbereiteten Biogas (vgl. Abbildung 25).

Im Reformier werden die Eingangsgrößen (Bio-)Methan (CH_4) und Wasser (H_2O) zerlegt und zu den Ausgangsgrößen Wasserstoff (H_2) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) reformiert bzw. neu zusammengesetzt. Das Mengenverhältnis zwischen den H- und C-Anteilen im CH_4 -Molekül sowie den H- und O-Anteilen im H_2O -Molekül definiert das theoretische Produktionsverhältnis von $5,5 \text{ kg}_{\text{CO}_2}/\text{kg}_{\text{H}_2}$.

Bei der Dampfreformierung von Biomethan wird die gleiche Menge Kohlenstoffdioxid (CO_2) produziert, die auch bei der Dampfreformierung von Erdgas entstünde. Der wesentliche Unterschied besteht jedoch darin, dass der Prozess der Dampfreformierung von Biomethan bilanziell CO_2 -neutral ist, sprich netto kein CO_2 der Atmosphäre zugeführt wird. Grund hierfür ist, dass der im produzierten CO_2 gebundene Kohlenstoff (C) ursprünglich von der für die Biogasherstellung genutzten Biomasse vollständig der Atmosphäre entzogen wurde. Es wird also nur die Menge CO_2 in die Atmosphäre emittiert, die der Atmosphäre zu Beginn des Prozesses auch entzogen wurde. In der Theorie werden für die Produktion von einem Kilogramm Wasserstoff 2 kg (Bio-)Methan benötigt.

Die Dampfreformierung stellt eine endotherme Reaktion dar. Dies bedeutet, dass eine Zugabe von Wärmeenergie⁷⁶ für den Prozessablauf erforderlich ist. Die Bereitstellung dieser zuzuführenden Wärme kann bspw. durch anfallende Prozessabwärme aus anderen Industrieprozessen erfolgen. Im Regelfall steht diese Abwärme jedoch nicht in den notwendigen Mengen am Ort der Dampfreformierungsanlage zur Verfügung. Stattdessen wird die Wärme durch die zusätzliche Verbrennung eines Teils des Eingangsstoffes, sprich des (Bio-)Methans bereitgestellt. Durch den zusätzlichen Bedarf des Eingangsstoffes, sowie zusätzliche Abwärmeverluste im Prozess, ergibt sich auch der verringerte Wirkungsgrad des Prozesses von ca. 60 Prozent. Alles in allem werden damit für die Produktion von einem Kilogramm Wasserstoff ($\cong 11,1 \text{ Nm}^3$) ca. vier Kilogramm (Bio-)Methan ($\cong 5,6 \text{ Nm}^3$) benötigt. Je nach Zusammensetzung des Biogases⁷⁷ entspricht dies einem Verhältnis von 0,7 – 1,3 Normkubikmetern Biogas pro Normkubikmeter Wasserstoff.

⁷⁶ Die Zugabe der Wärmeenergie erfolgt auf einem Temperaturniveau von 500 – 900 °C.

⁷⁷ Der Methangehalt von Biogas beträgt in der Regel zwischen 50 und 75 Prozent. Der restliche Anteil besteht hauptsächlich aus Kohlenstoffdioxid (CO_2).

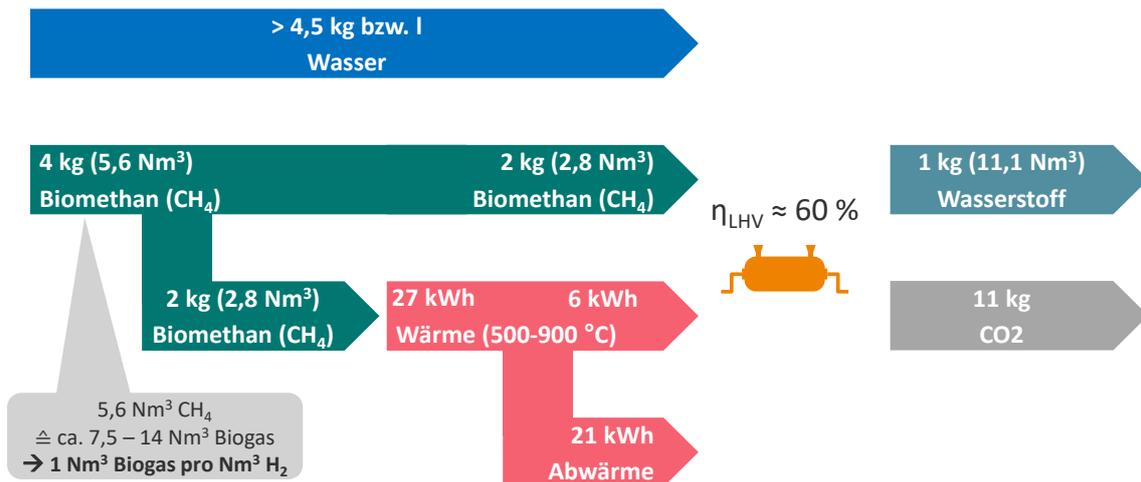


Abbildung 25: Energie-/Stoffströme in der Dampfreformierung von (Bio-)Methan (© BMVI/BBHC)

KOSTEN DER WASSERSTOFFERZEUGUNG

Aufbauend auf den Ausführungen der Energie-/Stoffströme in der Dampfreformierung werden im Folgenden die Wasserstoffgestehungskosten für eine beispielhafte Konfiguration einer Dampfreformierungsanlage von (Bio-)Methan mit einem Wirkungsgrad von 60 % für zwei unterschiedliche Anlagengrößen betrachtet (vgl. Abbildung 26). Die Biomethanbezugskosten werden mit 7 ct/kWh angenommen. Zudem wird davon ausgegangen, dass keine Genehmigungskosten anfallen.

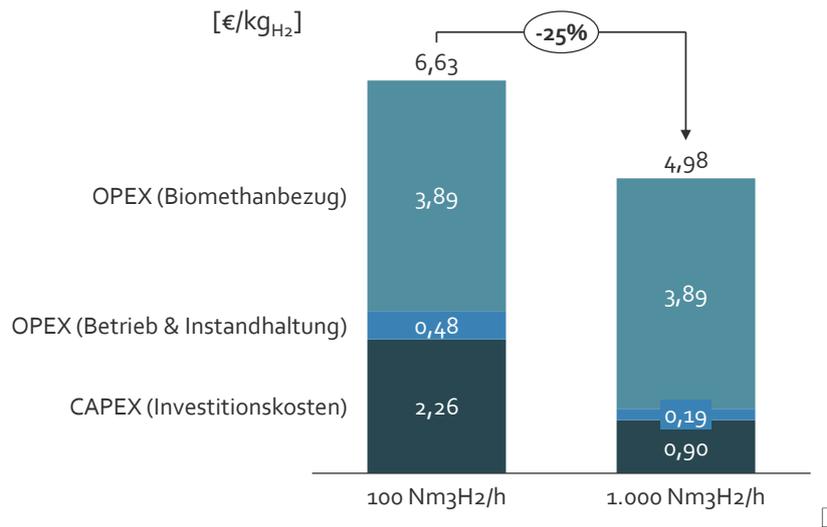


Abbildung 26: Wasserstoffgestehungskosten in der Dampfreformierung von Biomethan für zwei Anlagengrößen⁷⁸
(© BMVI/BBHC)

Die Berechnungsergebnisse zeigen für die getroffenen Annahmen, dass je nach Anlagengröße Gestehungskosten für aus Biomethan erzeugtem Wasserstoff von ca. 5 – 7 €/kg_{H₂} realisiert werden können⁷⁹. Die dargestellten Anlagengrößen bilden dabei die typische Bandbreite von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Kontext in Deutschland ab.

HERAUSFORDERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Biogasreformierung wird bislang nicht als „grün“ anerkannt, der politische Diskussionsprozess ist aber angestoßen. Die Post-EEG-Zeit ist bei Biogasanlagen noch ungeklärt, sie können jedoch ein zweites Mal an der EEG-Ausschreibung teilnehmen. Eine Biogas Methanisierung (Aufwertung der Qualität) kann kostengünstiger sein als dessen Reformierung. Allerdings muss es sich bei der Methanisierung um grünen Wasserstoff handeln, damit Biogas nicht die grüne Eigenschaft verliert. Bei der Nutzung ist der geringere energetische Wirkungsgrad bei der Wasserstoff-Produktion aus Biogas zu beachten als bei der Direktnutzung des Biogases. Eine Untersuchung des Instituts für Industrieofenbau an der RWTH Aachen stellen in Aussicht, dass über Biogasreformierung H₂ günstiger hergestellt werden kann als über Elektrolyse. Zudem kann eine Wasserstoffqualität von 5.0 (99.999 %) erreicht werden, sodass der produzierte Wasserstoff über Brennstoffzellenqualität verfügt und u. a. im Mobilitätssektor eingesetzt werden kann.

H₂-Erzeugung aus Biogas- Reformierung sollte zum aktuellen Stand nicht primär verfolgt werden, sondern eher als Forschungsprojekt. Biogas sollte direkt zur Wärme- und Stromversorgung genutzt

⁷⁸ Weitere Annahmen: spezifische Investitionskosten der Dampfreformierungsanlage 100 Nm³/h_{H₂}: 1.000.000 € und 1.000 Nm³/h_{H₂}: 4.000.000 €/kW, Nutzungsdauer: 10 a, jährliche Vollaststunden: 7.000 h/a.

⁷⁹ Eine Dampfreformierungsanlage mit einer Nennleistung von 100 Nm³/h_{H₂} produziert im Nennbetriebspunkt pro Stunde 100 Nm³ Wasserstoff und benötigt dafür eine Eingangsleistung von ca. 100 Nm³ Biogas/Biomethan/h bzw. 500 kW Biogas/Biomethan. Dies entspricht einer elektrischen Verstromungsleistung in einem nachgeschalteten BHKW von ca. 200 kW_{el}.



Stadt



Kaufbeuren



Wasserstoffmodellregion
Ostallgäu

werden, da es bei dessen Direktnutzung einen höheren Wirkungsgrad erreicht. Bei einer Umsetzung helfen die bereits genannten Hersteller den Interessenten bzgl. Genehmigung, u.a. beim BImSchV. Die Umsetzungsdauer ist sehr individuell und von verschiedenen Faktoren, wie dem Antrag und Projektgröße, abhängig, sodass hierzu keine Zeitangebe gemacht werden kann.

5. Fahrplan zur Umsetzung des Zielsystems

Die Region Ostallgäu hat als HyStarter-Region in den letzten Monaten konkrete Projektideen zur Etablierung einer lokalen Wasserstoffwirtschaft in der Region und darüber hinaus erarbeitet. Im Folgenden werden die wesentlichen Aktivitäten dargestellt, die bislang in Erwägung gezogen wurden. Der Planungs- und Umsetzungshorizont wurde für die Vorhaben der Region in drei Zeitabschnitte untergliedert (vgl. Abbildung 27).

Grundsätzlich können die jeweiligen Phasen ebenso wie die einzelnen Handlungsansätze auch zu einem früheren Zeitpunkt starten. Sowohl die Planungsphase als auch die Einleitung der Demonstrationsphase sind in erheblichem Maße von den dafür notwendigen Finanzierungs- und Förderinstrumenten sowie der Verfügbarkeit der entsprechenden Fahrzeuge und Technologien abhängig.



Abbildung 27 Zeitplan zur Umsetzung des regionalen Handlungsansätze ((C) HyStarter-Region Ostallgäu/Nuts One)

5.1 Planungsphase: Planungs- und Umsetzungshorizont 2021 / 2022

Die HyStarter-Dialoge haben den Auftakt für die Etablierung eines regionalen Akteursnetzwerks und die gemeinsame Beschäftigung mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in der Region Ostallgäu gebildet. Der Abschluss von HyStarter ist zeitgleich der Auftakt von HyExpert⁸⁰, der in einem größeren Zusammenschluss der Allgäuer Gebietskörperschaften unter Federführung des Landkreises Lindau (Bodensee) erfolgt. Dennoch besteht der Wunsch der Akteure, ihre regionale Keimzelle in einem Netzwerk zu verstetigen und in kleineren Arbeitskreisen die ersten Überlegungen und Handlungsansätze weiterzuentwickeln und anhand von Machbarkeitsstudien zu überprüfen. Für die Organisation und Weiterführung des regionalen Netzwerkes und der Arbeitsgruppen setzen sich das Landratsamt Ostallgäu, die Stadt Kaufbeuren und die Gemeinde Fuchstal aktiv ein. Die IHK Schwaben steht mit ihnen dazu im engen Austausch. Sie bietet insbesondere mit ihrem Wasserstoffnetzwerk ein Angebot für einen erweiterten Kreis (Bayerisch-Schwaben) an und prüft, wie eine Einbindung der HyStarter-Akteure und Aktivitäten in das Netzwerk erfolgen kann. Darüber hinaus sollen die zukünftigen HyLand-Vernetzungstreffen genutzt werden, um sich mit anderen Regionen und Wasserstoff-Experten auszutauschen.

Die HyStarter-Akteure möchten bei der (Weiter-)Entwicklung ihrer Vorhaben sowohl Kommunen als auch Bürgerinnen und Bürger einbeziehen, um die innovativen Energiekonzepte frühzeitig bekannt zu machen und die Akzeptanz dafür zu sichern. Insbesondere bei der Umsetzung von Projektideen mit PV-Freiflächenanlagen und Windkraftanlagen muss die Bevölkerung frühzeitig mitgenommen und von den großen Potenzialen für die lokale Wertschöpfung überzeugt werden.

Um einen bedarfsgerechten Aufbau der regionalen Wasserstoffwirtschaft zu planen, sollen zunächst alle (potenziellen) Akteure und deren Wasserstoffbedarfe identifiziert und – sofern möglich - die dafür notwendigen EE-Kapazitäten aufgebaut werden. Hinsichtlich der Wasserstofferzeugung sollen Machbarkeitsstudien für verschiedene Erzeugungspfade und deren Kombination, u.a. die Elektrolyse mit PV-Strom, Wind und Wasserkraft, durchgeführt werden (u.a. V-Markt, Ansorge Logistik, iwis smart connect, Hoerbiger). Von Interesse sind neben den regionalen Potenzialen für die einzelnen Pfade deren Wirtschaftlichkeit, Finanzierungsmöglichkeiten und Standortanalysen. Zudem sollen die notwendigen Stoffströme und technischen Anpassungen für die Wasserstofferzeugung der Dorr Unternehmensgruppe mit einer blueFLUX-Anlage organisiert werden. Für die Deckung der Wasserstoffbedarfe werden ebenfalls überregionale Erzeugungspotenziale und Angebote mitgedacht, wie beispielsweise im Kontext der HyExpert-Region HyAllgäu und HyAllgäu*Bodensee.

Auf der Grundlage der Wasserstoff-Potenzialstudie der Lechwerke AG für ihr eigenes Netzgebiet müssen die Potenzialabschätzungen nun erweitert werden. Dies soll in engem Austausch mit der regional ansässigen Industrie verfolgt werden, die mit grünem Wasserstoff aus der Region versorgt werden könnte bzw. diesen selbst produzieren könnte (u.a. Hoerbiger). Analysen zum Einsatz des grünen Wasserstoffs müssen Fragen der technischen Anpassungen, der Reinheit des Wasserstoffs, der Liefergarantien / Ausfallsicherheit, der Wirtschaftlichkeit und Finanzierung beantworten.

⁸⁰ BMVI, 2021 (<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2021/106-scheuer-wasserstoffregionen.html>)

Zeitgleich zur Erzeugung des Wasserstoffs soll deren Transport und die (zukünftige) Bereitstellung an Tankstellen analysiert und geplant werden.

Um der Sektorenkopplung gerecht zu werden und die Gebäudeenergieversorgung für (ländliche) Quartiere nachhaltig und klimaneutral zu gestalten, wird in der ersten Phase die Standortsuche für Demonstrationsvorhaben weiterverfolgt, um die bereits entwickelten Konzepte zu testen (u.a. VWEW, LENA Service). Dazu gehören auch die Standortsuche für weitere PV-Freiflächenanlagen sowie die Ermittlung der Qualifizierungsbedarfe des Handwerks.

5.2 Demonstrationsphase: Planungs- und Umsetzungshorizont ab 2023

Ab dem Jahr 2023 sollen erste Demonstrationsvorhaben in der Region zu Erkenntnissen im Realbetrieb führen und zeitgleich für eine Sichtbarkeit der Technologien sorgen. Die konkrete Umsetzung hängt im starken Maße vom Angebot der Investitionsfördermaßnahmen, Genehmigungsverfahren und der Marktverfügbarkeit, beispielsweise der BZ-LKW, ab.

Wichtig ist der HyStarter-Region, dass die Umsetzung von Wasserstoffvorhaben niedrighschwellig läuft und zunächst kleinere Projekte umgesetzt werden. Je komplexer die Vorhaben werden, je größer erscheint das Risiko, die Übersicht zu verlieren und die Zugangshürde für die Beteiligung von Unternehmen zu erhöhen.

Die Wasserstoffherzeugung wird sowohl mit dem blueFLUX-Verfahren und den Abfällen der Dorr Unternehmensgruppe pilotiert als auch mit dem Aufbau und Betrieb eines Elektrolyseurs mit Windstrom, PV-Strom oder Wasserkraft. Im Rahmen der HyExpert-Förderung für HyAllgäu wird mit dem Aufbau eines wasserkraftbetriebenen Elektrolyseurs gerechnet. Der Auf- und Ausbau der Wasserstoffproduktion erfolgt nachfrageorientiert, um die Abnahme zu sichern. Ziel gegen Ende der Demonstrationsphase ist ein diversifizierter Absatzmarkt in der Region.

Je nach Ergebnissen der Machbarkeitsstudien wird mit einem zunächst teilweisen bis vollständigen Umstieg auf grünen Wasserstoff in der Industrie begonnen (u.a. Hoerbiger).

Um den Vorgaben der Clean Vehicle Directive (CVD) gerecht zu werden, sollen in dieser Phase Einsatzpotenziale für BZ-Busse im ÖPNV und BZ-Triebwagen auf den nicht-elektrifizierten Strecken im Ostallgäu untersucht werden. Der Einsatz von batterieelektrischen Fahrzeugen wird aus Energieeffizienzgründen, wenn möglich, bevorzugt.

Machbarkeitsstudien zum BZ-LKW Einsatz und darin enthaltenen Analysen zu Anpassungen in den Betriebsabläufen, Umbaumaßnahmen am Betriebshof, dem Aufbau eines gemeinsamen Service-Hubs (Werkstätten, Qualifizierungsmaßnahmen für das Personal) bilden in dieser Phase die Grundlage für die Unternehmensentscheidungen zur Anschaffung von BZ-LKW (u.a. V-Markt, Ansorge Logistik, iwis smart connect). Voraussetzung ist dabei die Verfügbarkeit serienreifer BZ-LKW sowie einer Betankungsmöglichkeit auf dem Betriebshof oder an einer öffentlichen Tankstelle. Auch beim Aufbau der Tankinfrastruktur soll klein begonnen werden, bspw. mit einer mobilen Tankstellen und dann der Ausbau erfolgen.

Es soll ein Startvorhaben in einer ländlichen Gemeinde realisiert werden und aus den Erfahrungen für den Aufbau ähnlicher Quartierskonzepte gelernt werden. Fokussiert werden soll dabei die zukünftige Wärmeversorgung ohne fossile Brennstoffe.

5.3 Skalierungsphase: Regionale Wasserstoffwirtschaft ab 2028

Der Aufbau der regionalen Wasserstoffwirtschaft erfolgt auf Basis der erfolgreich demonstrierten Projekte und mit Unterstützung politisch verankerter Ziele, die auch gesellschaftlich getragen werden. Dabei wird langfristig der Aufbau eines regionalen Wasserstoff-Marktplatzmodells, der den Wasserstoffhandel zwischen der Erzeuger- und Verbraucherseite organisiert und Angebot und Nachfrage bedarfsgerecht zusammenführt, angestrebt (vgl. Anhang 3).

Wasserstoff unterstützt die Ziele von klimaneutralen Landkreisen, Städten und Gemeinden und hilft über den Einsatz von wasserstoffbetriebenen LKW in der Logistik die Mobilität zu dekarbonisieren. Auch in Bereich von ÖPNV und SPNV gibt es Entwicklungen und die Brennstoffzelle ergänzt die batteriebetriebene bzw. oberleitungsgebundene Mobilität. Müllsammelfahrzeuge und weitere Nutzfahrzeuge sind ebenfalls mit Wasserstoff unterwegs. Die Versorgung der mobilen Anwendungen ist durch öffentliche Wasserstofftankstellen und Tankinfrastruktur auf den Betriebsgelände der Anwender gewährleistet. Durch den weiteren Ausbau regionaler Kapazitäten und durch die ersten positiven Erfahrungen bei Hoerbiger werden weitere Akteure aus der Industrie den Schritt gehen, ihren grauen Wasserstoff schrittweise zu substituieren. Die Zunahme an Erzeugung und Anwendung wird der regionalen Industrie einen wachsenden Absatzmarkt für ihre Komponenten und Produkte ermöglichen. In der Gebäudeenergieversorgung und insbesondere in ländlichen Gemeinden ergänzen sich verschiedene strom- und wasserstoffbasierte Konzepte. Der eingesetzte Wasserstoff wird – soweit möglich – über alle Anwendungen hinweg durch regionale Kapazitäten gedeckt.

6. Unterstützungsbedarfe

Die HyStarter-Region möchte die beschriebenen Schritte zum Aufbau einer regionalen Wasserstoffwirtschaft gehen. Um möglichst schnell zu einer Umsetzung zu kommen, werden in den ersten Jahren verschiedene Formen der Unterstützung notwendig sein.

Um den finanziellen Aufwand und das damit einhergehende Risiko als First Mover zu minimieren, bedarf es finanzieller Unterstützung. Hierfür ist die Weiterführung von Förder- und Forschungsprogrammen auf Landes-, Bundes- und europäischer Ebene wichtig sowie ggf. eine stärkere Flexibilität hinsichtlich der Nutzung von Fördermitteln. Beim Aufbau der regionalen Wasserstoffwirtschaft helfen insbesondere Programme, die neben der reinen Investitionsförderung für die Beschaffung von Elektrolyseuren, Brennstoffzellen und Fahrzeugen auch die Planung und Konzeptionierung bspw. in Form von Machbarkeitsstudien beinhalten. Ein weiterhin enger Austausch mit der regionalen Verwaltung und Politik trägt zum besseren Verständnis der Bedarfe und Bedürfnisse der agierenden Akteure bei sowie der besseren Unterstützung und Vertretung der (Förder-)Bedarfe auf den höheren politischen Ebenen bei.

Sowohl der Ausbau EE-Anlagen sollte unterstützt und vereinfacht werden sowie die Genehmigungsverfahren beim Aufbau von Elektrolyseuren. Die Akteure benötigen eine bestmögliche Begleitung bei den vielfach aufwendigen und zeitintensiven BImSch-Genehmigungen. Unterstützung und Schulungen sowohl auf der Genehmigungs- als auch Antragstellerseite können hier weiterhelfen. Kommunen sollten insgesamt stärker für die Relevanz des EE-Ausbaus und die Nutzung von Wasserstofftechnologien sensibilisiert werden. Dies kann auch zur höheren Akzeptanz für EE-Anlagen der Bürgerinnen und Bürger in der Region beitragen.

Ein verlässlicher regulativer Rahmen schafft Planungssicherheit bei Wasserstoffherzeugern und Abnehmern. Unter den HyStarter-Akteuren besteht nach wie vor Verunsicherung hinsichtlich der Kriterien des grünen Wasserstoffs. Zeitnahe verbindliche Kriterien erleichtern die Standortwahl und die EE-Quellen, die für die Wasserstoffherzeugung genutzt werden sollen. Der Umgang mit sogenanntem orangenen Wasserstoff, insbesondere Wasserstoff biogenen Ursprungs und seine Anrechenbarkeit auf Treibhausminderungsziele sollte ebenfalls bald geklärt werden. Weiterhin kann ein einfaches Regelwerk dazu beitragen, einen regionalen H₂-Markt zu entwickeln, der die Risiken der einzelnen Akteure minimiert und zu einer garantierten Abnahme bzw. Bezug von Wasserstoff führt. Die mangelnde Planungssicherheit, ausreichend grünen Wasserstoff zu garantierten Preisen zu bekommen, beeinflusst ebenfalls die Kaufentscheidungen von Brennstoffzellen-Fahrzeugen. Der Henne-Ei-Problematik kann im Kleinen damit begegnet werden, dass ein systemischer Ansatz bei den Projekten verfolgt wird, im Großen könnte der regionale Wasserstoff-Markt diese Unsicherheiten nehmen.

Für die Umsetzung von Wasserstoffvorhaben sind ebenfalls ein entsprechendes Angebot und Verfügbarkeit von möglichst serienreifen BZ-Fahrzeugen (insbes. LKW) und Elektrolyseuren notwendig.

7. Reflektion und Ausblick

Mit einer großen Auftaktveranstaltung im Oktober 2020 hat der HyStarter-Akteurskreis einen intensiven Austauschprozess über die Möglichkeiten der Nutzung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in der Region Ostallgäu gestartet. Trotz der besonderen Situation durch die Covid-19-Pandemie und die Notwendigkeit von reinen Online-Veranstaltungen konnte ein Basiswissen zu den Technologieoptionen sowie Anwendungs- und Erzeugungsmöglichkeit von Wasserstoff vermittelt werden. Daraus entstanden diverse Projektidee, die durch die Unterstützung der Technologiepartner aus dem Projektkonsortium hinsichtlich Technologieverfügbarkeit, Wirtschaftlichkeit und rechtlicher Aspekte weiter ausgereift werden konnten. Über die Aktivitäten des Kernteam hinaus fanden regelmäßig Online-Fach austausche statt, in denen unter anderem zu alternativen Pfaden in der Wasserstofferzeugung informiert und über Erfahrung aus Modellprojekten berichtet wurde.

Die in HyStarter erarbeiteten Ziele betonen den Wunsch, Wasserstoff als Teil der Energiewende- und Klimaschutzstrategien einzubinden. Die für die Handlungsansätze erforderlichen Technologien sind marktreif. Als Meilensteine werden neben der regionalen Erzeugung von Wasserstoff, insbesondere aus PV-Anlagen und über das blueFLUX Verfahren, vor allem die Nutzung im Mobilitätsbereich und der Logistik gesehen. Auch im Bereich der Energie- und Wärmeversorgung ländlicher Gemeinden soll der Einsatz pilotiert werden. Weiteres Interesse gilt dem stofflichen Einsatz von Wasserstoff in der Industrie und im ÖPNV und SPNV, wobei es hier jeweils noch an unterschiedlichen Voraussetzungen mangelt. Nun gilt es, die gemeinsam entwickelten Handlungsansätze in wirtschaftliche und umsetzbare Konzepte zu gießen und diese in die Umsetzung zu bringen.

Die Arbeiten des Akteurskreis und der drei Gebietskörperschaften gehen mit dem Projektabschluss in die nächste Phase über. HyStarter hat die Grundlage für die Umsetzung von Projektideen gelegt, die nun im Rahmen des Projektes HyAllgäu*-Bodensee im Zusammenschluss mit weiteren Partner*innen vorangebracht werden können. Das Engagement verdeutlicht die Motivation der Akteure aus der Region, an den Themen weiterzuarbeiten und die im Projekt geknüpften Netzwerke und Kontakte zu verstetigen. Der Anschluss an weitere Landkreise, Städte und Gemeinden ist ein sinnvoller Schritt, um die Potenziale der Region zu heben und Synergien zu nutzen.

Neben der fachlichen Arbeit in den Dialogen und Arbeitstreffen ist den Akteuren aber auch die Einbindung der Öffentlichkeit in das Projekt wichtig. Information und Beteiligung der Bürger*innen wird als zentraler Aspekt bei der Umsetzung von Vorhaben erkannt. Ab Projektstart wurde in den Medien (Tageszeitungen, Wochenblätter, Wirtschaftsmagazine, IHK-Zeitschrift Bayerisch-Schwäbische Wirtschaft (BSW)) über die HyStarter-Region und ihre Aktivitäten berichtet. Auch ihre Initiativen, beispielsweise Offener Brief an den Bundeswirtschaftsminister, fanden sich in der Berichterstattung wieder. Zudem haben die Projektpartner über ihre eigenen Kanäle (Homepage, social media, Mitteilungsblätter für Bürgerinnen und Bürger, Infomails) die Öffentlichkeit informiert. Auch die gewählten Vertreter der Gebietskörperschaften (Bürgermeister, Oberbürgermeister, Landrätin sowie MdL und MbB) haben die Wasserstoffregion öffentlichkeitswirksam thematisiert. Neben zahlreichen Presseartikeln, TV- und Radio-Beiträgen, wurde über HyStarter ebenfalls über Social Media (Facebook) und die eigenen Homepages berichtet. Die Abschlussveranstaltung zur Vorstellung des Konzeptes ist für den 12. Oktober 2021 in Fuchstal geplant.

Die hohe Motivation der Akteure während der gesamten Projektlaufzeit lässt darauf schließen, dass die angestoßenen Themen auch in Zukunft aufmerksam verfolgt, in die Unternehmen eingebettet und umgesetzt werden.

Für die Umsetzung unserer anvisierten Punkte sind weitere Machbarkeitsstudien notwendig. Es soll analysiert werden, wie diese mit kurzen Lieferketten und effizienten Prozessen zu hoher regionaler Wertschöpfungstiefe im ländlichen Raum beitragen können. Wichtig ist dabei stets die Umsetzbarkeit der geplanten Maßnahmen. Projektpartner sollen durch die Machbarkeitsstudie in die Planungsprozesse einbezogen werden, um die Voraussetzungen für eine anschließende, zeitnahe Umsetzung zu schaffen. Dies wird u.a. mit der Bewerbung als HyExpert-Region angestrebt.



Abbildung 28 Die HyStarter-Akteure beim 6.Dialog in Kaufbeuren © Stadt Kaufbeuren

Anhang

Anhang 1: Übersicht der regionalen HyStarter-Akteure



Landkreis Ostallgäu

Der **Landkreis Ostallgäu** bezeichnet sich selbst als „Klimaschutzlandkreis“. Als Gründungsmitglied des „Bündnisses klimaneutrales Allgäu 2030“ setzt der Landkreis seit vielen Jahren erfolgreich Klimaschutz um. Beispielsweise werden eigene Gebäude schon lange als Passivhäuser gebaut und saniert, mehr als ein Megawatt eigene Photovoltaikanlagen betrieben und Beratungskampagnen für Bürger*innen und Unternehmen angeboten. Gleichzeitig hat der Landkreis als erster in Bayern ein Klimaanpassungskonzept erstellt, um sich auf die Folgen des Klimawandels vorzubereiten. Besucher kennen den Landkreis als Heimat des weltberühmten Schlosses Neuschwanstein sowie als attraktive Urlaubs- und Radreiseregion.



Stadt Kaufbeuren

Kaufbeuren ist eine Stadt mit langer und reicher Geschichte. Die Gestaltung einer nachhaltigen und zukunftsfähigen Infrastruktur für die örtliche Wirtschaft und heute rund 45.000 Einwohner war und ist stets Ziel der Stadtentwicklung. Die Stadt ist stolz auf ihre handwerkliche und industrielle Tradition und Leistungsfähigkeit. Vor fast 175 Jahren eröffnete die erste Eisenbahnverbindung für das Allgäu mit der Strecke Augsburg-Kaufbeuren. 1863 erhielt Kaufbeuren sein erstes Gaswerk und fortan eine Straßenbeleuchtung auf Basis von Gaslaternen. Ab 1900 begann die elektrische Stromversorgung. Im September 2021 fuhr nun erstmals ein Wasserstoffzug durch das Ostallgäu und Kaufbeuren und läutete damit gleichsam die Abkehr von fossilen Energieträgern für den SPNV hier ein und rückte Wasserstoff noch stärker ins öffentliche Interesse.



Die **Gemeinde Fuchstal** mit rund 4.000 Einwohner*innen liegt im Landkreis Landsberg am Lech und ist ein Vorreiter im Hinblick auf erneuerbare Energien. Mit Bürgerwindkraftanlagen, privaten und kommunalen PV-Anlagen, einem Biomassekraftwerk und einem Kleinstwasserkraftwerk kann sich die Gemeinde bereits jetzt rechnerisch selbst versorgen. Weitere Projekte wie eine Sektorenkopplung der existierenden erneuerbaren Energieerzeuger mit einem Wärmenetz über eine Batterie, einen Wärmespeicher und eine Power-to-Heat-Anlage sind in der Umsetzung ebenso wie die Realisierung weiterer Bürgerwindkraftanlagen und die Ausweitung des eigenen Wärmenetzes. Das Ziel der Gemeinde ist es, bis 2030 energieautark zu werden.



Die **Dorr Unternehmensgruppe** aus dem Allgäu ist Partner für fachgerechte Entsorgung unterschiedlichster Stoffe (auch Gefahrstoffe), Recycling, Containerlösungen, Kanalservice sowie Industrieabbruch und -demontagen. Seit seiner Gründung vor 76 Jahren hat sich der Familienbetrieb vom klassischen Entsorger hin zum kompetenten Dienstleister in Sachen moderne und umweltfreundliche Kreislaufwirtschaft entwickelt. Es geht nicht mehr um die reine Müllentsorgung, sondern um Zukunftsthemen wie die nachhaltige Aufbereitung von Wertstoffen, die Rohstoffversorgung und Schonung von Ressourcen. Mit rund 400 Mitarbeitern an sechs Standorten zählen sie mittlerweile zu den größten mittelständischen Entsorgungsspezialisten in Süddeutschland.



Die **erdgas schwaben gmbh** versorgt im Regierungsbezirk Bayerisch-Schwaben mit Randbereichen in Oberbayern **mehr als 200** Städte und Gemeinden als Grundversorger sowie fünf nachgelagerte Netzbetreiber mit Erdgas, Bioerdgas und Biostrom aus bayerischen Wasserkraftwerken.

Das Unternehmen wurde 1952 als *Ferngasversorgung Schwaben GmbH* in Augsburg gegründet, doch sind die Standorte der Betriebsstellen zum Teil wesentlich älter und gehen zurück auf die Anfänge der Gasindustrie in Bayern im 19. Jahrhundert. Gesellschafter sind die [Thüga](#) Aktiengesellschaft München mit 64,9 % und die [Stadtwerke Augsburg](#) Energie GmbH mit 35,1 %.



Die **Georg Jos. Kaes GmbH** ist ein mittelständisches Handelsunternehmen, das vor über 150 Jahren in Kaufbeuren gegründet wurde. Mit den Marken V-Markt, V-Baumarkt, Christl's Modemärkte und C&C ist das Unternehmen an knapp 50 Standorten im südbayerischen Raum vertreten. Neben unterschiedlichen Preissegmenten - vom günstigen Preiseinstieg bis hin zum Markenprodukt - liegt der Fokus ebenfalls auf biologischem und nachhaltigem Anbau sowie Artikeln aus der Region. Einen zusätzlichen Mehrwert bietet die Firma mit 11 Waschstraßen, 32 Tankstellen und kostenfreien Elektroladestationen an fast jedem Standort. Heute wird das inhabergeführte Familienunternehmen in der 5. Generation geleitet. Die Unternehmenszentrale und das Zentrallager befinden sich in Mauerstetten.



Die **IHK Schwaben** ist Dienstleister und Interessenvertreter ihrer Mitgliedsunternehmen aus Produktion, Handel und Dienstleistungen.

Die IHK Schwaben hat ein Wasserstoffnetzwerk gegründet, dem bereits gut 80 Unternehmen und Einrichtungen in der Region angehören. In dieses Netzwerk sind nahezu alle beteiligten 15 Projektpartner, als auch die jeweiligen Vorprojekte, eingebunden. Regelmäßige Vernetzungstreffen stellen den Austausch in der Region sicher.

iwis

wir bewegen die welt

Die **iwis smart connect GmbH** mit Sitz in Rieden am Forggensee ist Spezialist für elektrische Verbindungstechnik sowohl für Automotive- als auch Non-Automotive-Anwendungen. Neben Batteriekontaktsystemen für Elektrofahrzeuge entwickelt iwis smart connect u.a. Produkte für den Einsatz in der Sensortechnik von autonomen Fahrzeugen und Steckverbinder für die Photovoltaik-Industrie. Das Unternehmen wurde 1970 als Unimet GmbH gegründet und hat heute über 500 Mitarbeiter. Seit 2018 ist iwis smart connect Teil der weltweit tätigen iwis-Gruppe.

LEW

Lechwerke

Die **LEW-Gruppe** ist als regionaler Energieversorger in Bayern und Teilen Baden-Württembergs tätig und beschäftigt rund 1.900 Mitarbeiter. LEW versorgt Privat-, Gewerbe- und Geschäftskunden sowie Kommunen mit Strom und Gas und bietet ein breites Angebot an Energielösungen. Die LEW-Gruppe betreibt das Stromverteilnetz in der Region und ist mit 36 Wasserkraftwerken einer der führenden Erzeuger von umweltfreundlicher Energie aus Wasserkraft in Bayern. Außerdem bietet LEW Dienstleistungen in den Bereichen Netz- und Anlagenbau, Energieerzeugung und Telekommunikation an. Die LEW-Gruppe betreibt ein eigenes, rund 5.000 Kilometer langes Glasfasernetz in der Region.



Die Ingenieure der **LENA Service GmbH** sind Experten für erneuerbare Energien in Kommunen, Quartieren und Unternehmen und stehen für konsequentes Engineering ohne fossile Ressourcen. Dabei begleiten sie ihre Kunden von der ersten Energieberatung über das gesamte Projektmanagement bis hin zu Steuerung und Monitoring.

Die LENA Service GmbH entwickelt zudem innovative Energiesysteme, die weitestgehend auf lokale und regionale Ressourcen setzen. Diese sind Sonne, Wind, Umweltwärme, Abwärme und Biomasse sowie regenerative Kraftstoffe. Sie erkennt die gesellschaftliche Notwendigkeit zur Abkehr von fossilen Energieträgern. Der regionale Schwerpunkt der Tätigkeit liegt im Raum Südbayern.

Maschinenring Ostallgäu



Der Maschinenring Ostallgäu ist ein Zusammenschluss von land- und forstwirtschaftlichen Betrieben sowie Lohnunternehmen. Ziel ist es, Maschinen und Arbeitskräfte zwischen den Mitgliedern zu vermitteln und dadurch die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe bei der Produktion von Nahrungsmitteln und erneuerbarer Energie auszubauen.



Die Spedition Ansoerge GmbH & Co. KG ist ein mittelständisches Unternehmen mit ca. 500 Mitarbeitern. Ansoerge Logistik steht für höchste Qualität bei der Erbringung von individuellen, kundenspezifischen Logistik-Dienstleistungen. Durch Prozessoptimierung erzielt Ansoerge Produktivitätssteigerungen, Serviceverbesserungen und letztlich Wettbewerbsvorteile für ihre Kunden in den entscheidenden Logistikbereichen. Qualität als oberste Priorität der Dienstleistung wird erreicht mit Hilfe des kompetenten und motivierten Mitarbeiterteams, das bestehende Prozesse und Kundenbedürfnisse analysiert, neue Konzepte entwickelt, strukturiert und gemeinsam mit den Kunden umsetzt. Flexibel und geprägt von kurzen Entscheidungswegen erarbeitet Ansoerge intelligente, kundenspezifische Logistikhösungen, die nach der strategischen und konzeptionellen Ausarbeitung anschließend mit den operativen Logistikeinheiten realisiert und umgesetzt werden. Technisch stets auf dem neuesten Stand erschließt Ansoerge ökologische Transportalternativen, bringt Ökologie und Ökonomie in Einklang, gestaltet intelligente Netzwerke für ihre Kunden und forciert den Kombinierten Verkehr. Die Kunden stehen bei allen Entscheidungen stets im Mittelpunkt – da ihre Zufriedenheit Grundvoraussetzung für eine langfristige Partnerschaft ist.



so nah!

Die **Vereinigten Wertach-Elektrizitätswerke (VWEW)** sind ein leistungsstarker Energieversorger im Ost- und Unterallgäu und haben mit den Städten Kaufbeuren, Mindelheim und Marktoberdorf sowie den Gemeinden Biessenhofen und Apfeltrach ausschließlich kommunale Gesellschafter. Das Unternehmen ist in den Wertschöpfungsstufen Stromerzeugung, -verteilung und -handel sowie Gashandel tätig. Markenkern der VWEW ist die Wasserkraft. Mit 7 Laufwasserkraftwerken entlang der Wertach erzeugt VWEW jährlich ca. 30-40 GWh Strom. Der Ausbau der Erneuerbaren Energien, die Vermarktung von Systemdienstleistungen und die Weiterentwicklungen des Dienstleistungsgeschäftes (PV-Angebote, Wallboxen und Ladesäulen) sind wichtige Stoßrichtungen der Unternehmensstrategie. 103 Mitarbeiter erwirtschaften einen Jahresumsatz von ca. 90 Mio.€.



because performance counts

HOERBIGER ist weltweit im Energiesektor, in der Prozessindustrie, in der Automobilindustrie, in der Maschinenbauindustrie, in der Sicherheitstechnik und in der Elektroindustrie tätig. 5.849 Mitarbeiter erzielten 2020 an 128 Standorten in 46 Ländern einen Umsatz von 1,031 Milliarden Euro. Unsere Produkte und Services kommen in Kolbenkompressoren, bei der Gasstrom-Regelung, in Fahrzeugantrieben, bei der Drehdurchführung, im Explosionsschutz, bei Gasmotoren und in der Automobilhydraulik zum Einsatz. Seit 1895 ist es unser Anspruch, Höchstleistungen für unsere Kunden zu erbringen. Deshalb schaffen wir ein Umfeld, in dem unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ihr volles Potenzial entwickeln und einbringen können: Menschen und Erfolg gehören bei **HOERBIGER** untrennbar zusammen.

Anhang 2: Offener Brief an Wirtschaftsminister Altmaier



Kaufbeuren



Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie
Herrn Bundesminister
Peter Altmaier

11019 Berlin

Deutscher Bundestag
Mitglieder des
Ausschusses für Wirtschaft und Energie
Platz der Republik 1

11011 Berlin

09. November 2020

Offener Brief der Wasserstoffmodellregionen des Allgäus

an **Herrn Peter Altmaier**, Bundesminister für Wirtschaft und Energie

und an die **Damen und Herren Abgeordneten des Ausschusses für Wirtschaft und Energie** im Deutschen Bundestag

Sehr geehrter Herr Bundesminister Altmaier,
sehr geehrte Damen und Herren Abgeordnete,

die Wasserstoffmodellregionen des Allgäus umfassen die Landkreise Ober- und Ostallgäu, die Stadt Kaufbeuren sowie die Gemeinde Fuchstal. Sie sind Teil des HyLand-Projekts, das von der NOW GmbH im Auftrag der Bundesregierung gefördert wird. Als Wasserstoffmodellregion ist es unser Ziel, als einer von mehreren bundesweiten Leuchttürmen eine regionale Wasserstoffwirtschaft anzustoßen und zu etablieren.

Politik und zahlreiche Unternehmen in der Region haben die Notwendigkeit erkannt, nun mutige Schritte in Richtung **Zukunft** zu gehen. „**Zukunft**“ bedeutet in diesem Sinne, Verfahren zu implementieren, die den Ausstoß von klimaschädlichem CO₂ reduzieren oder ganz vermeiden. „**Zukunft**“ bedeutet aber auch, Technologie- und damit Marktführerschaft bei innovativen und sauberen Technologien anzustreben. „**Zukunft**“ bedeutet damit schließlich die Sicherung unseres prosperierenden Lebens- und Wirtschaftsraums! Wasserstoff als Energieträger und als Rohstoff für verschiedenste Produktionsprozesse hat das Potential, diese „**Zukunft**“ real werden zu lassen!

Leider zeichnet sich ab, dass diese positive „Zukunft“ so nicht kommen kann. Der Grund dafür ist nicht etwa mangelnder Wille vor Ort, auch nicht so sehr mangelnde technische oder finanzielle Möglichkeiten. Nein, der Grund dafür liegt in **gesetzlichen Regelwerken, die diese „Zukunft“ derzeit aktiv verhindern**: Tatsächlich machen diese sowohl die Erzeugung als auch den Einsatz von grünem Wasserstoff schlicht unwirtschaftlich. Diese „künstliche Unwirtschaftlichkeit“ dann im Nachgang punktuell mit steuerfinanzierten Förderprogrammen heilen zu wollen, erscheint uns nicht plausibel.

- 2 -

Ein konkretes Beispiel: Sogar, wenn jemand seinen Strom zu Zeiten der netzbedingten Abregelung seiner erneuerbaren Energien-Anlage für 0,00 €/MWh verschenkte, muss der Beschenkte dafür 20,50 € Stromsteuer und derzeit 67,56 € EEG-Umlage je MWh aufbringen. Das führt dazu, dass für diese Energie, die beispielsweise in einer Power-to-X-Anlage in Form von Wärme gespeichert werden könnte, rund 88 €/MWh für „Umsonststrom“ aufzubringen wären. Russisches Gas kostet dagegen nur einen Bruchteil dieses Betrages. **So vermeiden wir aktiv, Wertschöpfung in unserem Land zu generieren.**

Daher fordern die Unterzeichner – gerade im Hinblick auf die anstehende Novelle des EEG:

1. Keine künstliche Verteuerung der Sektorenkopplung

Sektorenkopplung – und Wasserstoff ist eines der Paradebeispiele hierfür – ist unerlässlich für das Energiesystem der Zukunft. Hohe Abgabelasten verhindern zahlreiche ansonsten wirtschaftliche Projekte. Daher ist eine Befreiung von Steuern, Abgaben und Umlagen für solche Projekte vorzusehen, sofern der Strom aus erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen kommt und durch eine nichtöffentliche Stromleitung geleitet wird.

2. Privilegien der Eigenversorgung für Betreibermodelle öffnen

Der sehr strikt ausgelegte Begriff der „Betreiberidentität“ verhindert sinnvolle Investitionen, indem beispielsweise Contracting-Modelle verhindert werden. In der Realität gibt es kaum Anlagenbetreiber von Photovoltaik- oder Windparks, welche in genau der selben juristischen Person einen hohen Stromverbrauch aufweisen, der durch eigene EEG-Anlagen gedeckt werden könnte.

3. Definition der „räumlichen Nähe“ erweitern

Privilegien bei der Belastung mit Umlagen werden derzeit nur gewährt, wenn eine äußerst restriktiv definierte „räumliche Nähe“ zwischen Erzeugung und Verbrauch existiert. Bereits eine dazwischenliegende Straße oder ein Bach negieren „räumliche Nähe“. Daher ist die Definition des Begriffs der „räumlichen Nähe“ sinnvoll zu erweitern. Idealerweise wird diese sogar immer dann angenommen, wenn eine Direktleitung zwischen Erzeuger und Verbraucher existiert.

4. Kosten der Netzanbindung der Sektorenkopplung reduzieren

Sektorenkopplung ist ein elementarer Baustein eines künftigen Energiesystems, der Schwankungen von Erzeugung und Verbrauch ausgleichen kann. Daher sind Power-to-X-Anlagen und Batteriespeicher vom Baukostenzuschuss für die Netzanbindung zu befreien, wenn diese netzdienlich betrieben werden.

5. Erleichterung der Genehmigungspraxis

Elektrolyseure sind Herzstücke der Sektorenkoppelung. Daher ist, wo immer möglich, auf eine immissionsschutzrechtliche Genehmigungsfreiheit für Elektrolyseure abzustellen.

Wir wünschen Ihnen den Mut und die Weitsicht, bislang fehlgeleitete gesetzliche Entwicklungen noch mit der laufenden EEG-Novelle zu korrigieren, um damit den Grundstein für eine prosperierende Zukunft unseres Wirtschaftsraumes zu legen. Gleichzeitig bitten wir Sie eindringlich, Investitionen in eine saubere Zukunft nicht zu behindern.

- 3 -

Mit freundlichen Grüßen

Maria Rita Zinnecker
Landrätin des
Landkreises Ostallgäu

Indra Baier-Müller
Landrätin des
Landkreises Oberallgäu

Stefan Bosse
Oberbürgermeister der
Stadt Kaufbeuren

Erwin Karg
Bürgermeister der
Gemeinde Fuchstal

Stephan Stracke, MdB

Michael Kießling, MdB

Angelika Schorer, MdL

Alex Dorow, MdL

mit Unterstützung der nachfolgend mitunterzeichnenden Verbände und Unternehmen:

- 4 -



blueFLUX Energy AG



Maschinenring
Ostallgäu e.V.



Energie- und
Umweltzentrum Allgäu

Anhang 3: Wasserstoff-Marktmodelle

Bei der Erarbeitung des Konzeptes zur Umsetzung einer regionalen Wasserstoffwirtschaft stellt sich auch die Frage, wie der Wasserstoffhandel zwischen der Erzeuger- und Verbraucherseite organisieren und Angebot und Nachfrage bedarfsgerecht zusammengeführt werden kann. Die drei Modelle, die im Folgenden dargestellt werden, sollen als Anregung für die weitere Diskussion dienen. Sie stellen keine Umsetzungsidee dar.

Im Marktmodell „Basic“ wird auf dem Marktplatz das Mengenmatching organisiert und somit Transparenz über Angebot und Nachfrage in der Region geschaffen (vgl. Abbildung 29). Die Vertragsausgestaltung, die Wasserstofflieferung und die Zahlungsvorgänge erfolgen bei diesem Basismodell weiterhin bilateral zwischen Wasserstoffherzeuger und -verbraucher. Die Finanzierung der Marktplatzdienstleistungen könnte durch ein Dienstleistungsentgelt der auf dem Marktplatz gelisteten Wasserstoffherzeuger erfolgen.

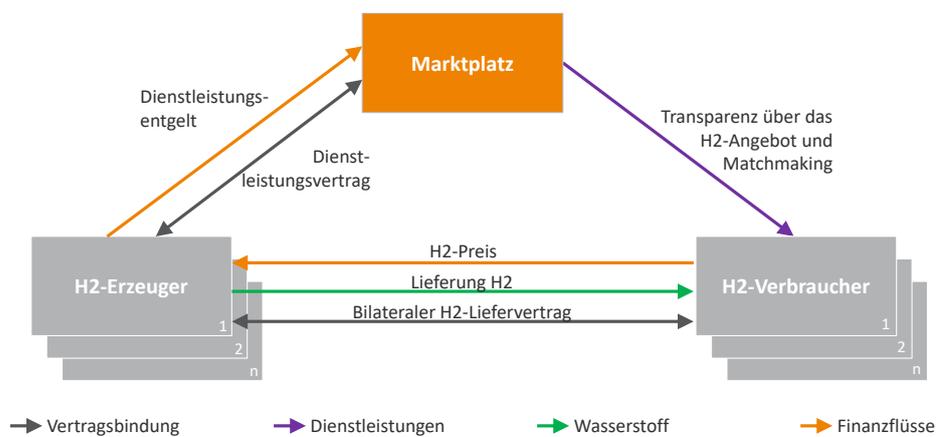


Abbildung 29 Marktmodell: Basic (© BMVI/BBHC)

Im Marktmodell „Advanced“ wickelt der Marktplatz zusätzlich zum Mengenmatching die Zahlungsvorgänge dienstleidend ab (vgl. Abbildung 30). Dafür schließen die Erzeuger und Verbraucher jeweils Wasserstofflieferverträge mit dem Marktplatz. Der Marktplatz leitet die Wasserstoffzahlungen der Verbraucher, abzüglich eines Dienstleistungsentgeltes, an die Erzeuger weiter.

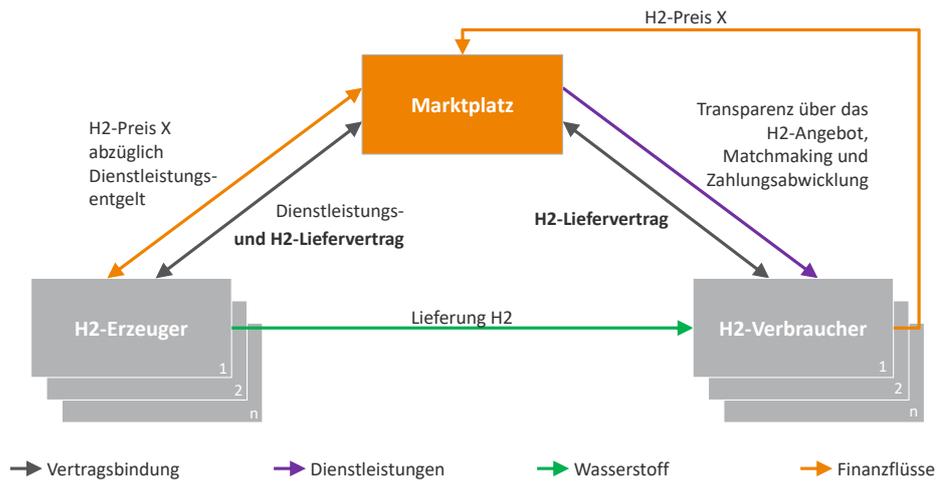


Abbildung 30: Marktmodell: Advanced (© BMVI/BBHC)

Im Marktmodell „Sorglos“ garantiert der Marktplatz den Wasserstoffherzeugern zudem vorher vereinbarte Wasserstoffabnahmen und den Wasserstoffverbrauchern vorher vereinbarte Wasserstoffverfügbarkeiten zu einem vertraglich definierten Preis (vgl. Abbildung 31). Das dargestellte Marktplatzkonzept entkoppelt somit energetische von finanziellen Flüssen.

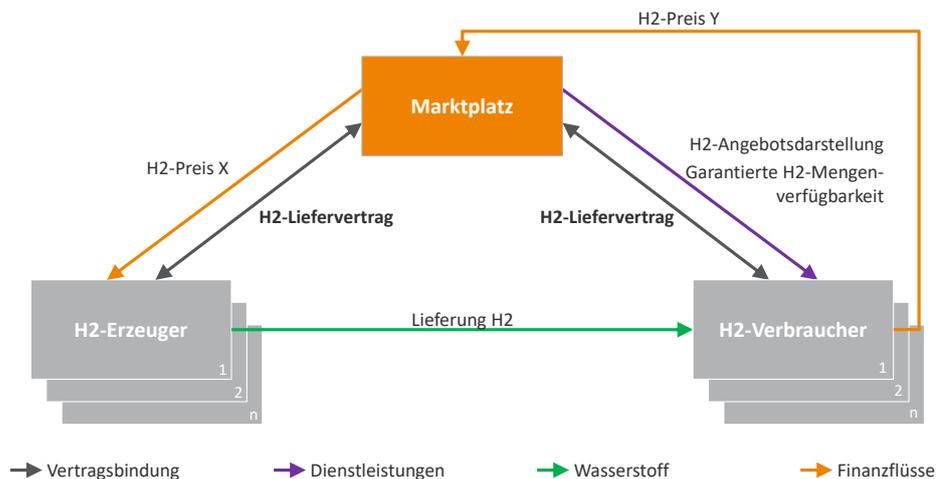


Abbildung 31: Marktmodell: Sorglos (© BMVI/BBHC)

Veranlasst beispielsweise ein Elektrolysebetreiber einen Wasserstofftransport zu einer Tankstelle, erhält er eine entsprechende Vergütung vom Betreiber des Marktplatzes. Dabei garantiert der Marktplatzbetreiber sowohl dem Wasserstoffherzeuger als auch dem Tankstellenbetreiber feste Verkaufs- bzw. Einkaufspreise, sodass sie Investitionssicherheit für ihre Infrastruktur haben. Wenn diese einheitlichen Einkaufspreise, unter Berücksichtigung notwendiger Zulagen für „Weiterverarbeitungsprozesse“, auch einheitlich an den Endkunden in der Region weitergegeben werden würde das Konzept einer Kannibalisierung verschiedener Akteure entgegenwirken. Beispielsweise würde vermieden, dass unterschiedliche Tankstellen den Wasserstoff zu

unterschiedlichen Preisen anbieten und die Nutzer nur dort tanken, wo der Wasserstoff am günstigsten ist.

Gleichzeitig garantiert der Marktplatzbetreiber dem Elektrolysebetreiber Abnahmemengen und den Nutzer*innen verfügbare Wasserstoffmengen. Flottenbetreiber, die Brennstoffzellenfahrzeuge anschaffen möchten, müssten sich somit keine Gedanken um die Kraftstoffversorgung mit Wasserstoff machen.

Um Angebot und Nachfrage im zeitlichen Verlauf synchronisieren zu können, müssten sowohl Erzeuger als auch Nachfrager ihre Wasserstoffmengen im Vorhinein anmelden. Bei eventuellen Unterdeckungen sowie für den Fall von Produktionsausfällen muss der Marktplatzbetreiber Backup-Lieferverträge vereinbaren. In Summe würde ein derartiger Marktplatz Preis- und Mengenrisiken für die Anwender*innen übernehmen. Zudem müssen die Akteur*innen keine bilateralen Verträge miteinander abschließen – einziger Vertragspartner wird der Marktplatz. Hierdurch sinken neben den Risiken und Kosten auch administrative Aufwände, wodurch Eintrittsbarrieren gesenkt werden.

Voraussichtlich würden beim Marktplatzbetreiber in der Sorglos-Variante in der Anfangszeit negative Margen anfallen. Abhilfe schaffen könnte eine Überführung des Ansatzes des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Programms H2Global vom internationalen in den regionalen Kontext. Das H2Global-Konzept sieht den temporären Ausgleich der Differenz zwischen Ankaufspreis und Verkaufspreis für grünen Wasserstoff durch Fördermittel vor.



Stadt



Kaufbeuren



Wasserstoffmodellregion
Ostallgäu

Impressum

Herausgeber

Landkreis Ostallgäu
Stadt Kaufbeuren
Gemeinde Fuchstal

Projektleitung

Landkreis Ostallgäu
Klimaschutz
Johannes Fischer (Johannes.Fischer@lra-oal.bayern.de)

Stadt Kaufbeuren
Wirtschaftsförderung, Marketing, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Büro des Oberbürgermeisters
Peter Igel (peter.igel@kaufbeuren.de)

Gemeinde Fuchstal
Geschäftsstellenleiter
Gerhard Schmid (schmid@vgem-fuchstal.de)

Verantwortlich für den Inhalt

Nuts One GmbH
Dessauerstr. 28-29
10963 Berlin
<https://nuts.one/>

Titelbild

© BMVI/David Borgwardt

Grafiken auf den Seiten 34, 41, 47, 51, 53 und 54

© BMVI/David Borgwardt

Porträts auf Seite 1

© Landkreis Ostallgäu
© Stadt Kaufbeuren
© Gemeinde Fuchstal