









# HyExperts-Machbarkeitsstudie für die Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge

#### Im Auftrag von:

Landratsamt Wunsiedel i. Fichtelgebirge

Jean-Paul-Straße 9

95632 Wunsiedel

#### **Erstellt durch:**

endura kommunal GmbH Emmy-Noether-Str. 2 79110 Freiburg info@endura-kommunal.de www.endura-kommunal.de

#### Autoren/Mitarbeiter:

Jan Friedrich

Rolf Pfeifer

Ben Everad

Lara Hölting

Finn Steiert

Die Machbarkeitsstudie zur Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge wurde mit Fördergeldern des BMVI im Rahmen der Regionenförderung "HyExperts" erstellt.

Dieser Bericht darf nur unter Nennung der endura kommunal GmbH als Verfasserin veröffentlicht werden. Sofern Änderungen an Berichten, Prüfergebnissen, Berechnungen u. ä. des Konzepts vorgenommen werden, muss eindeutig kenntlich gemacht werden, dass die Änderungen nicht von der endura kommunal GmbH stammen. Eine über die bloße Veröffentlichung hinausgehende Werknutzung des Berichts und seiner Bestandteile durch Dritte, insbesondere die kommerzielle Nutzung z.B. von Präsentationen oder Grafiken, ist nur mit ausdrücklicher schriftlicher Genehmigung der endura kommunal GmbH gestattet. Sofern nicht anders vermerkt, wurden alle Grafiken und Tabellen von der endura kommunal GmbH erstellt.



## Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

ich freue mich, Ihnen heute als HyExpert-Landkreis einen wichtigen Baustein in unserer Strategie für die Energiezukunft unseres Landkreises an die Hand geben zu dürfen.

Seit Jahren beschäftigen wir uns im Fichtelgebirge mit der Frage wie die Energieerzeugung und –verteilung der Zukunft in einer mit unserer Erde verträglichen Art und Weise aussehen könnte. Diese Vision treibt uns an, motiviert uns immer wieder aufs Neue und ist die Grundüberlegung unserer Strategie zur Dekarbonisierung der Region, die wir konsequent und aus Überzeugung verfolgen. Die Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge ist dabei eines der Herzstücke unseres Energiebaukastens, der ganz bewusst unterschiedlich kombinierbare Bausteine bietet und von überzeugten und namhaften Partnern begleitet wird. Mit dem HyExpert-Konzept gehen wir erneut einen konsequenten Schritt nachhaltiger Regionalentwicklung.

Die Herstellung und Nutzung von Wasserstoff, der CO2-neutral erzeugt wird, hat aus unserer Sicht großes Potential und passt genau in die Strategie des Fichtelgebirges. Die Mobilität bietet kurzfristig schon erste Anwendungsmöglichkeiten, die in der Region und darüber hinaus auf breites Interesse stoßen und die es auszubauen gilt. Mittel- und langfristig muss dieser sogenannte grüne Wasserstoff aber sektorenübergreifend Anwendung finden und beispielsweise die Nutzung fossiler Energie in energieintensiven Industrien ablösen. Für beide Anwendungen ist es aber auch nötig, im Bereich der Kurz- und Langfristspeicher weitere Erfolge zu erzielen.

Der aller Entwicklung zugrunde liegende Wunsiedler Weg der Energiezukunft und die Arbeit in der H2. Fichtelgebirge gelten schon jetzt als Blaupause für andere ländliche Räume, wie eine Energiewende im subsidiären Ansatz gelingen kann. Wir sehen uns insofern als Vorreiter. Die positive Resonanz zeigt uns, dass wir diesen Weg weiter gehen wollen und müssen.

Mein Dank als Landrat des Landkreises Wunsiedel im Fichtelgebirge aber auch mein persönlicher Dank gilt allen, die zum Gelingen des HyExpert-Konzepts beitragen. Namentlich erwähnen möchte ich den Geschäftsführer der SWW Wunsiedel GmbH Marco Krasser und die Firma endura kommunal GmbH. Ich freue mich auf ein weiteres gedeihliches Miteinander und verbinde damit die Gewissheit, dass wir Entscheidendes für die Energiewende, für unsere Heimat und für die nachfolgenden Generationen beitragen.

Ihr

Peter Berek Landrat







# Inhaltsverzeichnis

Α	AbbildungsverzeichnisA					
Ta	abeller	nverzeichnis	c			
Α	bkürzı	ungsverzeichnis	D			
1.	Ein	leitung	1			
	1.1.	Motivation für die Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge	2			
	1.2.	Einbettung in politische und regionale Ziele	4			
	1.3.	HyExpert im Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge	5			
2.	Aus	sgangslage im Landkreis	7			
	2.1.	Akteursstruktur	7			
	2.2.	Energieversorgung	8			
	2.3.	ÖPNV / SPNV	11			
	2.4.	Regionaler Güterverkehr / Warentransport	14			
	2.5.	Abfallentsorgung	15			
	2.6.	Industrie	16			
3.	H <sub>2</sub> -	Erzeugung	17			
	3.1.	Verfahren zur H₂-Erzeugung	17			
	3.2.	Ökobilanzierung der Erzeugungspfade	18			
	3.3.	Elektrolyse	21			
	3.4.	Erneuerbare Energien für die Elektrolyse	22			
	3.5.	Ausbau Energiepark Wunsiedel und neue PV-Anlagen	25			
	3.6.	Wirtschaftlichkeitsberechnung Elektrolyse	26			
	3.7.	Umlagen	28			
	3.8.	Sicherheitskonzepte	31			
	3.9.	Elektrolyseur am Energiepark	31			
4.	H <sub>2</sub> -	Speicher und -Infrastruktur	32			
	4.1.	Speicher	32			
	4.2.	Transport	34			
	4.3.	Tankstellen	36			
	4.4.	Wasserstofftankstellenkonzept für den Landkreis	39			
	4.5.	Wirtschaftlichkeitsberechnungen - Tankstelle	40			









4	.6.	Rechtlicher Rahmen / Sicherheitskonzepte / Genehmigungen	41
5.	Was	serstoff in der Mobilität	44
5	i.1.	Einleitung	44
5	.2.	Busse	44
5	.3.	Abfallsammelfahrzeuge	47
5	.4.	LKW	49
5	.5.	PKW und leichte Nutzfahrzeuge (LCV)	51
5	.6.	Züge	53
6.	Sekt	torkopplung & Synergien der Wasserstofferzeugung	55
6	.1.	Industrie	55
6	.2.	Wärme & Abwärme	57
6	.3.	Zukunftskraftwerk	58
6	.4.	Nutzung des Sauerstoffs	60
6	5.5.	Forschung	60
7.	Fazi	t und weiteres Vorgehen	62
7	.1.	Ergebnisse der HyExpert Prozesse	62
7	.2.	HyPerformer - Ausblick	63
7	.3.	Maßnahmenkatalog	64
7	.4.	Akzeptanz- und Öffentlichkeitsarbeit	67
7	.5.	Erfolgsfaktoren	70
7	.6.	Übertragbarkeit auf andere Regionen	71
7	.7.	Handlungsempfehlungen an die Politik	71
0	0.10	llan	72







# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sektorkopplung mittels Wasserstoff und Elektrolyse – Quelle: Siemens.	1
Abbildung 2: Blick auf den Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge	2
Abbildung 3: nächstgelegene H2-Quellen in der Nähe von Wunsiedel	3
Abbildung 4: Akteursübersicht Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge	7
Abbildung 5: Blick auf den Energiepark Wunsiedel mit der ausgewiesenen Fläche (ora die Elektrolyseanlage - Quelle: DME Consult Rosenheim	- /
Abbildung 6: Konzept des Satelliten-Kraftwerks Breitenbrunn auf Basis von Holzp	
Quelle: SWW Wunsiedel GmbH	11
Abbildung 7: Beispielhafte Übersicht über Buslinien im Landkreis mit entspred	
Höhenprofilen	
Abbildung 8: Überregionaler ÖPNV/SPNV mit entsprechenden Höhenprofilen	
Abbildung 9: Erzeugungsoptionen von Wasserstoff – Quellen: Siemens, BtX Energy,	
Abblidding 9. Erzedgungsoptionen von wasserston – Quellen, Diernens, Dix Eriergy,	_
Abbildung 10: Spezifische Treibhausgasbilanz der Brutto-Stromerzeugung aus Erneu	
im Jahr 2018 - Quelle: Umweltbundesamt	
Abbildung 11: insgesamt 151 MW Nennleistung im Landkreis	
Abbildung 12: Insgesamt 7 MW auslaufende Nennleistung im Landkreis bis 2025	
Abbildung 13: EE-Anlagen in der gesamten Region mit Förderung bis 2025	
Abbildung 14: Smart Grid zur Integration von 100 % Erneuerbaren mit den unterschie	
Spannungsebenen am Beispiel Wunsiedels	
Abbildung 15: PV-Gestehungskosten einer Freiflächenanlage in Wunsiedel	
Abbildung 16: Wasserstoffgestehungskosten (Beispiel) mit der Annahme, dass	
Produktion von Wasserstoff gemäß § 69b keine EEG-Umlage gezahlt werden muss	
die Komprimierung jedoch schon (**)	
Abbildung 17: Visualisierung des §69b EEG 2021	
Abbildung 18: Visualisierung des § 64a EEG 2021	
Abbildung 19: schematische Darstellung der Elektrolyseanlage inklusive Kom	-
Speicher und Abfüllanlagen. ND = Niederdruckspeicher, HD = Hochdruckspeicher,	
Hochdruckkompressor, RK = Rückkühler, De-Oxo = De-Oxo Trocknungsanlage, N = S	
Abbildung 20: Kostenoptimaler Transport von Wasserstoff in Abhängigkeit von Durchs	
Transportdistanz. Mit G = gasförmiger Trans-port via LKW, L = flüssiger Transport v	
und P = gasförmiger Transport via Pipeline – Quelle: M. Reuß, Forschungszentrum J	
Abbildung 21: Aufbau und Funktionsprinzip einer 350-bar-Bustankstelle - Quelle: NOV	
Abbildung 22: Tankstellenkonzept für die Markthochlaufphase von Wasserstoff in der I	Mobilität
Abbildung 23: Beispielhafte Berechnung der Wasserstoffkosten an einer 350-bar-Ta	ınkstelle
Abbildung 24: Übersicht Genehmigungen für H2-Anliefertankstellen – Quelle: Landes	energie-
und Klimaschutzagentur Mecklenburg-Vorpommern GmbH	42
Abbildung 25: TCO-Berechnung für Busse im Vergleich	46
Abbildung 26: TCO-Berechnung für Abfallsammler bei unterschiedlichen Kos	sten für
Wasserstoff	48
Abbildung 27: TCO-Vergleich von brennstoffzellen-elektrischen und konventionellem I	LKW mit
18 t zGG und Anhänger	51









Abbildung 28: Schematische Kopplung der Sektoren am Energiepark - Quelle: Siemens AG
Abbildung 29: Konzept des Zukunftskraftwerks als Baukastensystem der CO <sub>2</sub> -neutralen Energiezukunft und als Teil des "WUNsiedler Weges – Energie" – Quelle: SWW Wunsiedel
GmbH
Abbildung 30: Schematische Darstellung der Forschungsfragen im Rahmen des ZET
Reallabors Energiezukunft Wunsiedel – Quelle: ZET / Universität Bayreuth61
Abbildung 31: Hochlaufszenario für die Nutzung von Wasserstoff in der Mobilität im Landkreis
Wunsiedel i. Fichtelgebirge
Abbildung 32: Wasserstoff-Roadmap "Mobilität" für die Wasserstoff-Modellregion
Fichtelgebirge
Abbildung 33: Feierliche Gründung der Interessengemeinschaft H2. Fichtelgebirge am 14. Juni
2021
Abbildung 34: Mitglieder der H2. Fichtelgebirge mit Stand vom 14. Juni 2021 69
Abbildung 35: Die Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge auf der IAA Mobility 2021 in
München 70







# **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Reduktionsziele der Bundesregierung bis 2030 nach Sektoren4
Tabelle 2: Stromverbrauch und Erzeugung im Landkreis 2013 und 20198
Tabelle 3: Wärmeversorgung der Stadt Wunsiedel nach Quartieren und Energieträgern -
Quelle: WN 4.0
Tabelle 4: Daten zum ÖPNV im Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge 12
Tabelle 5: Übersicht über Unternehmen aus dem regionalen Güterverkehr und
entsprechender Fahrzeugklassen. *SF = Sonderfahrzeuge bspw. zur Pelletauslieferung oder
den Baustellenverkehr14
Tabelle 6: Abfallmengen der KUFi im Jahr 201915
Tabelle 7: Emissionsfaktoren für ausgewählte Erneuerbare Energien im Vergleich zum
deutschen Strom- und Wärme-Mix gemäß Umweltbundesamt20
Tabelle 8: Direkte und Indirekte THG-Emissionen für die Herstellung von einem Kilogramm
Wasserstoff
Tabelle 9: Vergleich unterschiedlicher Elektrolysetechnologien22
Tabelle 10: Übersicht unterschiedlicher Speichervarianten
Tabelle 11: Übersicht über unterschiedliche Transportmöglichkeiten
Tabelle 12: Übersicht über den leitungsgebundenen Transport
Tabelle 13: Betankungszeiten unterschiedlicher Fahrzeugtypen
Tabelle 14: Abschätzung der Investitionskosten für 350-bar-Wasserstofftankstellen 38
Tabelle 15: Brennstoffzellen-Busse unterschiedlicher Hersteller im Vergleich; *gemäß Studie
von Roland Berger45
Tabelle 16: Annahmen zur Berechnung der Gesamtbetriebskosten von Solobussen 46
Tabelle 17: Spezifikationen des FAUN Bluepower Abfallsammelfahrzeuges; *Betankung zu
etwa der Hälfte mit 350 bar möglich; **gemäß Studie von Roland Berger47
Tabelle 18: Annahmen zur Berechnung der Gesamtbetriebskosten eines
Abfallsammelfahrzeuges48
Tabelle 19: Spezifikationen des Hyundai XCIENT Fuel Cell
Tabelle 20: Annahmen für die TCO-Berechnungen für LKW50
Tabelle 21: Kennzahlen unterschiedlicher PKW und LCV mit Brennstoffzelle; *Betankung mit
350 bar etwa zur Hälfte des Tankfassungsvermögens ist möglich
Tabelle 22: Mögliche Investitionen im Rahmen einer HyPerformer-Förderung des Landkreises
64









# Abkürzungsverzeichnis

AEL Alkalische Elektrolyse

ATEX Atmosphère Explosible (EU-Richtlinien zum Explosionsschutz)

BAFA Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle

BHKW Blockheizkraftwerk

BMVI Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

BZ Brennstoffzellen

CAPEX Capital Expenditures - Investitionsausgaben

CCfD Carbon Contracts for Difference

CVD Clean Vehicle Directive

EEG Erneuerbare-Energien-Gesetz

H<sub>2</sub> Wasserstoff

Internet of Things – Internet der Dinge

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change

KSK Klimaschutzkonzept des Landkreises Wunsiedel i. Fichtelgebirge

LCOE Levelized Cost of Energy - Stromgestehungskosten

LCV Light Commercial Vehicle – leichtes Nutzfahrzeug
LOHC Liquid Organic Hydrogen Carrier

LOI Letter of Intent - Absichtserklärung

NOW Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

OPEX Operating Expenditures - Betriebskosten

ÖPNV Öffentlicher Personennahverkehr

PEM Proton Exchange Membrane - Protonenaustauschmembran

PV Photovoltaik

SOEC Solid Oxide Electrolysis – Hochtemperaturelektrolyse

SPNV Schienenpersonennahverkehr

TCO Total Costs of Ownership - Gesamtbetriebskosten

THG Treibhausgas

VGF Verkehrsgemeinschaft Fichtelgebirge

WACC Weighted Average Cost of Capital – durchschnittliche Kapitalkosten

WEA Windenergieanlage

ZENOB Zukunfstenergie Nordostbayern

ZET Zentrum für Energietechnik der Universität Bayreuth

zGG Zulässiges Gesamtgewicht









## 1. Einleitung

Wasserstoff gilt als Schlüsselelement einer auf Erneuerbaren basierenden Energiezukunft, da er die Kopplung sowie die Dekarbonisierung der Sektoren Strom, Wärme,
Industrie und Mobilität erlaubt. Zudem ermöglicht die Wasserstoffproduktion mittels
Elektrolyse eine Stabilisierung des Stromnetzes und somit einen Ausgleich fluktuierender Stromquellen wie PV- und Windkraftanlagen. Über die Umwandlung in Wasserstoff können große Energiemengen gespeichert und bei Bedarf rückverstromt oder
für andere Anwendungen wie z.B. in der Mobilität oder für industrielle Prozesse genutzt werden (siehe Abbildung 1). Aufgrund der Speichermöglichkeit großer Energiemengen in Form von Wasserstoff wird eine Strom- und Wärmeversorgung mit 100%
Erneuerbaren zumindest denkbar und perspektivisch realisierbar, da bspw. Dunkelflauten abgedeckt werden können.

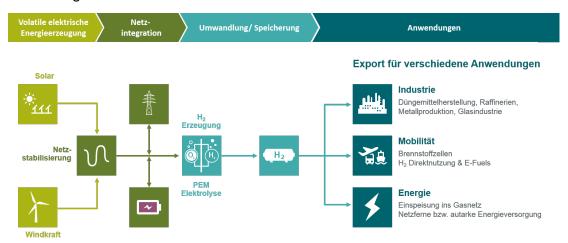


Abbildung 1: Sektorkopplung mittels Wasserstoff und Elektrolyse – Quelle: Siemens

Mittlerweile hat auch die Politik die große Bedeutung von Wasserstoff für die Erreichung der nationalen und europäischen Klimaziele erkannt und mit der nationalen Wasserstoffstrategie, sowie des europäischen Green Deal große Summen für die Realisierung von Projekten mit Wasserstoff bereitgestellt.

Die Bedeutung von Wasserstoff für eine klimafreundliche Strom- und Wärmeversorgung wurde im Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge und hier insbesondere von den lokalen Stadtwerken SWW Wunsiedel GmbH frühzeitig erkannt. Im Rahmen der HyLand-Regionenförderung des BMVI in der Kategorie HyExperts wird in der vorliegenden Machbarkeitsstudie die Bedeutung von Wasserstoff als Baustein einer dezentralen Energieversorgung in Wunsiedel inklusive möglicher regionaler Synergien und Dekarbonisierungspotentiale analysiert und bewertet. Es wird die Ausgangsituation im Landkreis für die Produktion von Wasserstoff und dessen Anwendung in der lokalen Mobilität, der Industrie und der Wärmeversorgung untersucht. Die HyExpert-Machbarkeitsstudie schließt mit konkreten Handlungsempfehlungen und einer Wasserstoffroadmap, um in der Region eine lokale Wasserstoffwirtschaft aufzubauen, die sich als Blaupause auf andere ländliche Regionen in Deutschland und Europa übertragen lässt.









### 1.1. Motivation für die Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge

Der Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge (Abbildung 2) ist mit seinen knapp 75.000 Einwohnern im Nordosten Bayerns ein sehr ländlich geprägter Landkreis mit einigen Hidden Champions aus der Automobil-Zulieferindustrie, sowie der Keramik- und Glasindustrie. Die einzige Autobahn im Landkreis (A93) verbindet die außerhalb des Landkreises liegenden Städte Hof im Norden mit Regensburg im Süden und führt an der mit ca. 17.000 Einwohnern größten Stadt des Landkreises, Marktredwitz, vorbei.



Abbildung 2: Blick auf den Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge

In den letzten zwanzig Jahren sank die Bevölkerung um fast 20 % (Quelle: Eurostat), so dass die Bewerbung als HyExpert-Region auch unter dem Aspekt "Schaffung gleichwertiger Lebensbedingungen im strukturschwachen ländlichen Raum" und dem Aufzeigen neuer (wirtschaftlicher) Perspektiven für die Region stand.

Parallel dazu existiert mit der SWW Wunsiedel GmbH ein sehr innovatives lokales Stadtwerk, welches sich in den letzten Jahren mit der konsequenten Verfolgung einer klimafreundlichen und dezentralen Wärme- und Energieversorgung unter großer Bürgerbeteiligung auch überregional einen Namen gemacht hat. Dieser Weg wird von der SWW und in der Region als "WUNsiedler Weg – Energie" bezeichnet. Das starke Engagement der SWW und allen voran ihres Geschäftsführers Herrn Marco Krasser für eine klimafreundliche und dezentrale Energieversorgung führte 2016 zu einer Technologiepartnerschaft zwischen der SWW und der Siemens AG. Seitdem nutzt Siemens Wunsiedel als Testfeld für eine zukünftige, klimafreundliche und dezentrale Energieversorgung, wie sie perspektivisch auf viele ländliche, aber auch urbane Räume in Deutschland und Europa übertragen werden kann¹. Die Entwicklungen und

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Zitat Cedrik Neike, Vorstandsmitglied der Siemens AG: "Warum investieren wir in Wunsiedel? – Weil 148 Mal Wunsiedel München ist."







Konzepte, die in Wunsiedel in der Praxis getestet werden, können baukastenartig auf andere Regionen übertragen werden. Frühzeitig wurde von beiden Partnern auch die Bedeutung von Elektrolyseanlagen und Wasserstoff als Baustein einer derartigen Energieversorgung mit hoher regionaler Wertschöpfung erkannt. Je mehr fluktuierende Erneuerbare Energien zum Strommix der SWW dazukamen, umso deutlicher wurde der Bedarf an Lösungen die Schwankungen zwischen Stromangebot und - nachfrage ausgleichen und den regional erzeugten Strom zwischenspeichern.

Aus diesen Überlegungen wurden im Jahr 2019 erste "Wasserstoffstammtische", d.h. Diskussionsrunden, mit interessierten Vertretern der Öffentlichkeit und lokalen Unternehmer\*innen organisiert, um die Möglichkeiten einer regionalen Wasserstofferzeugung und -nutzung zu erörtern. Hieraus und vor allem durch die anschließende Berichterstattung, ist u.a. der mittelständische Gaselieferant Rießner Gase aus dem knapp 100 km entfernten Lichtenfels auf die Akteure in Wunsiedel aufmerksam geworden. Die Firma Rießner Gase hatte bisher das Problem den Wasserstoff für seine Kunden in der Region Oberfranken / Thüringen / Sachsen und auch Tschechien aus mindestens knapp 200 km Entfernung entweder aus Leuna oder Burghausen in die Region transportieren zu müssen (siehe Abbildung 3).

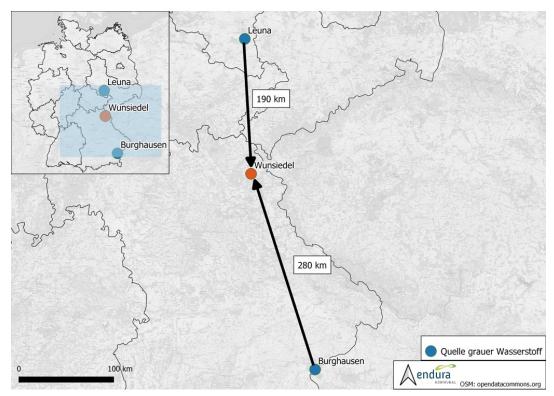


Abbildung 3: nächstgelegene H2-Quellen in der Nähe von Wunsiedel

Da Wasserstoff mit etwa 1,00 - 1,50 EUR/kg pro 100 Kilometer hohe Transportkosten beim straßengebundenen Transport hat, war es für die Firma Rießner Gase eine attraktive Option, Wasserstoff lokal zu produzieren und die entsprechenden Transportwege zu verkürzen.









#### 1.2. Einbettung in politische und regionale Ziele

Am 9. August 2021 hat der Weltklimarat der Vereinten Nationen (IPCC) seinen sechsten und aktuellsten Bericht zum weltweiten Klimawandel veröffentlicht. Nach Aussage des Berichts sehen Wissenschaftler Klimaveränderungen überall auf der Welt in bisher unbekannten Ausmaßen. Der menschliche Einfluss sei nicht nur der wesentliche Treiber für die Klimaerwärmung, sondern auch verantwortlich für die Zunahme von Wetter- und Klimaextremen wie bspw. die verheerenden Unwetter im Sommer 2021 in Westdeutschland und Oberbayern. Die globale Oberflächentemperatur habe sich mittlerweile um etwa 1,1 °C (2011-2020) im Vergleich zu vorindustriellen Zeiten (1850-1900) erwärmt. Seit 1970 habe sich die global gemittelte Oberflächentemperatur noch schneller erhöht und ist in ihrer Zunahme beispiellos seit mindestens 2.000 Jahren. Nach Aussage des IPCC gehe es nun darum, die Treibhausgas-Emissionen sofort, schnell und drastisch zu reduzieren. Ansonsten werde die Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5 °C im Vergleich zum vorindustriellen Zeitraum unerreichbar und mit enormen Folgekosten verbunden sein.

Die EU und auch die Bundesregierung bekennen sich zum Pariser Klimaabkommen von 2015 die globale Erwärmung auf deutlich unter zwei Grad Celsius, wenn möglich unter 1,5 °C, gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu halten, um die negativen Auswirkungen des Klimawandels zu begrenzen. Die EU strebt in diesem Zusammenhang eine Treibhausgas-Neutralität bis 2050 an und hat hierzu den European Green Deal ausgerufen, der zum Aufbau einer klimaneutralen und ressourcenschonenden Wirtschaft genutzt werden soll. Die Bundesregierung hat mit dem neuen Klimaschutzgesetz 2021 seine Klimaschutzziele noch einmal verschärft und strebt die Klimaneutralität bis zum Jahre 2045 an. Bis 2030 sollen die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland um 65 % im Vergleich zu 1990 reduziert werden. Nach Sektoren aufgeteilt werden die in Tabelle 1 aufgeführten Reduktionsmengen angestrebt.

Tabelle 1: Reduktionsziele der Bundesregierung bis 2030 nach Sektoren

Sektoren	Emission 2020 in Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente	Ziel 2030 in Millio- nen Tonnen CO <sub>2</sub> - Äquivalente	Veränderung in Prozent
Energiewirtschaft	221	108	- 51,9 %
Industrie	178	118	- 33,7 %
Verkehr	146	85	- 41,8 %
Gebäude	120	67	- 44,2 %
Landwirtschaft	66	56	- 15,2 %
Abfall	8,9	5	- 43,8 %

Wasserstoff soll bei der Erreichung der Klimaziele der EU und der Bundesregierung eine entscheidende Rolle einnehmen. Sowohl die EU als auch die Bundesregierung und der Freistaat Bayern haben 2020 jeweils eigene Wasserstoffstrategien mit entsprechenden Hochlaufszenarien und Förderzusagen ins Leben gerufen. Wasserstoff









gilt hierbei als Schlüsselelement einer dekarbonisierten Energiezukunft, da er als Speichermedium Energieangebot und -nachfrage voneinander entkoppeln kann und den weiteren Ausbau von Erneuerbaren Energien möglich macht. Wasserstoff erlaubt zudem die Dekarbonisierung des (Schwerlast-)Verkehrs und stellt nahezu die einzige Möglichkeit dar, kohlebasierte Verfahren in der Stahl- und Chemieindustrie zu ersetzen. Zusätzlich lassen sich mit Wasserstoff auch die Wärmeversorgung von Gebäuden und die Produktion von Düngemitteln für die Landwirtschaft (v.a. Ammoniak), mittels Wasserstoff dekarbonisieren. Auch für das Klimaschutzkonzept des Landkreises spielt die Produktion von Wasserstoff eine wichtige Rolle um den Ausbau von Erneuerbaren auf 101 % (139%) des Eigenstrombedarfs bis 2030 zu ermöglichen (Klimaschutzszenario) und die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr zu reduzieren.

Von der EU wurde zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr die Clean Vehicle Directive (CVD) verabschiedet, deren zugehöriger Gesetzentwurf im September 2021 vom Bundestag als Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz angenommen wurde. Mit dem Gesetz werden für die öffentliche Auftragsvergabe verbindliche Mindestziele für die Beschaffung von emissionsarmen und -freien Fahrzeuge vorgegeben. Die Vorgaben gelten ab dem 2. August 2021 für Neubeschaffungen von Fahrzeugen und öffentliche Dienstleistungsaufträge (z.B. ÖPNV, Abholung von Siedlungsabfällen). Bei ÖPNV-Bussen müssen in diesem Zusammenhang 45 % Fahrzeuge in der Neubeschaffung bis 2025 emissionsarm sein, wovon die Hälfte der Busse wiederum emissionsfrei sein muss.

Ob die in Tabelle 1 genannten Reduktionsziele ausreichend und schnell genug sind, steht dabei auf einem anderen Blatt. Wasserstoff bietet zumindest die Möglichkeit, diese zu erreichen.

#### 1.3. HyExpert im Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge

Der Prozess zur Entwicklung der Wasserstoffmodellregion Fichtelgebirge mit der Stadt Wunsiedel als Nukleus hat bereits mit der Etablierung der "Wasserstoffstammtische" im Jahr 2019 begonnen. Daraus resultierte, wie bereits in Abschnitt 1.1 erwähnt, die Gründung der Betreibergesellschaft WUN H2 GmbH mit den Gesellschaftern Siemens, Rießner Gase und SWW Wunsiedel. Auf Betreiben dieser drei Akteure entsteht in Wunsiedel aktuell einer der größten PEM-Elektrolyseanlagen Deutschlands mit 8,75 MWel und einer Produktionsmenge von bis zu 850 t Wasserstoff pro Jahr bei 5000 Vollbetriebsstunden. Der feierliche Spatenstich für diese Anlage erfolgte am 9. Juli 2021 unter prominenter Teilnahme des Ministerpräsidenten Bayerns, Herrn Markus Söder, dem bayrischen Wirtschaftsminister, Herrn Hubert Aiwanger, und dem bayrischen Umweltminister, Herrn Thorsten Glauber. Der Besuch dreier Kabinettsmitglieder der bayrischen Landesregierung verdeutlicht die politische Bedeutung und Beachtung der Entwicklungen in der Wasserstoffmodellregion Fichtelgebirge.

Der Prozess hierzu wurde sicherlich zumindest indirekt durch die HyExpert-Bewerbung und Förderzusage angeregt. Durch die erste HyLand-Förderrunde wurde deut-









lich, dass die Politik künftig starkes Interesse an der Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland haben wird und gewillt ist, die Henne-Ei-Problematik u.a. durch entsprechende Förderung von Modellregionen und die Anpassung rechtlicher Rahmenbedingungen zu lösen. Ohne dieses politische Signal die Nutzung von Wasserstoff in die Breite und in die Regionen zu tragen, wären die drei Partner vermutlich vor dem Risiko einer Investition zurückgeschreckt. Die Umsetzung der Elektrolyseanlage wird aktuell ohne Fördermittel von Bund, Ländern und EU realisiert.

Durch den Mut der drei Partner hat Wunsiedel im Vergleich zu anderen HyLand-Regionen nun den Vorteil, dass bereits ab Sommer 2022 je nach Definition grüner oder CO<sub>2</sub>-neutraler Wasserstoff aus regionalen Erneuerbaren Energien zur Verfügung stehen wird. Die HyExpert-Machbarkeitsstudie dockt dabei an der WUN H2 und deren Elektrolyseur an. Ziel der Machbarkeitsstudie war es vor allem, weitere Absatzpotentiale für den regional produzierten Wasserstoff zu identifizieren und die lokalen Akteure sowie die Öffentlichkeit über Wasserstoff in unterschiedlichen Anwendungen aufzuklären und zu begeistern. So wurde bspw. die Nutzung von Wasserstoff im ÖPNV, für die Logistik, aber auch in der Industrie analysiert und bewertet. Zudem wurden weitere Synergiepotentiale wie die Sauerstoff- und Abwärmenutzung analysiert und eine Wasserstoff-Roadmap für den Landkreis entwickelt. Bestehende Grobkonzepte wurden in ein gemeinsames Umsetzungskonzept gebracht, sowie die autarke und nachhaltige Versorgung der Region gemäß des Wunsiedler Weges untersucht. Hierzu gehören u.a. die Errichtung und die Erweiterung der Elektrolyseanlage, die Errichtung von H<sub>2</sub>-Tankstellen sowie zahlreiche Anwendungsfälle im Mobilitätssektor. Der Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge sieht sich gemeinsam mit der WUN H<sub>2</sub> als Vorreiter einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und als Vorbild vor allem für andere ländliche Regionen.

Die Dynamik, die durch die Förderung als HyExpert-Region in Gang gesetzt wurde, lässt sich gut an der Gründung der Interessengemeinschaft H2. Fichtelgebirge aufzeigen. Diese wurde während des Förderzeitraums als Interessengemeinschaft mit lokalen und überregionalen Akteuren gegründet, mit dem Ziel die Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge weiterzuentwickeln. Zur Antragstellung für den HyExpert-Antrag im Jahr 2019 wurden sieben LOIs von Projektpartnern eingereicht. Zur feierlichen Gründung der H2. Fichtelgebirge am 14. Juni 2021 konnten bereits über 30 lokale und überregionale Partner gezählt werden, mittlerweile sind es fast 40 Mitglieder (Stand Oktober 2021). Diese Zahlen zeigen das gestiegene Interesse am Thema Wasserstoff in Wunsiedel. Neben dem stark gestiegenen öffentlichen Interesse an Wasserstoff, ist dies sicherlich auch stark mit der durch das HyExpert-Projekt geförderte Beratung und Öffentlichkeitsarbeit verbunden. Während des Förderzeitraums konnten durch die zusätzlichen Ressourcen und das Wissen der Kommunalberatung endura kommunal GmbH diverse Kontakte zu zusätzlichen Abnehmern und auch Herstellern aufgenommen werden, die ohne Förderung so nicht möglich gewesen wären. Vor allem das Vorhandensein eines Ansprechpartners zum Thema Wasserstoff war für die lokalen Akteure von großer Bedeutung.









## 2. Ausgangslage im Landkreis

Der Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge ist ländlich geprägt, besitzt aber viele kleine und mittelständische Betriebe sowie einige Hidden Champions vor allem aus der Automobilzuliefer- und der Keramikindustrie. Im Folgenden sind die lokale Akteursstruktur, sowie der Status Quo der unterschiedlichen Bereiche/Sektoren aufgeführt, für die im Rahmen der HyExpert-Studie das Potential für die Nutzung von Wasserstoff untersucht wurde.

#### 2.1. Akteursstruktur

In Abbildung 4 sind alle (potenziellen) Akteure nach ihrer Rolle in einer lokalen Wasserstoffwirtschaft aufgeführt. Mit fast allen aufgeführten Akteuren wurden im Laufe der HyExpert-Studie Gespräche geführt. Viele der genannten Akteure haben sich in der Interessengemeinschaft H2. Fichtelgebirge zusammengeschlossen mit dem Ziel gemeinsam die Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge weiterzuentwickeln und dies mit Absichtserklärungen unterlegt. Einige wenige Akteure aus der Übersicht konnten nicht kontaktiert bzw. erreicht werden, könnten jedoch für die Weiterentwicklung der Modellregion von großem Interesse sein. Ein Beispiel für einen bislang nicht erfolgreich kontaktierten Akteur ist ein großer Internethändler und Paketdienstleister, der in der Nähe von Hof ein neues Logistiklager baut und in den USA bereits Flurförderzeuge mit Brennstoffzellen in großem Maßstab einsetzt.

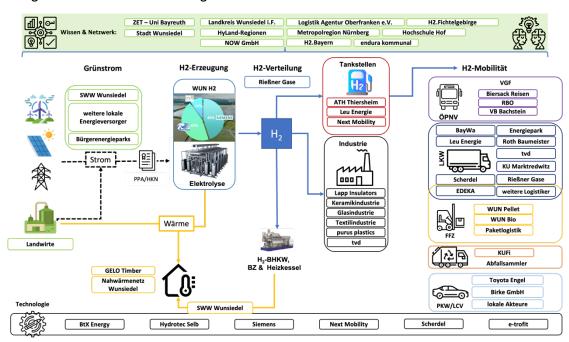


Abbildung 4: Akteursübersicht Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge









#### 2.2. Energieversorgung

#### **Strom**

Die Stromversorgung im Landkreis wird hauptsächlich durch vier Energieversorger gewährleistet, namentlich durch die SWW Wunsiedel, Bayernwerk, gKU Oberes Egertal und ESM. Vor allem die SWW und Bayernwerk konnten den Anteil an Erneuerbaren an der Stromversorgung von 2013 bis 2019 jeweils deutlich erhöhen. Dies lag vor allem am Bau vieler neuer Windkraftanlagen, von denen viele mit Bürgerbeteiligung errichtet worden sind. Die aktive Beteiligung der Bürger an den Anlagen war hierbei sicherlich ein Hauptgrund für den entgegen dem Bundestrend sehr erfolgreichen Ausbau der Windenergie im Landkreis.

Eine Übersicht über die Stromerzeugung und den Stromverbrauch im Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge inklusive der Entwicklung von 2013 bis 2019 ist in Tabelle 2 zu sehen. Der Anteil an Erneuerbaren ist im genannten Zeitraum bei der SWW von 31 % auf 81 % gestiegen, sowie beim Bayernwerk von 43 % auf 122 %. Insgesamt wurde im Landkreis 2019 62 % des Stroms aus Erneuerbaren Energien generiert. Die selbstgesteckten Ziele des Landkreises sind jedoch noch ambitionierter und sollen gemäß eigenem Klimaschutzkonzept auf einen Gesamtanteil der Erneuerbaren an der Stromversorgung von 73 % (84 %) bis 2020 und 101 % (139 %) bis 2030 im Basisszenario (Klimaschutzszenario) steigen. Im Jahr 2020 wurden knapp 3 MWel Nettonennleistung im Landkreis an zusätzlichen PV-Anlagen installiert, sowie 1,6 MWel an Biogas-BHKWs. 2020 wurden keine weiteren WEAs installiert. Der weitere Zubau an Erneuerbaren im Landkreis ist stark abhängig von einer gut steuerbaren Last wie beispielweise einer Elektrolyseanlage.

Tabelle 2: Stromverbrauch und Erzeugung im Landkreis 2013 und 2019

	SW	W	ES	M	Bayer	nwerk	gK	(U	Summe L	andkreis
Stromerzeugung	2013	2019	2013	2019	2013	2019	2013	2019	2013	2019
KWK Erdgas [MWh]	2.948	44.105	1.615	6.625	352	1.866	46	223	4.961	52.819
Klärgas [MWh]	-	245	-	-	198	-	-		198	-
Biomasse [MWh]	18.987	20.545	14.147	17.445	14.476	22.440	-		47.610	60.430
Wind [MWh]	-	25.839	0	22.391	10.644	105.127	-		10.644	153.357
PV [MWh]	4.935	7.219	11.453	20.197	24.003	31.964	353	516	40.744	59.896
Wasserkraft [MWh]	-	2	185	176	11.510	6.839	-		11.695	7.017
Verbrauch [MWh]	76.141	66.455	258.041	239.748	140.517	136.715	9.084	8.162	483.783	451.080
Selbsterzeugung [MWh]	26.870	97.955	27.400	66.834	61.183	168.236	399	739	115.852	333.519
Selbsterzeugung [%]	35%	147%	11%	28%	44%	123%	4%	9%	24%	74%
EE Anteil [MWh]	23.922	53.606	25.785	60.209	60.831	166.370	353	516	110.891	280.700
EE Anteil [%]	31%	81%	10%	25%	43%	122%	4%	6%	23%	62%
KWK Anteil [MWh]	2.948	44.105	1.615	6.625	352	1.866	46	223	4.961	52.819
KWK Anteil [%]	4%	66%	1%	3%	0%	1%	1%	3%	1%	12%

In diesem Zusammenhang ist auch noch einmal der von der SWW Wunsiedel eingeschlagene "WUNsiedler Weg – Energie" hervorzuheben, welcher die dezentrale Energieversorgung mit 100 % Erneuerbaren zum Ziel hat. Hierfür sollen vor Ort alle möglichen regenerativen Energieerzeugungspotentiale und Synergien genutzt, Einsparpotentiale erkannt, sowie ein intelligentes Steuersystem inklusive entsprechender Speichersysteme installiert werden. Autarkie als Selbstzweck ist allerdings nicht das Ziel, sondern die Integration in ein übergeordnetes Gesamtsystem, auf welches das









dezentrale System durch seine Speicherkapazität, sowie regelbaren Last- und Leistungsspitzen stabilisierend wirken kann. Aus dieser Idee der Netzstabilisierung ist in Wunsiedel auch die Idee zum Bau einer Elektrolyseanlage entstanden.

Die Elektrolyseanlage soll auf der orange umrandeten Fläche in Abbildung 5 am Energiepark Wunsiedel bis Mitte 2022 fertiggestellt werden. Der Energiepark bildet hierbei den physischen Kern des "WUNsiedler Weges – Energie". In den letzten Jahren sind hier ein hochmodernes Sägewerk, zwei Pelletfabriken (WUNBio, WUNPellet) und ein Li-Ionen Speicher mit 8,4 MW (SIEStorage) entstanden. Eine Anlage zur Klärschlammtrocknung befindet sich aktuell im Bau. Die Synergien aller Anlagen und Gebäude werden bestmöglich und mit einer hohen regionalen Wertschöpfung genutzt. So wird bspw. die Abwärme und die lokal produzierten Pellets zur lokalen Strom- und Wärmeversorgung in Satelliten-Kraftwerken in der Umgebung genutzt. Die Sägespäne und Hackschnitzel für die Pellets stammen aus Sägewerken und holzverarbeitenden Betrieben in einem Umkreis von ca. 50-60 km um Wunsiedel, sowie vom angrenzenden Sägewerk am Energiepark. Zur Trocknung der Späne und Hackschnitzel zur Pelletverpressung werden drei wärmegeführte BHKWs mit jeweils 4,5 MWel Nennleistung (WUNPellet) bzw. eine ORC-Turbine (WUNBio) in Kombination mit einem 1,2 MWel BHKW genutzt.



Abbildung 5: Blick auf den Energiepark Wunsiedel mit der ausgewiesenen Fläche (orange) für die Elektrolyseanlage - Quelle: DME Consult Rosenheim

#### Wärme

In der vorliegenden Machbarkeitsstudie wird lediglich die Wärmeversorgung der Stadt Wunsiedel betrachtet, da nur hier die Nutzung der Abwärme des Elektrolyseurs und









die Nutzung von Wasserstoff in BHKWs, Heizkesseln oder stationären Brennstoffzellen sinnvoll erscheint.

Aktuell wird der Wärmebedarf im Ort Wunsiedel vor allem durch Erdgas und Heizöl gedeckt. Die Wärmeversorgung der einzelnen Quartiere der Stadt nach Energieträgern ist in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Wärmeversorgung der Stadt Wunsiedel nach Quartieren und Energieträgern - Quelle: WN 4.0

Quartier	Öl + Holz [MWh]	Erd- gas [MWh]	Ge- samt [MWh]	Anteil Erdgas	Anteil Heizöl	Anteile Holz/So- lar
Kernort	9.358	5.045	14.403	35,0 %	58,5 %	je 3,2 %
Süd	4.418	5.427	9.845	55,1 %	40,4 %	je 2,2 %
West	4.253	3.566	7.818	45,6 %	49,0 %	je 2,7 %
Ost	2.797	3.819	6.616	57,7 %	38,0 %	je 2,1 %
Holenbrunn West	1.352	1.189	2.540	46,8 %	42,6 %	je 2,7 %
Summe	22.178	19.045	41.223	46,2 %	48,4 %	je 2,7 %

Zudem existieren in und um Wunsiedel vier kleinere Nahwärmenetze mit einer Vorlauftemperatur von 85 °C und einer Rücklauftemperatur von 65 °C. Die vier Wärmenetze sind die Folgenden:

- 1. Nahwärmenetz im Ortsteil Schönbrunn mit etwa 80 Abnehmern. Im Lauf des Jahres 2021 wird dieses Netz um ca. 70 weitere Abnehmer erweitert.
- 2. Nahwärmenetz im Ortsteil Breitenbrunn mit etwa 30 Abnehmern. Dieses Netz wird bereits über eine Verbindungsleitung aus der Wärmezentrale im Ortsteil Schönbrunn vorsorgt.
- 3. Das Mikronetz zwischen Fichtelgebirgshalle, dem Landratsamt Wunsiedel und einem Hotel.
- 4. Das Mikronetz im Gebäudekomplex "Kronprinz", in dem verschiedene Gewerbe- und Wohneinheiten enthalten sind.

Die beiden letztgenannten Mikronetze befinden sich im Stadtzentrum von Wunsiedel und werden durch hocheffiziente Kraft-Wärme-Kopplung bedient. Die beiden erstgenannten Nahwärmenetze werden durch die lokalen Satelliten-Kraftwerke Schönbrunn und Breitenbrunn bedient. Beide versorgen als Energiezentralen die jeweils umliegenden Quartiere mit Strom und Wärme. Die Energiezentrale Schönbrunn nutzt dabei zwei Pelletvergaser mit BHKW sowie einen Pelletheizkessel für Reserve- und Spitzenlasten. In den Pelletvergasern wird mittels eines Schwelbrands ein Synthesegas mit einem hohen Anteil Wasserstoff erzeugt, welches im nachfolgenden BHKW wieder in Strom und Wärme umgewandelt wird. Die Energiezentrale Breitenbrunn besitzt einen Pelletheizkessel und ein 50 kWel Erdgas-BHKW. Die genutzten Holzpellets wer-









den jeweils regelmäßig aus den Pelletwerken WUNBio und WUNPellet am Energiepark angeliefert. Durch die Nutzung der regional produzierten Pellets zur Strom- und Wärmeversorgung wird so eine hohe regionale Wertschöpfung gewährleistet.

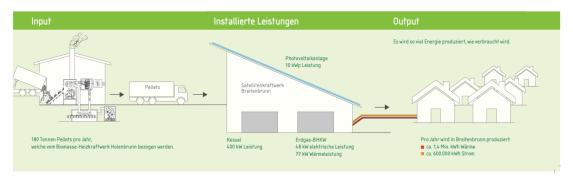


Abbildung 6: Konzept des Satelliten-Kraftwerks Breitenbrunn auf Basis von Holzpellets – Quelle: SWW Wunsiedel GmbH

Wie bereits im Abschnitt 2.2 beschrieben, befinden sich im Gebäude der WUNPellet drei 4,5 MW<sub>el</sub> BHKWs, sowie ein 1,2 MW<sub>el</sub> BHKW an der WUNBio zur Trocknung der angelieferten Sägespäne und Hackschnitzel. Zusätzlich existiert am Sägewerk der Gelo Timber ein 5 MW<sub>th</sub> Heizkessel zur Trocknung der produzierten Hölzer. Sowohl die drei BHKWs der WUNPellet als auch der Heizkessel der Gelo Timber sind bereits auf die (anteilige) Nutzung von Wasserstoff ausgelegt. Das 1,2 MW<sub>el</sub> BHKW an der WUNBio soll künftig ebenfalls durch ein wasserstofffähiges BHKW ersetzt werden.

Im Rahmen des BAFA Programms "Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0" werden aktuell ungenutzte Abwärmepotentiale und der Ausbau des lokalen Nahwärmenetzes in Wunsiedel untersucht. Hierbei sollen vor allem Wärmequellen am Energiepark mit Wärmeverbrauchern im Stadtgebiet kombiniert werden. Als Wärmequellen kommen aktuell u.a. die Abwärme aus der Pelletproduktion, die zugehörigen BHKWs zur Pellettrocknung und der Batteriespeicher SIEStorage in Frage. Zudem soll nach den Plänen der SWW Wunsiedel ein saisonaler Großwärmespeicher am Energiepark entstehen, um das Wärmeangebot von der Wärmenachfrage zu entkoppeln. Gemäß der Machbarkeitsstudie Wärmenetze 4.0 sind neben den Stadtquartieren vor allem das Sägewerk der Gelo Holzwerke und die im Bau befindliche Klärschlammtrocknung am Energiepark identifizierte Wärmesenken. Durch die Integration der Wärmequellen und der dadurch verfügbaren Wärmemengen soll das lokale Nahwärmenetz in Wunsiedel schrittweise deutlich erweitert werden.

#### 2.3. ÖPNV / SPNV

Der ÖPNV wird im Landkreis durch die Verkehrsgemeinschaft Fichtelgebirge (VGF) abgedeckt, in der sich die lokalen Busunternehmen Regionalbus Ostbayern (RBO), Biersack Reisen und die Verkehrsbetriebe Bachstein (VB Bachstein) zusammengeschlossen haben. Es besteht ein Gemeinschaftstarif für alle beteiligten Busunternehmen. Für die einzelnen Buslinien der VGF werden vom Landkreis Konzessionen für meist 8-10 Jahre an eine der drei genannten Busunternehmen vergeben, die teilweise wiederum Subunternehmen beauftragen. Die meisten Konzessionen sind an die RBO









vergeben und laufen bis 2027. Einige wenige Konzessionen sind an die jeweiligen Städte des Landkreises vergeben und haben kürzere Laufzeiten. Die Konzessionsnehmer erhalten das Geld für die Bustickets, sowie einen Defizitausgleich vom Landkreis.

Einige der Buslinien im Landkreis sind beispielhaft in Abbildung 7 mit den entsprechenden Höhenprofilen dargestellt. Es handelt sich meist um hügelige Überlandstrecken mit Steigungen von bis zu 10-15 %. Die Angaben der lokalen Busunternehmer zu Verbrauch und durchschnittlicher Umlauflänge sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Daten zum ÖPNV im Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge

Daten zum ÖPNV im LK Wunsiedel i. Fichtelgebirge						
Anzahl Busse	ca. 55					
Umlauflängen pro Tag	200-350 km					
Verbrauch pro 100 km	27-32 Liter					

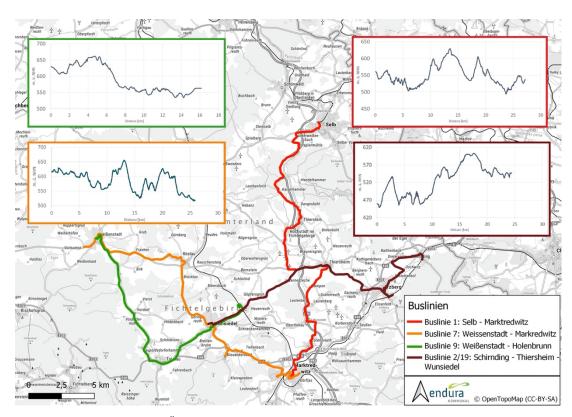


Abbildung 7: Beispielhafte Übersicht über Buslinien im Landkreis mit entsprechenden Höhenprofilen

In Abbildung 8 sind die überregionalen Verbindungen des ÖPNV und SPNV mit entsprechenden Höhenprofilen dargestellt, die durch den Landkreis gehen. Die Zugstrecke Hof-Selb-Aš wird aktuell von der Bayrischen Eisenbahn Gesellschaft (BEG) mit Dieselzügen bedient. Die Strecke ist die einzige Stichbahn des Landkreises und somit die einzige Bahnverbindung des Landkreises, die für Wasserstoff ertüchtigt werden









könnte. Die anderen Bahnstrecken, die durch das Kreisgebiet führen (Nürnberg-Marktredwitz-Hof/Cheb sowie Regensburg-Marktredwitz-Hof) sind Elektrifizierungs-kandidaten, weswegen sie keine Option für Wasserstoffzüge darstellen.

Der Überlandbus zwischen Hof und Bayreuth führt aktuell über Münchberg (siehe Abbildung 8). Eine Streckenführung über Marktredwitz ist immer mal wieder im Gespräch, konnte bislang aber noch nicht realisiert werden. Des Weiteren ist zum Saisonbeginn 2022 eine neue grenzüberschreitende Linie des Fahrrad- und Freizeitbus geplant, der von Weißenstadt über Selb und Aš (CZ) bis nach Adorf in Sachsen entlang eines Radweges führen soll. Radfahrer können hier nach Bedarf mit ihren Rädern zusteigen. Der Freizeitbus soll an allen Wochenenden zwischen Mai und Oktober sowie an gesetzlichen Feiertagen fahren. Bereits bestehende Freizeitbuslinien führen von Marktredwitz nach Kulmbach und von Selb nach Fichtelberg.

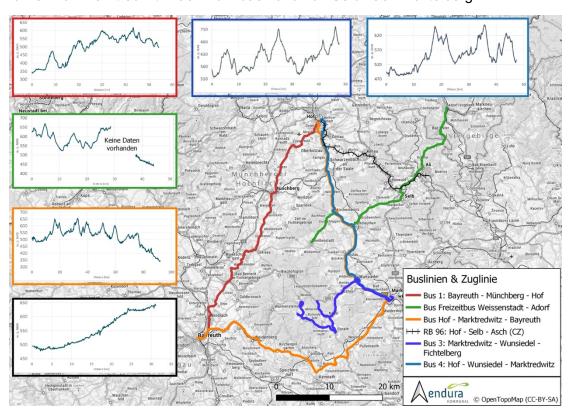


Abbildung 8: Überregionaler ÖPNV/SPNV mit entsprechenden Höhenprofilen

Mit dem Patientenbus/Ärztebus werden als Zusatzleistung des ÖPNV alle zwei Wochen jeweils dienstags Personen mit einem Kleinbus der Vito-Klasse von Selb nach Marktredwitz direkt zum Arzt gefahren. Der Patientenbus ist ebenfalls per Konzession vergeben. Aufgrund der geringen Auslastung als Patientenbus wird das gleiche Fahrzeug aktuell u.a. auch für den Schultransport der Lebenshilfeschule, einer Förderschule in Marktredwitz, eingesetzt. Teilweise sind hier Fahrleistungen von bis zu 150 km täglich gefordert. Insgesamt sind für die Lebenshilfeschule mehr als 10 Fahrzeuge unterwegs.









#### 2.4. Regionaler Güterverkehr / Warentransport

Die Hauptverkehrsachse durch den Landkreis ist die vierspurige A93, die in etwa 10 km Entfernung an Wunsiedel vorbeiläuft. Um genauere Informationen zum regionalen Güterverkehr und Warentransport zu erlangen, wurde gemeinsam mit der Logistik Agentur Oberfranken e.V. im Januar 2021 ein Workshop zu Brennstoffzellen-LKW durchgeführt. Hierbei wurden interessierte Mitglieder des Vereins über die Technologie, die Wirtschaftlichkeit, sowie die Verfügbarkeit derartiger LKW aufgeklärt. Der Fokus lag hierbei vor allem auf der regionalen Verteillogistik, da diese mit Reichweiten von bis zu 400 km pro Tankfüllung mit den ersten auf dem Markt verfügbaren H<sub>2</sub>-LKW realisierbar sein wird. Zudem kommen die oftmals zahlreichen Stop-and-Gos der Verteillogistik, sowie das Befahren von urbanen Räumen brennstoffzellen-elektrischen Fahrzeugen mit ihrer Rekuperationsfähigkeit und ihrem leisen Betrieb sehr entgegen (siehe auch Abschnitt 5). Als mögliche erste Anwender von H<sub>2</sub>-LKW im regionalen Güterverkehr wurden hierbei u.a. die Unternehmen in Tabelle 5 identifiziert. Die Klarnamen der nicht direkt genannten Unternehmen liegen dem Landratsamt vor.

Tabelle 5: Übersicht über Unternehmen aus dem regionalen Güterverkehr und entsprechender Fahrzeugklassen. \*SF = Sonderfahrzeuge bspw. zur Pelletauslieferung oder den Baustellenverkehr.

Unte	rnehmen	Fahrzeugklasse				
Name	e Bereich		18-26 t	12-18 t	SF*	
Edeka	Lebensmittel	Ja	Ja	Ja	Х	
Lebensmittel II	Lebensmittel	Ja	Ja	Ja	Х	
Energiepark	Holzverarbeiter	Ja	Х	Х	Ja	
Leu Energie	Energietransport	Ja	Ja	Ja	Х	
Rießner Gase	Gase Dienstleister	Ja	Х	Х	Х	
Scherdel	Werkslogistik	Х	Ja	Х	Х	
Roth Baumeister	oth Baumeister Bauunternehmen		Х	Х	Ja	
TVD	Textilveredelung	Х	Ja	Х	Х	
Spedition I	Spedition	Ja	Х	Х	Х	
Spedition II	Spedition II Spedition		Х	Х	Х	
Spedition III	Spedition III Spedition		Х	Ja	Х	
Spedition IV	Spedition	Ja	Ja	Ja	Х	

Bei den meisten in der Verteillogistik eingesetzten Fahrzeugen handelt es sich um Sattelzugmaschinen oder Gliederzüge mit Wechselbrücken mit einem kombinierten zulässigen Gesamtgewicht (zGG) von bis zu 40 t. Viele Fahrzeuge mit einem geringeren zGG haben ein Zusatzaggregat wie z.B. einem Kühlkoffer für den Lebensmitteltransport, Ladebordwände, Pumpen oder einen Kompressor zum Ausblasen von Holzpellets. Von einigen Logistikern werden auch Nutzfahrzeuge mit Kofferaufbau und einem zGG von 7,49 t genutzt.









Durch einen Fragebogen sowie bilaterale Gespräche und Auswertungen im Nachgang zum gemeinsamen Workshop mit der Logistik Agentur Oberfranken e.V. konnten die folgenden Kraftstoffverbräuche für Nutzfahrzeuge in der Region in Erfahrung gebracht werden:

- 40 t Sattelzugmaschine verbraucht 30-34 Liter Diesel pro 100 km, im lokalen Verteilverkehr bis 40 Liter pro 100 km
- 18-26 t LKW verbraucht etwa 24-28 Liter Diesel pro 100 km, im lokalen Verteilverkehr bis zu 30 Liter pro 100 km
- 12-18 t Verteiler-LKW verbrauchen ca. 23-26 Liter Diesel pro 100 km, im lokalen Verteilverkehr mit Anhänger bis zu 29-35 Liter pro 100 km
- 7,49 t Nutzfahrzeug mit Kofferaufbau verbraucht ca. 20 l pro 100 km

Für die Machbarkeitsstudie sind vor allem der Neubau des Logistikzentrums der EDEKA an der Autobahnabfahrt Wunsiedel in etwa 7 km Entfernung vom Energiepark, sowie die täglich etwa 150 LKW am Energiepark selbst interessant, die dort Pellets abholen und Hackschnitzel oder Sägespäne anliefern. Die Sägespäne und Hackschnitzel werden von Sägewerken und holzverarbeitenden Betrieben in einem Umkreis von etwa 50-60 km um Wunsiedel herum abgeholt, u.a. aus Weißenstadt und der Tschechischen Republik.

#### 2.5. Abfallentsorgung

Die Abfallentsorgung im Landkreis wird durch das Kommunalunternehmen Umweltschutz Fichtelgebirge (KUFi) realisiert. Der Hauptsitz der KUFi liegt in unmittelbarer Nähe zum Energiepark Wunsiedel (Fahrdistanz < 1 km), wo auch die Abfallsammelfahrzeuge abgestellt und z.T. repariert werden. Die KUFi besitzt 10 Abfallsammelfahrzeuge, die in etwa alle 10 Jahre erneuert werden. Zudem besitzt die KUFi ein Mikrosammler auf Basis eines Mitsubishi-Fahrgestells, sowie diverse weitere Fahrzeuge. Die Abfallmengen sind über die letzten Jahre nahezu konstant geblieben und sind für das Jahr 2019 in Tabelle 6 aufgeführt. Die Abfälle werden aktuell zum etwa 100 km entfernten Zweckverband Müllheizkraftwerk Bamberg gebracht. Die Abnahmeverträge für Biomüll laufen dabei noch bis 2026 und für Restmüll bis 2028. Die KUFi betreibt zudem eine eigene Mülldeponie bei Arzberg (ca. 15 km vom Energiepark), wo zwischen den 1980ern bis 2005 alle Abfallarten des Landkreises eingelagert wurden. Seitdem werden nur noch Abbruchmaterialien an der Deponie in Arzberg eingelagert.

Tabelle 6: Abfallmengen der KUFi im Jahr 2019

Abfallart	Menge in Tonnen	
Restmüll	8775 t	
Biomüll	4687 t	
Mischkunststoffe Wertstoffhöfe	467 t	









Die durchschnittlichen Sammelrouten haben eine Länge von gut 100 km, wobei innerorts zum Teil enge Kurven und Straßen befahren werden müssen, daher auch der Mikrosammler. Zwischen den Ortschaften fahren die Abfallsammelfahrzeuge in der Regel auf Land- und Bundestraße, so dass der durchschnittliche Verbrauch für eine Sammelroute zwischen 70-80 Litern Diesel liegt. Die gesamte Flotte der zehn großen Abfallsammelfahrzeuge verbraucht im Jahr etwa 140.000 Liter Diesel.

#### 2.6. Industrie

Die verarbeitende Industrie in Deutschland ist für etwa ein Fünftel der Treibhausgasemissionen im Land verantwortlich. Um diese Emissionen zu reduzieren, ließen sich viele industrielle Prozesse und Energiebedarfe auf Wasserstoff umstellen.

Der potentielle Fokus der Anwendung von Wasserstoff in der Industrie liegt im Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge vor allem bei Brenn- und Schmelzprozessen für Keramik und Glas, aber auch zur Bereitstellung von Prozesswärme bei der Textilveredelung. Ein besonderer Fokus liegt hierbei auf der Firma Lapp Insulators GmbH, die u.a. Isolatoren für Überspannungsleitungen und Transformatoren herstellen. Lapp Insulators sitzt in Holenbrunn in direkter Nachbarschaft zum Energiepark Wunsiedel (ca. 1 km) und hat bereits erste Versuche zum Brennen von Isolationskeramiken zusammen mit einem entsprechenden Forschungsinstitut durchgeführt. Die Keramik wird jeweils in einem der sieben Hochöfen von 3 m x 3 m x 5 m gebrannt. Einer dieser Hochöfen verbraucht im Jahr etwa 6-7 Mio. kWh Erdgas. Kombiniert ergab sich im Jahr 2019 ein Erdgasverbrauch von ca. 30 Mio. kWh. Haupttreiber für das Interesse an der Nutzung von Wasserstoff ist für die Keramikindustrie der absehbar steigende Preis für CO<sub>2</sub>-Emissionen. Neben Lapp Insulators sind weitere Firmen aus dem Bereich der Keramikindustrie wie CeramTec in Marktredwitz (Hochleistungskeramik) oder die Stella Group (Präzisionsschleifkörper) aus Schwarzenbach an der Saale in der Region ansässig und möglicherweise an der Nutzung von Wasserstoff interessiert.

Ein lokaler Glasfabrikant ist ebenfalls in direkter Nachbarschaft zum Energiepark in Holenbrunn verortet. Wasserstoff könnte hier ebenfalls für die Hochöfen genutzt werden und entsprechend zu einer Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emisisonen führen. Zusätzlich wird im Herstellungsprozess von Glas Sauerstoff, ein Nebenprodukt der Elektrolyse, benötigt, welcher aktuell bei dem lokalen Glasunternehmen über einen Luftzerteiler bereitgestellt wird.

Des Weiteren hat die Firma Rießner Gase bereits Abnehmer für lokal produzierten grünen Wasserstoff, die sich bereits im ersten Produktionsjahr der Elektrolyseanlage auf vermutlich 200-300 t im Jahr summieren werden (Stand September 2021). Die Kunden der Firma Rießner Gase kommen hierbei aus der Glas-, Chemie- und Metall-industrie und sitzen vorwiegend in Bayern, Thüringen, Sachsen und Tschechien. Weitere Abnehmer für den grünen Wasserstoff sind Hersteller von LKW, die den Wasserstoff u.a. für eigene Teststände und erste Fahrzeugflotten nutzen wollen.









## 3. H<sub>2</sub>-Erzeugung

Wasserstoff (H<sub>2</sub>) ist das häufigste Element der Erde und Teil vieler chemischer Verbindungen wie u.a. von Wasser (H<sub>2</sub>O) und allen Kohlenwasserstoffen wie z.B. Methan (CH<sub>4</sub>) oder Biomasse. Wasserstoff lässt sich daher über eine Vielzahl von Verfahren gewinnen, jedoch stellt sich hier im Sinne der Energiewende die Frage der Klimafreundlichkeit der unterschiedlichen Erzeugungspfade.

#### 3.1. Verfahren zur H<sub>2</sub>-Erzeugung

Im Landkreis werden aktuell bereits 62 % des Stroms aus Erneuerbaren erzeugt. Dieser Wert soll in den nächsten Jahren sukzessive ausgebaut werden, wie im Klimaschutzkonzept des Landkreises festgehalten (vgl. Abschnitt 2.2). Um den Ausbau der Erneuerbaren auf die entsprechenden Zielwerte von 101% im Basisszenario (139 % im Klimaschutzszenario) bis 2030 gewährleisten zu können, ist ein Ausbau von Speicheroptionen notwendig. Die Elektrolyse kann hier einen Beitrag zur Netzstabilisierung und zur Speicherung von Energie in Form von Wasserstoff leisten. Wie im Abschnitt 3.4 detaillierter dargestellt, werden zudem einige EE-Anlagen bis 2025 aus der EEG-Förderung fallen und könnten über PPAs ebenfalls für die Versorgung der Elektrolyseanlage genutzt werden.

Im Laufe der Gespräche zum HyExpert-Projekt wurde zudem deutlich, dass insbesondere die Landwirte der Region neue Vertriebsmöglichkeiten für ihre Biogasanalgen suchen. Flexibilisierungsoptionen von BHKWs sind zwar Optionen, jedoch möglicherweise nicht ausreichend, um einen wirtschaftlichen Betrieb gerade kleinerer Anlagen nach Auslaufen der EEG-Förderung zu gewährleisten. Aus diesem Grund ist in Abbildung 9 neben der Wasserelektrolyse auch die Dampfreformierung aus Biogas als möglicher Erzeugungspfad zur Erzeugung von Wasserstoff im Landkreis aufgeführt. Bei der Nutzung von Biogas bietet sich die direkte Reformierung z.B. über Container-Lösungen wie von BtX Energy aus Hof an. Ganz konkret könnten über die Verlegung einer gut 3 km langen Biogasleitung drei Biogasanlagen nördlich des Energieparks mit diesem verbunden werden. Das Biogas könnte dann direkt neben der Elektrolyseanlage am Energiepark aufgereinigt und mittels Dampfreformierung in Wasserstoff umgewandelt werden. Anschließend könnte der Wasserstoff über eine Pipeline in die Wasserstoffinfrastruktur der Elektrolyseanlage inklusive Abfüllanlage integriert werden. Die Verstromung von Biogas in BHKWs und die anschließende Nutzung des BHKW-Stroms für die Elektrolyse zur Wasserstoffproduktion erscheint aufgrund der deutlich höheren Wirkungsgradverluste weniger sinnvoll. Das bei der Dampfreformierung anfallende und gesammelte CO2 könnte von den lokalen Brauereien u.a. zum Aufsprudeln von Getränken oder zum Reinigen von Flaschen genutzt werden.

Als weitere Option zur Erzeugung von Wasserstoff scheint die Verwertung von Abfällen eine attraktive Option für den Landkreis zu sein. Die in Abschnitt 2.5 genannten Abfallmengen von knapp 9.000 t Restmüll und 5.000 t Biomüll könnten ab 2026 bzw. 2028 in einer Plasmavergasungsanlage, wie sie z.B. von der Firma Plagazi aus Schweden angeboten wird, in Wasserstoff umgewandelt werden. Dies könnte zudem mit den Recyclingabfällen der Kunststoffrecyclingfirma Purus Plastics aus Arzberg,









sowie den in der Deponie der KUFi lagernden Abfallmengen kombiniert werden. Die Abfälle der Deponie in Arzberg könnten durch die Umwandlung in Wasserstoff, CO<sub>2</sub> und inerte Schlacke (Nutzung z.B. als Baumaterial) abgetragen werden, wodurch Raum für andere Nutzungsoptionen geschaffen werden könnte. Zusätzlich kann in einer Plasmavergasungsanlage nach Aussage von Plagazi Sondermüll wie z.B. auch carbonfaserverstärkter Kunststoff (CFK) bspw. von Rotorblättern von Windenergieanlagen verwertet werden. Gerade im Zusammenhang mit der Entsorgungsproblematik von alten WEAs ein nicht zu vernachlässigender Aspekt. Als möglicher Standort einer derartigen Anlage erscheint aufgrund der räumlichen Nähe ein Standort in der Nähe von Arzberg optimal zu sein.

Weitere Verfahren zur Wasserstofferzeugung, die nicht in Abbildung 9 dargestellt sind, sind die Klärschlammplasmalyse von z.B. der Firma Graforce aus Berlin, die Hydrolyse von blueFlux Energy, sowie die überkritische Gaserzeugung aus Klärschlamm und biogenen Abfällen von der Firma iGas Energy aus der Nähe von Aachen. Alle drei Verfahren könnten auch für den Landkreis perspektivisch von Interesse sein, jedoch scheinen die drei in Abbildung 9 dargestellten Verfahren aktuell die attraktivsten zu sein.

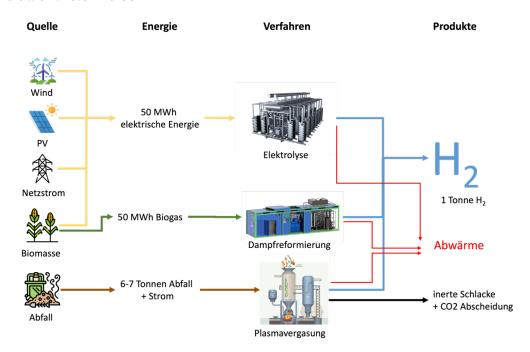


Abbildung 9: Erzeugungsoptionen von Wasserstoff - Quellen: Siemens, BtX Energy, Plagazi

#### 3.2. Ökobilanzierung der Erzeugungspfade

Als Grundlage für die Ökobilanzierung der Erzeugungspfade dient die Publikation "Emission erneuerbarer Energieträger" des Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2019. In dieser Veröffentlichung wird die Wirkung von Erneuerbaren Energien zum Klimaschutz in Form von vermiedenen Treibhausgasemissionen (Methan, Kohlenstoffdioxid, etc.) in Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent je Technologie berechnet. Für die Emissionsbilanz werden die Emissionsfaktoren von Erneuerbaren Energien den Emissionen einer









auf fossilen Energieträgern basierenden Energieerzeugung gegenübergestellt. Dies ist je nach Sektor (Strom, Wärme, Verkehr) ein anderer Vergleich. Die spezifische Emissionsbilanz der Erneuerbaren mit ihrem Brutto- und Netto-Vermeidungsfaktoren für die Stromerzeugung ist in Abbildung 10 dargestellt. Die zugrunde liegenden Berechnungen basieren auf aktuellen Daten zum Einsatz Erneuerbarer Energien in Deutschland sowie deren spezifischen Substitutionseffekten.

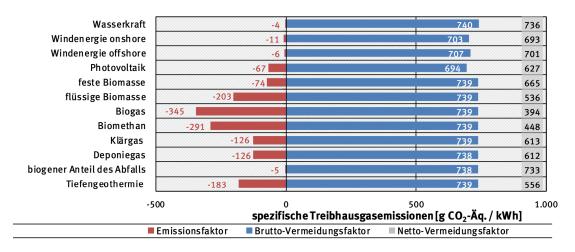


Abbildung 10: Spezifische Treibhausgasbilanz der Brutto-Stromerzeugung aus Erneuerbaren im Jahr 2018 - Quelle: Umweltbundesamt

Der Emissionsfaktor der Erneuerbaren Energien setzt sich dabei aus direkten und indirekten Emissionen zusammen. Mit direkten Emissionen sind die Emissionen einer Anlage selbst zu verstehen, während die indirekten Emissionen auch die Emissionen der Herstellungskette beinhalten, die bspw. für die Herstellung einer PV-Anlage notwendig sind. Die direkten und indirekten Emissionsfaktoren ausgewählter Erneuerbarer Energien sowie des aktuellen Strom- und Wärme-Mixes in Deutschland sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Während PV- und Windenergieanlagen keine direkten THG-Emissionen verursachen, werden für ihre Herstellung Treibhausgase emittiert. Die Emissionen von Biogas resultieren v.a. aus den anfallenden Emissionen beim Anbau der Energiepflanzen sowie dem Methanschlupf im Rahmen der Biogaserzeugung und -nutzung. Emissionsfaktoren aufgrund der Landnutzung von Energiepflanzen werden dabei bislang nicht in die oben genannten Werte mit einbezogen, obwohl der Flächenbedarf pro erzeugte Kilowattstunde aus Energiepflanzen bspw. deutlich höher liegt als bei PV-Anlagen. Landwirtschaftliche Reststoffe wie Mist und Gülle, sowie Siedlungsabfälle weisen hingegen per Definition keine den Vorketten zugehörigen THG-Emissionen auf.

Nutz man die oben genannten Emissionsfaktoren, ergeben sich für die Produktion eines Kilogramms Wasserstoffs die in Tabelle 8: Tabelle 8 aufgeführten CO<sub>2</sub>-Emisisonen. Es wird dabei angenommen, dass für die Erzeugung eines Kilogramms Wasserstoff 50 kWh elektrische Energie oder 50 kWh Biogas benötigt werden. Bei Biogas sind die zwei unterschiedlichen Pfade der Elektrolyse und der Dampfreformierung zu









beachten. Die indirekten Emissionen der Umwandlung werden jeweils nicht mit betrachtet.

Tabelle 7: Emissionsfaktoren für ausgewählte Erneuerbare Energien im Vergleich zum deutschen Stromund Wärme-Mix gemäß Umweltbundesamt

Emissionsfaktoren [CO₂-Äq in kg/kWh]							
Quelle	gesamt	direkt	indirekt				
Strom-Mix	0,402	-	-				
Wind (Onshore)	0,010	0,000	0,010				
PV	0,067	0,000	0,067				
Biogas (Strom)	0,346	0,107	0,239				
Biogas (Wärme)	0,137	0,042	0,095				
Biogener Anteil Abfall	0,005	0,005	0,000				
Wärme-Mix	0,316	-	<del>-</del>				

Tabelle 8: Direkte und Indirekte THG-Emissionen für die Herstellung von einem Kilogramm Wasserstoff

	Emissionen [CO₂-Äq in kg] je kg H₂				
Quelle	Methode	gesamt	direkt	indirekt	
Strom-Mix	Elektrolyse	20,1	-	-	
Wind (Onshore)	Elektrolyse	0,5	0,0	0,5	
PV	Elektrolyse	3,25	0,0	3,35	
Biogas (Strom)	Elektrolyse	17,3	5,35	11,95	
Biogas (Wärme)	Dampfreformie- rung	6,85	2,10	4,75	
Biogener Anteil Abfall	Elektrolyse	0,25	0,25	0,0	
Abfall	Plagazi	n/a	n/a	0,0	
Erdgas	Dampfreformie- rung	13,3	10,0	3,3	

Sowohl beim Plagazi-Verfahren als auch bei der Dampfreformierung kann das entstehende CO<sub>2</sub> über entsprechende Verfahren abgeschieden und anderweitig genutzt werden. Dies würde jeweils die direkten Treibhausgasemissionen reduzieren. Bei dem Plagazi-Verfahren entstehen je nach zugeführtem Abfall unterschiedliche direkte









Emissionsmengen, zu denen keine Daten vorliegen. Aufgrund der Nutzung von Abfall ist der indirekte Emissionsfaktor jedoch gleich Null zu setzen.

Für die Ökobilanzierung ist nun entscheidend, welche CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Produktion und den Einsatz von Wasserstoff vermieden werden. Dies ist je nach Sektor unterschiedlich. Wird Wasserstoff im Strom- oder Wärmesektor eingesetzt, ist dies mit dem Strom- und Wärme-Mix in Deutschland zu vergleichen. Betrachtet man die direkten Emissionen kann CO<sub>2</sub>-neutraler Wasserstoff die direkten Emissionen im Verkehrssektor um 2,63 kg je Liter Diesel oder 2,33 kg je Liter Benzin reduzieren. Der Einsatz von emissionsarmen Treibstoffen im Verkehr wie z.B. Wasserstoff wird aktuell über die THG-Minderungsquote gefördert, die ein großer Hebel für die Wasserstoffmobilität sein kann.

Besonders zu beachten ist das THG-Vermeidungspotential von Elektrolyseuren, welches dadurch entsteht, dass durch netzdienlich zuschaltbare Lasten wie Elektrolyseanlagen fluktuierende Erneuerbare Energien weiter ausgebaut werden können.

#### 3.3. Elektrolyse

In Wunsiedel haben sich mit dem regionalen Versorger, der SWW Wunsiedel GmbH, der Siemens AG und der Firma Rießner Gase GmbH bereits drei Akteure zusammengeschlossen, um zukünftig aus Überschüssen aus regionalen, regenerativen Stromerzeugungsanlagen (v.a. Windkraft und Photovoltaik) klimaneutralen Wasserstoff mittels Elektrolyse zu erzeugen. Im Folgenden wird sich daher auf die Erzeugungsform der Elektrolyse fokussiert. Die Elektrolyse ist hier nicht nur als reine Produktionsanlage von Wasserstoff zu sehen, sondern auch als Medium zur Netzstabilisierung in einem übergeordneten Gesamtsystem. Dadurch erlaubt die Elektrolyse den weiteren Ausbau der Erneuerbaren in der Region und passt somit perfekt in das Konzept des "WUNsiedler Weges – Energie" einer dezentralen Energieversorgung mit 100 % Erneuerbaren Energien.

Grundsätzlich kann zwischen folgenden Elektrolysearten unterschieden werden:

- 1. Alkalische Elektrolyse (AEL)
- 2. Proton Exchange Membrane Elektrolyse (PEM)
- 3. Solid-Oxide- bzw. Hochtemperatur Elektrolyse (SOEC)
- 4. Anion Exchange Membrane Elektrolyse (AEM)

Die unterschiedlichen Elektrolysetechnologien sind in Tabelle 9 spezifiziert. Die Wirkungsgrade beziehen sich auf den unteren Heizwert von Wasserstoff von 33,33 kWh/kg. Sowohl AEL als auch PEM sind als großskalige Anlagen auf dem Markt verfügbar und zeichnen sich durch kurze Ansprechzeiten aus mit denen u.a. Lastprofile von WEAs abgefahren werden können. Die AEL hat aktuell die niedrigsten spezifischen Investitionskosten im Vergleich aller Elektrolyse-Technologien. Im Gegensatz zu AEL ist die PEM-Elektrolyse kompakter, hat kürzere Ansprechzeiten, produziert sehr hohe Wasserstoffreinheiten und ist potentiell umweltfreundlicher, da auf Kalilauge als Elektrolyt verzichtet werden kann. SOEC sind vor allem dann interessant,









wenn Zugang zu ausreichend großen Abwärmemengen vorhanden ist, um die hohen Betriebstemperaturen möglichst kostensparend zu erreichen. U.a. aufgrund der Nutzung von Wasserdampf im Gegensatz zu Wasser in flüssiger Form besitzen SOEC einen relativ hohen Wirkungsgrad. AEM werden bisher lediglich von der Firma Enapter in größerer Stückzahl hergestellt und sollen künftig auch in höheren Leistungsklassen durch Verschaltung mehrerer kleinerer Anlagen verfügbar sein. Die spezifischen Investitionskosten für AEM sind aktuell die höchsten der vier Elektrolysetechnologien.

Tabelle 9: Vergleich unterschiedlicher Elektrolysetechnologien

Anlagentypen	AEL	PEM	SOEC	AEM
Druck	1-30 bar	1-76 bar	<15 bar	1-35 bar
H <sub>2</sub> -Reinheit	> 99,5%	>99,9999%	>99,9%	>99,9%
Wartungs-kos- ten	2-4 % Investition	2-4 % Investition	2-4 % Investition	n/a
Lebensdauer	60.000-100.000 h	50.000-80.000 h	< 20.000 h	>30.000 h
Wirkungsgrad	60-70%	65-75%	75-85%	>60%
Elektrolyt	Kalilauge	befeuchtete Kunst- stoffmembran	Keramik	Kunststoffmembran mit 1%-KOH
Temperatur	70-90 °C	50-80 °C	700-1000 °C	50-60 °C
Ansprechzeit	Sekunden	Millisekunden	bei hoher Tempera- tur dynamisches Schalten möglich	n/a
Spezifische In- vestitionskos- ten	850 EUR/kW	1000 EUR/kW	1150 EUR/kW	3750 EUR/kW
Größte Anlagen	< 100 MW	< 25 MW	< 10 MW	2,4 kW

Aufgrund der schnellen Ansprechzeiten, der hohen Wasserstoffreinheit und insbesondere aufgrund der Technologiepartnerschaft zwischen Siemens und der SWW Wunsiedel fiel die Wahl für den Bau einer Elektrolyseanlage in Wunsiedel auf die PEM-Elektrolyse. Die PEM-Elektrolyse wird in einer ersten Ausbaustufe mit einer elektrischen Nennleistung von 8,75 MW<sub>el</sub> am Energiepark realisiert. Der feierliche Spatenstich hierzu erfolgte bereits am 9. Juli 2020. Bei 5000 Vollbetriebsstunden können in der ersten Ausbaustufe etwa 850 t grüner Wasserstoff produziert werden, der sowohl für die Mobilität als auch für die Industrie und Wärmeversorgung zur Verfügung steht. Zudem können insbesondere zu Beginn gewisse Mengen an benachbarte Regionen mit Wasserstoffinitiativen ohne aktuell eigene Erzeugungsanlagen verkauft werden.

#### 3.4. Erneuerbare Energien für die Elektrolyse

Der Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge hat wie bereits erwähnt einen hohen Anteil an Erneuerbaren Energien. Laut einer Erhebung aus dem Marktstammdatenregister









vom August 2021 befinden sich im Landkreis EE-Anlagen mit einer Nennleistung von 151 MW im Betrieb. Diese sind gemäß Abbildung 11 im Landkreis verteilt. Hauptsächlich handelt es sich hierbei um PV-Anlagen mit insgesamt etwa 63 MW<sub>el</sub> Nettonennleistung, Windkraftanlagen mit 66,5 MW<sub>el</sub> und Biogasanlagen mit etwa 14 MW<sub>el</sub>. Wasserkraft spielt mit 4,6 MW im Landkreis nur eine untergeordnete Rolle.

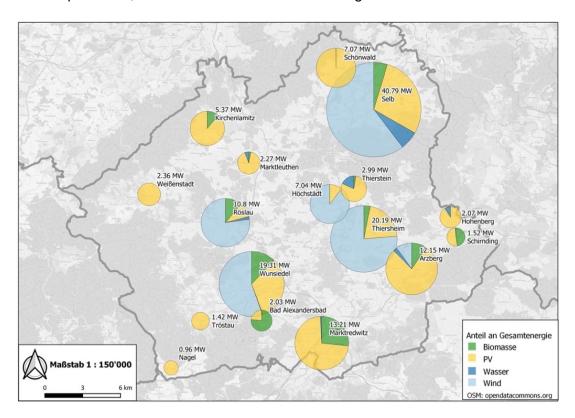


Abbildung 11: insgesamt 151 MW Nennleistung im Landkreis

Nach § 69 b kommen lediglich Anlagen mit auslaufender EEG-Förderung bzw. die nach § 3 Nummer 21 EEG als Erneuerbare Energien gelten und keine EEG-Vergütung erhalten für die Erzeugung von grünem Wasserstoff in Frage (vgl. Abschnitt 3.7). In Abbildung 12 sind daher die Leistungen der Erneuerbaren-Energien-Anlagen nach Kategorie und Standort aufgezeigt, deren EEG-Förderung bis spätestens 2025 auslaufen. In Abbildung 13 sind die Leistungen der EE-Anlagen der angrenzenden Landkreise dargestellt, deren EEG-Förderung spätestens 2025 ausläuft. Die Angaben zum Auslaufen von Wasserkraftwerken sind hierbei aufgrund unterschiedlicher EEG-Regelungen und Vereinbarungen der Energieversorger jedoch mit Vorsicht zu betrachten und müssten im Detail geprüft werden.

Eine Müllverbrennung oder Müllverwertung ist in den Daten des Marktstammdatenregisters nicht enthalten. Anfallender Hausmüll, aber auch bestehende Deponien mit ihren Kohlenwasserstoffen bspw. in Form von Plastik oder Biomasse sind in Kombination mit innovativen Verfahren wie z.B. vom Plagazi oder blueFlux Energy eine interessante alternative Quelle für Wasserstoff.









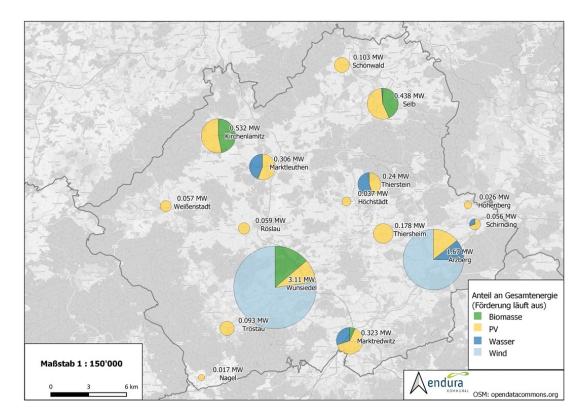


Abbildung 12: Insgesamt 7 MW auslaufende Nennleistung im Landkreis bis 2025

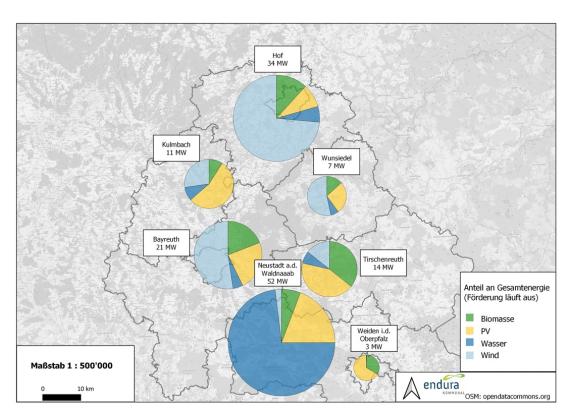


Abbildung 13: EE-Anlagen in der gesamten Region mit Förderung bis 2025









#### 3.5. Ausbau Energiepark Wunsiedel und neue PV-Anlagen

Die SWW Wunsiedel planen aktuell gemeinsam mit der Zukunftsenergie Nordostbay-planten PV-Anlagen sollen im Netzgebiet der SWW in Holenbrunn errichtet werden, also in der unmittelbaren Umgebung des Energieparks. 30 MWp davon sollen der Elektrolyseanlage der WUN H<sub>2</sub> am Energiepark über PPAs zur Verfügung gestellt werden. Um die Erzeugungsspitzen der insgesamt 300 MW PV-Anlagen abzufedern, soll zudem ein 5000 Quadratmeter großer zusätzlicher Batteriespeicher mit 100 MW Leistung und einer Speicherkapazität von 200 MWh entstehen. Eine entsprechende Absichtserklärung zwischen Siemens, der ZENOB und lokalen Vertretern wurde Ende Juli 2021 unterzeichnet. Durch die Kombination von Batteriespeicher und Elektrolyseanlagen können Erzeugungsspitzen kaskadenartig aufgenommen werden, indem sie zunächst primär in die Batteriespeicher fließen und die elektrische Energie von dort ggf. an die Elektrolyseanlage weitergeben wird. Das elektrische Ökosystem am Energiepark inklusive der unterschiedlichen Spannungsebenen sieht entsprechend künftig so aus, wie in Abbildung 14 schematisch dargestellt. Wunsiedel ist somit ein Prototyp für die dezentrale Energieversorgung und die Versorgung einer Region mit einem sehr hohen Anteil an Erneuerbaren Energien, welches zur Stabilisierung des Übertragungsnetzes beiträgt. Das System eines Smart Grids in Wunsiedel inklusive Elektrolyseanlage, Batteriespeicher und intelligentem Steuerungssystem kann baukastenartig auf andere Regionen angewendet werden.

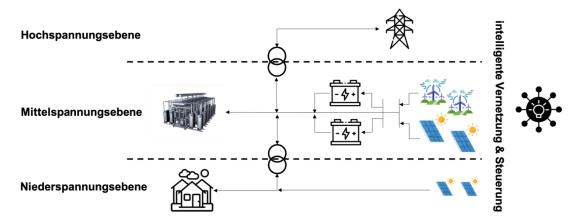


Abbildung 14: Smart Grid zur Integration von 100 % Erneuerbaren mit den unterschiedlichen Spannungsebenen am Beispiel Wunsiedels

Die geplanten PV-Anlagen von 45 MW $_{\rm p}$  im Netzgebiet Holenbrunn der SWW sollen sowohl als Freiflächenanlagen als auch als Agri-PV-Anlagen mit doppelter Flächennutzung realisiert werden. Gemäß den Daten des Deutschen Wetterdienstes liegt die mittlere Sonneneinstrahlung in Wunsiedel bei etwa 1000 kWh/m $^2$  pro Jahr. Laut Fraunhofer ISE können an einem derartigen Standort mit einer optimal ausgerichteten PV-Anlage bei optimalem Neigungswinkel 985 kWh Strom pro kW $_{\rm p}$  pro Jahr erzeugt werden. Dies entspricht etwa 1000 Volllaststunden pro Jahr. Mit der gesamten Anlage von 45 MW $_{\rm p}$  ließen sich dementsprechend durchschnittlich knapp 45.000 MWh Strom im Jahr erzeugen.









Für die Berechnung der PV-Gestehungskosten werden mittlere Investitionskosten von 600 EUR/kW<sub>p</sub> angenommen, diese könnten bei der Anlagengröße jedoch auch niedriger ausfallen. Die Betriebskosten werden gemäß Literatur mit 2,5 % der Investitionskosten angenommen. Die aufzubringende Pacht wird mit 900 EUR/ha angenommen. Dies entspricht einer marktüblichen Pacht von 600 EUR/ha multipliziert mit einem Toleranzfaktor von 1,5. Mit diesen Annahmen berechnen sich die Stromgestehungskosten für eine PV-Freiflächenanlage in Wunsiedel zu insgesamt 5,3 ct/kWh bei einem WACC<sub>real</sub> von 3,45 % und einer Lebensdauer der Anlage von 25 Jahren (siehe Abbildung 15).

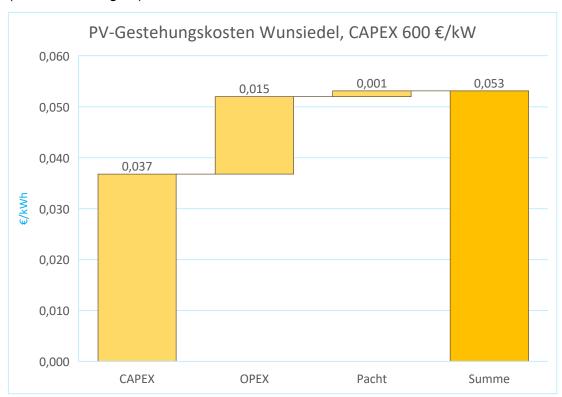


Abbildung 15: PV-Gestehungskosten einer Freiflächenanlage in Wunsiedel

#### 3.6. Wirtschaftlichkeitsberechnung Elektrolyse

Die Wasserstoffgestehungskosten sind vor allem abhängig von den Stromkosten und etwaigen Umlagen, aber auch von der genutzten Elektrolysetechnologie und der Anlagengröße mit den entsprechenden spezifischen Investitionskosten. Je nach Anwendung muss der Wasserstoff anschließend weiter verdichtet werden, um ihn an Abfüllanlagen bspw. für den Transport an Wasserstofftankstellen oder Industriekunden in Trailer zu befüllen. Um die Berechnungen der Wasserstoffgestehungskosten für unterschiedliche Anlagen miteinander vergleichen zu können, wird die Kapitalwertmethode verwendet. Für alle Berechnungen werden Kapitalkosten (*engl.:* weighted average cost of capital - WACC) von 5,45 % angenommen. Dies ergibt sich aus 30 % Eigenkapital mit einer Verzinsung von 10 % und einem Anteil von 70 % Fremdkapital mit einer Verzinsung von 3,5 %. Für die realen Kapitalkosten (WACC<sub>real</sub>) resultiert bei









einer angenommenen Inflationsrate von 2 % ein Wert von 3,45 %. Die mit der Kapitalwertmethode (*engl.:* Levelized Cost of Energy - LCOE) berechneten Kosten für Wasserstoff entsprechen dabei dem minimalen Preis, für den Wasserstoff verkauft werden müsste, um sowohl das eingesetzte Kapital als auch die entsprechende Verzinsung von Eigen- und Fremdkapital zu erhalten. Personalkosten bspw. zur Überwachung der Anlage sind hierbei nicht enthalten.

$$LCOE = \frac{I_0}{\text{VLS} \cdot \sum_{t=1}^{n=20} \frac{1}{(1+i)^t}}$$

Die Wasserstoffgestehungskosten einer 5-MW-Elektrolyseanlage mit 5.000 Volllaststunden, sind in Abbildung 16 dargestellt.

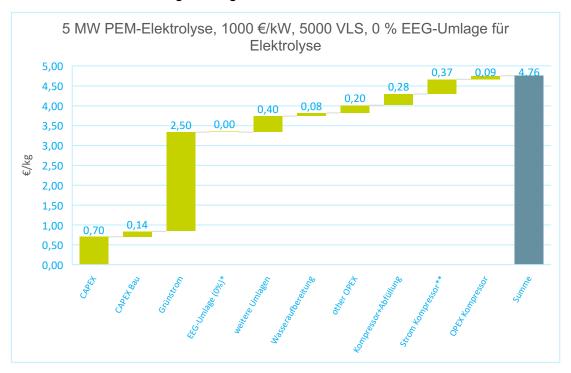


Abbildung 16: Wasserstoffgestehungskosten (Beispiel) mit der Annahme, dass auf die Produktion von Wasserstoff gemäß § 69b keine EEG-Umlage gezahlt werden muss (\*), auf die Komprimierung jedoch schon (\*\*)

Es ergeben sich Gestehungskosten von 4,76 EUR/kg für die Bereitstellung von Wasserstoff auf einem Druckniveau von 500 bar, wobei den größten Kostenfaktor die Stromkosten darstellen. Gemäß § 69b EEG 2021 wird angenommen, dass für die Produktion von grünem Wasserstoff gemäß §12 i der Verordnung zur Umsetzung des EEG 2021 keine EEG-Umlage für Strom zur Erzeugung von Wasserstoff gezahlt werden muss. Für die Komprimierung des Wasserstoffs ist diese jedoch trotz § 69b leider fällig. Ggf. ist daher eine Erzeugung von Wasserstoff gemäß § 64a EEG 2021 wirtschaftlicher, da in diesem Fall die EEG-Umlage des gesamten Unternehmens und nicht nur der Erzeugungsanlage auf 15 % oder weniger reduziert werden kann (vgl.









Abschnitt 3.7). Ohne zusätzliche Verdichtung würden sich die Wasserstoffgestehungskosten gemäß Abbildung 16 auf 4,02 EUR/kg belaufen. Die weiteren Annahmen zur Berechnung der Gestehungskosten sind dabei die Folgenden:

Annahmen 5 MW PEM Elektrolyse				
Spezifische Investitionskosten (CAPEX)	1000 EUR/kW			
Baukosten	20 % der CAPEX			
kWh pro kg H₂	50 kWh			
Stromkosten	5 ct/kWh			
OPEX Elektrolyse	2 % der CAPEX			
Lebensdauer Elektrolyse	20 Jahre			
Kompressor	kombiniertes System aus Kolben- und Membrankompressor			
Stromverbrauch Kompressor	3 kWh pro kg H <sub>2</sub>			
Investition Kompressor + Abfüllung	2 Mio. EUR			
OPEX Kompressor	2,5 % der CAPEX			
WACCreal	3,45 %			
Netzentgelte	entfallen			
Stromsteuer	entfällt			

In den aufgeführten H<sub>2</sub>-Gestehungskosten sind an dieser Stelle noch keine Kosten für die Speicherung integriert. Die berechneten Kosten stellen lediglich die Kosten inklusive Kapitalkosten für die Bereitstellung von Wasserstoff auf ein Druckniveau von 500 bar dar. Durch größere Anlagen, entsprechende Förderung, einen Entfall der EEG-Umlage für die Wasserstoffkomprimierung, höhere Wirkungsgrade und niedrigere Stromkosten können die Gestehungskosten von Wasserstoff deutlich gesenkt werden.

### 3.7. Umlagen

Um die Produktion von Wasserstoff mittels Elektrolyse attraktiv und wettbewerbsfähig zu machen, ist die Reduktion bzw. der Wegfall von Umlagen, insbesondere der EEG-Umlage, von entscheidender Bedeutung. Elektrolyseanlagen, die fluktuierende Erneuerbare Energien nutzen, sind durch ihre Netzdienlichkeit eine notwendige Bedingung für deren weiteren Ausbau, wodurch sich der Wegfall der EEG-Umlage für diese Anlagen politisch gut argumentieren lässt. Durch ihre Möglichkeit der Netzstabilisierung und der Speicherung von Energie in Form von Wasserstoff fördern sie inhärent den Ausbau und die Ausbaumöglichkeiten der Erneuerbaren. Ähnlich ließe sich für den Wegfall der Netzentgelte argumentieren. Die Bundesregierung hat mit dem EEG 2021 und der dazugehörigen Verordnung entsprechende Regelungen auf den Weg gebracht, allerdings benötigen diese noch die beihilferechtliche Genehmigung der EU. EnWG und Stromsteuer sollen künftig ebenfalls für die Erzeugung von grünem Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien angepasst werden.









## **EEG-Umlage**

Nach § 69b EEG 2021 entfällt die EEG-Umlage komplett für Strom, der von einem Unternehmen zur Herstellung von Grünem Wasserstoff in einer Einrichtung zur Herstellung von Grünem Wasserstoff verbraucht wird. Grüner Wasserstoff im Sinne der gesetzlichen Befreiung von der EEG-Umlage gemäß § 69b ist nur Wasserstoff, der innerhalb der ersten 5000 Vollbenutzungsstunden eines Kalenderjahres in der Einrichtung zur Herstellung von grünem Wasserstoff elektrochemisch erzeugt wird. Zudem darf für die Herstellung von Grünem Wasserstoff nur Strom aus erneuerbaren Energien verbraucht werden, der keine finanzielle Förderung nach dem EEG in Anspruch genommen hat. Wird der Strom aus Erneuerbaren Energien aus dem Stromnetz bezogen, ist dies durch entsprechende Herkunftsnachweise zu belegen. Im Falle eines Stromverbrauchs, der nicht durch das Netz geleitet wird, reicht die zeitgleiche Verwendung von Strom aus Erneuerbaren Energien in der Elektrolyseanlage bezogen auf jedes 15-Minuten-Intervall (vgl. §12 i Verordnung zur Umsetzung des EEG 2021). § 69b EEG 2021 ist nicht kombinierbar mit § 64a, jedoch mit § 61b EEG 2021 (Eigenverbrauch). Die Befreiungsmöglichkeiten von der EEG-Umlage gemäß § 69b sind schematisch in Abbildung 17 dargestellt.

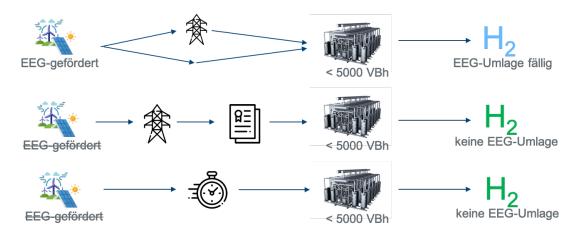


Abbildung 17: Visualisierung des §69b EEG 2021

Eine alternative Möglichkeit zur Reduzierung der EEG-Umlage bei der elektrochemischen Herstellung von Wasserstoff bietet § 64a EEG 2021 mit einer unbürokratischen Anwendung der Besonderen Ausgleichsregelung. §64a gilt für stromkostenintensive Unternehmen, die der Herstellung von Wasserstoff den größten Beitrag zur gesamten Wertschöpfung des Unternehmens leistet. Die EEG-Umlage kann in diesem Fall auf Antrag auf 15 Prozent begrenzt werden. Bei einer Stromkostenintensität des Unternehmens von mindestens 20 Prozent ist eine weitergehende Begrenzung auf 0,5 Prozent der jährlichen Bruttowertschöpfung des Unternehmens möglich. Die Antragsvoraussetzungen sind gegenüber der regulären Besonderen Ausgleichsregelung nach § 64 EEG 2021 vereinfacht. Die Umlagebegrenzung in § 64a EEG 2021 ist aktuell nicht auf Grünen Wasserstoff beschränkt. Nach § 93 EEG besteht jedoch eine Ermächtigung der Bundesregierung in einer Verordnung zu bestimmen, dass die Begrenzung der EEG-Umlage nach § 64a EEG nur von Unternehmen in Anspruch ge-









nommen werden kann, die Grünen Wasserstoff nach oben genannter Definition herstellen. Die EEG-Umlagebegrenzung gilt auch für selbstständige Teile eines Unternehmens, wenn die elektrochemische Herstellung von Wasserstoff den größten Beitrag zur gesamten Wertschöpfung des selbständigen Unternehmensteils leistet. Das Gesamtunternehmen muss kein stromkostenintensives Unternehmen gemäß Anlage 4 des EGG sein. Bei nichtselbstständigen Unternehmensteilen kommt die Begrenzung der EEG-Umlage für den Strom nach § 64a EEG für die Elektrolyseanlage in Betracht. § 64a EEG 2021 ist in Abbildung 18 visualisiert. Im Gegensatz zu § 69b EEG 2021 gilt § 64a EEG 2021 für das gesamte Unternehmen bzw. den gesamten selbstständigen Unternehmensteil.

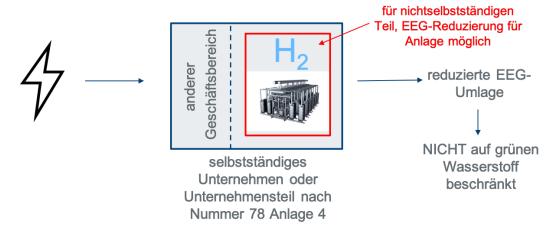


Abbildung 18: Visualisierung des § 64a EEG 2021

Sowohl § 69b EEG 2021 als auch § 64a EEG 2021 sind noch unter Vorbehalt zu betrachten, da die EU noch ihre beihilferechtliche Zustimmung geben muss und die Definition für grünen Wasserstoff noch mit der RED II in Einklang gebracht werden muss.

### Netzentgelte

Netzentgelte fallen nur an, wenn der Strom über das Netz der allgemeinen Versorgung bezogen wird. In diesem Fall besteht eine vollständige Befreiungsmöglichkeit für den Strombezug des Elektrolyseurs nach § 118 Abs. 6 S. 1, 7 und 8 EnWG.

Je nach Einzelfall können darüber hinaus noch die netzentgeltgekoppelten Abgaben und Umlagen (KWK-Umlage, Offshore-Netzumlage, §19 StromNEV-Umlage, Konzessionsabgaben und Abschaltbare Lasten-Umlage) anfallen. Im Falle einer Begrenzung der EEG-Umlage nach § 64a EEG 2021 können KWK-und Offshore-Netzumlage aber ebenfalls begrenzt werden.

#### **Stromsteuer**

Für die Stromsteuer kommt eine vollständige Entlastung nach § 9a Abs. 1 Nr. 1 StromStG in Betracht, wenn das Unternehmen, welches den Elektrolyseur betreibt, ein Unternehmen des Produzierenden Gewerbes darstellt. Energieversorgungsunternehmen können dem produzierenden Gewerbe zugerechnet werden.









## 3.8. Sicherheitskonzepte

Elektrolyseanlagen gelten als industrielle Anlagen für deren Errichtung eine Genehmigung nach **BlmSchG** mit der **4.BlmSchV** notwendig ist. Zu weiteren Regelungen insbesondere in Bezug auf die Speicherung von Wasserstoff siehe Abschnitt 4.6.

## 3.9. Elektrolyseur am Energiepark

Unter Berücksichtigung insbesondere der baurechtlichen und sicherheitstechnischen Fragestellungen entsteht aktuell am Energiepark Wunsiedel eine Elektrolyse mit Abfüllanlage, wie in Abbildung 19 schematisch dargestellt.

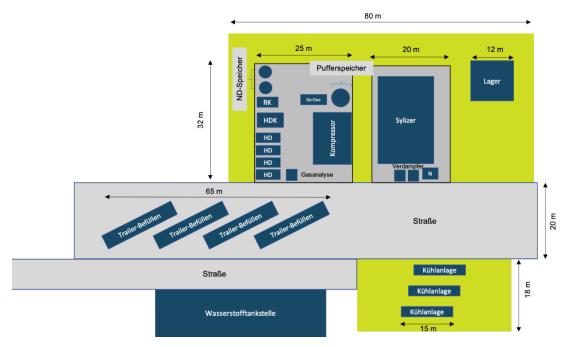


Abbildung 19: schematische Darstellung der Elektrolyseanlage inklusive Kompressor, Speicher und Abfüllanlagen. ND = Niederdruckspeicher, HD = Hochdruckspeicher, HDK = Hochdruckkompressor, RK = Rückkühler, De-Oxo = De-Oxo Trocknungsanlage, N = Stickstoff

Die Anlage nutzt einen PEM-Elektrolyseur von Siemens (Silyzer) mit einer Nennleistung von 8,75 MW<sub>el</sub> und kann bei 5000 Volllaststunden etwa 850 t grünen Wasserstoff pro Jahr produzieren. Nachdem das Wasser im Silyzer elektrochemisch in Sauerstoff und Wasserstoff aufgespalten wird, wird der Wasserstoff im De-Oxo-Trockner getrocknet. Anschließend wird er über eine Kombination aus Kolben- und Membrankompressor auf bis zu 450 bar verdichtet. An den vier vorgesehenen Abfüllanlagen wird der Wasserstoff auf entsprechende Trailer mit bis zu 380 bar vertankt und kann im Folgenden an die Abnehmer ausgeliefert werden. Die Wasserstoffspeichermengen auf dem Gelände sind kleiner als 3 t. Die Maße für eine derartige Anlage sind in Abbildung 19 dargestellt. Die Anlage kann auf 17,5 MW Nennleistung erweitert werden, wofür die Halle rechts ebenfalls etwas erweitert werden müsste.









# 4. H<sub>2</sub>-Speicher und -Infrastruktur

Aufgrund der technischen und chemischen Eigenschaften stellt Wasserstoff teils erhebliche technische Anforderungen an seine Speicherung. Hauptursache hierfür ist die sehr geringe volumetrische Energiedichte unter Standardbedingungen von 2,69 kWh/m³. Zum Vergleich weist Diesel eine volumetrische Energiedichte von 9.700 kWh/m³ auf. Aufgrund der sehr geringen Dichte von Wasserstoff wird auf unterschiedliche Weise versucht, das Speichervolumen zu reduzieren oder bestehende große Speicherkapazitäten wie z.B. Salzkavernen oder das bestehende Erdgasnetz für die Wasserstoffspeicherung nutzbar zu machen. Gleiches gilt für den straßen- oder schienengebundenen Transport, da pro Fahrt möglichst viel Wasserstoff transportiert werden soll. Bei großen Mengen und/oder großen Entfernungen kann der Transport per Pipeline eine gute Option darstellen.

## 4.1. Speicher

Wasserstoff kann sowohl physikalisch in Form von Druck- oder tiefkalten Flüssigwasserstoff als auch chemisch gebunden beispielsweise an LOHC oder Ammoniak gespeichert und transportiert werden. In Tabelle 10 sind die unterschiedlichen Speichervarianten mit ihren spezifischen Investitionskosten, ihren Einsatzgebieten und zusätzlichen Energieaufwänden aufgeführt.

Tabelle 10: Übersicht unterschiedlicher Speichervarianten

Speicher- form		Gasförmig		Flüssig	LOHC
Speicher- typ	Flaschen und Flaschen- bündel	Drucktanks	Salzkaver- nen	Kryotanks	Mineral- öltanks
Druck	20 – 1000 bar	30 – 200 bar	20 bar	1 – 4 bar	1 bar
Typische Anwen- dung	Hochdruck- speicher an Tankstellen	Niederdruck- speicher an Tankstellen	Saisonale Speicherung von Wasser- stoff	Raumfahrt, Forschung, größere Tankstellen	Erprobung an Tank- stellen
Typische Speicher- größen	20 – 40 kg	80 – 800 kg	Bei 500.000 m³ etwa 50 t	2 – 4 t	1.800 kg
Spezifi- sche In- vestitions- kosten	1000 (500 bar) – 2000 (1000 bar) EUR/kg	250 EUR/kg	15 EUR/kg	25 EUR/kg	50 EUR/kg
Energie- aufwand <sup>*</sup>	10-12 % von 10 auf 500 bar	< 10 %	< 10 %	20-30 %	300 °C Wärme- quelle

<sup>\*</sup>der Energieaufwand wird in Prozent des Energiegehalts des Wasserstoffs angegeben









Welche Speicheroption für ein Projekt oder eine Anwendung am geeignetsten ist, richtet sich dabei vor allem auch nach den zu speichernden Mengen und der geplanten Speicherdauer. Die Volumenreduzierung durch Kompression oder Verflüssigung bzw. bei der chemischen Speicherung das Wiederherauslösen des Wasserstoffs ist teilweise mit einem erheblichen Energieeinsatz verbunden.

Bei Wasserstoffanwendungen, d.h. speziell bei Wasserstofftankstellen, hat sich die Speicherung des dreifachen Tagesbedarfes etabliert. Bei Speichermengen < 10 t wird dies in der Regel durch Druckwasserstoff und dessen Anlieferung realisiert. Bei größeren Mengen kann ein Flüssigwasserstoffspeicher und dessen Anlieferung sinnvoll sein. Die Speicherung von Flüssigwasserstoff erfolgt dabei in hoch isolierten Tanks bei -253 °C. Da trotz der guten Isolierung der Tanks ein Wärmestrom aus der Umgebung nicht vermieden werden kann, kommt es zu einer stetigen teilweisen Verdampfung des flüssigen Wasserstoffs von ca. 3 % der Lagermenge pro Tag.

Eine weitere Option als Kombination von Druckwasserstoff und Flüssigwasserstoff, stellt tiefkalter Druckwasserstoff bei 300-400 bar dar. Vorteil ist hier, dass es bei der Entnahme von Wasserstoff zu einer Kühlung des Wasserstoffs im Drucktank durch den Joules-Thomsen-Effekt kommt. Diese tiefkalten Drucktanks befinden sich aktuell jedoch noch in der Entwicklung und sind bislang nicht im großen Maßstab verfügbar.

Bei der LOHC-Technologie wird eine ölartige Trägerflüssigkeit wie z.B. Dibenzyltoluol mit Wasserstoff beladen. Dadurch ist ein vergleichsweiser einfacher Transport möglich, da der Wasserstoff drucklos gebunden vorliegt und der Trägerstoff wie konventionelle Mineralölprodukte transportiert werden kann. Zur exothermen Beladung des Trägerstoffs ist am Produktionsort des Wasserstoffs eine Hydrierungsanlage nötig. Zur endothermen Entladung wird eine Dehydrierungsanlage und eine Wärmequelle mit einem Temperaturniveau von 300 °C am Einsatzort des Wasserstoffs benötigt. Zusätzlich werden weitere Tanks für die Zwischenlagerung des dehydrierten Trägerstoffs benötigt. Bei der Entladung verbleiben etwa 10 % des Wasserstoffs in der Trägerflüssigkeit, die nicht gelöst werden können. 1 m³ Dibenzyltoluol kann dabei bis zu 57 kg Wasserstoff speichern, dies entspricht etwa 1,9 kWh pro Liter. Die Nutzung von LOHC zum Transport von Wasserstoff wird aktuell u.a. im HECTOR-Projekt in Dormagen am Standort der Covestro AG und beim IPCEI Projekt "Green Hydrogen @ Blue Danube" im großen Maßstab in der Praxis erprobt.

Für Wunsiedel scheint die Nutzung von Druckwasserstoff gerade zu Beginn die beste Speicheroption zu sein. Die LOHC-Technologie benötigt große Wärmemengen bei der Entladung und ist gerade bei den kleineren Transportmengen zu Beginn nicht geeignet. Gleiches gilt für die Nutzung von Ammoniak als Trägermaterial von Wasserstoff. Die Umwandlung von Wasserstoff in Ammoniak ist zwar eine etablierte Technologie, jedoch ist die Nutzung von Ammoniak in einem Siedlungsgebiet wie Wunsiedel aufgrund seiner Giftigkeit und seines unangenehmen Geruchs nicht empfehlenswert. Salzkavernen stehen in der Region nicht zur Verfügung, so dass der Wasserstoff in Druckspeichertanks von 200-500 bar gespeichert werden wird. Sollten die Speicher am Energiepark komplett gefüllt sein, aus Netzdienlichkeitsgründen jedoch weiter Wasserstoff produziert werden, kann dieser in den BHKWs und im Heizkessel









des Sägewerks in Wärme umgewandelt werden (vgl. Abschnitt 6.2). Die Leitungen hierzu wurden bereits vor Fertigstellung der Elektrolyseanlage gelegt.

## 4.2. Transport

Die Verteilung und der Transport von Wasserstoff ist ein entscheidender Kostenfaktor bei der Nutzung von Wasserstoff in den unterschiedlichen Anwendungen. Für die lokale Verteilung von Wasserstoff kann grundsätzlich zwischen dem leitungs- und dem straßen- bzw. schienengebundenen Transport unterschieden werden. Kritischer Faktor für eine kostengünstige Verteilung des Wasserstoffs im straßengebundenen Transport ist die Reduzierung des Transportvolumens. Es kommen die in Abschnitt 4.1 genannten Speichervarianten in Betracht. Die Kapazitäten und spezifischen Kosten der unterschiedlichen Transportmöglichkeiten sind in Tabelle 11 aufgeführt. Hierbei handelt es sich um die maximalen Transportkapazitäten und Trailerkosten von 40 ft Containern. Es sind jeweils auch günstigere Trailer mit geringeren Kapazitäten und Zwischenvarianten verfügbar.

Tabelle 11: Übersicht über unterschiedliche Transportmöglichkeiten

Straßen- bzw. schienengebundener Transport					
Technologie	Gasförmig		Flüssig	LOHC	
Varianten	Typ I Tube Trai- ler	Typ IV Bündel auf Container- Trailer	LH <sub>2</sub> -Trailer	Mineralöltrailer	
Druck	200 – 250 bar	500 bar	1-4 bar	1 bar	
Mengen	200 –300 kg/Trailer	ca. 1.100 kg/Trailer	4.500 kg/Trai- ler	1.800 kg/Trai- ler (nutzbar 1620 kg)	
Kosten	300.000 EUR/Trailer	700.000 EUR/Trailer	860.000 EUR/Trailer	150.000 EUR/Trailer inkl. LOHC	

Der leitungsgebundene Transport findet zum einen über kurze Distanzen innerhalb von Komplexen wie z.B. Chemieparks und zum anderen beim Transport großer Mengen über große Entfernungen Anwendung. Beim leitungsgebundenen Transport wird Wasserstoff im gasförmigen Zustand mit Drücken unter 100 bar in Pipelines transportiert. In diversen Studien wird der leitungsgebundene Transport aufgrund seiner hohen Investitionskosten erst ab einer Menge von 10 t Wasserstoff pro Tag als wirtschaftlichste Option zur Verteilung von Wasserstoff bezeichnet. Es wird erwartet, dass ein umfassendes Wasserstofffernleitungsnetz eine bedeutende Rolle in einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft spielen wird. Für den leitungsgebundenen Transport kommt auch die Umwidmung (Retrofitting) bestehender Gaspipelines bei Anpassung u.a. der Ventil- und Übergabestellen in Betracht. Wasserstoffpipelines können das 10-fache an Energie im Vergleich zu Stromübertragungsleitungen transportieren und zudem als Energiespeicher fungieren.









Eine Übersicht über die Kosten und Parameter des leitungsgebundenen Transports sind in Tabelle 12 aufgeführt. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Umrüstung (Retrofitting) bestehender Erdgaspipelines. Dies kann zu reduzierten Kosten von 60-90 % im Vergleich zu einem Pipelineneubau führen. Nach der Studie "Hydrogen Insights" vom Hydrogen Council und McKinsey aus dem Jahr 2021 können die Kosten für den Wasserstofftransport für umgerüstete Pipelines bei entsprechenden Mengen bei unter 0,1 EUR/kg für Distanzen bis zu 500 km liegen. Gemäß der Studie eignen sich vor allem Gasübertragungsleitungen für einen Retrofit, während die Umrüstung von Gasverteilleitungen problematisch sein kann. Die Kosten für eine Umrüstung von Verteilnetzen werden mit 0,1-0,2 Mio. USD/km im Vergleich zu 0,3-0,7 Mio. USD/km für einen Neubau angegeben.

Tabelle 12: Übersicht über den leitungsgebundenen Transport

Pipelinetransport		
Druck	Bis 100 bar	
Transportierbare Mengen	Mehrere Tonnen pro Tag	
Kosten	<ul> <li>Kosten für Rohre sind stark abhängig vom Leitungsdurchmesser und dem Stahlpreis</li> <li>DN 20 ca. 60 EUR/m, DN16 ca. 50 EUR/m Rohrkosten</li> <li>Kosten für Rohre entsprechen etwa 10 % der Gesamtkosten bei der Leitungslegung</li> <li>Kosten für die Leitungslegung hängen stark davon ab, ob bspw. Straßen/Schienen gequert oder geöffnet werden müssen</li> </ul>	

Ob der straßengebundene oder leitungsgebundene Transport für ein Projekt sinnvoll ist, kann gut über die Grafik in Abbildung 20 ermittelt werden. Druckwasserstoff ist vor allem bei kürzeren Distanzen bis ca. 200 km und Mengen bis 10 t pro Tag die kosteneffizienteste Transportvariante. Distanzen und Mengen, die vor allem zu Beginn in Wunsiedel vermutlich nicht überschritten werden.

Ab größeren Mengen und größeren Distanzen kann die Nutzung von Pipelines oder Flüssigwasserstoff sinnvoll sein. Die Nutzung von LOHC als Transportmedium wurde im Rahmen der Analysen gemäß Abbildung 20 nicht betrachtet.









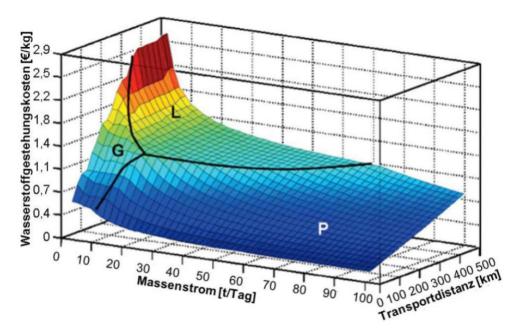


Abbildung 20: Kostenoptimaler Transport von Wasserstoff in Abhängigkeit von Durchsatz und Transportdistanz. Mit G = gasförmiger Trans-port via LKW, L = flüssiger Transport via LKW und P = gasförmiger Transport via Pipeline – Quelle: M. Reuß, Forschungszentrum Jülich

#### 4.3. Tankstellen

Technisch gesehen handelt es sich bei Wasserstofftankstellen um Gasfüllanlagen. Der Wasserstoff strömt dabei aufgrund des Druckunterschiedes zwischen dem Speichertank der Tankstelle und dem Fahrzeugtank in das Fahrzeug über. Aufgrund der geringeren Energieverluste hat sich aktuell die Betankung von komprimiert gasförmigem Wasserstoff mit Drücken von 350 bar für Fahrzeuge mit ausreichend Bauraum (z.B. Busse, LKW) und 700 bar für Fahrzeuge mit geringerem Bauraum (z.B. PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Abfallsammler) etabliert.

Eine Wasserstofftankstelle, auch HRS für Hydrogen Refueling Station, besteht in der Regel aus den folgenden Komponenten:

- 1. Niederdruckspeicher (ND) mit 200 300 bar.
- 2. Mitteldruck- (MD) und Hochdruckspeicher (HD) zur Zwischenspeicherung des Wasserstoff auf 450 500 bar (MD) und 1000 bar (HD).
- 3. Kompressor zur Verdichtung des angelieferten Wasserstoff 450-500 bar für 350 bar Zapfsäulen und auf etwa 1000 bar für 700 bar Zapfsäulen.
- 4. Kühlanlage zur Vorkühlung des Wasserstoff zur Vermeidung einer zu starken Erwärmung des Fahrzeugtanks durch die Verdichtung in den Tank. Vorkühlung auf -40 °C bei 700-bar-Tanks und auf -20 – 0 °C bei 350-bar-Tanks
- 5. Dispenser zur Ausgabe des Wasserstoffs und Verbindung zwischen Fahrzeugtank und Hochdruckspeicher.

In Abbildung 21 ist der schematische Aufbau und das Funktionsprinzip verschiedener Optionen für die Realisierung einer 350-bar-Bustankstelle dargestellt. Alternativ zu









dem Prinzip des Überströmens, kann eine Wasserstofftankstelle auch mit einem Booster-Verdichter ausgestattet sein, durch den der Wasserstoff direkt in den Tank verdichtet wird.

Um die Sicherheit an Wasserstofftankstellen zu gewährleisten, existieren die SAE-Betankungsprotokolle, die den Tankvorgang regeln und standardisieren. Werden diese Standards beim Betankungsvorgang nicht angewendet, kann unter Umständen die Garantie des Fahrzeugherstellers verfallen.

Wichtig zu erwähnen ist auch, dass mit 350-bar-Zapfsäulen 700-bar-Fahrzeuge betankt werden können. Dies ist vor allem für den Hochlauf von Wasserstoff für Mobilitätsanwendungen im Landkreis von großer Bedeutung, da hier zunächst eine 350-bar-Tankstelle am Energiepark errichtet werden soll. Abfallsammelfahrzeuge mit 700-bar-Betankungsstandard könnten, wenn auch nur etwa bis zur Hälfte, trotzdem an einer derartigen 350-bar-Tankstelle betankt werden. Dies ist jedoch vor allem bei der Beschaffung erster Abfallsammelfahrzeuge für die KUFi zu beachten. Die Tankkapazität erster Abfallsammler sollte dementsprechend größer als nötig dimensioniert werden.

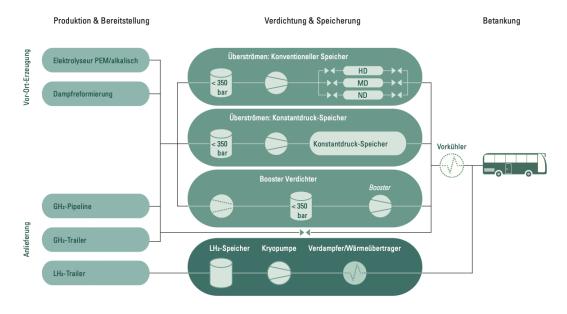


Abbildung 21: Aufbau und Funktionsprinzip einer 350-bar-Bustankstelle - Quelle: NOW GmbH

Bei Tankstellen mit Zapfsäulen innerhalb eines Gebäudes, insbesondere bei Betankungsanlagen für die Intralogistik, sind zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen anzuwenden. Speziell sind hier zusätzliche ATEX-Einrichtungen sowie Wasserstoffsensoren vorzusehen, die im Falle einer Wasserstofffreisetzung z. B. Luken im Dach öffnen, um eine ausreichende Belüftung zu gewährleisten.

Die Betankungsdauer eines Fahrzeuges hängt von der Druckdifferenz zwischen Tankstellenspeicher und Fahrzeugtank ab. In Tabelle 13 ist eine Übersicht über die durchschnittlichen Betankungszeiten unterschiedlicher Fahrzeugtypen zu finden.









Tabelle 13: Betankungszeiten unterschiedlicher Fahrzeugtypen

Fahrzeugtyp	Betankungs- druck	Tankgröße	Dauer
PKW	700 bar	5-6 kg	3-5 Minuten
Sprinter/LCV	700 bar	3-9 kg	5-10 Minuten
Abfallsamm- ler	700 bar	8-16 kg	10-20 Minuten
LKW / Busse	350 bar	32-40 kg	10-20 Minuten
Flurförder- zeuge	350 bar	<3 kg	2-3 Minuten

Die Kosten für den Bau von Wasserstofftankstellen mit 350-bar-Technik sind beispielhaft in Tabelle 14 aufgeführt. Die Kosten für 700-bar- oder kombinierte 350-bar- und 700-bar-Tankstellen liegen aufgrund zusätzlich notwendiger Hochdruckspeicher und höherer Kompressorleistungen etwas höher.

Tabelle 14: Abschätzung der Investitionskosten für 350-bar-Wasserstofftankstellen

Klasse nach Wasser- stoffabgabe	200 kgH₂/Tag	600 kgH₂/Tag	1.500 kgH₂/Tag
Kapazität	6 – 7 Busse	17 – 18 Busse	40 – 45 Busse
Investitionskosten			
(exkl. lokale Baumaß-	880.000 EUR	1.600.000 EUR	3.300.000 EUR
nahmen)			
Spezifische Investiti-	4.400 EUR/kg	2.666 EUR/kg	2.200 EUR/kg
onskosten	H₂/Tag	H₂/Tag	H₂/Tag
Platzbedarf	150 m²	200 m <sup>2</sup>	250 m²
Klasse nach Wasser- stoffabgabe	200 kg H <sub>2</sub> /Tag	600 kg H₂/Tag	1.500 kg H <sub>2</sub> /Tag

Hersteller von Wasserstofftankstellen sind u.a.:

- Wystrach GmbH
- Linde AG
- Air Liquide Deutschland GmbH
- Maximator Hydrogen GmbH
- Atawey
- Resato GmbH
- Everfuel AS
- Framatome GmbH

Des Weiteren existieren mobile Tankstellen wie z.B. von Wystrach, die gemietet oder erworben werden können. Diese sind vor allem für eine Übergangszeit während der









Markthochlaufphase aufgrund geringerer Investitionskosten interessant. Wystrach bietet bspw. Tankstellen an mit denen etwa 8-10 LKW oder Busse pro Tag mit insgesamt bis zu 360 kg betankt werden können. Die Tankstelle besteht dabei aus einem separaten Tankstellenmodul inklusive Kompressor, Pufferspeicher und Kühlung, sowie einem Anliefertrailer. Auch wenn die Betankungsgeschwindigkeit z.T. niedriger ist, können mit einer mobilen Tankstelle Redundanzen geschaffen und erste Fahrzeuge betankt werden. Resato bietet ebenfalls relativ günstige Tankstellencontainer vor allem für PKW (700 bar) an, die jedoch sehr geringe Betankungsgeschwindigkeiten haben. Durch mobile Tankstellen kann das Risiko einer hohen (Fehl-)Investition reduziert werden, da diese Tankstellen einfach an andere Orte transportierbar sind.

## 4.4. Wasserstofftankstellenkonzept für den Landkreis

Eine erste Wasserstofftankstelle mit einem Betankungsdruck von 350 bar soll aufgrund der Synergien mit der Verdichtung für die Abfüllanlage direkt an der Elektrolyseanlage am Energiepark Wunsiedel entstehen. Auf zusätzliche Hochdruckspeicher und Verdichtung kann größtenteils verzichtet werden, da diese bereits in der geplanten Anlage der WUN H2 integriert sind. Für diese Tankstelle wurden im Laufe des HyExpert-Projektes mit Unterstützung des HyExpert-Projektteams bereits Fördergelder im Rahmen des bayrischen Wasserstofftankstellen-Förderprogramms beantragt. Ende September 2021 wurde der Förderbescheid für die oben genannte Tankstelle erteilt. Mit der 350-bar-Druckstufe können vermutlich ab Ende 2022 erste Wasserstofffahrzeuge am Energiepark mit 350 bar betankt werden. Eine Erweiterung der Tankstelle auf 700 bar ist perspektivisch angedacht, insbesondere um die Abfallsammelfahrzeuge der KUFi mit 700 bar betanken zu können.

Als möglicher zweiter Standort einer H<sub>2</sub>-Tankstelle im Landkreis ist vor allem der Autohof Thiersheim an der A93 in Betracht zu ziehen. Der Autohof Thiersheim bietet sich aufgrund seiner Autobahnanbindung und ausreichend Platz insbesondere für die Betankung erster LKW an und könnte eine notwendige, nahegelegene Redundanz schaffen. Es bietet sich an, die Tankstelle am Autohof Thiersheim zunächst als mobile Tankstelle zu realisieren, die mit Druckwasserstoff aus dem weniger als 10 km entfernten Energiepark beliefert wird. Ein möglicher weiterer Standort wäre auf dem Betriebsgelände des neuen Logistikzentrums der Edeka an der Abfahrt Wunsiedel (ca. 7 km vom Energiepark), welches 2024 fertiggestellt werden soll. Das Tankstellenkonzept während des Markthochlaufs der Wasserstoffmobilität würde, wie in Abbildung 22 dargestellt, ein Dreieck mit kurzen Anlieferwegen bilden. Die Anlieferung würde in Form von Druckwasserstoff vom Energiepark Wunsiedel erfolgen.

Sollte die Nachfrage nach Wasserstoff für die Mobilität steigen, könnten zunächst weitere mobile Tankstellen in den größeren Orten Marktredwitz, Selb und Arzberg auf die Gelände bestehender Tankstellen aufgestellt werden. Hierzu haben bislang jedoch noch keine Gespräche stattgefunden. Möglich wäre auch die erste mobile Tankstelle an die jeweils nächsten Orte weiterzureichen, sobald am vorherigen Ort bei entsprechend großer Nachfrage eine feste Wasserstofftankstelle installiert werden kann. Zu beachten sind hierbei jedoch die unterschiedlichen Fahrzeugtypen, die an









den unterschiedlichen Standorten betankt werden sollen, da hier zwischen 350-barund 700-bar-Betankungsstandard zu unterscheiden ist.

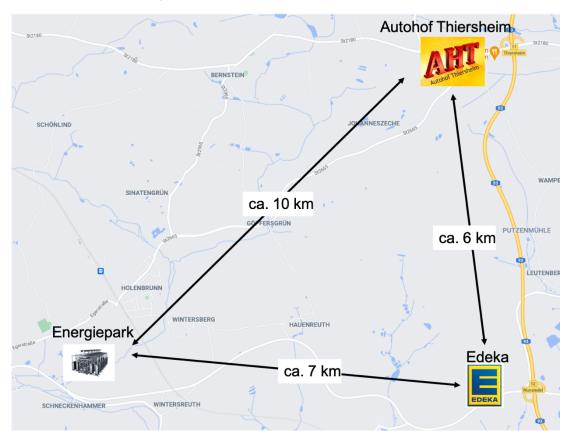


Abbildung 22: Tankstellenkonzept für die Markthochlaufphase von Wasserstoff in der Mobilität

## 4.5. Wirtschaftlichkeitsberechnungen - Tankstelle

Um eine ungefähre Idee von den Kosten des Wasserstoffs an einer Wasserstofftankstelle zu bekommen, wurden Wasserstoffgestehungskosten aus Abbildung 16 als Grundlage für die weitere Verdichtung und Ausgabe an einer 350-bar-Tankstelle genommen. Die Kosten und deren Zusammensetzung für eine Wasserstofftankstelle mit einer Ausgabemenge von 600 kg pro Tag gemäß Tabelle 14 sind beispielhaft in Abbildung 23 dargestellt. Fördermittel sind bei der Berechnung nicht enthalten. Die Baukosten werden mit 10 % der Investitionskosten angenommen. Die Betriebskosten liegen laut Literatur bei 4 % der Investitionskosten pro Jahr. Die Transportkosten für den Druckwasserstoff wurden gemäß den Aussagen der Firma Rießner Gase und entsprechender Mietpreise für die Trailer abgeschätzt.

Bei einer Tankstelle am Energiepark entfallen die Transportkosten und es bestehen Synergien bei der Verdichtung, da bereits die Verdichtung auf 450-500 bar für die Abfüllanlage gewährleistet ist. Die Kosten an der Zapfsäule sollten am Energiepark entsprechend geringer sein.









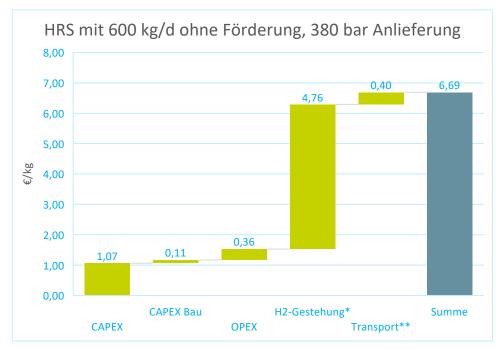


Abbildung 23: Beispielhafte Berechnung der Wasserstoffkosten an einer 350-bar-Tankstelle

## 4.6. Rechtlicher Rahmen / Sicherheitskonzepte / Genehmigungen

### **Transport**

Für den Wasserstofftransport gelten die nach Gefahrgutbeförderungsgesetz (GGBeFG) vorgegebenen Anforderungen an die Beförderung von gefährlichen Gütern und die damit verbundenen Pflichten der Beteiligten, vgl. § 2 GGBeFG.

Für den Transport von Wasserstoff müssen zertifizierte und zugelassene Behälter verwendet werden. Die Grundlage für die Containerzulassung bildet die Richtlinie 2008/68/EG. Im Absatz 5 der Richtlinie wird auf die einheitlichen Vorschriften ADR (Straßentransport) verwiesen.

Im Allgemeinen ist das maximal zulässige LKW-Gesamtgewicht aus Zugfahrzeug, Anhänger und Ladung von 40 t und die zulässige Gesamtlänge des Lastzugs von 18,75 Metern einzuhalten. Würde die zulässige Gesamtmasse des LKWs überschritten, wären Sondergenehmigungen im Rahmen eines Schwertransportes notwendig. Bei einer Zuladung von mindestens 9 t Wasserstoff wäre zudem eine Fahrwegbestimmung gemäß § 35b GGVSEB erforderlich. Aufgrund der aktuell verfügbaren Transportkapazitäten mittels Sattelzugmaschinen ist diese Grenze bisher jedoch nicht relevant.

Zum Bau und der Umrüstung von Wasserstoffpipelines ist die Beachtung des DVGW-Merkblatt G 265-3 zu empfehlen. Das Merkblatt gilt für die Einspeisung von Wasserstoff in Gasversorgungsnetze, sowie die Planung, Fertigung, Errichtung, Prüfung, Inbetriebnahme und Betrieb für Wasserstoffleitungen.









## Speicherung & Tankstelle

Grundvoraussetzung zur Durchführung eines geplanten Genehmigungsverfahrens für eine Wasserstofftankstelle ist immer die vorherige Erlangung einer Betriebserlaubnis.

Relevante Verordnungen für den Bau und Betrieb von Wasserstofftankstellen sind vor allem die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) und das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG). Wasserstoffgasfüllanlagen werden dabei wie Erdgasfüllanlagen eingestuft und behandelt und fallen in den Anwendungsbereich der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) unter Abschnitt 3 § 18 zu Nr. 3 und bedürfen grundsätzlich einer Erlaubnis.

Für die Errichtung einer Wasserstoff-Zapfsäule als Integration in einer vorhandenen Tankstelle gilt BetrSichV, Abschnitt 3, § 18, Satz 1 "Änderung der Bauart und Betriebsweise".

Allein gilt die BetrSichV nur für Tankstellen eines Betreibers, der weniger als 3 t Lagermenge eines brennbaren, gasförmigen Kraftstoffes vor Ort hat. Für größere Tankstellen mit Lagermengen > 3 t greift zusätzlich das BImSchG mit der 4.BImSchV. Dieses ist auch immer dann relevant, wenn eine Vor-Ort-Produktion von Wasserstoff, zum Beispiel durch eine Elektrolyseanlage, an der Tankstelle vorhanden ist, da diese aktuell als industrielle Anlage gilt. Ab 5 t Lagermenge sind auch die Regeln der Störfall-VO zu beachten (12. BImSchV). Eine Übersicht zu den benötigten Genehmigungen für H<sub>2</sub>-Anlieferungstankstellen ist in der Übersicht in Abbildung 24 dargestellt.

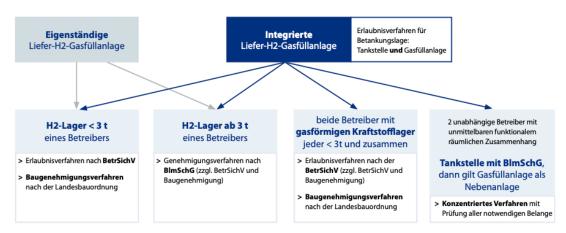


Abbildung 24: Übersicht Genehmigungen für H<sub>2</sub>-Anliefertankstellen – Quelle: Landesenergie- und Klimaschutzagentur Mecklenburg-Vorpommern GmbH

Die Regelungen zu Schutzabständen finden sich in den technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) zu Vermeidung von Brand-, Explosions-, und Druckgefährdungen an Tankstellen und Gasfüllanlagen zur Befüllung von Gasanlagen (TRBS 31/51). Weiterhin sind eine Gefährdungsanalyse Arbeitsplatz zum Arbeitsschutz sowie ein Brandschutzkonzept und ein Alarmplan zur Gefahrenabwehr und zum Brandschutz notwendig.

Beim Bau einer Wasserstofftankstelle kann der Genehmigungsleitfaden der NOW GmbH (<a href="https://h2-genehmigung.de/">https://h2-genehmigung.de/</a>) hilfreich sein, der die einzelnen Prozessschritte









von der Planung über die Genehmigung bis zur Inbetriebnahme detailliert auflistet. Die EnergieAgentur.NRW hat zudem einen rechtlichen Leitfaden zur Errichtung von Wasserstofftankstellen herausgebracht, der über den folgenden Link abgerufen werden kann:

https://docplayer.org/27074805-Rechtlicher-leitfaden-zur-errichtung-von-wasserstoff-tankstellen.html









## 5. Wasserstoff in der Mobilität

## 5.1. Einleitung

Wasserstoffbetriebene (Nutz-)Fahrzeuge kombinieren die Vorteile der Elektromobilität mit den Vorteilen von konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Ähnlich wie bei einem reinen Elektrofahrzeug kann bei brennstoffzellen-elektrischen Fahrzeugen beim Bremsen mittels Rekuperation Bewegungsenergie in elektrische Energie umgewandelt und in der Batterie zwischengespeichert werden. Rechtlich gelten Brennstoffzellenfahrzeuge als Elektrofahrzeuge, auch wenn die Batterie im Vergleich zu rein batterie-elektrischen Fahrzeugen in der Regel kleiner dimensioniert ist. Sie produzieren im Betrieb weder CO<sub>2</sub>- noch Stickoxid- oder Partikelemissionen und zeichnen sich aufgrund ihres Elektromotors durch sehr geringe Motorgeräusche und eine direkte Kraftübertragung aus, womit sie sich u.a. hervorragend für den Stadtverkehr eignen. Aufgrund der Rekuperation kann vor allem beim (innerstädtischen) Stopand-Go, im Verteilverkehr und bei bergigen Strecken ein sehr effizienter Betrieb gewährleistet werden. Zudem erlauben brennstoffzellen-elektrische Fahrzeuge vergleichbare Reichweiten, kurze Tankzeiten, sowie eine vergleichbare Performance und somit ein breites Einsatzspektrum wie Dieselfahrzeuge.

Für die folgenden wirtschaftlichen Vergleiche von konventionellen und brennstoffzellen-elektrischen Fahrzeugen werden die Gesamtbetriebskosten (TCO-Berechnungen) vereinfacht ohne Finanzierungskosten berechnet. Es wird jeweils davon ausgegangen, dass die Kosten für Steuern und Versicherungen bei beiden Fahrzeugvarianten gleich sind (gilt nicht für PKW) und somit nicht in die durchgeführten TCO-Berechnungen mit einfließen.

#### 5.2. Busse

Wasserstoffbetriebene Busse zeichnen sich durch eine hohe technologische Reife (TRL 8-9) und eine hohe Energieeffizienz im innerstädtischen Verkehr aus. Übliche Verbräuche bei BZ-Solobussen liegen meist zwischen 8-9 kg H<sub>2</sub> pro 100 km. Der Hersteller Caetano (seit Dezember 2020 Toyota Caetano Portugal) gibt sogar deutlich geringere Verbräuche von 6 kg pro 100 km an, welche zumindest in Nordfriesland in der Praxis bestätigt werden konnten. Für H<sub>2</sub>-Busse hat sich der 350-bar-Betankungsstandard etabliert und es existieren mehrere unterschiedliche Hersteller wie Van Hool, Solaris, Wrightbus, Safra, Clean Logistics oder Caetano (Toyota). Die Brennstoffzellen-Busse dreier unterschiedlicher Hersteller werden in Tabelle 15 miteinander verglichen.

Bei BZ-Bussen ist aufgrund der geringeren Anzahl an beweglichen Teilen speziell beim Motor eine deutliche Reduzierung bei den Wartungskosten zu erwarten. So benötigen BZ-Busse mit ihrem Elektromotor bspw. kein Motoröl, welches in regelmäßigen Abständen gewechselt werden muss. Getriebeöl, Hydrauliköl und Bremsflüssigkeit bedarf es bei Fahrzeugen mit Elektromotor natürlich dennoch. Aufgrund der Rekuperation wird jedoch mit einem geringeren Verschleiß der Bremsbeläge gerechnet.









Aktuell liegen die Wartungskosten u.a. aufgrund der verwendeten Kühlflüssigkeiten trotzdem noch etwas höher als bei konventionellen Fahrzeugen.

Tabelle 15: Brennstoffzellen-Busse unterschiedlicher Hersteller im Vergleich; \*gemäß Studie von Roland Berger

Hersteller	Van Hool	Solaris	Caetano
Antriebsleistung	210 kW	2 x 125 kW	180 kW
Brennstoffzelle	85 kW	70 kW	60 kW
Verbrauch	8 – 9 kg H <sub>2</sub> /100 km	8 – 9 kg H <sub>2</sub> /100 km	6 kg H <sub>2</sub> /100 km
Reichweite	350 km	400 km	400 km
Betankung	350 bar		
Wartungskosten*	0,26 - 0,37 EUR/km		
Klimatisierung	kein signifikanter Mehrverbrauch		
Bauart	Niederflurbus		
Kosten	550.000 – 650.000 EUR		

Anders als bei bisherigen Modellprojekten zu BZ-Bussen wie bspw. in Köln oder Wuppertal, liegt der durchschnittliche Dieselverbrauch des ÖPNV im Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge zwischen 27-31 Litern Diesel pro 100 km gegenüber ca. 38-40 Litern Diesel pro 100 km in Köln und Wuppertal. Der Dieselmotor fährt insbesondere bei längeren Überlandstrecken, wie sie im Fichtelgebirge Teil des ÖPNV sind, nahe seinem optimalen Betriebspunkt. Durch das geringere Stop-and-Go im Vergleich zu Ballungsgebieten wie z.B. Köln oder Wuppertal reduziert sich der Dieselverbrauch der aktuell im Landkreis eingesetzten Busse zusätzlich. Insgesamt liegt der durchschnittliche Dieselverbrauch im Landkreis um etwa 10 Liter pro 100 km niedriger als in den oben genannten Ballungsgebieten. Dies ist für den Vergleich in der TCO-Berechnung in Abbildung 25 von entscheidender Bedeutung. Selbst bei erhöhten Dieselpreisen von 1,50 EUR/Liter (orange) sind die Gesamtbetriebskosten für Busse wie z.B. von Solaris oder Van Hool höher als die eines konventionellen Busses im Landkreis. Nimmt man allerdings Verbräuche von 6 kg H<sub>2</sub>/100 km an, wie der Hersteller Caetano sie angibt, können die Gesamtbetriebskosten eines Wasserstoffbusses bei 5 EUR/kg H<sub>2</sub> im Bereich konventioneller Dieselbusse liegen. Die weiteren Annahmen für die TCO-Berechnungen sind in Tabelle 16 aufgeführt.

Um die lokal ansässigen Konzessionsnehmer und Busunternehmer von der Nutzung von Wasserstoff zu überzeugen, sind die Gesamtbetriebskosten von entscheidender Bedeutung. Es gilt entsprechend in der Praxis zu prüfen, ob die von Caetano angegebenen Verbräuche im hügeligen Fichtelgebirge realistisch sind. Idealerweise sollte diesbezüglich ein Testfahrzeug von Caetano organisiert werden, um die Strecken der









VGF abzufahren und mit den angegebenen Verbräuchen zu vergleichen. Nur weil die Verbräuche im flachen Nordfriesland den Angaben des Herstellers entsprechen, heißt dies nicht, dass dies auch im Fichtelgebirge gilt. Sollten die Verbräuche pro 100 Kilometer tatsächlich nur bei 6 kg H<sub>2</sub>/100 km liegen, ließen sich die lokalen Busunternehmer sicherlich mittels der Gesamtbetriebskostenrechnung in Abbildung 25 überzeugen, zumal sie bei ähnlichen Kosten emissionsfrei fahren würden.

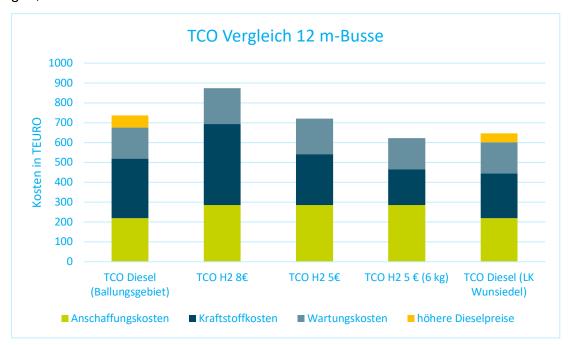


Abbildung 25: TCO-Berechnung für Busse im Vergleich

Tabelle 16: Annahmen zur Berechnung der Gesamtbetriebskosten von Solobussen

Solobusse	Diesel	Brennstoffzelle
Preis (netto)	220.000 EUR	550.000 EUR
Förderquote	-	80% der Mehrinvestitions- kosten
Kraftstoffverbrauch	30-40 Liter / 100 km	8,5 kg H <sub>2</sub> /100 km
Kraftstoffkosten	1,25 EUR / Liter	5-8 EUR / kg H <sub>2</sub>
Wartungskosten	0,26 EUR / km	0,30 EUR / km

Dies ist vor allem deshalb entscheidend, da der ÖPNV im Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge, wie in vielen anderen vor allem ländlichen Regionen Deutschlands, über Konzessionen geregelt wird und daher weder der Landkreis noch die Busunternehmer direkt von der CVD betroffen sind. Es steht dem Konzessionsgeber, d.h. dem Landkreis, jedoch offen, nach Ablauf der bestehenden Konzessionsvereinbarungen entsprechende Vorgaben für künftige Konzessionsvereinbarungen bzgl. emissionsarmer Fahrzeuge insbesondere mit Wasserstoff ggf. in Zusammenhang mit einer









Sondervergütung zu machen. In einem neuen Konzessionsvertrag können auch typenspezifische Vorgaben zu den Fahrzeugen festegelegt werden. Beschränkt wird dieses Recht zu Vorgaben durch den Grundsatz der Verhältnismäßigkeit. Eine allgemeinverbindliche Definition dessen, was in diesem Zusammenhang als verhältnismäßig zu werten ist, hat sich bislang jedoch nicht etabliert. Maßgeblich ist, dass die Umsetzung der Vorgabe für den Konzessionsnehmer weder tatsächlich noch wirtschaftlich unmöglich ist. Die meisten aktuellen Konzessionsvereinbarungen für die einzelnen Linien im Landkreis laufen noch bis 2027.

Durch die Umstellung eines Busses im Landkreis mit einer Jahresfahrleistung von 40.000 - 50.000 km und der Nutzung von  $CO_2$ -neutralem Wasserstoff können die direkten  $CO_2$ -Emissionen im Landkreis pro Jahr um etwa 30-40 t reduziert werden.

# 5.3. Abfallsammelfahrzeuge

Wasserstoffbetriebene Abfallsammelfahrzeuge zeichnen sich durch eine hohe Energieeffizienz während des Sammelvorgangs aus. Der Wasserstoffverbrauch wird hierbei in der Regel im Vergleich zum Dieselverbrauch angegeben. FAUN nennt Werte von 1 kg H₂ pro 10 I Diesel beim Sammelvorgang und 2,2-2,5 kg H₂ pro 10 I Diesel bei Überlandfahrten. Während sich für H₂-Busse der 350-bar-Betankungsstandard etabliert hat, nutzen unterschiedliche Hersteller von Abfallsammelfahrzeugen unterschiedliche Tankstandards von 350 und 700 bar. Anders als bei BZ-Bussen existieren bislang mit FAUN aus Deutschland und E-Trucks Europe aus den Niederlanden lediglich zwei verfügbare Hersteller. FAUN nutzt das 700-bar- und E-Truck Europe das 350-bar-Betankungssystem. Weitere Hersteller wollen aber folgen, so dass sich der Wettbewerb in den nächsten Jahren erhöhen sollte. Die Spezifikationen des FAUN Bluepower Brennstoffzellen-Abfallsammelfahrzeuges sind in Tabelle 17 aufgeführt.

Tabelle 17: Spezifikationen des FAUN Bluepower Abfallsammelfahrzeuges; \*Betankung zu etwa der Hälfte mit 350 bar möglich; \*\*gemäß Studie von Roland Berger

Fahrzeugtyp	Abfallsammelfahrzeug – FAUN Bluepower	
Antriebsleistung	250 kW – 3500 Nm	
Brennstoffzelle	Modular 30 kW – 90 kW	
Verbrauch	1 kg H₂ pro 10l Diesel (Sammelroute) 2,2-2,5 kg pro 10l Diesel (Autobahn/Bundesstraße)	
Tankvolumen	4,2 bis 16,8 kg bei 700 bar*	
durchschnittliche Reichweite	30 kW Brennstoffzelle – 100 km 60 kW Brennstoffzelle – 200 km 90 kW Brennstoffzelle – 300 km	
Nutzlast	mind. 10 t	
Betankungsanforderungen	700 bar, < 10 min	
Wartungskosten**	0,40 - 0,50 EUR/km	









In Abbildung 26 werden die Gesamtbetriebskosten (TCO-Berechnungen) pro Kilometer für konventionelle und brennstoffzellen-betriebene Abfallsammelfahrzeuge unter den in Tabelle 18 aufgeführten Annahmen miteinander verglichen. Die erhöhten Dieselpreise beziehen sich auf einen Preis von 1,50 EUR/Liter Diesel. Ähnlich wie bei Bussen ist bei BZ-Abfallsammlern aufgrund der geringeren Anzahl an beweglichen Teilen im Motor mit geringeren Wartungskosten zu rechnen. Die Kosten für die Wartung eines BZ-Abfallsammlers wurden ebenso wie bei den BZ-Bussen der Studie "Fuel Cells and Hydrogen Applications for Regions and Cities Vol.2" von Roland Berger (siehe Quellen) entnommen.

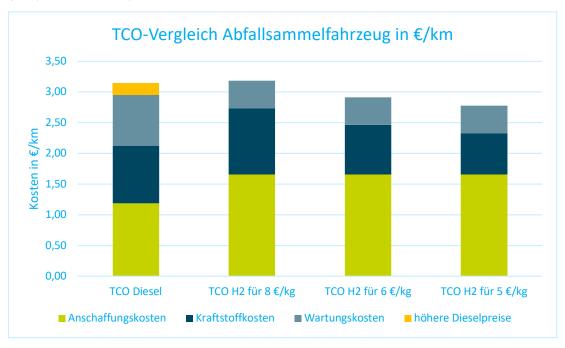


Abbildung 26: TCO-Berechnung für Abfallsammler bei unterschiedlichen Kosten für Wasserstoff

Tabelle 18: Annahmen zur Berechnung der Gesamtbetriebskosten eines Abfallsammelfahrzeuges

Abfallsammelfahrzeug	Diesel	Brennstoffzelle
Preis (netto)	220.000 EUR	650.000 EUR
Förderquote	-	80% der Mehrinvestitions- kosten
Kraftstoffverbrauch	75 Liter / 100 km	1,8 kg pro 10 Liter Diesel
Kraftstoffkosten	1,25 EUR / Liter	5-8 EUR / kg H <sub>2</sub>
Wartungskosten	0,83 EUR / km	0,45 EUR / km









Es wird deutlich, dass bei einem Preis von 5 EUR/kg H<sub>2</sub> und einer Förderquote von 80 % der Mehrinvestitionskosten die Gesamtbetriebskosten für Abfallsammelfahrzeuge im Landkreis bereits heute günstiger sein können. Bei höheren Dieselpreisen (orange) wird dieser Unterschied sogar noch deutlicher.

Ein Problem für die Nutzung von H<sub>2</sub>-Abfallsammelfahrzeugen von FAUN stellte im Rahmen des HyExpert-Projektes der Niedereinstieg des FAUN-Fahrzeuges dar. Im Abfallsammelgebiet der KUFi müssen teilweise enge Gassen und Steigungswechsel überwunden werden, die zu einem Aufliegen des Niedereinstieg-Fahrzeuges führen könnten, so zumindest die Befürchtung. Während der Laufzeit des HyExpert-Projektes konnte von der KUFi ein konventionelles Abfallsammelfahrzeug mit Niedereinstieg von FAUN geliehen werden und kritische Stellen abgefahren werden. Hierbei stellte sich heraus, dass bis auf 2-3 Punkte, bei denen das Fahrzeug höher gesetzt (technisch möglich) und von mehreren Personen manövriert werden musste, alle Strecken auch mit dem Niedereinstiegsfahrzeug realisiert werden können.

Durch die Umstellung eines Abfallsammlers mit einem Jahresdieselverbrauch von etwa 14.000 Litern und der Nutzung von CO<sub>2</sub>-neutralem Wasserstoff können pro Jahr etwa 35 t direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen im Landkreis eingespart werden.

### 5.4. LKW

Wasserstoff gilt vor allem in der Schwerlastlogistik künftig als der emissionsfreie Kraftstoff der Wahl, da er aufgrund hoher gravimetrischer Energiedichte und Betankungszeiten in der gleichen Größenordnung wie Diesel die attraktivste klimaneutrale Alternative bietet. Anders als bei batterie-elektrischen Lkw wird bei H<sub>2</sub>-LKW die verfügbare Nutzlast im Vergleich zu konventionellen Diesel-LKW nicht oder fast nicht eingeschränkt. Großer Nachteil von H<sub>2</sub>-LKWs ist ihre aktuell nicht bzw. kaum vorhandene Verfügbarkeit. Zwar gibt es diverse Ankündigungen großer LKW-Hersteller wie Daimler, MAN oder auch IVECO in den nächsten Jahren wasserstoffbetriebene LKW auch als Sattelzugmaschinen auf den Markt zu bringen, doch existieren, wenn überhaupt, aktuell lediglich Prototypen dieser Hersteller.

Einziger aktueller Hersteller von serienreifen H<sub>2</sub>-LKW mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 19 t bzw. als Anhängerzug mit bis zu 36 t ist Hyundai und dies vorerst nur in der Schweiz. Ein Markteintritt von Hyundai ist in Deutschland für 2022 geplant. Ähnlich wie bei H<sub>2</sub>-Bussen und Abfallsammelfahrzeugen kommen bei LKW die Vorteile von brennstoffzellen-elektrischen Fahrzeugen zum Tragen, die bei vielen Stopand-Gos eine hohe Energieeffizienz aufweisen. Bei Langstreckenfahrten kann hingegen der Dieselmotor bislang noch seine Stärken ausspielen. Erstes Einsatzgebiet von H<sub>2</sub>-LKW ist demnach der Verteilverkehr und die innerstädtische Anlieferung z.B. von Lebensmitteln. Hyundai wird für diesen Einsatzzweck 1600 Fahrzeuge bis 2025 u.a. an die Lebensmittelhändler Coop und Migros in die Schweiz liefern. Die Spezifikationen des einzigen serienreifen H<sub>2</sub>-LKW, des Hyundai XCIENT Fuel Cell, sind in Tabelle 19 aufgeführt.

Da der Hyundai XCIENT Fuel Cell bislang der einzige serienreife LKW ist, der in der Schweiz bereits über mehrere Tausend Kilometer in der Praxis getestet wurde, dient









dieser für den Vergleich der Gesamtbetriebskosten mit einem konventionellen 18 t LKW mit Anhänger. Die weiteren Annahmen für die folgende TCO-Berechnung sind in Tabelle 20 aufgeführt. Emissionsfreie LKW wie BZ-LKW sind dabei von der LKW-Maut befreit. Für den entsprechenden Diesel-LKW werden die Mautkosten für ein Fahrzeug inklusive Anhänger mit Euro 6 Norm angenommen.

Tabelle 19: Spezifikationen des Hyundai XCIENT Fuel Cell

Fahrzeug	Hyundai XCIENT Fuel Cell	
Antriebsleistung	350 kW	
Brennstoffzelle	190 kW	
Batterie	73,2 kWh	
zGG	19 t als Kastenwagen, 36 t als Anhängerzug	
Verbrauch	8 kg H₂/100 km mit Anhänger	
Tank	32 kg H <sub>2</sub>	
Reichweite	400 km	
max. Nutzlast	vergleichbar mit Nutzlast konventioneller LKW	
Betankung	350 bar, Tankzeit ca. 8 - 20 min	
Wartungskosten	0,10 - 0,15 EUR/km	

Tabelle 20: Annahmen für die TCO-Berechnungen für LKW

18 t LKW mit Anhänger	Diesel	Brennstoffzelle
Preis ohne Anhänger	75.000 EUR	450.000 EUR
Förderquote	-	80% der Mehrinvestitions- kosten
Kraftstoffverbrauch	29 Liter / 100 km	8 kg H <sub>2</sub> / 100 km
Kraftstoffkosten	1,25 EUR / Liter	5-8 EUR / kg H <sub>2</sub>
Wartungskosten	0,15 EUR / km	
Maut	18,3 ct / km	0 ct / km
Jahresfahrleistung	60.000 km	
Lebensdauer	10 Jahre	

Die Ergebnisse der TCO-Berechnungen in Abbildung 27 machen deutlich, dass Brennstoffzellen-LKW bei Preisen von 5 EUR/kg H<sub>2</sub> und einer entsprechenden Förderung bereits heute günstiger sein können. Dies liegt u.a. an der Mautbefreiung emissionfreier LKW wie dem Hyundai XCIENT Fuel Cell. Bei höheren Dieselpreisen von 1,50 EUR/Liter (orange) wird die Nutzung von Wasserstoff in diesem Fall noch









wirtschaftlicher. Zu beachten ist hier jedoch, dass in der Regel im Verteilverkehr nicht die gesamten Strecken auf mautpflichtigen Straßen zurückgelegt werden, wie bei den Berechnungen in Abbildung 27 vereinfacht angenommen.

Die Studie "Fuel Cells Hydrogen Trucks" von Roland Berger aus dem Jahr 2020 sieht eine Wettbewerbsfähigkeit von brennstoffzellen-elektrischen LKW (ohne Fördermittel) im Vergleich zu konventionellen LKW ab dem Jahr 2027, sofern die Produktion hochskaliert wird und Wasserstoff unter 6 EUR/kg an Tankstellen angeboten werden kann.

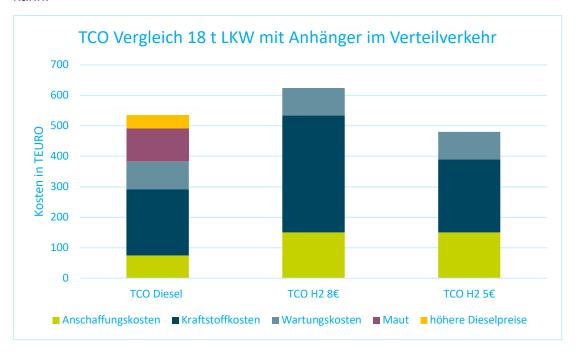


Abbildung 27: TCO-Vergleich von brennstoffzellen-elektrischen und konventionellem LKW mit 18 t zGG und Anhänger

Durch die Umstellung eines oben genannten LKWs mit einer Jahresfahrleistung von 60.000 km und der Nutzung von CO<sub>2</sub>-neutralem Wasserstoff können pro Jahr etwa 45 t direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen im Landkreis eingespart werden. Durch die gemeinsame Erstellung eines Fragebogens mit der Logistikagentur Oberfranken und deren Beantwortung durch einige ihrer Mitglieder, konnten bereits erste Unternehmen und Fahrzeuge identifiziert werden, die in das Profil der bisher verfügbaren H<sub>2</sub>-LKW passen. Zudem besteht ein enger Austausch mit zwei Umrüstern, die H<sub>2</sub>-LKW bauen wollen, die den Anforderungen einiger lokaler Logistiker entsprechen.

## 5.5. PKW und leichte Nutzfahrzeuge (LCV)

Bislang existieren mit dem Toyota Mirai und dem Hyundai Nexo zwei PKW-Modelle asiatischer Hersteller mit Brennstoffzelle auf dem europäischen Markt. Im Bereich der leichten Nutzfahrzeuge insbesondere in der Sprinter-Klasse gibt bislang noch keine Fahrzeuge auf dem Markt.

In den letzten Monaten (Stand 2021) gab es jedoch einige Ankündigungen teils namhafter Hersteller in den kommenden Monaten leichte Nutzfahrzeuge (engl.: Light









Commercial Vehicle – LCV) mit Brennstoffzellenantrieb kommerziell auf den Markt zu bringen. So hat beispielsweise Renault ein Joint Venture namens Hyvia mit dem US-amerikanischen Brennstoffzellenhersteller Plug Power angekündigt und will bis Ende 2021 entsprechende Pilotflotten auf den Markt bringen. Diese Fahrzeuge sollen auf den Fahrzeugplattformen des Renault Kangoo, des Renault Trafic und des Renault Master basieren. Der Opel-Mutterkonzern Stellantis (Opel, Citroen, Peugeot) will mit den Modellen Opel Vivaro, Citroen e-Jumpy und Peugeot e-Expert Hydrogen Kleinbusse als Plug-In Hybride mit Brennstoffzellen zeitnah auf den Markt bringen. Ebenfalls in der Entwicklung von Brennstoffzellen-Sprintern aktiv ist die Aachener Firma AE Driven Solutions GmbH zusammen mit dem Augsburger Unternehmen Quantron. Beide rüsten gemeinsam IVECO Dailys zu Brennstoffzellen-Sprintern mit unterschiedlichen Aufbauten um und wollen diese ab Ende 2021 / Anfang 2022 auf den Markt bringen. Je nach Kundenanforderung sind Aufbauten wie z.B. ein Trockenfracht-Koffer, ein Kühlkoffer oder eine Pritsche/Heckkipper möglich.

Bei Renault dienen vor allem der Renault Kangoo, der Renault Trafic und der Renault Master als Basis zukünftiger Brennstoffzellenfahrzeuge. Renault verwendet hierbei Brennstoffzellensysteme als Range-Extender, d.h. die Fahrzeuge können sowohl an einer Ladesäule elektrisch geladen werden als auch als Verlängerung der Reichweite mit Wasserstoff betankt werden. Bei den Modellen auf Basis des Renault Masters (Sprinter-Klasse) wird eine 30 kW Brennstoffe zusammen mit einer 33 kWh Batterie verwendet, die je nach Version 3-7 kg Wasserstoff tanken können. Geplant sind im Einzelnen ein Master Kastenwagen für den gewerblichen Gütertransport mit 500 km Reichweite und einem Ladevolumen von zwölf Kubikmetern, ein Master Plattformfahrgestell mit 19 Kubikmeter Ladekapazität und einer Reichweite von 250 Kilometern sowie ein Master Combi für den Transport von bis zu 15 Personen mit einer Reichweite von rund 300 Kilometern. In Tabelle 21 sind beispielhaft die Kennzahlen einiger (künftig) verfügbarer PKW und leichter Nutzfahrzeuge aufgeführt.

Tabelle 21: Kennzahlen unterschiedlicher PKW und LCV mit Brennstoffzelle; \*Betankung mit 350 bar etwa zur Hälfte des Tankfassungsvermögens ist möglich

Typ (Hersteller)	PKW (Mirai 2)	Kleinbus (Opel)	Sprinter (AEDS)
Antriebsleistung	134 kW	100 kW	120 kW
Brennstoffzelle	128 kW	45 kW	15-30 kW
Batterie	2 kWh	10,5 kWh	29 kWh
Tankinhalt	5,6 kg	4,4 kg	4,2 – 8,4 kg
Verbrauch	< 1 kg H <sub>2</sub> /100 km	1,1 kg H <sub>2</sub> /100 km	< 2 kg H <sub>2</sub> /100 km
durchschnittliche Reichweite	650 km	400 km	300-500 km









Betankungsanfor- derungen		700 bar*	
Kosten (netto)	65.000 EUR	n/a	ca. 100.000 EUR

Im Landkreis Wunsiedel im Fichtelgebirge scheint vor allem die Nutzung von leichten Nutzfahrzeugen von lokalen Handwerksbetrieben, zur Paketauslieferung, sowie bei kommunalen Unternehmen wie der SWW denkbar. Die Nutzung von brennstoffzellenelektrischen PKW kann vor allem für das Landratsamt, sowie ebenfalls für die kommunalen Betriebe, die Polizei, der Feuerwehr oder beim Car-Sharing interessant sein. Diese würden im Landkreis die Rolle als First Mover einnehmen und könnten die Zuverlässigkeit und Sicherheit dieser Fahrzeuge in der Praxis demonstrieren und für andere Unternehmen und Privatleute interessant machen.

Brennstoffzellen-elektrische Fahrzeuge gelten steuerlich als Elektrofahrzeuge mit all ihren steuerlichen Vorteilen. Nach § 3d KraftStG sind diese u.a. für einen befristeten Zeitraum von der Kraftfahrzeugsteuer befreit. Die Steuerbefreiung beträgt bis zu 10 Jahre bei Erstzulassung zwischen dem 18. Mai 2011 und dem 31. Dezember 2025 (§ 3d Abs. 1 KraftStG). Sie wird längstens bis zum 31. Dezember 2030 gewährt. Daran anschließend ermäßigt sich die zu zahlende Kraftfahrzeugsteuer um 50 Prozent (§ 9 Abs. 2 KraftStG).

Durch die Umstellung eines Sprinters mit einer Jahresdieselfahrleistung von 50.000 km und Nutzung von CO<sub>2</sub>-neutralem Wasserstoff können pro Jahr etwa 15 t direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden werden.

## 5.6. Züge

Ein wichtiger Bestandteil des HyExperts-Antrags des Landkreises Wunsiedel i. Fichtelgebirge bestand aus dem Ziel, bis 2025 auf der Streckenverbindung Hof-Selb-Aš einen mit Wasserstoff betriebenen Zug einzusetzen. Auch der grenzüberschreitende Charakter der Verbindung hätte die Strecke extrem attraktiv für ein solches Modell-projekt gemacht.

Mit dem Coradia iLint von Alstom steht zudem ein Regionalzug mit Brennstoffzellenantrieb (HEMU) zur Verfügung, der bereits seit 2018 zwischen Cuxhaven, Bremervörde und Buxtehude im Netz der Elbe-Weser-Verkehrsbetriebe (EVB) erfolgreich im Einsatz ist. Mit Siemens und Stadler gibt es zwei weitere Hersteller, die perspektivisch Wasserstoffzüge (HEMU) produzieren werden. Die HEMU sind mit 350-bar-Tanks mit einem Fassungsvermögen von bis zu 260 kg H2 ausgestattet und haben Reichweiten von 600-1000 km. Der Wasserstoffverbrauch wird von Alstom mit 0,18 – 0,28 kg H2/km angegeben, während Dieseltriebwagen nach einer Studie des BMVI aus dem Jahr 2016 durchschnittlich 1,2 Liter Diesel pro Kilometer verbrauchen. Die anspruchsvolle Topographie mit den entsprechenden Steigungen (vgl. Abbildung 8) sollten ebenfalls mit dem Coradia iLint zu bewältigen sein. Dies gilt es jedoch mit dem Hersteller oder bei einer etwaigen Probefahrt zu prüfen.









Bereits zu Beginn des HyExpert-Projektes musste jedoch leider festgestellt werden, dass es aus mehreren Gründen momentan keinen Sinn macht, dieses Ziel weiter zu verfolgen. Die Bayrische Eisenbahngesellschaft (BEG), die den Zugverkehr in Bayern organisiert, hat dem Landratsamt zu Beginn des HyExpert-Prozesses zu verstehen gegeben, dass sie in absehbarer Zeit keine konkreten Umsetzungsmöglichkeiten für Wasserstoffzüge in der Region sieht (E-Mail vom 09.07.2020; Absage zur Einladung zum Auftaktworkshop). So seien die momentan verfügbaren Wasserstoffzüge nicht geeignet, die anspruchsvollen Strecken im oberfränkischen Raum (Neigetechnik, starke Steigungen und Gefälle) zu bewältigen.

Zudem hat die BEG im Laufe des Jahres 2020 bereits die Ausschreibungen für den Betrieb der Linien im östlichen Oberfranken abgeschlossen und auch vergeben. Demnach sollen die Verkehre bis zur Mitte der 2030er Jahre weiterhin mit teilweise auch gebrauchten Dieselfahrzeugen erbracht werden, was sich vor allem wirtschaftlich lohnt. Das Landratsamt wurde auf Nachfrage nochmals auf die Elektrifizierung der beiden Hauptstrecken sowie die Möglichkeit eines Akkubetriebs mit Ladeinseln auf den Nebenstrecken wie bspw. Hof-Selb-Aš verwiesen. Weitere Gesprächsangebote wie die Teilnahme am Workshop zum Thema ÖPNV (28.10.2020) wurden von der BEG ausgeschlagen.

Bis Mitte der 2030er Jahre wird es daher vermutlich leider keinen Wasserstoff-Zug auf der Strecke Hof-Selb-Aš geben. Aus diesen Gründen wurde von einer intensiveren Analyse des Projektes "Wasserstoffzug" im Rahmen der HyExpert-Machbarkeitsstudie verzichtet. Als ein Projekt für die mittelfristige Zukunft und durch seinen landkreis- und länderübergreifenden Ansatz sollte es jedoch nicht komplett aus den Augen verloren werden. Ggf. kann über die guten Beziehungen zu Siemens der Mireo H Plus in den nächsten Jahren auf der Strecke getestet werden und somit dazu beitragen, dass die Bedenken der BEG gegenüber Wasserstoffzügen minimiert werden.









# 6. Sektorkopplung & Synergien der Wasserstofferzeugung

Die Nutzung von Synergien und die Kopplung mit anderen Sektoren kann die Wirtschaftlichkeit einer Elektrolyseanlage zusätzlich erhöhen. Im Folgenden wird die Nutzung von Wasserstoff in der Industrie- und im Wärmesektor im Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge, sowie des Elektrolyseurs als netzdienliche Einheit in einem integrierten Smart Grid untersucht. Zudem wird die Nutzung der Abwärme und des anfallenden Sauerstoffs betrachtet und die geplanten Forschungsvorhaben beschrieben. Die schematische Kopplung der Sektoren am Energiepark ist in Abbildung 28 dargestellt.



Abbildung 28: Schematische Kopplung der Sektoren am Energiepark - Quelle: Siemens AG

### 6.1. Industrie

Die deutsche Industrie nutzt bereits heute jährlich etwa 1,7 Mio. t/a reinen Wasserstoff als Rohstoff bzw. als Medium für Prozesse. Die größten industriellen Bedarfsträger für Wasserstoff sind hierbei die Ammoniak-Produktion (Haber-Bosch-Verfahren) und die Petrochemie. Sollten weitere, heute noch erdgasbasierte Prozesse auf klimafreundliche Alternativen umgestellt werden, wird sich der Bedarf an Wasserstoff in der Industrie deutlich erhöhen.

Im Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge kommen für die industrielle Nutzung von Wasserstoff vor allem die Glas- und Keramikindustrie, aber auch die Textilverarbeitungsindustrie in Frage. In der Glas- und Keramikindustrie könnte Wasserstoff Erdgas als Brenngas ersetzen. Hierbei ist vor allem zu untersuchen, ob sich das Produkt aufgrund der Nutzung eines anderen Brenngases mit einer anderen chemischen Zusammensetzung verändert. Im Laufe des HyExpert-Projektes wurden von der Firma Lapp Insulators, einem Hersteller von keramischen Hochleistungsisolatoren unweit des Energieparks, erste Brennversuche im kleinen Maßstab gemeinsam mit einem Forschungsinstitut durchgeführt. Die Brennversuche verliefen erfolgreich und es konnte









bislang keine qualitative Beeinträchtigung der mit Wasserstoff gebrannten Keramiken festgestellt werden. Als nächster Schritt ist das Brennen eines größeren Testobjektes angedacht. Ein weiterer darauffolgender Schritt wäre die mögliche Umstellung von einem der sechs Hochöfen auf Wasserstoff. Ein einzelner Hochofen verbraucht im Jahr etwa 6-7 Mio. kWh oder 6-7 GWh Erdgas. Umgerechnet in Wasserstoff würde dies etwa 180-210 t Wasserstoff pro Jahr entsprechen. Auch wenn Lapp Insulators im Juli 2021 einen neuen Besitzer bekommen hat, sollen die Initiativen in Richtung Wasserstoff fortgeführt werden.

In der Textilverarbeitung könnte Wasserstoff für die Erzeugung von Prozesswärme im Naßbereich, d.h. in der Wäscherei und in der Färberei, als auch für Trocken- und Fixierprozesse genutzt werden. Aktuell wird die benötigte Prozesswärme in der Regel über Erdgaskessel bereitgestellt. Ein lokales Textilverarbeitungsunternehmen bspw. benötigt etwa 18 GWh Erdgas jährlich für seine Prozesse. Dies entspricht umgerechnet etwa einer Menge von 540 t Wasserstoff pro Jahr und damit ungefähr der Hälfte der angedachten Produktionsmenge in Wunsiedel pro Jahr. Eine Anlieferung mittels LKW kommt bei diesen Mengen nicht mehr in Frage (vgl. Abschnitt 4.2). Eine Lieferung mittels Pipeline oder die Erzeugung vor Ort wären in diesen Fall die besten Optionen. Um für die Prozesse aus diesem Beispiel aus der Textilindustrie CO<sub>2</sub>-neutralen Wasserstoff zur Verfügung zu stellen, bräuchte es rein rechnerisch zusätzliche PV-Anlagen von knapp 30 MW<sub>p</sub> bei 1000 Vollbetriebsstunden.

Abgesehen von den riesigen benötigten Mengen und den dafür erforderlichen Ausbau der Erneuerbaren, ist das größte Hindernis bei der Nutzung von Wasserstoff in der Industrie jedoch der Preis. Gemäß den Wirtschaftlichkeitsberechnungen aus Abschnitt 3.6 könnte man den Wasserstoff für etwa 4 EUR/kg herstellen, was etwa 12 ct/kWh entsprechen würde. Abgesehen von den deutlichen Preisanstiegen im Herbst 2021, als der Preis für Erdgas am 6. Oktober 2021 am Spotmarkt der EEX eben jene 12 ct/kWh oder 120 EUR/MWh nahezu erreicht hat, lag der Erdgaspreis für Industriekunden in den vergangenen Jahren bei 2,5-3 ct/kWh. Auch wenn davon ausgegangen werden kann, dass sich der Preis für Erdgas u.a. aufgrund der CO<sub>2</sub>-Bepreisung verteuern wird, entspricht ein Preis von 4 EUR/kg H<sub>2</sub> einem um den Faktor vier höheren Preis für Wasserstoff im Vergleich zu den Erdgaspreisen der letzten Jahre.

Um das große Absatzpotential von Wasserstoff in der Industrie realisieren zu können, sind vermutlich Förderungen wie die in der nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung vereinbarten Carbon Contracts for Difference (CCfD) notwendig. Bei diesem Förderinstrument würde der Bund die Differenzkosten für die Nutzung von grünem Wasserstoff in der Industrie im Vergleich zu konventionellen Verfahren zahlen. Bislang wurden die CCfD allerdings noch nicht angewendet. Es ist geplant die CCfD in einem Wettbewerbsverfahren zu vergeben, wobei vermutlich diejenigen Projekte gefördert werden, die die geringsten Differenzkosten, d.h. den geringsten Preis für grünen Wasserstoff zahlen. Alternativ wäre das Etablieren eines Labels für CO2neutral hergestelltes "grünes Glas", "grünen Stahl" oder "grüne Keramik" denkbar, ähnlich dem Fairtrade-Logo, wofür Endkunden bereit wären einen höheren Preis zu









zahlen. Dies ist vermutlich jedoch nur bei Produkten möglich, die direkt vom Endverbraucher genutzt werden, wie z.B. Fenstergläser oder Automobile.

Konkret sollten mit den entsprechenden Unternehmen im Landkreis die Gespräche zur Nutzung von Wasserstoff fortgesetzt werden und der Einsatz von Wasserstoff, wie bereits bei Lapp Insulators geschehen, sukzessive vorbereitet werden.

## 6.2. Wärme & Abwärme

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie Wärmenetz 4.0 wird bereits die Möglichkeit der Abwärmenutzung des Elektrolyseurs am Energiepark erörtert. Die im Elektrolyseprozess anfallende Wärme wird standardmäßig mittels eines geschlossenen Kühlwassersystems über vier Rückkühler abgeführt. In der ersten Ausbaustufe wird der Silyzer eine Elektrolyseleistung von 8,75 MW<sub>el</sub> erbringen. Dabei wird mehr als 1,4 MW<sub>th</sub> thermische Abwärme-Leistung ganzjährig mit ca. 55 °C anfallen. Die im Jahresverlauf anfallende Wärmemenge von etwa 7000-8000 GWh bei 5000 Volllaststunden stellt mit gut 20 % einen signifikanten Anteil am Wärmenetz 4.0 dar.

Im Rahmen von WN 4.0 wurde zunächst geprüft, ob eine direkte Einbindung dieser Abwärme über einen Wasser-/Wasser-Wärmetauscher ins Wärmenetzsystem 4.0 in den Netzrücklauf (60°C) oder in den Netzvorlauf (80°C) möglich ist. Nach Betrachtung des zur Verfügung stehenden Potentials und der vorhandenen Temperaturniveaus ist eine direkte Einbindung weder in den Vorlauf noch in den Rücklauf des Wärmenetzes effizient. Durch die abzugreifenden Temperaturen würde das Wärmenetzsystem ausgekühlt bzw. der Elektrolyseur erwärmt statt gekühlt. Die Einbindung ist daher nur über eine Wasser-/Wasser-Wärmepumpe möglich. Aus den folgenden technischen Kenndaten wurde ein Massenstrom von 41,04 kg/s ermittelt.

- Medium auf der Sekundärseite: Kühlwasser
- Dichte von Wasser bei 55°C: 985 kg/m³
- Vorhandener Volumenstrom: 90 240 m³/h, daraus resultierend 150 m³/h (Mittelwert)
- Vollbenutzungsstunden der Anlage: 8.000 Stunden im Jahr

Der berechnete Massenstrom kann für die Auslegung der Wärmepumpe und der zu erwarteten Arbeit als Parameter eingesetzt werden. Mit der vorgenommenen technischen Konzeptionierung kann das vorhandene Temperaturniveau des Vorlaufs von 55 °C auf 80 °C angehoben werden. Gleichzeitig wird das Temperaturniveau im Rücklauf zum Silyzer auf ca. 40 °C abgesenkt und damit die vorgegebene Temperaturdifferenz von 15 Kelvin eingehalten. Um das unterschiedliche Lastverhalten zwischen der fluktuierenden Wärmequelle (prozessorientiert) und dem Abruf aus dem Wärmenetz (wärmekunden- und wärmebedarfsorientiert) zu puffern, schlägt die Machbarkeitsstudie WN 4.0 die Verwendung eines Pufferspeichers vor, der zusätzlich als hydraulische Weiche zwischen den Systemen dient. Als notwendiges Speichervolumen wurden 20 m³ als Wärmepufferspeicher der Elektrolyseanlage ermittelt.









Entgegen der Studie und aufgrund des Baubeginns der Elektrolyseanlage wird die Abwärmenutzung des Elektrolyseurs bereits derzeit realisiert. Die Wärme soll nun direkt an die Klärschlammtrockung geliefert werden, wo die Abwärme dazu dient die Luft der Klärschlammtrocknung vorzuwärmen, wodurch der Trocknungsprozess optimiert werden kann.

Zudem können wie bereits in Abschnitt 2.2 erwähnt, die BHKWs der WUNBio mit 1,2 MW<sub>el</sub>, die drei BHKWs der WUNPellet mit jeweils 4,5 MW<sub>el</sub> und der Heizkessel mit 5 MW<sub>th</sub> der Gelo Timber zeitnah auf Wasserstoff umgestellt werden. Die drei großen BHKWs der WUNPellet sowie der Heizkessel sind bereits "H<sub>2</sub>Ready" und können sowohl anteilig als auch zu 100 % Wasserstoff nutzen. Das kleinere BHKW der WUNBio soll ebenfalls zeitnah auf ein wasserstofffähiges BHKW umgestellt werden. Mit den BHKWs könnte Wasserstoff dann sowohl in Strom als auch Wärme umgewandelt werden. Hier ist als Investitionsentscheidung die Wirtschaftlichkeit der H<sub>2</sub>-BHKWs in einem sektorübergreifenden System zu betrachten und nicht nur die sektorspezifische Investitionsentscheidung zur Wärmeerzeugung zu sehen. Die lokale Produktion von CO<sub>2</sub>-neutralem Wasserstoff und dessen Nutzung insbesondere zur Rückverstromung spielt eine entscheidende Rolle für die Stabilisierung des gesamten Energiesystems.

#### 6.3. Zukunftskraftwerk

Mit dem Zukunftskraftwerk hat die SWW Wunsiedel gemeinsam mit Partnern ein Konzept entwickelt, welches auf der Nutzung von Erneuerbaren und nachwachsenden Rohstoffen basiert und die Netzdienlichkeit und -optimierung in den Fokus stellt. Hierfür werden alle Sektoren über alle Ebenen miteinander gekoppelt, so dass fluktuierende Erzeuger wie PV oder Wind steuerbar und netzdienlich werden. Das Konzept des Zukunftskraftwerks, welches in Abbildung 29 schematisch dargestellt ist, besteht aus vier miteinander verzahnten und gekoppelten Ebenen.

Auf der ersten Ebene, der Gebäudeebene, fungieren Gebäude als steuerbare Kleinstkraftwerke, die sowohl Strom als auch Wärme aufnehmen und abgeben können. Jedes Gebäude des Zukunftkraftwerks ist dabei mit jeweils einer Brennstoffzelle, einem Batteriespeicher, einer PV-Anlage, einem Wärmespeicher und einer Wärmepumpe ausgerüstet.

Alle Gebäude sind dabei sowohl digital als auch über das Strom- und das Gasnetz miteinander vernetzt. Überschussstrom aus den PV-Anlagen wird zum Teil lokal in der Batterie gespeichert oder auf die nächsthöhere Ebene, die Industrieebene, weitergegeben und mittels Elektrolyse in Wasserstoff umgewandelt. Wird in einer Phase wenig Strom aus Erneuerbaren (Wind, PV) erzeugt, werden über die Kopplung mit dem Gasnetz mittels Brennstoffzelle Strom und Wärme für das Gebäude erzeugt. Der Eigenverbrauch und das Einspeisemanagement wird wirtschaftlich optimiert und über eine Online-Plattform einfach abgewickelt. Das Gasnetz und die Brennstoffzellen sollen hierbei zunächst mit Erdgas betrieben werden. Perspektivisch ist ein Betrieb mit Wasserstoff und eine entsprechende Umrüstung der Gasleitungen geplant.









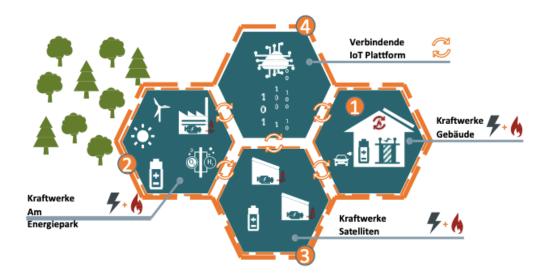


Abbildung 29: Konzept des Zukunftskraftwerks als Baukastensystem der CO<sub>2</sub>-neutralen Energiezukunft und als Teil des "WUNsiedler Weges – Energie" – Quelle: SWW Wunsiedel GmbH

Auf der Industrieebene mit seiner höheren Spannungsebene sind BHKWs, Großbatteriespeicher, WEAs, größere PV-Anlagen und Industriewärmepumpen, sowie ein oder mehrere Elektrolyseure angeschlossen. Die einzelnen Elemente dieser Ebenen sind digital sowie über das Wärme-, Strom- und Gasnetz miteinander verknüpft. Wasserstoff, Pellets und Wärme dienen auf dieser Ebene als Speicher- und Vernetzungsmedien zwischen den Sektoren. Die Elektrolyse wird als zusätzliche Last bei zu viel Energie im Netz netzdienlich gesteuert und produziert Wasserstoff. Dieser wird u.a. für die Rückverstromung über BHKWs aber ggf. auch über die Brennstoffzellen in den Gebäuden der ersten Ebene bei zu wenig Energie im Netz genutzt. Jegliche Wärme wird in das Wärmenetz eingespeist und optimiert verbraucht oder in einem Wärmespeicher gespeichert.

Die Pellets dienen u.a. zur Verknüpfung mit der dritten Ebene, d.h. den Satelliten-Kraftwerken wie z.B. in Schönbrunn. Diese Energiezentralen versorgen über die Vergasung von Pellets zu Holzgas und dessen anschließender Nutzung in BHKWs Gebäude ohne Gasnetzanschluss mit Strom und Wärme über Nahwärmenetze und das Stromnetz. Die Energiezentralen besitzen hierbei in der Regel BHKWs, Wärmespeicher, PV-Anlagen und Batteriespeicher.

Die vierte übergeordnete Ebene des Zukunftkraftwerks bildet eine digitale verbindende IoT Plattform, in der alle Daten zusammenlaufen und die die einzelnen Elemente und Ebenen miteinander vernetzt. Strom, Wärme und Industrie werden miteinander gekoppelt und im Sinne einer Netzstabilisierung aufeinander abgestimmt um 100 % regenerative Energien für die Energiezukunft zu ermöglichen. Hierfür sind Speicher in Form von Wärmespeichern oder Batterien eine notwendige Bedingung, aber auch die Umwandlung von elektrischer Energie in Wasserstoff mittels Elektrolyse.









Stadtwerke wie die SWW Wunsiedel können durch das Konzept der Zukunftskraftwerke eine eigene unabhängige Infrastruktur aus Erzeugern und Speichern in ihrem Netzgebiet schaffen. Diese kann in Zukunft auch zur Sicherung der Netzstabilität eingesetzt werden und wird sich voraussichtlich zu einem entscheidenden Vorteil in künftigen Märkten entwickeln. Durch das Zukunftskraftwerk kann der Netzausbau auf allen Ebenen optimiert werden. Durch die lokalen Energie- und Wirtschaftskreisläufe soll das Zukunftskraftwerk die nötige Akzeptanz für Erneuerbare schaffen und eine hohe regionale Wertschöpfung gewährleisten. Elektromobilität auch auf Basis von Wasserstoff soll günstig ermöglicht werden.

Es ist geplant ab 2022 erste Gebäude in das Zukunftskraftwerk zu integrieren. Für die Kunden bedeutet das Zukunftskraftwerk Versorgungssicherheit und stabile Energiepreise bei einer hohen regionalen Wertschöpfung und einem sehr hohen Anteil an Erneuerbaren.

## 6.4. Nutzung des Sauerstoffs

Es ist beabsichtigt den bei der Elektrolyse am Energiepark anfallenden Sauerstoff ebenfalls zu verwerten. Pro Kilogramm Wasserstoff entstehen dabei etwa acht Kilogramm Sauerstoff. Bei 5000 Volllaststunden der 8,75 MW<sub>el</sub> Anlage und einer Produktionsmenge von 850 t Wasserstoff im Jahr, würden entsprechend 6.800 t Sauerstoff erzeugt werden. Dieser Sauerstoff könnte sowohl für die Belebtschlammbecken der nahegelegenen Kläranlage (<1 km) oder für die Hochöfen mit Sauerstoffdirektzufuhr des nahegelegenen Glasfabrikanten (ca. 1 km) eingesetzt werden. Aktuell wird für die Sauerstoffzufuhr der Hochöfen ein Luftzerteiler genutzt. Der Sauerstoff der Elektrolyseanlage hätte den Vorteil, dass er bereits sehr rein wäre und lediglich getrocknet werden müsste.

Bei Nutzung des anfallenden Sauerstoffs im Belebtschlammbecken der Kläranlage Wunsiedel, wird der Klärschlammrücklauf mit Sauerstoff übersättigt, wodurch u.a. schädliche Komponenten im Klärschlamm schneller und besser von Bakterien abgebaut werden können. Die Nutzung von Sauerstoff in Belebtschlammbecken wird im Rahmen Reallabors Energiezukunft Wunsiedel vom Zentrum für Energietechnik (ZET) von der Universität Bayreuth wissenschaftlich begleitet.

Entscheidend für die mögliche Nutzung des Sauerstoffs sowohl in der Kläranlage als auch in der Glasindustrie ist die Entkopplung von Angebot und Nachfrage, so dass aktuell über den Bau eines (Flüssig-) Sauerstoffspeichers nachgedacht wird. Die bei der Verdichtung anfallende Abwärme könnte wiederum für das Wärmenetz 4.0 genutzt werden.

### 6.5. Forschung

Wie bereits im Abschnitt 6.4 erwähnt, wird das ZET der Universität Bayreuth im Rahmen des ZET-Reallabors Energiezukunft Wunsiedel den Bau und Betrieb der Elektrolyseanlage am Energiepark wissenschaftlich begleiten. Hierfür werden mindestens vier Doktoranden beschäftigt werden, die sich mit folgenden Forschungsfragen auseinandersetzen werden, die auch schematisch Abbildung 30 dargestellt sind:









- Bewertung und Optimierung des Energieparks Wunsiedel: Hierbei soll der Energiepark inklusive der Elektrolyseanlage und der Batteriespeicher als gesamtes System modelliert und analysiert werden. Synergien und Optimierungsmaßnahmen durch Kopplung mit weiteren Anlagenkomponenten, sowie die Einbindung des Energieparks mit seinen Anlagen in ein übergeordnetes Gesamtsystem sollen untersucht werden.
- Integration von Power-to-X-Anlagen in den Energiepark: Es sollen Simulationsmodelle zur Methanisierung, zur Fischer-tropsch-Synthese und Power-to-LPG (LPG: Liquid Petroleum Gas) erstellt werden. Im Labormaßstab soll eine Power-to-LPG-Versuchsanlage aufgebaut werden und Katalysatoren und Reaktionskinetiken untersucht werden, die perspektivisch ebenfalls am Energiepark integriert werden könnte.
- Einsatz von Sauerstoff in der Abwassertechnik: Der Einsatz von Sauerstoff im Belebtschlammbecken von Kläranlagen soll untersucht werden. Hierfür soll zunächst im Labormaßstab unter unterschiedlichen Parametern wie Dauer und Sättigung der Einfluss von Sauerstoff analysiert werden. Anschließend soll der Einsatz von Sauerstoff in der Praxis an der Kläranlage Wunsiedel überprüft werden.
- Kopplung Elektrolyseur mit Batteriespeicher: Es soll ein Energieflussmodell der kurz-, mittel- und langfristigen Energiespeicher entwickelt werden. Die Zeitreihen der Nutzungs- und Betriebszeiten sollen analysiert und aufbereitet werden, um optimale Betriebsführungsstrategien für die Kombination aus Elektrolyseur und Batteriespeicher für die denzentrale Energieversorgung zu entwickeln.

Die Forschungsfragen können dabei jederzeit erweitert werden, bspw. auf Fragestellung aus dem Mobilitätssektor, sobald erste Fahrzeuge mit Wasserstoff am Energiepark betankt werden und im Landkreis unterwegs sind. Die aktuellen Forschungsfragen rund um den Energiepark sind schematisch in Abbildung 30 dargestellt.

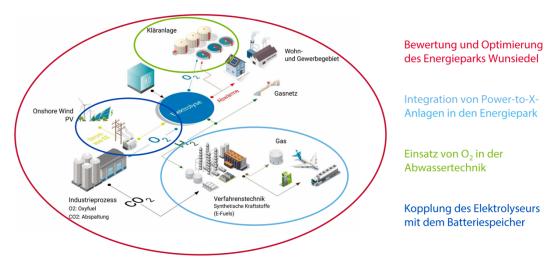


Abbildung 30: Schematische Darstellung der Forschungsfragen im Rahmen des ZET Reallabors Energiezukunft Wunsiedel – Quelle: ZET / Universität Bayreuth









# 7. Fazit und weiteres Vorgehen

## 7.1. Ergebnisse der HyExpert Prozesse

Durch die Initiative der WUN H<sub>2</sub> GmbH mit seinen Gesellschaftern Siemens AG, Rießner Gase GmbH und der SWW Wunsiedel GmbH hatte das HyExpert-Projekt des Landkreies Wunsiedel i. Fichtelgebirge eine ganz eigene Dynamik. Während die WUN H<sub>2</sub> fast zeitgleich mit dem HyExpert-Projektbeginn im Herbst 2020 gegründet wurde und den Bau der Elektrolyseanlage am Energiepark vorantreiben konnte, hat das HyExpert-Projekt daran angedockt. Im regen Austausch mit der WUN H<sub>2</sub> wurden diverse Infoveranstaltungen mit lokalen Akteuren organisiert, um Anwendungen von Wasserstoff in der Region zu erörtern und lokale Akteure für das Thema Wasserstoff zu begeistern. Dabei hat sich HyExpert in Wunsiedel vor allem als Aufklärer, Experte und Netzwerker verstanden, um die entsprechenden Akteure mit Interesse am Thema Wasserstoff aufzuklären und zusammenzubringen. Hierdurch konnten diverse Absichtserklärungen mit Herstellern vereinbart werden, um möglichst zeitnah erste Wasserstofffahrzeuge auf Wunsiedels Straßen zu bringen.

Durch die Aufklärung und Expertise, die durch HyExpert den lokalen Akteuren zu Teil wurden, konnten Interessen gebündelt und Ängste bei der Nutzung von Wasserstoff genommen werden. Durch das parallele Arbeiten der WUN H<sub>2</sub> und des HyExpert-Projektes konnte ein Momentum kreiert werden, was letztlich in dem Besuch von drei Kabinettsmitgliedern der bayrischen Landesregierung zum feierlichen Spatenstich der Elektrolyseanlage am 9. Juli 2021 mündete. Einige Wochen zuvor wurde am 14. Juni 2021 mit der H2.Fichtelgebirge eine Interessensgemeinschaft lokaler Unternehmer\*innen in einer hybriden Veranstaltung gegründet. Die Anzahl der beteiligten Unternehmen konnte in den folgenden Wochen schnell auf aktuell etwa 40 Unternehmen und Institutionen erweitert werden. Alle diese Unternehmen und Institutionen bekunden Ihr starkes Interesse an der Entwicklung der Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge.

Neben den Ergebnissen und Informationen der Machbarkeitsstudie, die nun allen Akteuren der Region zur Verfügung stehen, wurden zusätzlich Folgendes erreicht:

- Vernetzung der lokalen Akteure mit Herstellern von BZ-LKW und Bussen, sowie die Unterzeichnung von entsprechenden LOIs zum Testen erster Fahrzeuge in Wunsiedel
- Erweiterung des Absatzmarktes für grünen Wasserstoff aus Wunsiedel. Die Unterzeichnung konkreter Abnahmevereinbarungen wird aktuell vorbereitet.
- Unterzeichnung mehrerer LOIs von lokalen Unternehmen und Unternehmer\*innen zur Nutzung von insgesamt 10-15 PKW und 25-30 leichten Nutzfahrzeugen, sowie ersten H<sub>2</sub>-LKW
- Bestärkung der Edeka zur Nutzung von Wasserstoff für die Intralogistik und die Verteillogistik im neuen Logistikzentrum in Marktredwitz, sowie die Zusammenarbeit mit einem Hersteller von BZ-LKW für die konkreten Anforderungen der EDEKA an BZ-Fahrzeugen









- Begleitung der Antragstellung für die 350-bar-Tankstelle am Energiepark, so dass voraussichtlich ab Ende 2022 erste Wasserstofffahrzeuge in Wunsiedel betankt werden können
- Anstoßen von Kooperationsprozessen und der Entwicklung von Brennstoffzellen-LKW mit Nebenverbrauchern u.a. zur Pelletauslieferung
- Direkte und indirekte Publikation diverser Zeitungsartikel über die Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge und die Nutzung von Wasserstoff
- Präsentation des Landkreises Wunsiedel i. Fichtelgebirge auf der IAA Mobility in München im September 2021 auf Einladung des bayrischen Wirtschaftsministeriums
- Kontaktaufbau zu möglichen tschechischen Wasserstoffregionen und Anwendungen

Aus den unterschiedlichen Gesprächen und den vorliegenden Absichtserklärungen resultieren die in Abbildung 31 dargestellten Hochlaufszenarien für die Nutzung von Wasserstoff in der Mobilität. Es wird hierbei davon ausgegangen, dass erste H<sub>2</sub>-LKW ab etwa 2024 in größerer Stückzahl auf dem Markt verfügbar sein werden. Die ersten H<sub>2</sub>-Fahrzeuge im Landkreis werden vermutlich Abfallsammelfahrzeuge, sowie einige wenige Busse, PKW und leichte Nutzfahrzeuge sein.

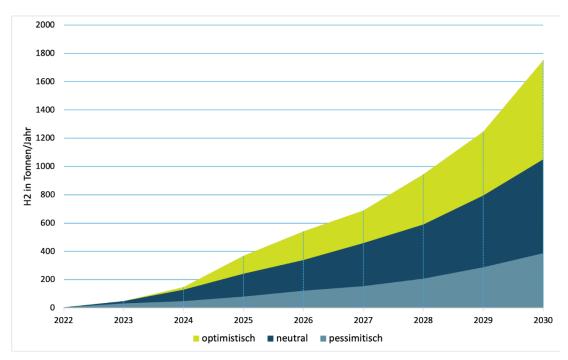


Abbildung 31: Hochlaufszenario für die Nutzung von Wasserstoff in der Mobilität im Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge

#### 7.2. HyPerformer - Ausblick

Der Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge strebt die Bewerbung als HyPerformer-Region in der nächsten Ausschreibungsrunde im Rahmen der HyLand-Regionenförderung des BMVI an. Nach Rücksprache mit der NOW GmbH wird mit einer Ausschrei-









bung der neuen HyPerfomer-Regionen im ersten Halbjahr 2022 gerechnet. Nach Ansicht der Autoren der vorliegenden Studie hat die Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge insbesondere aufgrund der bevorstehenden geplanten Inbetriebnahme des Elektrolyseurs im Sommer 2022 beste Voraussetzungen als HyPerformer-Region ausgewählt zu werden. Wunsiedel wird bei Fertigstellung des Elektrolyseurs eine der Region mit den größten Produktionskapazitäten an CO2-neutralem bzw. grünem Wasserstoff in Deutschland sein. Bereits Ende 2022 können voraussichtlich erste Wasserstofffahrzeuge am Energiepark Wunsiedel mit grünem Wasserstoff betankt werden. Ein entsprechender Förderantrag beim bayrischen Wirtschaftsministerium für eine 350 bar Tankstelle wurde am 21. September 2021 genehmigt. Entsprechende Abnehmer stehen mit den Mitgliedern der Interessengemeinschaft H2.Fichtelgebirge bereit. Zudem haben bereits mehrere Unternehmen der Region LOIs für PKW, leichte Nutzfahrzeuge und LKW mit Wasserstoffantrieb unterzeichnet. Die möglichen Gesamtinvestitionen im Rahmen einer möglichen HyPerformer-Förderung sind in Tabelle 22 aufgeführt.

Tabelle 22: Mögliche Investitionen im Rahmen einer HyPerformer-Förderung des Landkreises

Was	Anzahl	Kosten	Gesamt	Förderquote*	Fördersumme
H2-Abfallsammler	4	700.000,00€	2.800.000,00€	80%	1.536.000,00 €
H2-Busse	3	600.000,00€	1.800.000,00€	80%	960.000,00 €
Lebensmittellogistik LKW 18-40 t	10	550.000,00€	5.500.000,00€	80%	3.600.000,00 €
Lebensmittellogistik Kommissionierer**	30	30.000,00€	900.000,00€	50%	450.000,00€
Lebensmittellogistik Gabelstapler**	10	40.000,00€	400.000,00€	50%	200.000,00 €
Betriebstankstelle Lkw + Flurförderzeuge	1	3.000.000,00€	3.000.000,00€	80%	2.400.000,00 €
H2-500 bar Trailer	3	700.000,00€	2.100.000,00€	80%	1.680.000,00€
H2-Tankstelle Thiersheim	1	2.000.000,00€	2.000.000,00€	80%	1.600.000,00€
H2 Sprinter/ LCV lokaler Unternehmer	15	100.000,00€	1.500.000,00€	80%	840.000,00€
Lkw Gaselogistik 40 t	2	550.000,00€	1.100.000,00€	80%	720.000,00 €
Lkw Logistik 40 t	2	550.000,00€	1.100.000,00€	80%	720.000,00 €
LKW Textilwerkslogistik 18-26 t	2	550.000,00€	1.100.000,00€	80%	720.000,00 €
Automobilzulieferer Werkslogistik 18-26 t	2	550.000,00€	1.100.000,00€	80%	720.000,00€
LKW Holzverarbeiter 40 t	2	550.000,00€	1.100.000,00€	80%	720.000,00 €
Pkw (allgemein)	10	65.000,00€	650.000,00€	50%	175.000,00 €
kommunale Sonderfahrzeuge	1	550.000,00€	550.000,00€	80%	384.000,00€
Erweiterung Elektrolyse	1	10.000.000,00€	10.000.000,00€	60%	6.000.000,00€
Wartungskonzept***	1	500.000,00€	500.000,00€	50%	250.000,00 €
Gabelstapler WunBio**	2	40.000,00€	80.000,00€	50%	40.000,00€
Feuerwehr Löschfahrzeug (?)	1				
Gesamt			37.280.000,00€		23.715.000,00€
*Förderquote entspricht bei den Fahrzeugen der Förderung der Mehrinvestitionskosten im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen					
**für Flurförderzeuge werden lediglich die Mehrkosten für Brennstoffzelle und H2 Ready Umbau aufgeführt  *** grobe Schätzung					

### 7.3. Maßnahmenkatalog

Die Herausforderung beim Aufbau einer lokalen Wasserstoffwirtschaft wie bspw. im Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge besteht gerade zu Beginn in dem Zusammenbringen von Angebot und Nachfrage. Selbst der beste Standort mit den besten Rahmenbedingungen für die Produktion von Wasserstoff ist nutzlos, wenn es vor Ort keine Abnehmer für den produzierten Wasserstoff gibt. Durch die Aktivitäten der WUN









H<sub>2</sub> GmbH und vor allem durch die Beteiligung der Firma Rießner Gase mit ihrem bestehenden Kundenstamm konnte dieser wichtige Aspekt zu einem gewissen Grad bereits gelöst werden. Wunsiedel ist damit anderen Wasserstoffregionen um einen deutlichen Schritt voraus und kann sich in Gestalt der WUN H<sub>2</sub> um weitere Abnehmer von Wasserstoff in der Mobilität und anderen Sektoren kümmern.

Im Folgenden werden konkrete Maßnahmen und Handlungsempfehlungen als Resultat der HyExpert-Machbarkeitsstudie präsentiert, die für eine erfolgreiche Entwicklung der Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge von großer Bedeutung sind:

- Es sollte alles dafür getan werden, dass mit der Errichtung der Elektrolyseanlage am Energiepark und der entsprechenden Wasserstofftankstelle auch erste H<sub>2</sub>-Fahrzeuge beschafft werden. Nur so kann die Erfolggeschichte der Wasserstoff-Modellregion mit einer hohen regionalen Wertschöpfung glaubhaft weitererzählt werden. Hierfür bieten sich vor allem kommunale Unternehmen oder Beteiligungen wie die KUFi oder die Stadtwerke an.
- Es sollten vor allem H<sub>2</sub>-Busse und -Abfallsammler als Testfahrzeuge in die Region geholt werden, um die konkreten Verbrauchsdaten und damit die Gesamtbetriebskosten für den Einsatz im Landkreis zu verifizieren. Für Abfallsammler kann hier auch ein Sensorfahrzeug von FAUN in die Region geholt werden, um die konkreten Anforderungen und Verbräuche für diese Fahrzeuge zu evaluieren.
- Es sollte ein lokales Servicenetz für Wasserstofffahrzeuge mit lokalen Werkstätten idealerweise gemeinsam mit lokalen Logistikern und ersten Anwendern von H<sub>2</sub>-Fahrzeugen aufgebaut werden. Gerade für Logistiker ist das Vorhandensein eines Servicenetzes von großer Bedeutung, um die Verfügbarkeit ihrer Fahrzeuge gewährleisten zu können.
- Die lokalen Akteure sollten weiterhin über die Entwicklungen zum Aufbau einer lokalen Wasserstoffwirtschaft informiert und beteiligt werden. Sie sollten regelmäßig über entsprechende Förderprogramme informiert und ggf. bei der Beantragung von Fördermitteln unterstützt werden. Hierfür bietet sich die Schaffung eines Ansprechpartners und Koordinators zum Thema Wasserstoff an, wie es während des HyExpert-Programms von der endura kommunal GmbH realisiert wurde.
- Synergien zum Smart City Projekt bspw. zum Aufbau einer Car-Sharing-Flotte mit Wasserstoff sollten genutzt werden, um H<sub>2</sub>-Fahrzeuge einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen.
- Die Tankstelle am Energiepark sollte um eine 700-bar-Druckstufe erweitert werden, um bspw. leichte Nutzfahrzeuge und Abfallsammelfahrzeuge voll betanken zu können.
- Schaffung einer Redundanz für die Betankung von Wasserstofffahrzeugen bspw. am Autohof Thiersheim durch eine mobile Tankstelle, die bei Bedarf in eine ortsfeste Tankstelle umgebaut werden kann.









- Die Umsetzung der LOIs sollte weiter begleitet werdet, so dass die vereinbarten Testfahrten von neuen und umgerüsteten Fahrzeugen tatsächlich in der Region stattfinden.
- Es sollte die Vernetzung mit den anderen HyLand-Regionen u.a. zum Erfahrungsaustausch und bzgl. einer (anfänglichen) Abnahme von Wasserstoff ausgebaut werden.
- Sobald die Nachfrage an Wasserstoff groß genug ist, sollten weitere Wasserstoffquellen wie z.B. aus Biogas oder Abfällen genauer evaluiert und ggf. umgesetzt werden.
- Die enge Kooperation mit Siemens sollte genutzt werden um perspektivisch doch noch einen Wasserstoffzug in die Region zu bringen. Die Strecke Hof-Selb-As scheint mit seinen Steigungen und der geringen Zugfrequenz für die Nutzung eines Wasserstoffzuges prädestiniert zu sein. Durch eine erfolgreiche Testfahrt auf der Strecke könnten die Vorbehalte und Ängste der verantwortlichen Akteure sicherlich reduziert werden.

Eine Roadmap für die Wasserstoffmobilität im Landkreis ist in Abbildung 32 dargestellt. Diese ist mit dem Hochlauf des Wasserstoffbedarfs in der Mobilität in Abbildung 31 abgestimmt. Eine zweite, vermutlich zunächst mobile Tankstelle ist speziell für die Bereitstellung von Redundanzen von großer Wichtigkeit. Zudem sollte darauf hingearbeitet werden, dass die 350-bar-Tankstelle am Energiepark um eine 700-bar-Druckstufe erweitert wird, da die ersten Fahrzeuge im Landkreis sehr wahrscheinlich Abfallsammelfahrzeuge, PKW und leichte Nutzfahrzeuge sein werden.

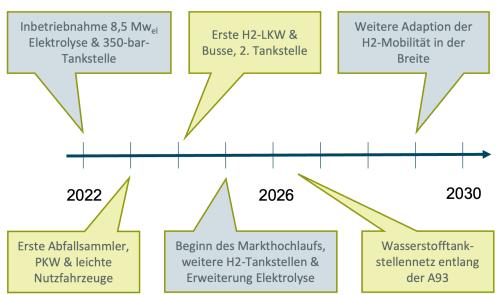


Abbildung 32: Wasserstoff-Roadmap "Mobilität" für die Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge









# 7.4. Akzeptanz- und Öffentlichkeitsarbeit

Für den Erfolg des Projektes war und ist die Einbindung der lokalen Akteure und der interessierten Öffentlichkeit von entscheidender Bedeutung. Sowohl der Zusammenschluss der WUN H<sub>2</sub>, als auch andere vielversprechende mögliche Kooperationen und LOIs, die im Laufe von HyExpert entstanden sind, basieren auf den Netzwerken, Initiativen und Kontakten lokaler Akteure. So hat die Firma Rießner Gase aus Lichtenfels, wie bereits mehrfach beschrieben, erst durch die Berichterstattung zu den beiden Wasserstoffstammtischen am 12.7.2019 und 13.9.2019 von den Wasserstoffaktivitäten im Landkreis erfahren. Auch der Kontakt zum Konsortium Next Mobility Accelerator ist durch einen engagierten Akteur aus dem Landkreis entstanden und kann sich noch als sehr wertvoll erweisen. Zudem sind im Laufe des HyExpert-Prozesses und der begleitenden Berichterstattung viele weitere Akteure und Interessierte auf den Landkreis und die endura kommunal GmbH als Ansprechpartner zugekommen.

Im Folgenden sind die im Rahmen des HyExpert-Projektes durchgeführten öffentlichen Veranstaltungen chronologisch aufgeführt:

- **September 2020:** HyExpert Kick-Off-Veranstaltung (Präsenz)
- Oktober 2020: Durchführung von zwei Arbeitsgruppen-Workshops zu den Themen Erzeugung & Infrastruktur, sowie zu ÖPNV & Logistik (1. Workshop in Präsenz, 2. Workshop digital)
- **Januar 2021:** Logistikworkshop gemeinsam mit der Logistikagentur Oberfranken (digital)
- **April 2021:** Infoveranstaltung für kleinere und mittlere Unternehmen zu Wasserstofffahrzeugen an zwei unterschiedlichen Terminen (digital)
- Juni 2021: Gründung der Interessengemeinschaft H2.Fichtelgebirge mit 30 lokalen und überregionalen Akteuren zur (Weiter-) Entwicklung der Wasserstoff-Modellregion Fichtegebirge (Hybride Veranstaltung)
- Juli 2021: feierlicher Spatenstich der Elektrolyseanlage am Energiepark
- September 2021: Präsentation der Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge auf der IAA Mobility in München auf Einladung des bayrischen Wirtschaftsministeriums (Präsenz)
- Oktober 2021: Vorstellung der Machbarkeiststudie HyExperts im Kreistag des Landkreises Wunsiedel i. Fichtelgebirge (Präsenz)
- Februar 2022: zweitägige Wunsiedeler Wasserstofftage mit "Markt der Möglichkeiten" und Podiumsdiskussion in der Fichtelgebirgshalle für Politik, lokale Unternehmen und die interessierte Öffentlichkeit (Präsenz, geplant)

Parallel zu den genannten Veranstaltungen haben regelmäßige bilaterale Gespräche mit den entsprechenden Akteuren stattgefunden. Hierbei wurden sowohl Kleinstunternehmen und Privatpersonen angesprochen als auch große Konzerne.

### **H2.Fichtelgebirge**

Am 14. Juni 2021 wurde die Interessengemeinschaft H2. Fichtelgebirge in einer hybriden Veranstaltung mit Grußworten vom Landrat Herrn Peter Berek und Wunsiedels









Bürgermeister Herrn Nicolas Lahovnik feierlich gegründet (siehe Abbildung 33). In der knapp einstündigen, hybriden Veranstaltung wurden auch die Statements einiger Unternehmensvertreter wie z.B. von der SWW Wunsiedel, der Siemens AG, Lapp Insulators und der Edeka Nordbayern-Sachsen-Thüringen abgegeben. In den Statements wurde die jeweilige Motivation der Partner zur Produktion und zur Nutzung von regional erzeugtem Wasserstoff zum Ausdruck gebracht.

Die Mitglieder der H2. Fichtelgebirge haben sich in der gemeinsamen Absichtserklärung zu den folgenden Zielen bekannt:

- Aufbau und Ausbau der Wasserstoffmodellregion Fichtelgebirge als übertragbare Lösung für andere ländliche Regionen in Deutschland und der Europäischen Union
- 2. Erfolgreiche Bewerbung als HyPerformer-Region im Rahmen des HyLand-Förderprogramms des BMVI.
- 3. Einsatz, Erprobung und Einführung von Wasserstoff-basierter Elektromobilität als emissionsfreie Antriebstechnologie insbesondere im ÖPNV, in der Schwerlast- und Intralogistik, der regionalen Logistik und bei Personenkraftfahrzeugen.
- 4. Demonstration von PEM-Elektrolyseuren im größeren MW-Bereich bis 2022.
- 5. Auf- und Ausbau der notwendigen Tankstellen-Infrastruktur.
- Einbindung der Bevölkerung und lokaler Unternehmer in die Entwicklung der lokalen Wasserstoffmodellregion bspw. durch gemeinsame Veranstaltungen und Workshops.

Zum Gründungstag der H2.Fichtegebirge haben etwa 30 lokale und überregionale Unternehmen die gemeinsame Absichtserklärung unterzeichnet. Die beteiligten Unternehmen sind auf dem Plakat auf Abbildung 34 mit ihrem Logo vertreten.



Abbildung 33: Feierliche Gründung der Interessengemeinschaft H2. Fichtelgebirge am 14. Juni 2021











Abbildung 34: Mitglieder der H2. Fichtelgebirge mit Stand vom 14. Juni 2021

In den darauffolgenden Monaten sind etwa 10 weitere Unternehmen und Institutionen der H2. Fichtelgebirge beigetreten, so dass sich dich Anzahl der Mitglieder auf aktuell etwa 40 Unternehmen und Institutionen beläuft. Die Mitgliedunternehmen werden regelmäßig über die aktuellen Entwicklungen in der Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge und aktuelle Förderaufrufe im Zusammenhang mit Wasserstoff informiert.

### IAA Mobility in München

Vom 7.-12. September 2021 hat sich die Wasserstoff-Modellregion auf Einladung des bayrischen Wirtschaftsministeriums an einem Gemeinschaftsstand mit dem HyPerformer-Projekt HyBayern auf der IAA Mobility in München präsentiert (siehe Abbildung 35). Während der Messe konnten einige interessante Kontakte zu Unternehmen wie bspw. ein indirekter Kontakt zu Renault und seinem Wasserstoff Joint-Venture Hyvia geknüpft werden. Darüber hinaus wurden am Messestand über die Vorhaben in Wunsiedel informiert und zahlreiche Aufklärungsgespräche zum Thema Wasserstoff geführt. Insbesondere wurde immer wieder darauf hingewiesen, dass brennstoffzellen-elektrische und batterie-elektrische Mobilität sich nicht gegenseitig ausschließen, sondern ergänzen.











Abbildung 35: Die Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge auf der IAA Mobility 2021 in München

## 7.5. Erfolgsfaktoren

Durch die Initiativen der WUN H<sub>2</sub> GmbH und dem HyExpert-Projekt wurde das Thema Wasserstoff in den letzten 1-2 Jahren im Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge deutlich vorangetrieben.

Erfolgsfaktoren für den erfolgreichen Aufbau der Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge sind und waren hierbei vor allem die Einbindung der lokalen Akteure mit ihren Ideen und Kontakten, sowie die Kombination und der Mut der Akteure der WUN H<sub>2</sub>. Mit Rießner Gase, Siemens und der SWW Wunsiedel sind Unternehmen aus dem Bereich Vertrieb von Wasserstoff, Technologie und ein Energieversorger an der WUN H<sub>2</sub> beteiligt. Jedes dieser Unternehmen bringt sein eigenes Interesse am Erfolg der Elektrolyseanlage und der Wasserstoff-Modellregion Fichtelgebirge mit. Vorteilhaft war und ist auch der Standort von Wunsiedel als ehemals wasserstoffferne Insel in Oberfranken, so dass durch den Bau der Elektrolyseanlage die hohen Kosten für den Wasserstofftransport an bestehende Kunden der Firma Rießner Gase reduziert werden können. Dadurch konnte wie bereits erwähnt die Henne-Ei-Problematik bei der lokalen Erzeugung von Wasserstoff gelöst werden bzw. war diese nicht vorhanden.

Ein entscheidender Erfolgsfaktor war auch die frühe Fokussierung der SWW auf den Ausbau von Erneuerbaren Energien und die Entwicklung des "WUNsiedler Weges – Energie", für den die Elektrolyse als netzdienliche Last in einem integrierten System eine logische Ergänzung ist. Dieses starke Statement zum Klimaschutz mit der damit verbundenen Notwendigkeit von Speicheroptionen, hat die Grundlage für die Wasserstoff-Modellregion gelegt. Nicht zu vergessen ist die starke Verbundenheit der lokalen Akteure mit ihrer Region und dem Interesse diese weiterzuentwickeln und mit-









zugestalten. Es wurden gemeinsam Ideen und Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff im Landkreis entwickelt und wertvolle Netzwerke geknüpft, die vielfach durch Kontakte lokaler Akteure entstanden sind.

Zu guter Letzt hat sicherlich auch die Expertise und gute Öffentlichkeitsarbeit der endura kommunal, sowie die gute Zusammenarbeit mit dem Landratsamt für den Erfolg des HyExpert-Projektes in Wunsiedel i. Fichtelgebirge beigetragen.

## 7.6. Übertragbarkeit auf andere Regionen

Es ist vorgesehen die Vernetzung mit anderen (HyLand-)Regionen weiterzuführen und auszubauen. Mit dem Landkreis Neustadt a.d. Waldnaab (ehemals HyStarter, nun HyExpert) und dem Landkreis Kulmbach (HyStarter) gibt es zwei neue Wasserstoffmodellregionen in der unmittelbaren Umgebung, die im Rahmen des HyLand-Programms gefördert werden. Mit den bayrischen Städten bzw. Landkreisen Passau, Lindau, München und Eichstätt, sowie mit HyBayern (LK München, Landhut und Ebersberg), HyAllgäu (Kempten) und Chemnitz existieren weitere HyLand-Regionen im Umkreis von etwa 200 km um Wunsiedel. Der Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge ist hier gerne bereit seine Erfahrungen am Aufbau einer lokalen Wasserstoffwirtschaft weiterzugeben. Der überregionale Erfahrungsaustausch wird sicherlich auch durch die beteiligten, überregional tätigen Unternehmen aus der Interessensgemeinschaft H2. Fichtelgebirge vorangetrieben werden.

Die Forschungen des ZET der Universität Bayreuth am Energiepark Wunsiedel und die daraus resultierenden wissenschaftlichen Veröffentlichen werden ebenfalls dazu beitragen, die Erkenntnisse aus Wunsiedel für andere Regionen zur Verfügung zu stellen. Der "WUNsiedler Weg – Energie" ist als Baukastensystem einer dezentralen Energieversorgung zudem auf andere Stadtwerke und Regionen anwendbar. Gleiches gilt für das Konzept des Zukunftskraftwerkes mit seiner Verknüpfung unterschiedlicher Nutzungs- und Spannungsebenen, welche die Steuerung von Erneuerbaren Energien möglich macht.

Durch den Kontaktaufbau zu tschechischen Verwaltungen im deutschen Grenzgebiet besteht des Weiteren die Möglichkeit das aufgebaute Wissen auch in ein angrenzendes EU-Nachbarland zu tragen.

### 7.7. Handlungsempfehlungen an die Politik

Für den Aufbau einer regionalen Wasserstoffwirtschaft ist es von großer Bedeutung, dass, dass lokale Akteure für sich einen Mehrwert in der Nutzung von Wasserstoff sehen und befähigt werden selbst aktiv zu werden. Hierfür ist es vor allem notwendig, dass ein rechtssicherer Rahmen besteht, in dem die Erzeugung von grünem Wasserstoff mittels Elektrolyse wirtschaftlich sein kann. Mit der Verordnung zum EEG 2021 vom 19.5.2021 wurde bereits ein möglicher Rahmen geschaffen, der jedoch noch beihilferechtlich von der EU genehmigt werden muss. Ähnliches gilt für den Gesetzentwurf zur Weiterentwicklung der Treibhausgas-Minderungsquote. Letztere kann ein großer Hebel bei der Nutzung von Wasserstoff in der Mobilität sein. Beide Verordnungen / Regelungen sind für Erzeuger von grünem Wasserstoff und somit dem Hochlauf









einer regionalen und/oder nationalen Wasserstoffwirtschaft von großer Wichtigkeit. Vorteilhaft wäre auch eine EEG-Umlagenbefreiung für die Stromkosten für z.B. die Komprimierung von Wasserstoff. Nach § 69b soll nach den bisherigen Plänen nur die EEG-Umlage für den Strom entfallen, der von der Elektrolyseanlage zur Erzeugung von Wasserstoff genutzt wird.

Zudem sollte Rechtssicherheit bzgl. der Befreiung von Netzentgelten gemäß § 118 Abs. 6 S. 1, 7 und 8 EnWG für die Erzeugung von grünem Wasserstoff mittels Elektrolyse geschaffen werden, da hier durchaus noch Interpretationsspielraum vorhanden ist. Wenn ein rechtlicher und politischer Rahmen gesetzt ist, kann sich in diesem Rahmen ein Markt entwickeln, bei dem sich die Anwendungen durchsetzen, die für den Kunden bzw. Abnehmer die attraktivste Lösung sind.

Für die Nutzung von Wasserstoff in der Industrie sollten die vereinbarten CCfD umgesetzt werden. Zudem sollte über CO<sub>2</sub>-emissionsabhängige Zölle für Energieintensive Produkte wie Stahl, Glas oder Keramik nachgedacht werden, die in die EU eingeführt werden, um die Anstrengungen lokaler Unternehmen zur klimaneutralen Produktion zu unterstützen und zu schützen. Wettbewerbsrechtlich sollte hier sehr transparent argumentiert werden und auch ausländische Firmen die Möglichkeit haben die Anforderungen an klimaneutrale Einfuhren zu erfüllen. Hierfür sind vermutlich allgemeingültige Standards und Definitionen für grünen Stahl, grünes Glas oder grüne Keramik notwendig. Zusätzlich und/oder alternativ kann über ein unabhängiges Zertifikat ähnlich dem Fairtrade-Zertifikat nachgedacht werden, welches die klimaneutrale Produktion eines der oben genannten Produkte garantiert. Ähnlich wie beim Fairtrade-Zertifikat wären vermutlich vor allem Endkunden bereit z.B. einen höheren Preis für ein Auto aus grünem Stahl zu zahlen als für eines aus konventionellem Stahl. Dieses Prinzip ließe sich auf weitere Produkte übertragen.

Für den Hochlauf der Wasserstoffmobilität insbesondere im Schwerlastverkehr sind aufgrund der hohen Fahrzeugkosten hohe Förderquoten notwendig, wie sie in den entsprechende Förderrichtlinien bereits verabschiedet und genehmigt wurden. Zielführend wäre an dieser Stelle auch die Förderung eigenständiger Wartungskonzepte von unabhängigen oder Vertragswerkstätten, da das Nicht-Vorhandensein einer Werkstatt vor Ort eines der größten Investitionshemmnisse für Logistiker darstellt. Zusätzlich wäre gerade während des Hochlaufs der Wasserstoffmobilität die Förderung von mobilen Tankstellen hilfreich. Diese können einerseits Redundanzen gewährleisten, stellen eine risikoärmere Investition dar und könnten zum sukzessiven Aufbau neuer Wasserstofftankstellenstandorte genutzt werden.









### 8. Quellen

Hydrogen Insights, Hydrogen Council & McKinsey, 2021

Hydrogen – Path to Hydrogen Competitiveness, Hydrogen Council & McKinsey, 2020 Green Hydrogen Costs, Irena, 2020

Assessment of Hydrogen Production Costs from Electrolysis: United States and Europe, Adam Christensen - International Council on Clean Transportation (icct), 2020

Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien, Fraunhofer ISE, 2018 & 2021

Kosten und Transformationspfade strombasierter Energieträger, Prognos, 2020

Ludger Blum und Martin Müller, Elektrolyseure und Brennstoffzellen zur Bereitstellung und Nutzung von Wasserstoff in der Energiewirtschaft - Stand und Perspektiven, FZ Jülich, 19.10.2019

Clean Hydrogen Monitor 2020, Hydrogen Europe, 2020

Shell Wasserstoff-Studie, Energie der Zukunft - Nachhaltige Mobilität durch Brennstoffzelle und H2, Shell Deutschland Oil GmbH, 2017

Final Report: Hydrogen Storage System Cost Analysis, Brian D. James et. al., 2016

Techno-ökonomische Analyse alternativer Wasserstoffinfrastruktur, M. E. Reuß, Forschungszentrum Jülich, 2019

Hydrogen Storage for Mobility: A Review, Rivard et. al., 2019

Leitfaden für die Errichtung von öffentlich zugänglichen Wasserstoff-Tankstellen im Land Mecklenburg-Vorpommern, Landesenergie- und klimaschutzagentur Mecklenburg-Vorpommern GmbH, 2019

Fuel Cells Hydrogen Trucks – Heavy Duty's High Performance Green Solution, Roland Berger & Fuel Cell Hydrogen - Joint Undertaking (FCH JU), 2020

Detailed Business Case Tool in Study on Development of Business Cases for Fuel Cells and Hydrogen Applications for European Regions and Cities, Roland Berger & Fuel Cell Hydrogen - Joint Undertaking (FCH JU), 2018

Fuel Cells and Hydrogen Applications for Regions and Cities Vol. 2, Roland Berger, Fuel Cell Hydrogen - Joint Undertaking (FCH JU), 2017

Auf dem Weg zur Emissionsfreiheit im Zugverkehr – Wasserstoffinfrastruktur für die Schiene, Ernst & Young GmbH im Auftrag von BMVI und NOW GmbH, 2016

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

Handlungskonzept Stahl, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2020

Gesetzentwurf EEG 2021, Bundesregierung Deutschland, 2021









Verordnung zur Umsetzung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2021 und zur Änderung weiterer energierechtlicher Vorschriften, Bundesregierung Deutschland, 19.05.2021

Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger, Umweltbundesamt, 2019

Datenblatt Quantron auf Basis des Iveco Daily, Quantron AG, 2021

Blauer Wasserstoff – Lösung oder Problem der Energiewende, Greenpeace Energy EG, 2020

Einführung von Wasserstoffbussen im ÖPNV, NOW GmbH, 2018 - <a href="https://www.starterset-elektromobilität.de/content/1-Bausteine/5-OEPNV/now\_leitfaden\_einfueh-rung-wasserstoffbussee.pdf">https://www.starterset-elektromobilität.de/content/1-Bausteine/5-OEPNV/now\_leitfaden\_einfueh-rung-wasserstoffbussee.pdf</a>

https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/klimaschutzziel-2020-erreicht-1876954

https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/K/clean-vehicles-directive.html

https://www.ptj.de/nip

https://www.toll-collect.de/de/toll collect/bezahlen/maut tarife/maut tarife.html

https://insideevs.de/news/518400/wasserstoff-joint-venture-renault-plugpower/

https://www.hzwei.info/blog/2021/08/03/stellantis-bringt-h2-van-auf-den-markt/

https://en.plagazi.com

https://ec.europa.eu/eurostat/de/data/browse-statistics-by-theme

https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2020/12/Meldung/direkt-erklaert.html

https://www.bluefluxenergy.com/de/

https://trucknbus.hyundai.com/global/en/products/truck/xcient-fuel-cell

Gespräche und Interviews mit lokalen und überregionalen Akteuren, endura kommunal GmbH & LRA Wunsiedel i. Fichtelgebirge, 2020 & 2021



### Ansprechpartner

Jürgen Kromer Klimaschutzmanagement Landratsamt Wunsiedel i. Fichtelgebirge Jean-Paul-Str. 9 95632 Wunsiedel Tel.: 09232 9782-589

jk@idf.gmbh

### In Kooperation mit







### Herausgeber

Landratsamt Wunsiedel i. Fichtelgebirge Jean-Paul-Straße 9 95632 Wunsiedel T: +49 9232 80-0

F: +49 9232 80-555

info@landkreis-wunsiedel.de www.landkreis-wunsiedel.de

Gefördert durch:



Koordiniert durch:



Projektträger:

