

Zwischenbericht zum Gesamtkonzept

(Stand Juni 2023)

Aufbau einer regionalen, grünen Wasserstoffwirtschaft in der



H2
REGION
WARTBURG HAINICH

Inhalt

1. Hintergrund	2
2. Überregionale Sicht	3
3. Wasserstoff-Erzeugungspotentiale in der Wasserstoffregion	4
4. Akteure und Fokusregionen	6
5. Der Wasserstoffbedarf bis 2025 in den Regionen.....	8
6. Tiefergehende Analyse für eine 5 MW Elektrolyse	10
7. Energiesystemmodellierung.....	11
8. Verteilung.....	16
9. Zeitplan & Umsetzung der regionalen grünen Wasserstoffwirtschaft	22
10. Fazit und nächste Schritte	23
Projektkonsortium & Impressum	24
Begriffserklärung	25

*Mit einem * gekennzeichnete Fachbegriffe sind im Abschnitt Begriffserklärung ab S. 25 erläutert.*

1. Hintergrund

Der Wartburgkreis und Unstrut-Hainich-Kreis untersuchen bis Sommer 2023 ihre **Potenziale zur Entwicklung einer regionalen, grünen* Wasserstoffwirtschaft**. Ziel des Förderprojektes ist es, ein Gesamtkonzept für den Hochlauf einer regionalen, grünen Wasserstoffwirtschaft in der Wasserstoffregion Wartburg Hainich zu erarbeiten. Dazu werden im Rahmen der Machbarkeitsstudie folgende Schwerpunkte tiefer betrachtet:

- Vorhandene und neue Standorte für Erneuerbare Energien und die Wasserstoffherzeugung mittels Elektrolyse
- Logistikkonzept zur Verteilung, Speicherung und Bereitstellung von Wasserstoff
- Bedarfe und Anwendungsbereiche im Mobilitätssektor (ÖPNV, Logistik, Intralogistik, Luftfahrt) sowie im Industrie- und Wärmesektor

Diese drei Bereiche werden anschließend in einer umfassenden Energiesystemmodellierung zusammengeführt und technisch-wirtschaftlich bewertet, um mögliche und sinnvolle Szenarien abzubilden und zu priorisieren. Als Ergebnis sollen ebenso konkrete Pilotprojekte identifiziert werden, für die auf Grundlage des Konzepts gegebenenfalls eine finanzielle Förderung beantragt werden kann.

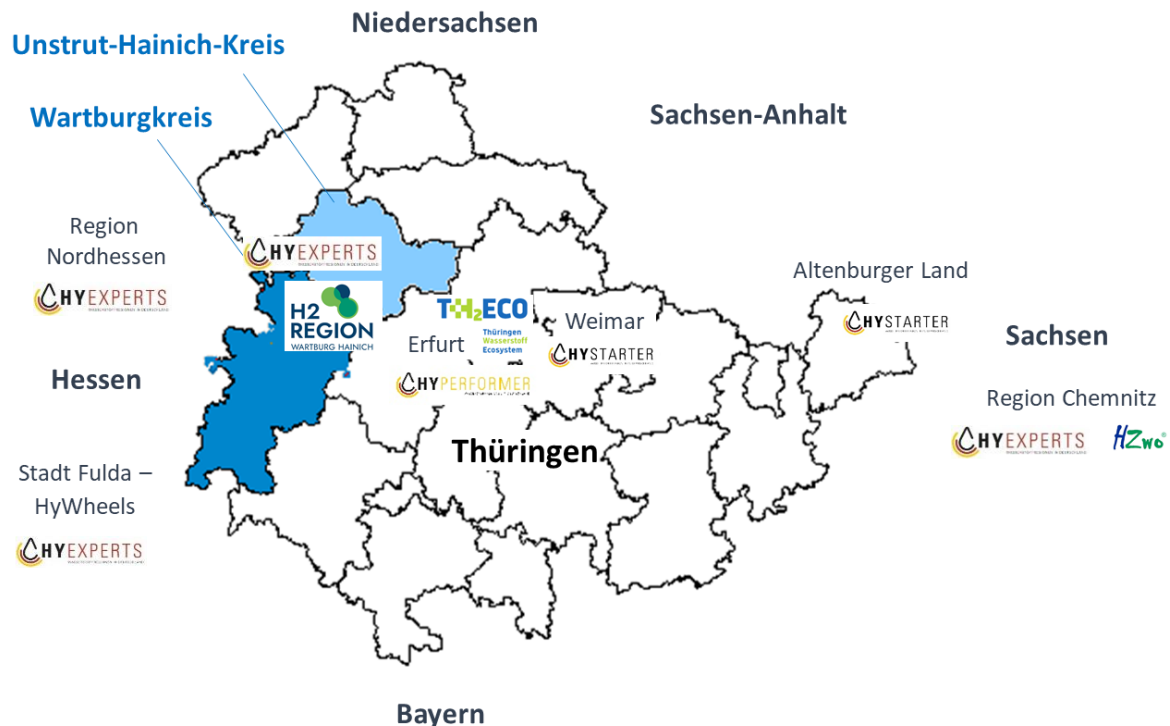


Abb. 1: HyLand-Regionen in Thüringen, Sachsen und Hessen

Zum aktuellen Stand ist das Projektkonsortium mit über 40 Akteuren in vier Fokusregionen im Wartburgkreis und Unstrut-Hainich aktiv im Gespräch, um konkrete Ansätze für eine regionale Wasserstoffwirtschaft zu analysieren und zu diskutieren. 400 Interessierte verfolgen bereits über digitale Kanäle die Entwicklungen in der Region. Zusätzlich zu einer Auftaktveranstaltung im September 2022 und einer Online-Veranstaltung zur Vorstellung der Zwischenergebnisse im März 2023, fanden 4 branchenspezifische und 5 regionalspezifische Akteurstreffen statt.

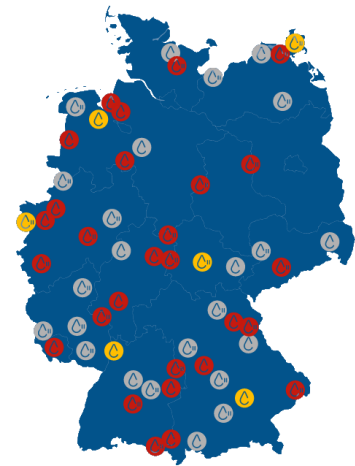
Wasserstoffregionen in Deutschland

Die Entwicklung als Wasserstoffregion wird im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP2) durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördert. Die Förderrichtlinie wird von der NOW GmbH koordiniert und durch den Projektträger Jülich (PtJ) umgesetzt.



Im Zusammenschluss mit dem Unstrut-Hainich-Kreis gehört der Wartburgkreis als HyExpert-Region zu einer von 30 Gewinnerregionen aus 119 Bewerbungen, die beim Bundesförderprogramm HyLand des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr 2022 prämiert wurden.

HyLand unterstützt Kommunen und Regionen über ein Jahr lang fachlich und finanziell bei der Entwicklung von regional zugeschnittenen Wasserstoffkonzepten und der Bildung von Netzwerken mit lokalen Wasserstoffakteuren. Hierbei werden je nach Ausgangslage der Bewerber drei Kategorien unterschieden: HyStarter, HyExpert und HyPerformer.



Hyland-Gewinnerregionen in Deutschland (Quelle: NOW GmbH)

Weitere Informationen: <https://www.hy.land/>

2. Überregionale Sicht

Der Blick auf die in Deutschland verwendeten Primärenergieträger* zeigt, ohne Wasserstoff gelingt die Energiewende nicht. Über 85% der Primärenergieträger sind molekülbasiert (Stand 2020).

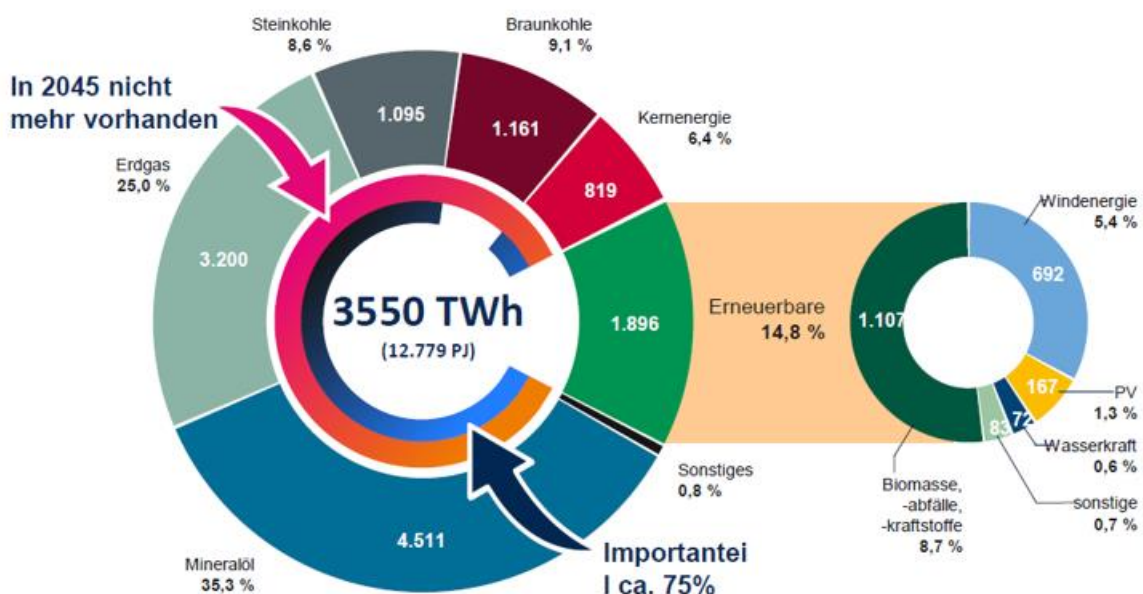


Abb. 2: Deutscher Primärenergieverbrauch nach Energieträgern, Quelle AGEB, September 2020

Um die Dekarbonisierung dieser Primärenergieträger zügig voranzutreiben, bietet sich grüner Wasserstoff als molekülbasierter Energieträger an. Aktuelle Berechnungen des Nationalen Wasserstoffrates (NWR) gehen davon, dass bis 2030 50-100TWh und bis 2050 1.000 – 1.400 TWh benötigt werden. Besonders in den energieintensiven Industrien und im Schwerlastverkehr wird der Wasserstoff benötigt. Dabei werden dezentrale Erzeugungskapazitäten über Elektrolyse etwa 10-30% des Bedarfes decken und der Rest über Importe gedeckt.

3. Wasserstoff-Erzeugungspotentiale in der Wasserstoffregion

Um die theoretisch maximalen Erzeugungspotentiale für grünen Wasserstoff in den beiden Landkreisen zu ermitteln, wurden zunächst die zur Verfügung stehenden Potentialflächen für den Ausbau von erneuerbaren Energien (Photovoltaik und Windkraft) ermittelt. Als Basis dienen bei der Windkraft Potentialflächen mit geringem Eingriff in die Raumordnung. Diese Flächen wurden basierend auf einer Studie der Universität Hannover in einem GIS System erfasst und ausgewertet. Als Obergrenze wurden die Flächenziele von 2,5% der Landesfläche im Unstrut-Hainich Kreis und 1,1% der Landesfläche im Wartburgkreis aus dem aktuellen Entwurf der Fortschreibung des Landesentwicklungsprogramms Thüringen 2025¹ berücksichtigt. Bei PV-Potentialflächen wurde der Fokus auf Flächen entlang der Bundesautobahnen und Schienenwege gelegt. Keine Berücksichtigung fanden Ackerflächen und Grünland mit geringem Ertrag sowie Agri-PV Installationen, um Interessenkonflikte mit der landwirtschaftlichen Nutzung zu vermeiden. Zusätzlich wurden Potentialflächen auf Dächern mit einer Fläche von mehr als 4.000m² berücksichtigt. Die Landkreise wurden in vier Fokusregionen unterteilt, die sich aus der geografischen Lage der Potentialflächen und potentiellen Abnehmer ergeben haben.

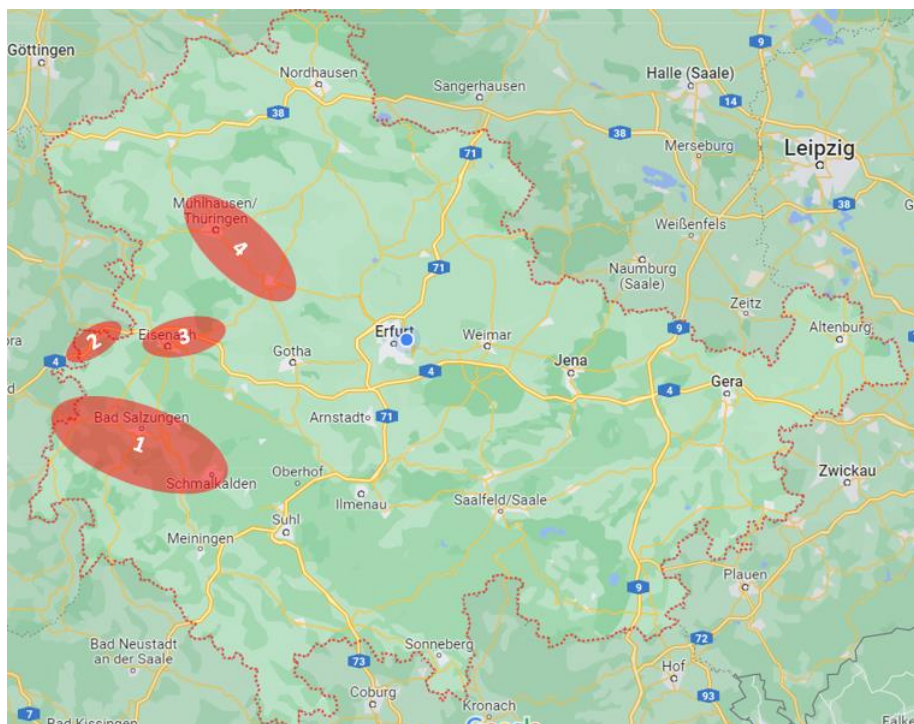


Abb. 3: Geografische Lage der vier Fokusregionen (1) Raum Bad Salzungen/Vacha, (2) Werra-Suhl-Tal/Gerstungen, (3) Raum Eisenach/Hörselberg-Hainich und (4) Bad Langensalza/Mühlhausen

¹ Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft, Teilfortschreibung Landesentwicklungsprogramm, Stufe 3: Erster LEP Entwurf, 22.11.2022

Basierend auf den ermittelten Potentialflächen sind in der Tabelle 1 die theoretischen Potenziale an installierter Leistung für Wind und PV aufgeführt.

Tab. 1: Theoretische Erzeugungspotentiale für grünen Wasserstoff aus erneuerbaren Energien in den vier Fokusregionen der beiden Landkreise.

	Raum Bad Salzungen / Vacha	Werra-Suhl-Tal / Gerstungen	Raum Eisenach / Hørselberg-Hainich	Bad Langensalza / Mühlhausen
Wind [MW]* Ohne Flächenbegrenzung	131 (23)	142 (25)	392 (70)	503 (88) 2.633 (462)
PV-Freifläche [MW]	1.463	916	2.283	3.025
PV-Dachfläche [MW]	38	34	142	42
Wind / PV [Prozent]	8 / 92	13 / 87	14 / 86	14 / 86
ELY-Kapazität [MW]	163	109	282	357
H2** [t/a]	15.440	10.325	26.713	33.817

* In Klammern Anzahl Windkraftanlagen 5,6MW ** Kapazität x VLH / 55 kWh/kg H2

Um die Elektrolyse mittels Strom aus erneuerbaren Energien wirtschaftlich zu betreiben sollten möglichst Volllaststunden* (VLH) von mehr als 5.000 h erzielt werden. Daher ist die Kapazität der installierten Elektrolyse typischerweise um den Faktor 3 - 10 geringer im Vergleich zur installierten Kapazität der erneuerbaren Energien. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 2 dargestellt. Entsprechend dem jeweiligen Verhältnis in den vier Regionen wurde die maximale Leistung an Elektrolyse Kapazität ermittelt und die jährliche Menge des erzeugten grünen Wasserstoffs. Die Werte sind ebenfalls in der obigen Tabelle aufgeführt.

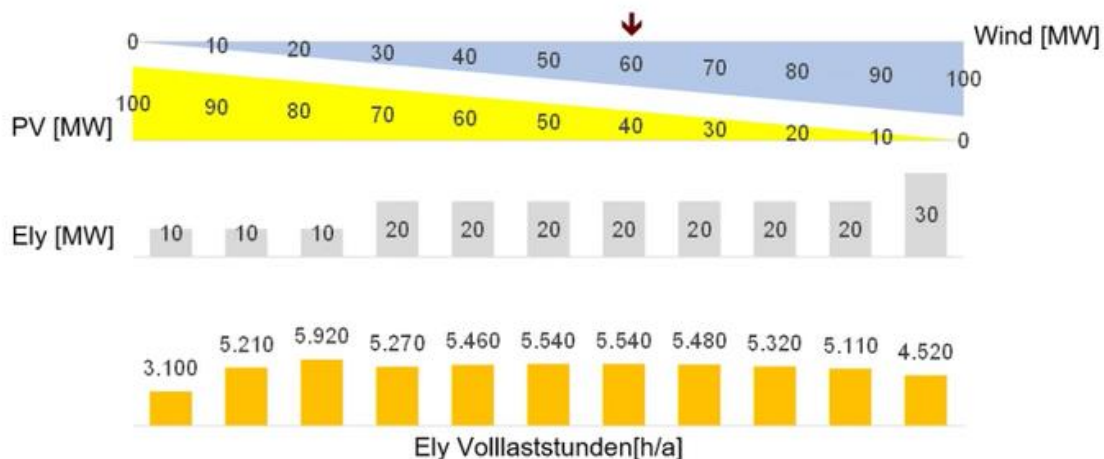
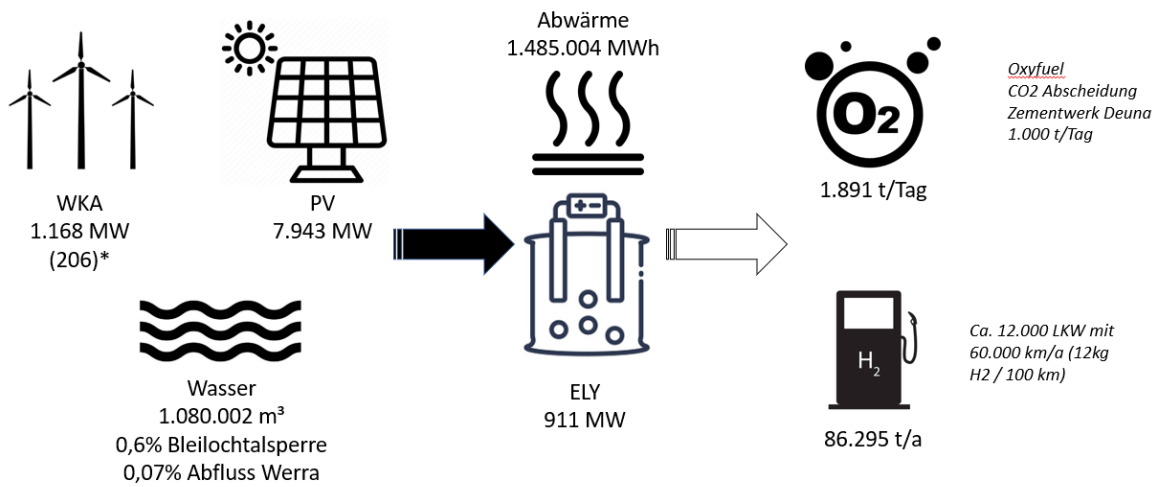


Abb. 4: Erzielbare Volllaststunden für die Elektrolyse in Abhängigkeit vom Verhältnis der erneuerbaren Energien Wind und PV und der Leistung der Elektrolyse. (Quelle: „Regionale Erzeugungskapazität von grünem Wasserstoff in Nordhessen“, Dr. Sirko Ogriseck, Infraseriv GmbH & Co. Höchst KG, 2022.)

Für die Berechnung der Wasserstoffmengen wurde ein Bedarf von 55kWh Strom zur Erzeugung von 1kg Wasserstoff angesetzt, da aus Studien und Abfragen bei Elektrolyseherstellern, Wirkungsgrade zwischen 50 und 60% bekannt sind.

Die nachfolgende Grafik zeigt zusammengefasst das theoretische Potential für die Wasserstoffherzeugung in den beiden Landkreisen ebenso wie den benötigten Bedarf an Wasser und erneuerbaren Energien. Die Menge der entstehenden Nebenprodukte in Form von Abwärme und Sauerstoff sind ebenfalls mit aufgeführt. Unter der Annahme, dass ein LKW 12kg Wasserstoff auf 100km verbraucht und 60.000km im Jahr fährt, könnten mit der potentiellen jährlichen

Wasserstoffmenge 12.000 LKWs pro Jahr betankt werden. Zum Vergleich, in den beiden Landkreisen sind aktuell 15.000 Nutzfahrzeuge zugelassen.



* In Klammern: Anzahl Windkraftanlagen mit 5,6 MW

Abb. 5: Zusammenfassende Übersicht des theoretischen Wasserstoff-Erzeugungspotentials in den beiden Landkreisen.

4. Akteure und Fokusregionen

Nach dem Start des Projektes wurden Gespräche mit potentiellen Akteuren aus den Bereichen Transport/Verkehr, energieintensive Unternehmen, ÖPNV/Kommunalbetriebe und Energieversorgern im Rahmen von Fachgruppentreffen geführt, um erste Feedbacks zum Einsatz von grünem Wasserstoff einzuholen.

Im Anschluss wurden die Akteure gebeten mittels einer Potentialabfrage erste Abschätzungen für den Wasserstoffeinsatz in ihrem Anwendungsbereich abzugeben. Diese Abfrage wurde von 34 Unternehmen mit der folgenden Branchenverteilung beantwortet.

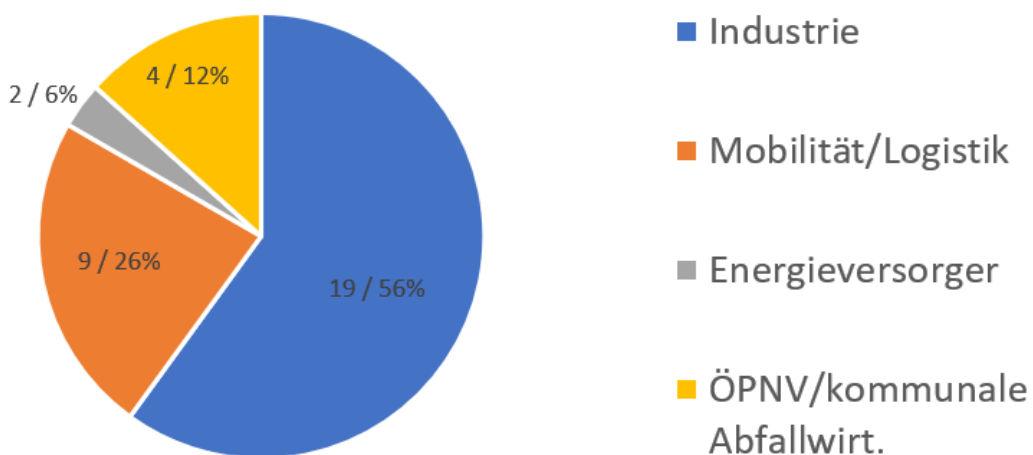


Abb. 6: Branchenverteilung Potentialabfrage der 34 zurückgemeldeten Potentialabfragen

Aus den aggregierten Daten der Wasserstoffbedarfe haben sich vier Fokusregionen mit erhöhtem Wasserstoffbedarf herauskristallisiert, die zum einen eine Wasserstoffaffinität und erste geplante Wasserstoffprojekte aufweisen und zum anderen Akteure aus den Bereichen Logistik, ÖPNV, Industrie und Politik sich entsprechend für das Thema Wasserstoff interessieren und auch engagieren:

- Raum Bad Salzungen / Vacha (1)
- Raum Werra-Suhl-Tal / Gerstungen (2)
- Raum Eisenach / Höselsberg-Hainich (3)
- Raum Bad Langensalza / Mühlhausen (4)

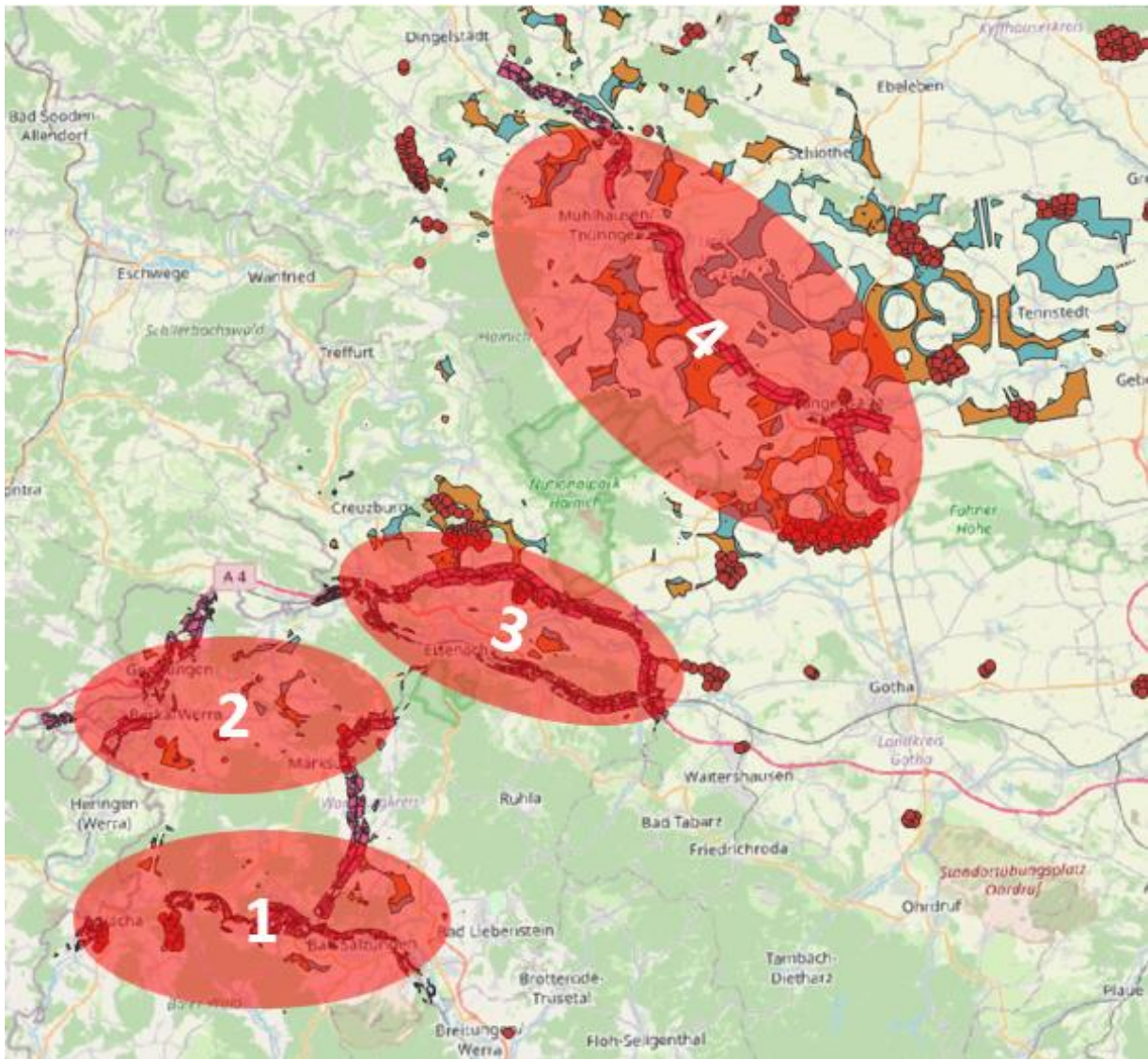


Abb. 7: Fokusregionen mit Potentialflächen für Wind und PV.

Die nachfolgende Übersicht zeigt die Akteure der jeweiligen Regionen.

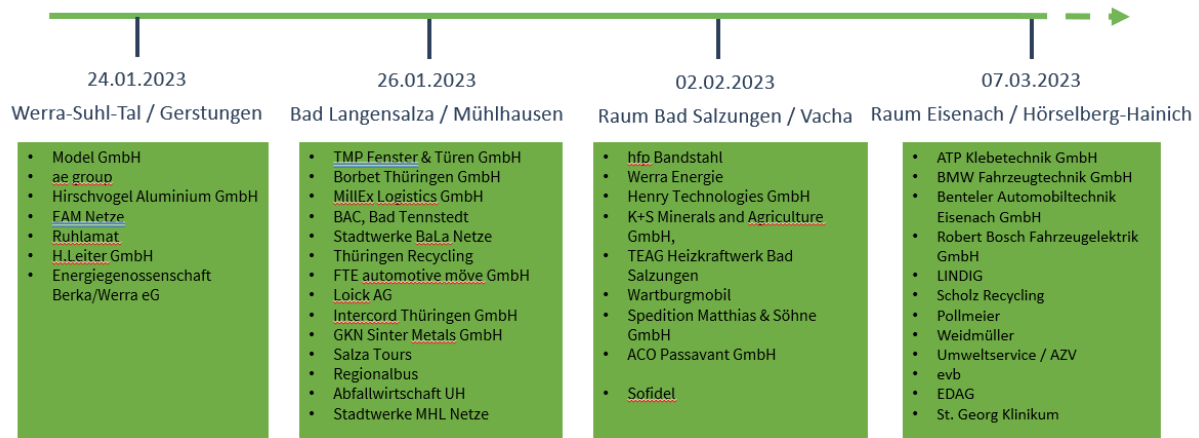


Abb. 8: Akteure der Fokusregionen.

5. Der Wasserstoffbedarf bis 2025 in den Regionen

Das Wasserstoffpotential bzw. der -bedarf der Akteure wurde im Rahmen der Potentialabfrage ermittelt. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Bedarfe bis 2025 verteilt auf die jeweiligen Sektoren. Die dafür erforderlichen Elektrolysekapazitäten sind ebenso wie die zur Erzeugung notwendigen Leistungen der erneuerbaren Energien angegeben.

Tabelle 2: Aus Potentialabfrage ermittelter Wasserstoffbedarf der Akteure in den Fokusregionen für 2025.

	Raum Eisenach / Hörselberg-Hainich	Werra-Suhl-Tal / Gerstungen	Raum Bad Salzungen / Vacha	Bad Langensalza / Mühlhausen
Industrie (Erdgasersatz) [t/a]	184	1.578	156	1.424
Industrie (Logistik) [t/a]	17	59	71	
Industrie (Intralogistik) [t/a]	22			
Industrie (Prozess) [t/a]				48
Spedition [t/a]	26	38		
ÖPNV / Abfall [t/a]	6		13	23
Tankstellen [t/a]				
Fernwärme [t/a]				169
Summe [t/a]	255	1.675	240	1.664
ELY [MW]	2,7	18	2,5	16
Wind / PV [MW]	3,8 / 23,2	18/162	2.5 / 22,5	28 / 52
Theoretisches H2 Potenzial [t/a]	26.713	10.325	15.440	33.817

Die Akteure machen für den Einsatz von grünem Wasserstoff unterschiedliche Faktoren abhängig und sehen nachfolgend aufgeführte Chancen und Risiken.

	Chancen	Risiken
Transport, Logistik & Verkehr	<ul style="list-style-type: none"> • Überlegungen für Tankstelle an der A4 • Wasserstoff für Intralogistik / Stapler wird bei einigen Logistikern untersucht • Zwei Logistiker sehen bis zu 7 Fahrzeuge • Umstellung Werksverkehr Dieselloks auf Wasserstoff-Triebwagen wird angestrebt 	<ul style="list-style-type: none"> • Aktuelle Verfügbarkeit von Fahrzeugen noch nicht gegeben • Kosten müssen gegenüber Verbrenner konkurrenzfähig sein • Teilweise batterieelektrische Fahrzeuge bevorzugt und bereits bestellt
Industrie	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Bedarf, einige Abnehmer mit sehr hohem Bedarf • Ein Unternehmen könnte kurzfristig von grauem Wasserstoff auf grünen Wasserstoff umstellen, bei Preisen von 5-7 €/kg • Gesamtmengen setzen Belieferung über Pipeline voraus, ggf. Start mit Trailerbelieferung denkbar • Umstellung von Erdgas auf H2 ist technisch kein Problem • Kooperation mit HyExperts Nordhessen für Abnehmer mit Betriebsstätten in Hessen und Thüringen 	<ul style="list-style-type: none"> • geringer Bedarf in einigen Regionen • Prozesstauglichkeit H2 muss gegeben sein • H2 Einsatz teilweise bereits geprüft und verworfen • Ggf. Erdgasprozesse die nicht elektrisch umzustellen sind • Teilweise noch keine klare Priorität zwischen H2 und elektrischer Umstellung (Tendenz Elektro)
ÖPNV & kommunale Abfallbetriebe	<ul style="list-style-type: none"> • Einige Unternehmen haben einen Förderantrag für Abfallfahrzeuge gestellt • Wasserstoffversorgung / Abdeckung über andere Fokusregion • Mit Tankoption in Unterbreitzbach könnte die Anschaffung von Wasserstoffbussen geplant werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Aktuelle Verfügbarkeit von Fahrzeugen wird kritisch gesehen • Kosten müssen gegenüber Verbrenner konkurrenzfähig sein • Teilweise batterieelektrische Fahrzeuge bevorzugt und bereits in Betrieb bzw. bestellt • Verfügbarkeit einer nahen Tankstelle muss gegeben sein • Eigenes Windrad für Erzeugung auf Deponiegelände, aktuell aber schwierige Genehmigungslage → Kräfte bündeln und gemeinsam bei der Landesregierung Druck machen • Ein ÖPNV-Unternehmen plant kurzfristig keine H2 Busse (Problem Tankstelle und Fahrzeugverfügbarkeit)
Energieversorger	<ul style="list-style-type: none"> • Umstellung BHKW wird geprüft • H2 Einsatz im Bereich Fernwärme ab 2030 • Energiegenossenschaft kann sich vorstellen im Bereich Elektrolyse und Tankstelle zu investieren • 25% Ersatz Erdgas durch Wasserstoff in Heizkraftwerk über Pipelineanbindung 	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmepreis für die Endkunden muss in einem akzeptablen Bereich liegen

	<ul style="list-style-type: none"> Umstellung komplette Erdgasinfrastruktur auf Wasserstoff bis 2030 denkbar, aber abhängig von Markregulierung 	
--	--	--

6. Tieferegehende Analyse für eine 5 MW Elektrolyse

Dimensionierung

Um für die Akteure die Dimensionierung einer dezentralen Wasserstofferzeugung greifbarer zu machen, wurde eine 5 MW Elektrolyse grob ausgelegt. Mit einer 5 MW Elektrolyse können bei 5.000 Volllaststunden ca. 500 Tonnen Wasserstoff produziert werden um erste Anwendungen im Verkehrs- und Industriesektor in einer Fokusregion abzudecken.

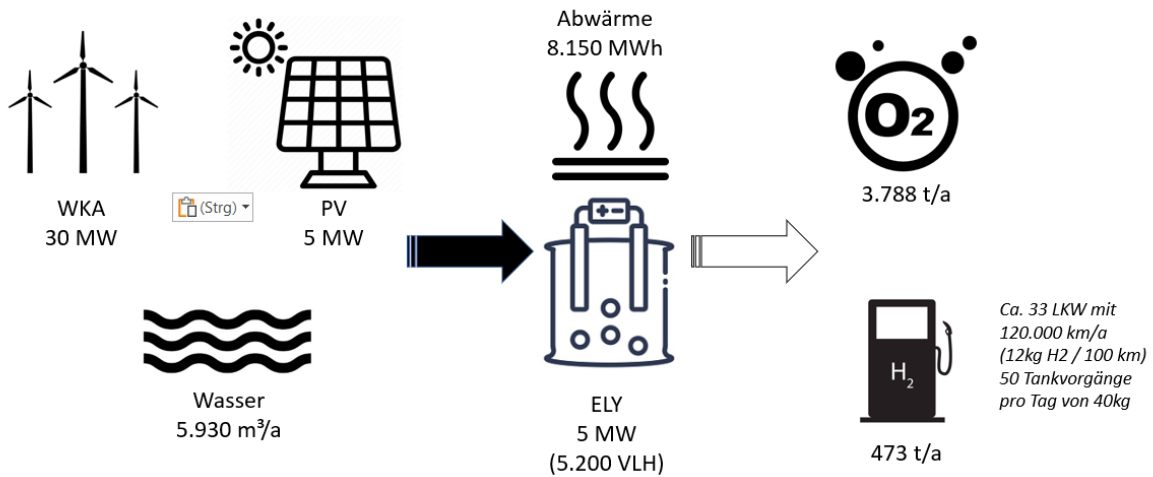
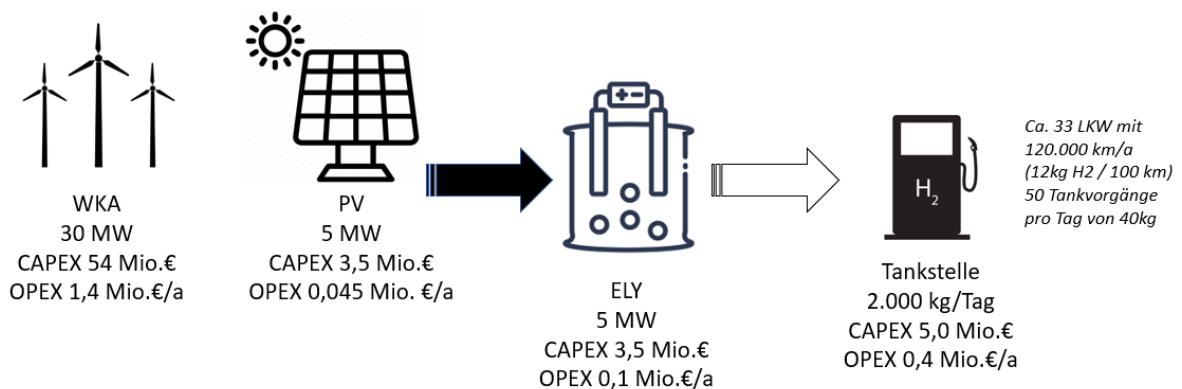


Abb. 9: Dimensionierung einer 5 MW Elektrolyse.

Dies wird im Gesamtkonzept für eine Fokusregion noch weiter ausgeführt.

Investitions- und Betriebskosten

Damit verbundene Investitions- (CAPEX*) und Betriebskosten (OPEX*) lassen sich wie folgt grob ableiten.



Gesamt CAPEX 66 Mio.€ OPEX 1,9 Mio.€/a

Abb. 10: Abschätzung CAPEX und OPEX für eine 5 MW Elektrolyse.

7. Energiesystemmodellierung

Mögliche Konzepte zur Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft sollen im Rahmen einer Energiesystemmodellierung untersucht werden. Dabei wird die Agentenbasierte Modellierung (ABM) als Modellierungsmethode verwendet. Die ABM erlaubt es die Transformation des Energiesystems anhand der Anforderungen und Präferenzen der beteiligten Akteure abzubilden, ohne eine Zielstruktur vorzugeben. Stattdessen ergibt sich die Makrostruktur des Systems aus den einzelnen Interaktionen zwischen den Akteuren (Agenten) untereinander und mit deren Umgebung.

Im Projektkontext werden sowohl die potenziellen Verbraucher von Wasserstoff als auch die Erzeugungsanlagen (Elektrolyseure) als Agenten im Modell definiert. Verbraucher sind hierbei Akteure aus Industrie, Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (GHD), ÖPNV, Stadtwirtschaft und Logistikunternehmen sowie Haushalte. Weitere energiewirtschaftliche Akteure wie PV- und Windkraftanlagen runden das Feld der Agenten ab.

Als Basis der im folgenden vorgestellten Zwischenergebnisse dient ein vereinfachtes Modell, welches anhand von verstärkten Vorgaben eine erste potenzielle Abschätzung des Wasserstoffbedarfs in den Fokusregionen und damit verbundenen Aspekten wie den Ausbau erneuerbarer Energien und die Gestehungskosten* des Wasserstoffs erlaubt. Das vereinfachte Systemmodell ist schematisch in der folgenden Abbildung dargestellt.

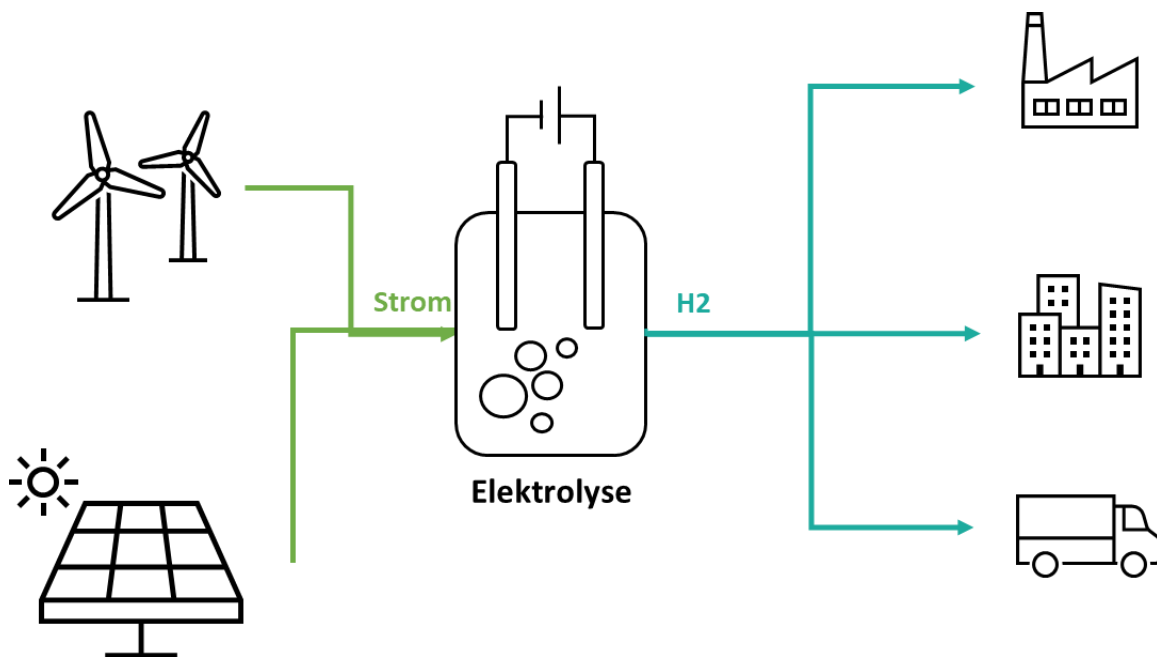


Abb. 11: Schematische Darstellung vereinfachtes Modell zur Potenzialbestimmung.

Das Modell umfasst PV- und Windkraftanlagen, deren Leistung in wenigen Agenten (PV-Freifläche, PV-Dach, Windkraft) aggregiert werden. Anhand von gemittelten Wetterdaten wird für die Agenten eine stündlich aufgelöste Stromerzeugungskurve für den (jährlichen) Simulationsschritt berechnet. Diese Erzeugungskurve dient als Input für den Elektrolyseakteur, welcher anhand von anlagenspezifischen Parametern (Wirkungsgrad, Leistung, etc.) ein stündliches Generationsprofil für die Herstellung von Wasserstoff berechnet. Der erzeugte Wasserstoff kann dann an die Verbraucher weitergegeben werden.

Die Verbraucher beschränken sich in den hier vorgestellten Zwischenergebnissen auf die Akteure aus den Fokusregionen sowie den Haushalten, deren Bedarf anhand der Bevölkerungszahl in den Fokusregionen approximiert wurde.

Die Leistung des Elektrolyseagenten wird über eine vorgelagerte Hochrechnung für jeden Simulationsschritt festgelegt. Die Hochrechnung basiert dabei auf Angaben zu potenziellen Wasserstoffbedarfen der Akteure, die im Rahmen der Akteursbefragung erhoben wurden. Mit der Annahme eines spezifischen Elektrolyseurs und einer konstanten Auslastung wurde anhand des angegebenen Bedarfs die nötige Elektrolyseleistung für jeden Simulationsschritt berechnet. Im Modell wird der Ausbau der Elektrolyseleistung unter Annahme des Zubaus von mehreren Elektrolyseurmodulen abgebildet, welche in einem übergelagerten Elektrolyseagenten aggregiert werden. Die so berechnete verfügbare Menge an Wasserstoff entspricht damit den prognostizierten Bedarfen der Akteure aus der Akteursbefragung. Zusätzlich fließt ein theoretischer Bedarf für die Bereitstellung von Raumwärme der Haushalte ab dem Jahr 2038 in die Bedarfe der Hochrechnung mit ein.

Die benötigte Leistung der Agenten der Stromerzeugung (PV-Freifläche, PV-Dach, Windkraft) wird in jedem Zeitschritt anhand des Strombedarfs des Elektrolyseagenten bestimmt und erweitert. Unter der Annahme, dass die neu installierte Leistung vollständig für die Produktion von grünem Wasserstoff verwendet wird, ergibt sich so ein theoretisches Minimum des Zubaus von Erzeugungsanlagen, der im Rahmen der Simulation durch die im Voraus bestimmten theoretischen Flächenpotenziale in den Regionen begrenzt wird. Für den Hochbau der Kapazitäten wird das Potenzialverhältnis zwischen PV und Windkraft aus Tabelle 1 konstant gehalten.

Aus den im Simulationsverlauf ermittelten Erzeugungsprofilen von grünem Strom ergeben sich für jeden Zeitschritt die Volllaststunden des Elektrolysesystems. Zusätzlich werden unter Beachtung der Betriebs- und Investitionskosten der Stromerzeugungsanlagen und des Elektrolysesystems die Gesteungskosten von Wasserstoff für jeden Zeitschritt berechnet.

Abbildung 12 zeigt die Modellergebnisse für die **Fokusregion Bad Langensalza / Mühlhausen**. Aus den angegebenen Bedarfen der Akteure ergibt sich eine nötige Elektrolyseleistung von 60 MW im Jahr 2030, die anschließend stetig auf bis zu 106 MW im Jahr 2045 ansteigt (siehe Abbildung 12 a)). Zur Deckung des Strombedarfs ist dabei ein großer Ausbau der derzeit installierten Erneuerbaren Energien in der Fokusregion nötig. Abbildung 12 b) zeigt die derzeit installierte Leistung (linker Balken), sowie die nötige Leistung zur Deckung des Elektrolysebedarfs ab dem Jahr 2030. Demnach wäre bis zum Jahr 2030 ein Vielfaches der derzeit installierten Leistung notwendig, um den Bedarf an grünem Wasserstoff in der Region über dezentrale Elektrolyse bereitzustellen. Die Auslastung des Elektrolyseurs in der Fokusregion ist in anhand der Volllaststunden in den simulierten Jahren in Abbildung 12 c) dargestellt. Im Jahr 2030 weist der Elektrolyseuragent ca. 3600 Volllaststunden auf, welche im Verlauf der Simulation auf ca. 3300 Volllaststunden sinken. Die Gesteungskosten des Wasserstoffs, dargestellt durch die Levelized Cost of Hydrogen* (Abbildung 12 d)) sinken über den Verlauf der Simulation leicht.

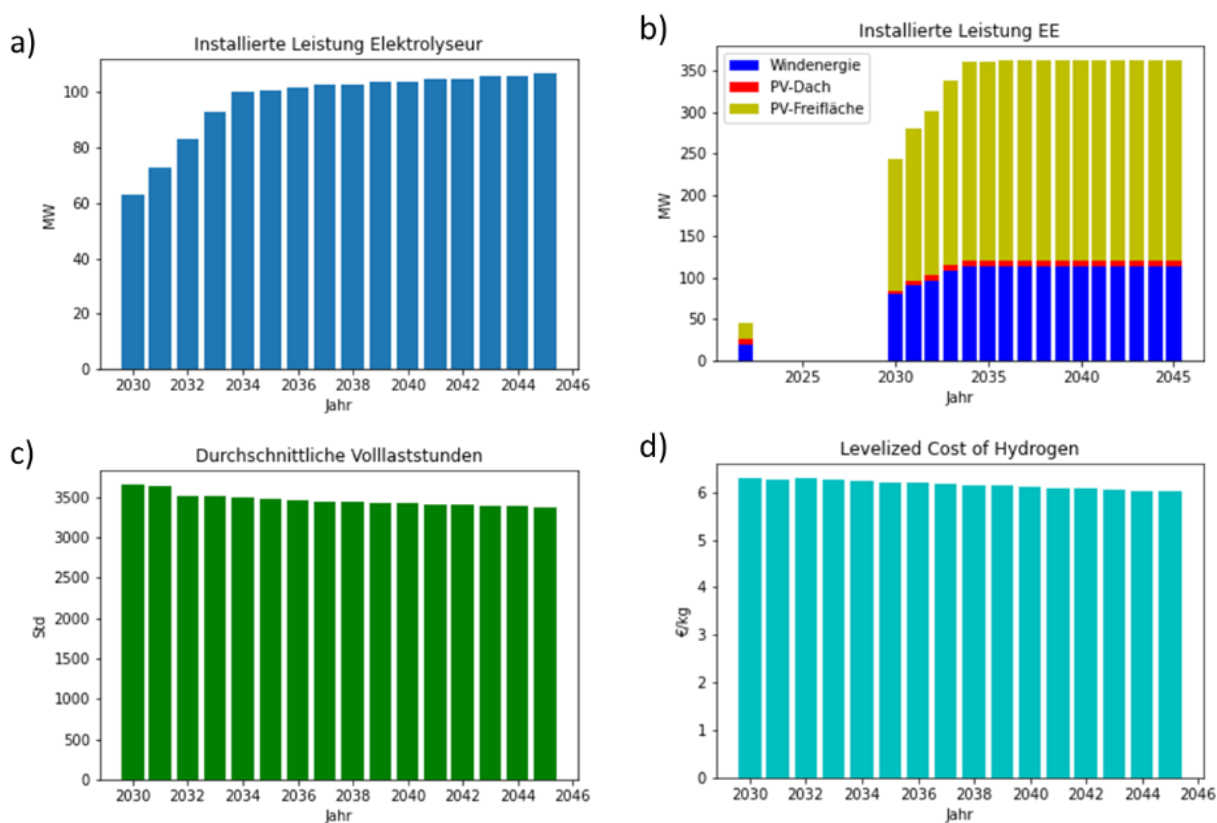


Abb. 12: Modellergebnisse **Fokusregion Bad Langensalza/Mühlhausen**.

- a) Leistung des Elektrolysesystems nach der Hochrechnung,
- b) derzeitige installierte Leistung von PV- und Windkraftanlagen (linker Balken) und theoretischer Bedarf für die Elektrolyse ab 2030,
- c) Volllaststunden des Elektrolysesystems für jeden Zeitschritt,
- d) Wasserstoffgestehungskosten (Levelized Cost of Hydrogen) für jeden Zeitschritt.

Die Modellergebnisse der anderen Fokusregionen sind analog zu den Ergebnissen für Bad Langensalza / Mühlhausen in den Abbildungen 13 - 15 dargestellt. Für Bad Salzungen / Vacha (siehe Abbildung 13) ergibt sich eine Elektrolysekapazität von 25 MW im Jahr 2030, welche stetig auf 48 MW im Jahr 2045 ansteigt.

Ähnlich zur Fokusregion Bad Langensalza / Mühlhausen ist auch in der **Fokusregion Raum Bad Salzungen / Vacha** ein starker Ausbau lokaler PV- und Windkraftanlagen nötig, um den Strombedarf des Elektrolysesystems decken zu können. Im Verlauf der Simulation weist das Elektrolysesystem eine Auslastung von ca. 3000 Volllaststunden auf. Die Gestehungskosten des erzeugten Wasserstoffs sind dabei niedriger als diese in der Region Bad Langensalza. So betragen sie zum Start der Simulation im Jahr 2030 ca. 5,8 €/kg und sinken fortlaufend stetig auf ca. 5,3 €/kg.

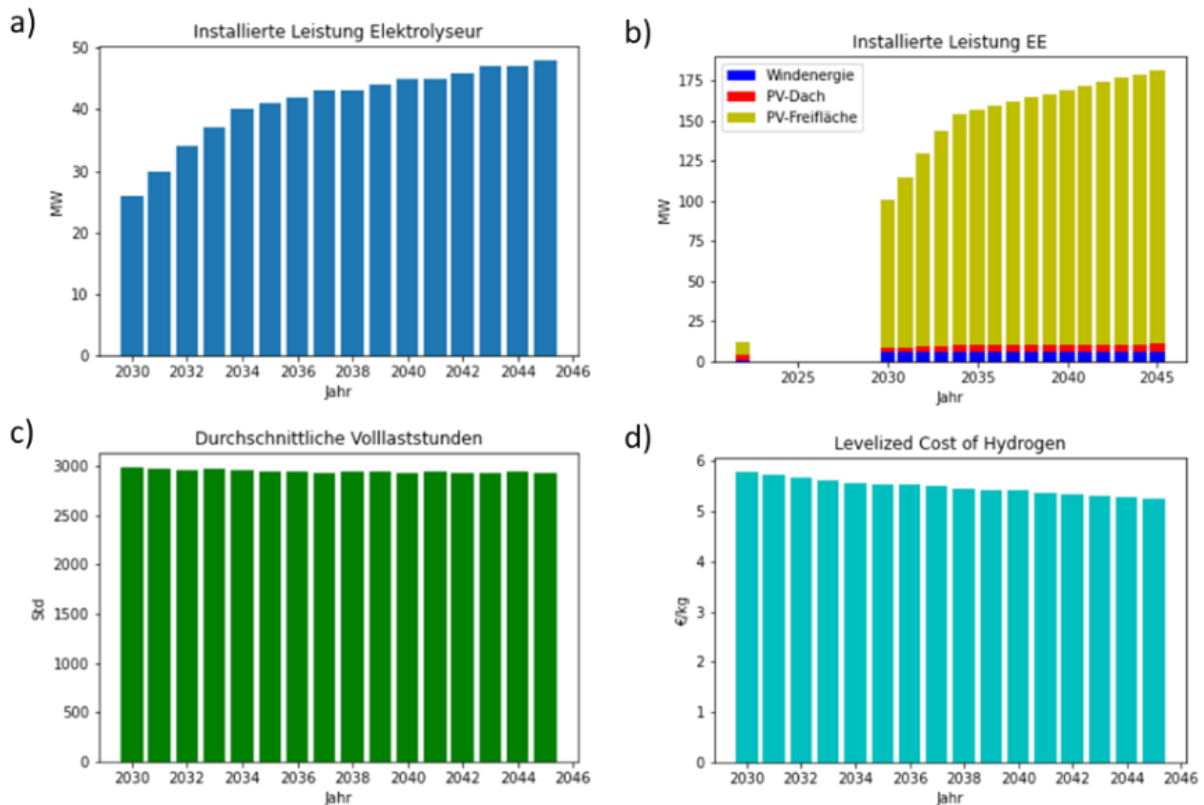


Abb. 13: Modellergebnisse **Fokusregion Bad Salzungen/Vacha**.

- a) Leistung des Elektrolysesystems nach der Hochrechnung,
- b) derzeit installierte Leistung von PV- und Windkraftanlagen (linker Balken) und theoretischer Bedarf für die Elektrolyse ab 2030,
- c) Volllaststunden des Elektrolysesystems für jeden Zeitschritt,
- d) Wasserstoffgestehungskosten (Levelized Cost of Hydrogen) für jeden Zeitschritt.

Die Elektrolyseleistung der **Fokusregion Eisenach** (siehe Abbildung 14) zeigt einen Hochlauf von ca. 18 MW im Jahr 2030 auf ca. 40 MW im Jahr 2045. Analog zu den anderen Fokusregionen weist das Elektrolyseursystem im Verlauf der Simulation um die 3000 Volllaststunden auf, und die Gestehungskosten des Wasserstoffs sinken von ca. 6 €/kg im Jahr 2030 auf ca. 5,5 €/kg im Jahr 2045. Im Gegensatz zu den anderen Fokusregionen, ist die installierte Leistung erneuerbarer Energien in Eisenach bereits ausreichend, um den prognostizierten Bedarf des Elektrolysesystems in den frühen 2030er Jahren zu decken.

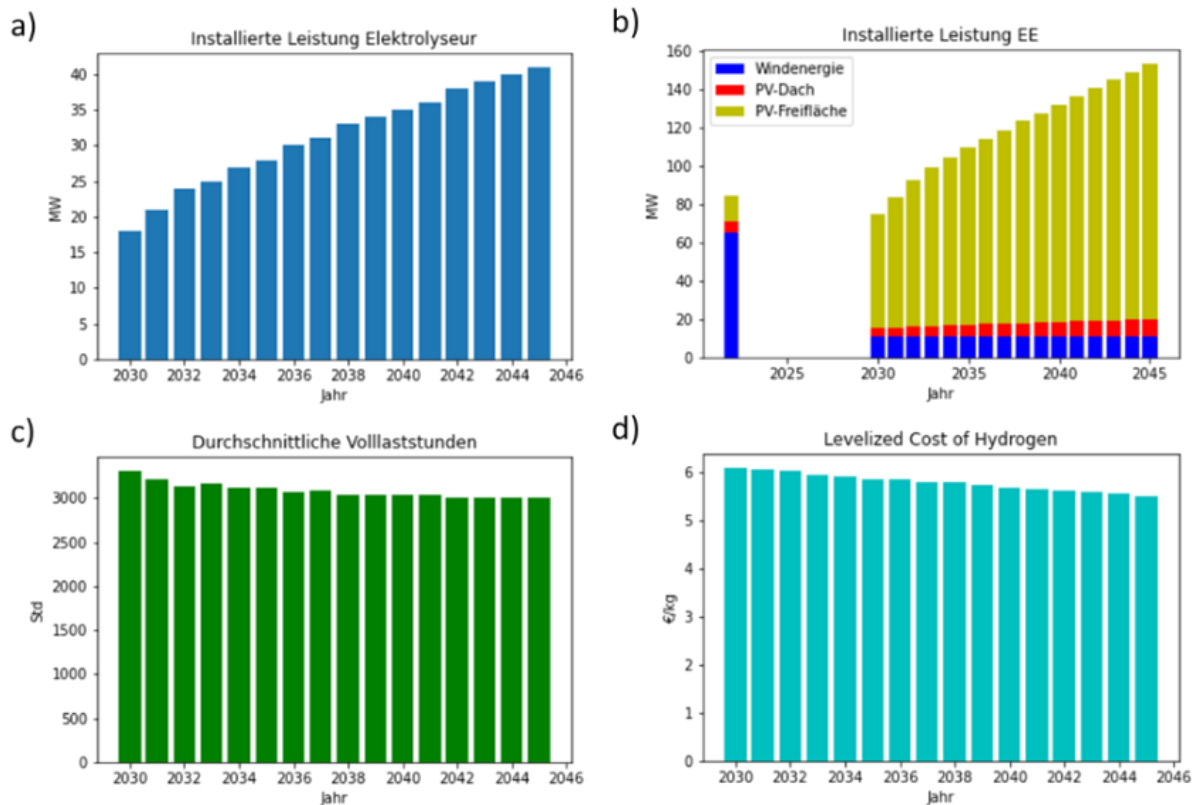


Abb. 14: Modellergebnisse **Fokusregion Eisenach/Hörselberg-Hainich**.

a) Leistung des Elektrolysesystems nach der Hochrechnung,

b) derzeit installierte Leistung von PV- und Windkraftanlagen (linker Balken) und theoretischer Bedarf für die Elektrolyse ab 2030,

c) Volllaststunden des Elektrolysesystems für jeden Zeitschritt,

d) Wasserstoffgestehungskosten (Levelized Cost of Hydrogen) für jeden Zeitschritt.

Abbildung 15 zeigt die Modellergebnisse der **Fokusregion Werra-Suhl-Tal / Gerstungen**. Die Elektrolyseleistung in der Region steigt von ca. 14 MW im Jahr 2030 auf ca. 37 MW im Jahr 2045 stetig an. Um den Strombedarf des Elektrolysesystems zu decken ist eine deutliche Vervielfachung der derzeit installierten Leistung an PV- und Windkraftanlagen nötig (siehe Abbildung 12 b). Wie in den anderen Fokusregionen weist das Elektrolysesystem ca. 3000 Volllaststunden im Simulationsverlauf auf. Die Gestehungskosten von Wasserstoff sinken von ca. 5,3 €/kg im Jahr 2030 stetig auf ca. 5 €/kg im Jahr 2045.

Durch die strikte Festlegung des anteiligen Ausbaus der PV- und Windkraftanlagen und dem deutlich höheren PV-Potenzial (vgl. Tabelle 1), ist die Versorgung des Elektrolyseurs stark von der Verfügbarkeit von PV-Strom abhängig. Dieser weist im Mittel geringere Volllaststunden als Onshore-Wind auf² und begrenzt damit die mögliche Auslastung des Elektrolyseurs sowie die Gestehungskosten von Wasserstoff.

² Fraunhofer ISE, „Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien“, Juni 2021, Freiburg

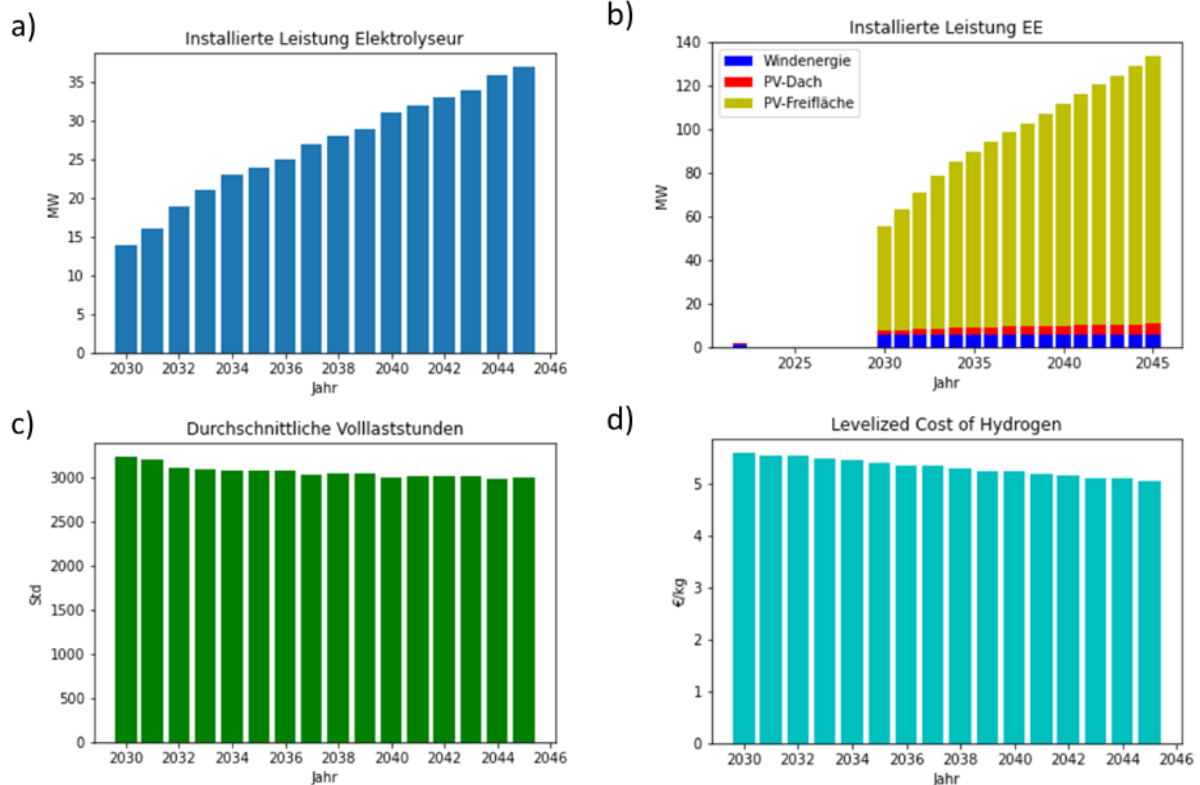


Abb. 15: Modellergebnisse **Fokusregion Werra-Suhl-Tal/Gerstungen**.

- a) Leistung des Elektrolysesystems nach der Hochrechnung,
- b) derzeit installierte Leistung von PV- und Windkraftanlagen (linker Balken) und theoretischer Bedarf für die Elektrolyse ab 2030,
- c) Volllaststunden des Elektrolysesystems für jeden Zeitschritt,
- d) Wasserstoffgestehungskosten (Levelized Cost of Hydrogen) für jeden Zeitschritt.

Über eine Anpassung des Ausbauverhältnisses hin zu einer stärkeren Fokussierung von Windkraft, könnte die Auslastung des Elektrolyseurs verbessert werden. Auch der Einbau von Batteriespeichern könnte für positive Effekte sorgen. Diese Aspekte werden in den nächsten Schritten der Modellierung betrachtet und analysiert werden. Ebenso wird der Bedarf weiterer Akteure in den Regionen in die Modellierung einfließen.

Die dargestellten Ergebnisse gehen außerdem noch von vereinfachten Annahmen aus. So wird der Großteil des lokal erzeugten Stroms für die Elektrolyse verwendet. Der allgemeine Strombedarf der Fokusregionen wird in diesem Stand nicht betrachtet. Eine Berücksichtigung dieses Bedarfs wirkt sich auf die benötigte installierte Leistung von PV- und Windkraftanlagen aus und nimmt Einfluss auf die Gestehungskosten von Wasserstoff. In den folgenden Iterationen des Modells soll auch dieser Einfluss betrachtet werden.

8. Verteilung

Ziel der Akteurstreffen in den Fokusregionen war die Identifikation von **Wasserstoff-Eco-Systemen** mit erneuerbaren-Energien-Anlagen (EE-Anlagen), Wasserstoffherzeugung mittels Elektrolysesystemen und entsprechenden Wasserstoffnutzern bzw. einem potenziellen Wasserstoffverbrauch in den verschiedenen Sektoren bei verschiedenen Akteuren.

Im ersten Schritt wurden für die Fokusregionen jeweilige **dezentrale Ansätze** für die Verteilung innerhalb der Wasserstoff-Eco-Systemen ausgearbeitet. Diese sind nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Fokusregion 1 – Raum Bad Salzungen / Vacha

Die Region zeichnet sich durch zwei größere Standortpotentiale aus.

Zum einen im Westen mit dem Standort „K+S Werk Werra“, welches ein hohes Potential für erneuerbare Energien-Anlagen (PV und Wind) aufweist und bereits Umsetzungsplanungen bzw. Konzepte ausarbeitet. Eine Wasserstoffnutzung ist vor allem in der Werkslogistik (dem innerbetrieblichen Rangierverkehr) sowie entsprechend anfallender LKW-Logistik zu sehen. Thermische Anwendungen, für zum Beispiel Trocknungsprozesse, sind ebenfalls vorhanden und geeignet für die Umstellung auf wasserstoffbetriebene Prozesse. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten ist am Standort auch die Großspeicherung von Wasserstoff prädestiniert (Kavernenspeicherung).

Im östlichen Bereich der Fokusregion befindet sich der weitere Standort mit der Stadt „Bad Salzungen“. Auch hier sind entsprechende EE-Anlagen Potentiale mit einer direkten Elektrolyseanbindung vorhanden. Anwender finden sich in der Industrie, im Bereich des ÖPNV sowie in der Logistik. Des Weiteren ist Aufgrund der angezielten Dekarbonisierung im Wärmesektor auch eine H₂-Teilsubstitution im bestehenden Heizkraftwerk sinnvoll umzusetzen. Jedoch müssen im Wärmebereich der weitere Ausbau direkt nutzbarer erneuerbarer Energien mit betrachtet werden, was wiederum ein eigenständiges Bearbeitungsthema aufweist und in diesem Kontext nicht weiter betrachtet wird.

Die nachfolgende Abbildung stellt einen Überblick der Fokusregion, mit den jeweiligen Akteuren aus den verschiedenen Bereichen, den potenziellen EE-Anlagen und Elektrolysestandorten dar. Ausgehend von den aktuellen Gegebenheiten könnten bis zu zwei Wasserstofftankstellen für ein Umsetzungsszenario bis 2030 relevant betrachtet werden.

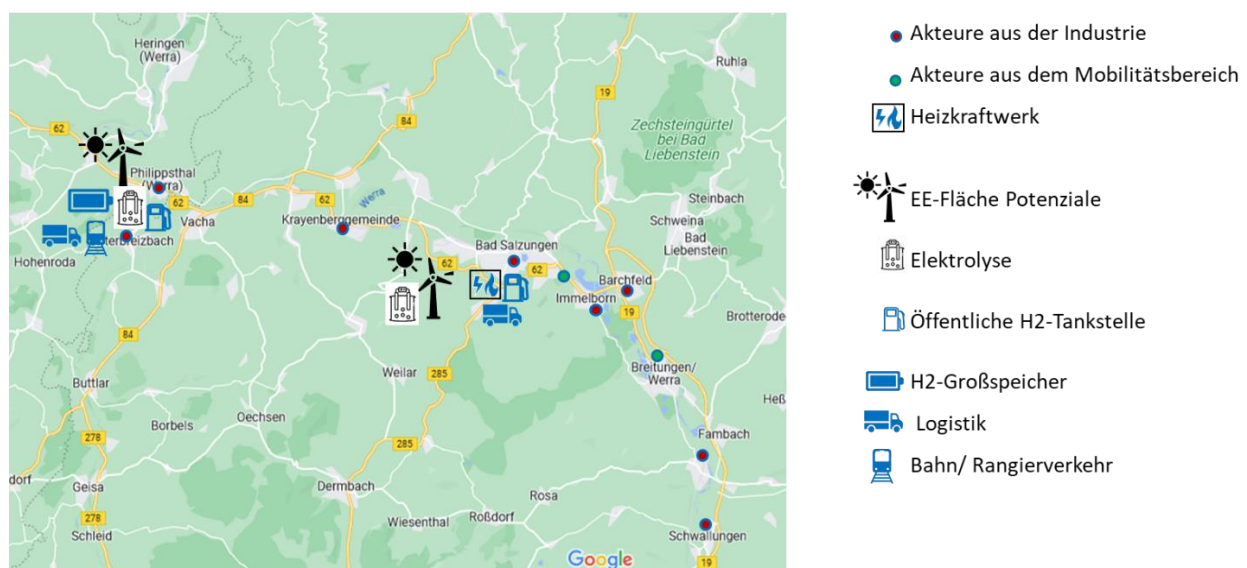


Abb. 16: Fokusregion Raum Bad Salzungen / Vacha

Fokusregion 2 – Raum Werra-Suhl-Tal / Gerstungen

In dieser Region ist vorrangig das Gewerbegebiet im Ortsteil Berka/Werra der Stadt Werra-Suhl-Tal als potenzieller Umsetzungsstandort zu sehen. Vertreten sind Akteure aus der Industrie aber auch aus der Logistik, die z.T. bereits eigene Tankinfrastrukturen besitzen. Ebenfalls ist bei einem Industrieunternehmen die Intralogistik für die Wasserstoffnutzung als Potenzial einzustufen.

Jedoch sind in der Fokusregion aktuell keine neuen EE-Flächen entsprechend ausgeschrieben/ fokussiert bzw. sind Planungen zum Bau neuer EE-Anlagen nicht vorhanden, wodurch ein zeitnaher Aufbau (innerhalb von 3 Jahren) von Wasserstoffherzeugungskapazitäten nicht realisiert werden könnten. Eine potenzielle Wasserstoffgroßspeicherung ist in dieser Fokusregion nicht vorhanden.

Im Gerstunger Ortsteil Marksuhl ist des Weiteren ein Industriekunde mit hohen Energie- bzw. Erdgasverbräuchen angesiedelt, welcher ein hohes Wasserstoffnutzungspotential aufweist. Die Produktionsprozesse dieses Unternehmens lassen sich dabei nur durch die Nutzung von grünem Wasserstoff (prozess- und standortbedingt) vollständig dekarbonisieren.

Die untere Abbildung stellt einen Überblick der Fokusregion, mit den jeweiligen Akteuren aus den verschiedenen Bereichen, den potenziellen EE-Anlagen und der Elektrolysestandorte (bei Berka/Werra und im Industriegebiet bei Marksuhl) dar. Ausgehend von den aktuellen Gegebenheiten könnte eine öffentliche Wasserstofftankstelle oder eine erweitert zugängliche Wasserstoff-Betriebstankstelle für ein Umsetzungsszenario bis 2030 relevant betrachtet werden.

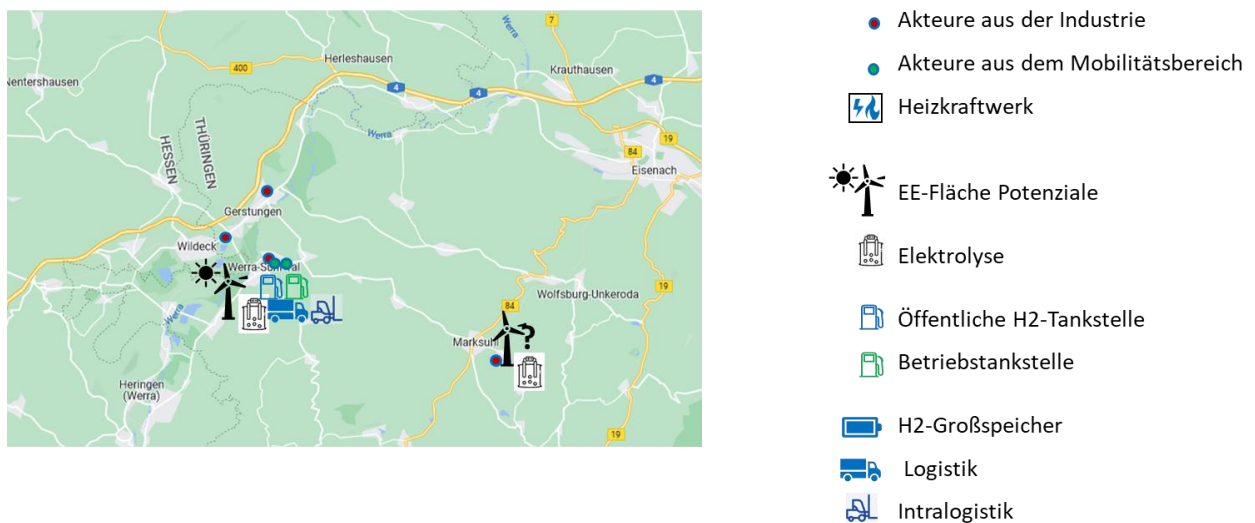


Abb. 17: Fokusregion Raum Werra-Suhl-Tal / Gerstungen

Fokusregion 3 – Eisenach / Hørselberg-Hainich

Diese Fokusregion weist durch die Stadt Eisenach, den Industrie- und Logistikakteuren sowie dem direkten Autobahnstandort wie die Fokusregion 1 ein hohes Umsetzungspotential auf. Neben den Akteuren/ Unternehmen in der Region sind ebenfalls die für die Wärmeversorgung vorhandenen Heizkraftwerke des örtlichen Energieversorgers als potenzielle Wasserstoffabnehmer mit zu betrachten. Dabei ist ähnlich wie bereits in der Fokusregion Bad Salzungen / Vacha ausgeführt, der Ansatz der weiteren direkten Einbringung von erneuerbaren Energien in die Wärmeversorgung bei gleichzeitiger Teilsubstitution mit Wasserstoff aufzuführen. Ebenfalls hervorzuheben sind, das östliche Industriegebiet „Eisenach-Kindel“ mit seinen Akteuren, die ein hohes Logistik aufkommen aufweisen

sowie die westlich gelegene Autobahntankstelle an der A4 (Krauthausen) der Shell Deutschland GmbH, welche bereits als Autohof und LKW-Rastplatz ausgebaut ist.

Des Weiteren hat das kommunale Entsorgungsunternehmen bereits die Einführung von Wasserstofffahrzeugen eingeplant. Darüber hinaus hat das Unternehmen ein Konzept zum Aufbau von Windkraftanlagen und einer entsprechenden Wasserstoffherzeugung beim Akteurstreffen aufgezeigt.

Insgesamt weist die Region hohe EE-Anlagen Potentiale auf, die jedoch in dem Akteurstreffen als nicht zeitnah umsetzbar definiert wurden.

Die nachfolgende Abbildung stellt einen Überblick der Fokusregion, mit den jeweiligen Akteuren aus den verschiedenen Bereichen, den Heizkraftwerken in Eisenach, den potenziellen EE-Anlagen in der Region und eines potentiell zeitnah umsetzbaren Elektrolysestandortes dar. Ausgehend von den aktuellen Gegebenheiten könnten bis zu drei Wasserstofftankstellen, darunter eine „überregionale“ Tankstelle (ÜR) an der A4 und eine erweitert zugängliche Wasserstoff-Betriebstankstelle, für ein Umsetzungsszenario bis 2030 relevant betrachtet werden.

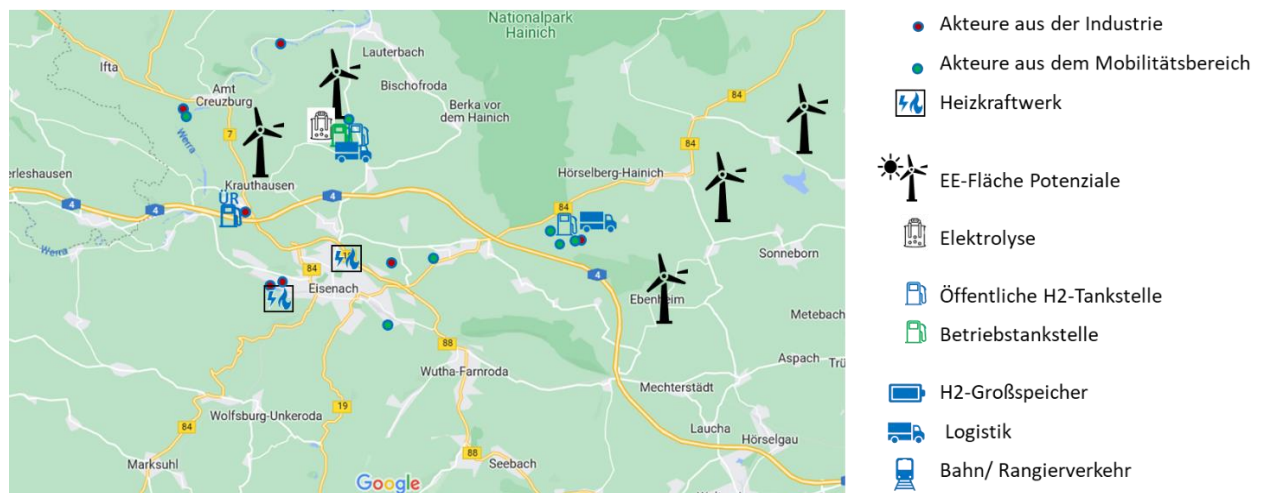


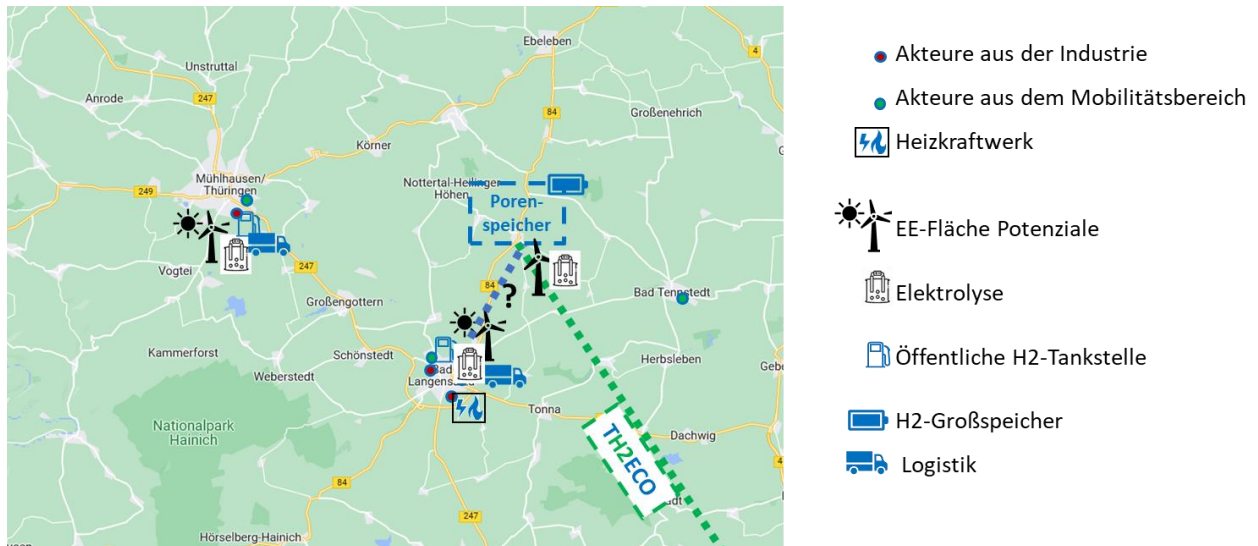
Abb. 18: Fokusregion Raum Eisenach / Hörselberg-Hainich

Fokusregion 4 – Raum Mühlhausen / Bad Langensalza

Die vierte Fokusregion wird durch die beiden Städte Mühlhausen und Bad Langensalza aufgestellt und zeichnet sich durch die bereits gestarteten Umsetzungsprojekte „TH2ECO“ und „P2G Bad Langensalza“ aus. Dadurch werden in der Region bereits zeitnah entsprechend neue EE-Anlagen gekoppelt mit Wasserstoffherzeugungskapazitäten installiert. Eine entsprechende Nutzung des erzeugten Wasserstoffs in der Region ist ausgehend von den Gesprächen sowie dem Akteurstreffen jedoch zunächst noch als schwierig einzuschätzen. Obwohl Akteure aus Industrie und Logistik vorhanden sind, wird der Einsatz von Wasserstoff aktuell noch nicht priorisiert. Die Nutzung von Wasserstoff im Heizkraftwerk in Bad Langensalza ist zum aktuellen Zeitpunkt ebenfalls als gering einzustufen und wird vom Betreiber nicht priorisiert.

Durch die Nähe zum Projekt TH2ECO und den Porenspeicher, welcher als Wasserstoff-Großspeicher umgesetzt wird, könnten jedoch regionale Großbedarfe der ansässigen Industrie und entsprechenden Schwankungen bei der Erzeugung und dem Bedarf sehr gut kompensiert werden. Eine entsprechende Kopplungsleitung von der TH2ECO-Leitung ist gestrichelt in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Die untere Abbildung stellt ebenfalls einen Überblick der Fokusregion, mit den jeweiligen Akteuren aus den verschiedenen Bereichen, dem Heizkraftwerk, den potenziellen EE-Anlagen in der Region und der Elektrolysestandorte in Bad Langensalza (in Umsetzung) und in Mühlhausen als Konzept/Potentialstandort dar. Ausgehend von den aktuellen Gegebenheiten könnten bis zu 2 Wasserstofftankstellen, je eine in Mühlhausen und Bad Langensalza, für ein Umsetzungsszenario bis 2030 relevant betrachtet werden.



H2-Eco-Systeme in der Planungsphase

TH2ECO

- Elektrolyseleistung Phase 1 bis 25 MW (Phase 2 bis 45 MW)
- U.a. Boreas, Greenwind
- Pipeline + Trailer (für Mobilität)

P2G in Bad Langensalza

- Elektrolyseleistung 1,2 bis 6 MW
- Loick, Boreas
- Energetische Nutzung Industrie + BHKW + Trailer (für Mobilität)

Abb. 19: Fokusregion Raum Mühlhausen / Bad Langensalza

Überregionale Ansätze

Aufgrund der europaweiten Bemühungen die Dekarbonisierung auch auf dem sogenannten „Gasweg“ umzusetzen, wurden im weiteren Verlauf der Bearbeitungen entsprechende Gespräche mit den Gas-Verteilnetz- und den lokalen Gasnetzbetreibern durchgeführt, welche in einem „Netzbetreiber Austausch: gemeinsam & überregional zum geplanten Hochlauf der H2-Versorgung“ bei der Firma GASCADE mündeten.

Unter anderem aus den Angaben zum aktuellen in der Umsetzung befindlichen „FLOW“-Projekt (<https://www.flow-hydrogen.com/>) ist ersichtlich, dass bis 2030 eine Wasserstoffversorgung über Pipelineumstellung aber auch Neubau für erste Regionen in Deutschland ermöglicht wird bzw. werden soll. In diesen Regionen befindet sich ebenfalls die „Doppelregion“ des HyExpert-Projektes (Wartburgkreis und Unstrut-Hainich-Kreis), siehe untere Abbildung 20.

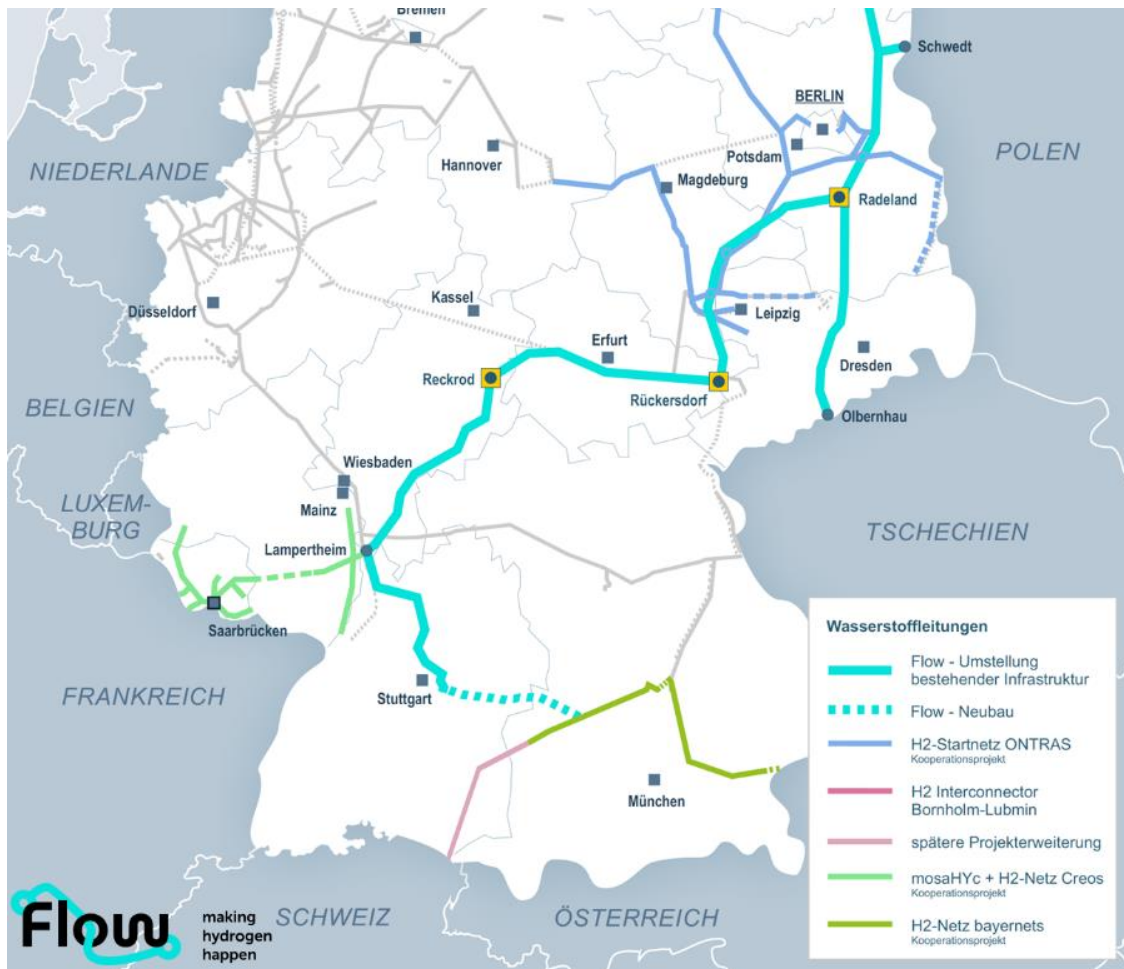


Abb. 20: Wasserstoffpipeline-Verlauf ausgehend vom Projekt "FLOW"

Daraus ergibt sich **im zweiten Schritt** der Betrachtungen, die zunächst dezentralen Ansätze in einen sogenannten **vernetzten Ansatz** für die Umsetzung von örtlichen Wasserstoff-Eco-Systemen zu überführen. Zentrale Rolle spielt dabei die Anbindungen der Fokusregionen an die „übergeordneten“ Wasserstoffpipeline des Flow und des TH2ECO-Projektes, um eine entsprechende Vernetzung zu erreichen. In der aktuellen Bearbeitung wird ausgehend davon eine ganzheitliche Darstellung der Wasserstoffregion aufgestellt, diese ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Durch die Vernetzung lassen sich Defizite in der Erzeugungs- und Speicherkapazität sowie entsprechende Abnahmeschwankungen in den Regionen kompensieren.

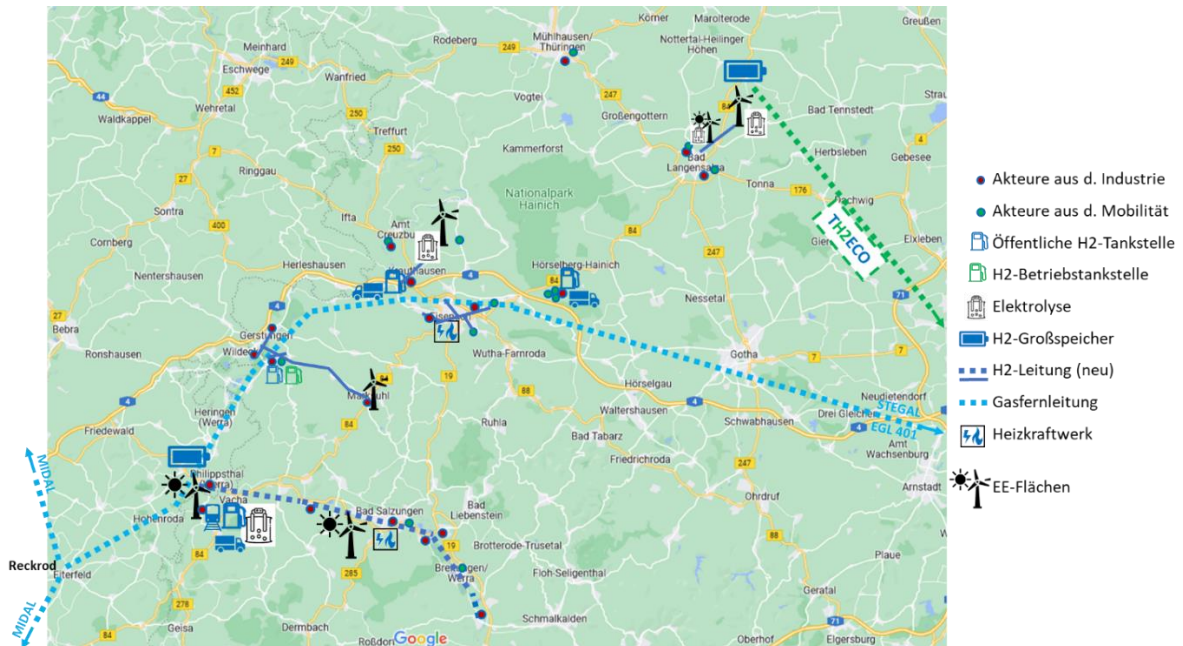


Abb. 21: Vernetzter Ansatz in der Gesamtregion

9. Zeitplan & Umsetzung der regionalen grünen Wasserstoffwirtschaft

Die mögliche Umsetzung teilt sich in 3 Phasen. Beginnend 2025 mit einer dezentralen Erzeugung zur Versorgung der frühen ersten Anwender aus Mobilität, Industrie und Fernwärme. Entscheidend dafür ist die Bildung eines Interessenkonsortiums aus Investoren, Betreibern und den Wasserstoffabnehmern. In einigen Fokusregionen gibt es erste Signale und Interessensbekundungen dafür. Das Ziel ist es, erste Absichtserklärungen zur Einreichung eines Folgeantrags im Programm HyPerformer, bis zur Abschlusskonferenz am 14.06.2023 zu generieren.

Durch das Pipeline Projekt Flow entsteht ab 2028 die Möglichkeit für den Anschluss an eine überregionale Versorgung mit größeren Mengen Wasserstoff, sodass die Umstellung von Teilnetzgebieten oder kompletten Netzgebieten erfolgen könnte. Einige Akteure sehen das als Chance und entwickeln erste Strategien dazu.

Der verbleibende Zeitraum bis 2045 ist gemäß den Zielen der Bundesregierung durch die vollständige Dekarbonisierung aller Sektoren gekennzeichnet.

Die verschiedenen Zeitabschnitte sind in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

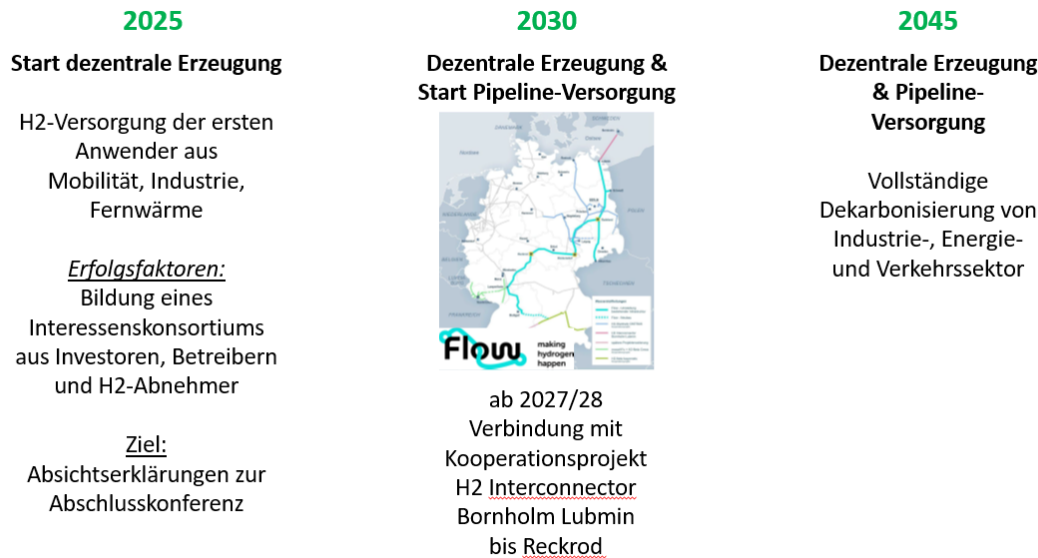


Abb. 22: Übersicht Timeline und Umsetzung der regionalen grünen Wasserstoffwirtschaft.

10. Fazit und nächste Schritte

Der Wasserstoffmarkt entwickelt sich mit einer hohen Dynamik. Einige regulatorische Themen sind noch nicht final definiert. Bspw. wie grüner, erneuerbarer Wasserstoff definiert sein wird und wer Wasserstoffgasnetze in Europa betreiben darf.

Gleichzeitig befinden sich große On- und Offshore Investitionen in Elektrolyse Kapazitäten im bis zu 3-stelligen MW-Bereich in Vorbereitung.

Es entsteht ein günstiges Umfeld für einen vergleichsweise zügigen Hochlauf und viele proaktive Akteure in den Fokusregionen sehen die Verwendung von grünem Wasserstoff als wesentliches Element zur Dekarbonisierung.

Bis zum Ende der Projektlaufzeit im Sommer 2023 stehen noch bilaterale Gespräche mit den Akteuren zur Verifizierung der Annahmen und zur Konkretisierung der Hochlaufsznarien an. Dazu wird auch eine wirtschaftliche Bewertung zwischen lokaler Erzeugung und überregionaler Pipelineversorgung erstellt.

Die Energiesystemmodellierung wird am Ende Aufschluss darüber geben, welche Elektrolysestandorte in Verbindung mit Standorten für erneuerbare Energien und Tankstellen die geeignetsten für den Hochlauf sind. Es werden dazu aktuell zwei Szenarien verfolgt, einmal für den dezentralen und einmal für den vernetzten Hochlauf der Fokusregionen. Gleichzeitig werden Verknüpfung mit angrenzenden HyExperts-Regionen zum Heben von Synergien aufgezeigt.

Die Bildung der Konsortien zur Umsetzung der dezentralen Erzeugung ist ein erklärtes Ziel des Gesamtkonzeptes, um damit unter Nutzung geeigneter Förderinstrumente in die Umsetzung gehen zu können. Ebenso soll ein lebendiges und aktives Wasserstoff-Netzwerk über das Projekt hinaus entstehen.

Projektkonsortium & Impressum

Dem Projektkonsortium, welches vom Landratsamt Wartburgkreis mit der Erstellung der Machbarkeitsstudie beauftragt wurde, gehören folgende Unternehmen an:



TRIVEDA

EurA[®]

 **Fraunhofer**
UMSICHT

Ihre Ansprechpartner:

Maika Baldauf - Stellv. Amtsleiterin Kreisplanung

Tel.: 03695 61-6406 / E-Mail: Maika.Baldauf@wartburgkreis.de

Dr. Maxi Domke – Klimaschutzmanagerin

Tel: 03695 61-6304 / E-Mail: klimaschutz@wartburgkreis.de

Dr. Lutz Mittelstädt - Geschäftsführer

M: +49 160 9285 2595 / E: lutz.mittelstaedt@triveda.de

Jens-Uwe Eras - Vertrieb & Netzwerk

M: +49 171 5586 107 / E: jens-uwe.eras@triveda.de

Projektwebseite: <https://www.wasserstoffregion-wartburg-hainich.de/>

Impressum

Landratsamt Wartburgkreis

Erzberger Allee 14

36433 Bad Salzungen

Stand: Juni 2023

Begriffserklärung

CAPEX – Capital Expenses

Investitionskosten

OPEX – Operating Expenses

Betriebskosten

Primär- und Sekundärenergieträger

Primärenergieträger sind unter anderem Braunkohle, Erdgas, Erdöl, Kernbrennstoffe, Steinkohle, Torf und erneuerbare Energieträger. Primärenergie wird teilweise in Raffinerien aufbereitet oder in Kraftwerke in andere Energieformen gewandelt (Sekundärenergie). (Quelle: Wikipedia)

Volllaststunden (VLH)

Der Begriff Volllaststunde ist ein Maß für die Auslastung einer Anlage in einem Jahr. Ein Jahr mit einer Dauer von 365 Tagen und jeweils 24 Stunden hat 8.760 Stunden bzw. ein Schaltjahr eine Dauer von 8.784 Stunden. (Quelle: Wikipedia)

Wasserstoff Farbenlehre

Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser hergestellt, wobei für die Elektrolyse ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien zum Einsatz kommt. Unabhängig von der gewählten Elektrolysetechnologie erfolgt die Produktion von Wasserstoff CO₂-frei, da der eingesetzte Strom zu 100% aus erneuerbaren Quellen stammt und damit CO₂-frei ist.

Grauer Wasserstoff wird aus fossilen Brennstoffen gewonnen. In der Regel wird bei der Herstellung Erdgas unter Hitze in Wasserstoff und CO₂ umgewandelt (Dampfreformierung). Das CO₂ wird anschließend ungenutzt in die Atmosphäre abgegeben und verstärkt so den globalen Treibhauseffekt: Bei der Produktion einer Tonne Wasserstoff entstehen rund 10 Tonnen CO₂.

Blauer Wasserstoff ist grauer Wasserstoff, dessen CO₂ bei der Entstehung jedoch abgeschieden und gespeichert wird (engl. Carbon Capture and Storage, CCS). Das bei der Wasserstoffproduktion erzeugte CO₂ gelangt so nicht in die Atmosphäre und die Wasserstoffproduktion kann bilanziell als CO₂-neutral betrachtet werden.

Türkiser Wasserstoff ist Wasserstoff, der über die thermische Spaltung von Methan (Methanpyrolyse) hergestellt wurde. Anstelle von CO₂ entsteht dabei fester Kohlenstoff. Voraussetzungen für die CO₂-Neutralität des Verfahrens sind die Wärmeversorgung des Hochtemperaturreaktors aus erneuerbaren Energiequellen, sowie die dauerhafte Bindung des Kohlenstoffs.

Roter Wasserstoff wird ebenfalls durch Elektrolyse gewonnen. Der benötigte Strom stammt aus der Kernenergie. Klimaschädliches CO₂ entsteht dabei nicht, wohl aber radioaktiver Abfall, der sicher und dauerhaft endgelagert werden muss.

Wasserstoffgestehungskosten

Die Wasserstoffgestehungskosten geben an, welche Kosten bei der Erzeugung von Wasserstoff anfallen. Diese werden maßgeblich durch die Strombezugskosten sowie die Investitions- und Betriebskosten in Abhängigkeit von den Volllaststunden des Elektrolyseurs beeinflusst.