

WASSERSTOFFREGION WEIMARER LAND/WEIMAR



HyStarter-Konzept Region Weimarer Land/Weimar



Impressum

Herausgeber



Landratsamt Weimarer Land
Bahnhofstr. 28, 99510 Apolda

weimar

Kulturstadt Europas
Stadtverwaltung Weimar
Markt 13/14, 99423 Weimar

Projektleitung

Nadine Schwarz und Roberto Murr, Landratsamt Weimarer Land
Tobias Keppler und Marco Mayer, Stadtverwaltung Weimar

Verantwortlich für den Inhalt



Spilett new technologies GmbH
Schöneberger Str. 18, 10963 Berlin
<https://www.spilett.de>

Autoren

Martin Hellwig und Henner Weithöner (Spilett new technologies GmbH)

Unter Mitarbeit von:

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

Ciara Dunks und Tim Röpcke (Reiner Lemoine Institut)

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

Titelbild

© BMVI / grafische Gestaltung David Borgwardt (Spilett new technologies GmbH)

Druck + Layout

Hahndruck Kranichfeld e.K.
Georgenstr. 7
99448 Kranichfeld

Stand: November 2021

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



Beauftragt durch:
 Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Vergabe und Projektbegleitung durch:
 NOW - GMBH.DE



1. Grußworte der Landrätin und des Oberbürgermeisters

Das Förderprogramm „HyStarter – Wasserstoffregion Weimar“ ist abgeschlossen. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass unsere Region großes Potential als Wasserstoffstandort aufweist.

Es war erstaunlich mitzuerleben, wie sowohl anbieterseitig als auch nachfrageseitig ein Markt in unserer Region identifiziert wurde. In den vergangenen 16 Monaten haben Expertinnen und Experten die Region Weimar/ Weimarer Land genauer auf den Prüfstand gestellt. Es wurden unzählige Analysen und Hochrechnungen vorgenommen. Dabei haben nicht nur die Expertinnen und Experten sehr gute Arbeit geleistet, sondern auch viele Akteure aus unserer Region. Diese Fachleute haben aufgezeigt, was hier in Weimar und dem Weimarer Land möglich ist.

Ein ganz großes Dankeschön gilt allen Beteiligten des Projektes. Durch sie ist ein innovatives und zukunftsfähiges Konzept entstanden, das in den nächsten Jahren unbedingt weiter vorangetrieben werden soll. Mit Blick in die Zukunft liegt es an uns, wie wir mit den vorliegenden Informationen und Ergebnissen umgehen und weiter verfahren.

Wir wünschen daher allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern in der Modellregion weiterhin viel Erfolg und Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, eine aufschlussreiche und interessante Lektüre.

Ihre Landrätin des Kreises Weimarer Land



Christiane Schmidt-Rose

Ihr Oberbürgermeister der Stadt Weimar



Peter Kleine

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Impressum..... | 2 |
| 1. Grußworte der Landrätin und des Oberbürgermeisters..... | 3 |
| Abbildungsverzeichnis..... | 6 |
| Tabellenverzeichnis..... | 7 |
| Abkürzungsverzeichnis..... | 8 |
| 2. Zusammenfassung..... | 9 |
| 3. Vorstellung der Region..... | 10 |
| 4. Bewerbung im HyLand-Wettbewerb..... | 11 |
| 4.1. Die Region Weimarer Land/Weimar: Eine von neun HyStarter-Regionen..... | 11 |
| 4.2. Motivation und Ziel der Teilnahme am HyStarter-Wettbewerb..... | 12 |
| 5. Die Ausgangslage in der Region..... | 13 |
| 6. Die Akteure im HyStarter-Projekt..... | 14 |
| 7. Die Strategiedialoge in der Region..... | 15 |
| 8. Die Potenziale und Bedarfe an Wasserstoff in der Region..... | 19 |
| 9. Der Handlungsansatz und die Themenfelder der Region..... | 20 |
| 9.1. Wasserstoffproduktionsoptionen im Kreis und in der Stadt..... | 20 |
| 9.2. Wasserstofftransport..... | 21 |
| 9.3. Wasserstoff im ÖPNV und dem kommunalen Nutzverkehr..... | 21 |
| 9.3.1. ÖPNV (BZ-Busse)..... | 21 |
| 9.3.2. Kommunale Nutzfahrzeuge (Müllsammelfahrzeuge)..... | 21 |
| 9.3.3. Leichte Nutzfahrzeuge..... | 22 |
| 9.3.4. Wasserstofftankstellen..... | 22 |
| 9.4. Wasserstoff in der Energieversorgung von Gebäuden..... | 23 |
| 9.5. Bildung und Qualifizierung zum Thema Wasserstoff..... | 23 |
| 10. Die Vision einer regionalen Wasserstoffwirtschaft für die Region im Jahr 2030 und 2050 ... | 25 |
| 11. Das Handlungskonzept und seine Umsetzung –..... | 27 |
| Die Landkarte der Möglichkeiten..... | 27 |
| 11.1. Die Phase 1 – Technologiekonzept und Simulation..... | 27 |
| 11.1.1. Simulation der Phase 1..... | 28 |
| 11.1.2. Fazit der Phase 1..... | 31 |
| 11.2. Die Phase 2 – Technologiekonzept und Simulation..... | 32 |
| 11.2.1. Simulation der Phase 2..... | 33 |
| 11.2.2. Fazit der Phase 2..... | 37 |
| 11.3. Gesamtfazit für die Region..... | 37 |

| | | |
|-------|--|----|
| 12. | Entwicklungsmodell für einen Wasserstoffmarkt in der Region..... | 39 |
| 12.1. | Entwicklungsmodell "Eigenständigkeit"..... | 40 |
| 12.2. | Entwicklungsmodell "Kooperation" | 41 |
| 13. | Maßnahmenkatalog | 45 |
| 14. | Das kleine 1x1 des Wasserstoffs | 46 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Die HyStarter-Region Weimarer Land / Weimar | 10 |
| Abbildung 2: Die neun HyStarter-Regionen im HyLand-Wettbewerb 2019. © NOW GmbH | 11 |
| Abbildung 3: Schema der Wasserelektrolyse..... | 20 |
| Abbildung 4: Schema Gebäudeenergieversorgung..... | 23 |
| Abbildung 5: Illustration der Vision 2050..... | 25 |
| Abbildung 6: Die Landkarte der Möglichkeiten für jede Region Weimarer Land/Weimar..... | 27 |
| Abbildung 7: Das Technologiekonzept für die erste Phase des Handlungskonzeptes..... | 28 |
| Abbildung 8: Volllaststunden des Elektrolyseurs am Windpark für Phase 1 | 29 |
| Abbildung 9: Egon-Eiermann-Bau, Apolda | 30 |
| Abbildung 10: Deckung des Wärmebedarfs im Eiermannbau-Quartier,H2-BHKW und Fremdbezug im Jahresverlauf | 31 |
| Abbildung 11: Das Technologiekonzept für die zweite Phase des Handlungskonzeptes | 32 |
| Abbildung 12: Volllaststunden des Elektrolyseurs (1) am Windpark mit 7,6 MW | 33 |
| Abbildung 13: Volllaststunden des Elektrolyseurs (2) am Windpark mit 27,3 MW | 33 |
| Abbildung 14: Herausforderungen bei der Realisierung von Wasserstoffprojekten..... | 40 |
| Abbildung 15: Akteursstruktur mit bilateralen Verträgen | 41 |
| Abbildung 16: Akteursstruktur im Wasserstoffkonzept der Region (Option "Eigenständigkeit" über bilaterale Verträge) | 41 |
| Abbildung 17: Akteursstruktur Option "Kooperation" über Wasserstoffplattform | 42 |
| Abbildung 18: Akteursstruktur im Wasserstoffkonzept der Region (Option "Kooperation" über Wasserstoffplattform)..... | 43 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Ergebnisse der Optimierung der Komponenten der Wasserstoffproduktion am Windpark | 28 |
| Tabelle 2: Kostenbetrachtung des Windparks | 29 |
| Tabelle 3: Ergebnisse der Optimierung der Komponenten der Wasserstofftankstelle in Weimar für Phase 1 | 29 |
| Tabelle 4: Kostenbetrachtung der Tankstelle Weimar | 30 |
| Tabelle 5: Ergebnisse der Optimierung der Komponenten des Eiermannbau-Quartiers | 30 |
| Tabelle 6: Kostenbetrachtung Eiermannbau-Quartier | 31 |
| Tabelle 7: Ergebnisse der Optimierung der Komponenten der Windpark-Systeme zur Wasserstoffproduktion in Phase 2 | 33 |
| Tabelle 8: Kostenbetrachtung Windpark-Systeme der Phase 2, Pipeline Neubau | 33 |
| Tabelle 9: Kostenbetrachtung Windpark-Systeme der Phase 2, Pipeline Retrofit | 34 |
| Tabelle 10: Ergebnisse der Optimierung der Komponenten der Tankstelle Weimar in Phase 2 | 35 |
| Tabelle 11: Kostenbetrachtung Tankstelle Weimar Phase 2, Pipeline Neubau | 35 |
| Tabelle 12: Kostenbetrachtung Tankstelle Weimar Phase 2, Pipeline Retrofit | 35 |
| Tabelle 13: Ergebnisse der Optimierung der Komponenten des Eiermannbau-Quartiers | 35 |
| Tabelle 14: Kostenbetrachtung Eiermannbau-Quartier Phase 2, Pipeline Neubau | 36 |
| Tabelle 15: Kostenbetrachtung Eiermannbau-Quartier Phase 2, Pipeline Retrofit | 36 |
| Tabelle 16: Ergebnisse der Optimierung der Komponenten des repräsentativen Quartiers | 36 |
| Tabelle 17: Kostenbetrachtung Repräsentatives Quartier, Pipeline Neubau | 36 |
| Tabelle 18: Kostenbetrachtung Repräsentatives Quartier, Pipeline Neubau | 37 |
| Tabelle 19: Kurzbewertung der erläuterten Optionen | 44 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------------|---|
| a | Jahr |
| BHKW | Blockheizkraftwerk |
| BImSchG | Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz) |
| BMWi | Bundesministerium für Wirtschaft und Energie |
| BMVI | Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur |
| BHKW | Blockheizkraftwerk |
| BZ | Brennstoffzelle |
| BZ-BHKW | Blockheizkraftwerk auf Basis der Brennstoffzellentechnologie |
| CAPEX | eng. für capital expenditure = Investitionskosten |
| CVD | Clean Vehicle Directive, EU-Richtlinie über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge |
| CO ₂ | Kohlenstoffdioxid |
| DVGW e.V. | Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. |
| EEG | Gesetz zum Ausbau erneuerbarer Energien – EEG 2021 |
| EU | Europäische Union |
| GIZ | Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit |
| GFK | Glasfaserverstärkter Kunststoff |
| h | Stunde |
| H ₂ | Wasserstoff |
| HRS | Hydrogen Refuelling Station, Wasserstofftankstelle |
| kg | Kilogramm |
| kW | Kilowatt |
| kWh | Kilowattstunde |
| kWp | Kilowatt peak |
| LK | Landkreis |
| Lkw | Lastkraftwagen |
| m ³ | Kubikmeter |
| MW | Megawatt |
| MWh | Megawattstunde |
| NOW GmbH | Nationale Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie |
| OPEX | eng. für operational expenditure = Betriebskosten |
| PEM | eng. für polymer electrolyt fuel cell = Polymerelektrolytbrennstoffzelle |
| Pkw | Personenkraftwagen |
| ÖPNV | Öffentlicher Personennahverkehr |
| SaubFahrzeugBschG | Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge |
| SOFC | eng. für solid oxide fuel cell = Festoxidbrennstoffzelle |
| t | Tonne |
| THG | Treibhausgase |

2. Zusammenfassung

Der Dreiklang aus **“Innovationen wagen“**, **“Grünen Wasserstoff einsetzen“** und **“Umsetzungsorientiert denken“** prägt das Projekt der Wasserstoffregion Weimarer Land/Weimar. In Zusammenhang mit den bereits vorhandenen Konzepten für einen integrierten Klimaschutz und einer nachhaltigen Mobilität wurde mit dem Akteurskreis der Region, bestehend aus Unternehmen, Organisationen und privaten Initiativen, in sechs Strategiedialogen und vielen bilateralen Gesprächen, ein Maßnahmenkatalog erarbeitet, der 19 konkrete Maßnahmen enthält, die eine Implementierung einer regionalen Wasserstoffwirtschaft ermöglichen sollen.

Die Maßnahmen sind in zwei Phasen eingeteilt: Die erste Phase umfasst alle kurzfristig umsetzbaren Vorhaben, zum Beispiel der Beginn der Planungen für eine Elektrolyseanlage am Windpark Eckolstädt oder die Planungen für eine Wasserstofftankstelle für Brennstoffzellenbusse und -entsorgungsfahrzeuge in Weimar. Mittel- und langfristig gedachte Ideen sind Maßnahmen, wie zum Beispiel die Entwicklung von Konzepten für den Bau einer Wasserstoffpipeline und für die Installation einer Wasserstofftankstelle in Apolda, vorgesehen. Weitere konkrete Maßnahmen, wie die Erstellung eines Konzeptes für die begleitende Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, für die Ansprache und Gewinnung von weiteren potenziellen Partnern und Investoren oder die Entwicklung einer Bildungsmatrix für strukturierte Aktionen der Wissensvermittlung und Bildungsarbeit können zeitnah ergriffen werden.

Die Simulationsberechnungen der Produktionsmengen sowie der Bedarfe in der Region Weimarer Land/Weimar zeigen, dass mit der zentralen Erzeugungsanlage am Standort Eckolstädt sowohl in der ersten Phase, der Initialphase, wie auch in der zweiten Phase - der Umstellung weiterer Fahrzeuge im ÖPNV und der Entsorgung auf Brennstoffzellenantriebe sowie weiterer Gebäude in Weimar und Apolda auf eine Wasserstoff gestützte Energieversorgung - wettbewerbsfähige Wasserstoffgestehungskosten erzielt werden können. Wobei die Quartiersversorgung aufgrund der noch fehlenden Technologiereife gegenüber der Energiebereitstellung z.B. durch Erdgas mit höheren Kosten zu realisieren ist. Insbesondere im Wärmebereich zeigen konventionelle Technologien (Brennwertkessel, u.ä.) und die direkte Stromnutzung eine bessere Wirtschaftlichkeit.

Die unterschiedlichen Transportoptionen der beiden Phasen profitieren von der regionalen Topologie (ebenes Landschaftsbild, geeignete Bodenbeschaffenheit, optimale Lagebeziehungen zwischen den Standorten der Erzeugung und der Anwendung des Wasserstoffs). Für die initialen Bedarfe der ersten Phase ist der Trailer-Transport mit Lkw eine kostengünstige Lösung, die alle Bedarfsstandorte abdecken kann. In Phase 2 bietet sich durch die steigenden Bedarfe und damit höheren Transportmengen die Nutzung einer Pipeline an. Hierbei sind die Kostenstrukturen für den Bau und den Betrieb einer Pipeline zum Zeitpunkt der ersten Planungen neu zu beachten.

In Verbindung mit einer parallel durchgeführten Machbarkeitsstudie zur Anschaffung von Wasserstoffbussen¹ zeigt sich, dass sich ein Betriebsmodell für die Nutzung von brennstoffzellenbetrieben Bussen im ÖPNV² der Region wirtschaftlich darstellen lässt. Mit der Umrüstung der Entsorgungsfahrzeuge auf Wasserstoffbetrieb erhöht sich der Wasserstoffbedarf und damit auch die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems. Auch zeigen die optionalen Standorte der entsprechende Wasserstofftankstelle gute bis sehr gute räumliche und strukturelle Voraussetzungen.

¹ “Machbarkeitsstudie zur Anschaffung von Wasserstoffbussen“, EE ENERGY ENGINEERS im Auftrag des LRA Weimarer Land, 2021

² Öffentlicher Personennahverkehr

3. Vorstellung der Region

Der ländlich geprägte Kreis Weimarer Land bildet zusammen mit der Stadt Weimar die Wirtschaftsregion WEIMARPLUS³. Früher waren hier vor allem Landwirtschaft, Handwerk und Strickindustrie präsent. In den letzten drei Jahrzehnten hat sich die Region zu einem Gewerbe- und Industriestandort mit einem breit gefächerten Branchenmix entwickelt. Viele der hier ansässigen Unternehmen sind innovativ, kreativ und in den wichtigen Themenfeldern Umweltschutz, Energiewende, erneuerbare Energien, Rohstoffwiedergewinnung und verbesserter Rohstoffeinsatz engagiert. Dabei baut die Region auf die Zusammenarbeit mit den regionalen Wissenschaftsinstitutionen, wie der Bauhaus-Universität sowie den regionalen Forschungseinrichtungen.

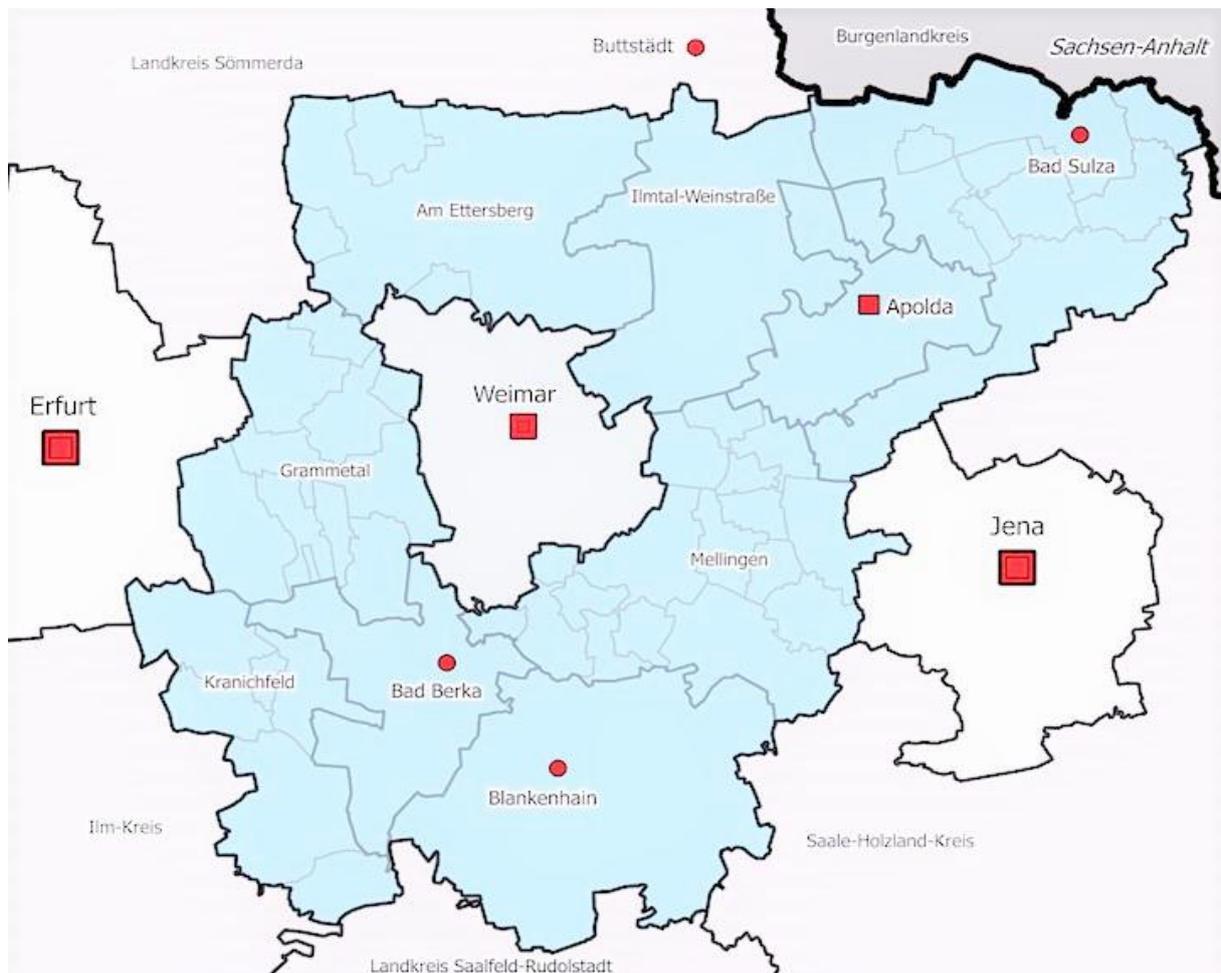


Abbildung 1: Die HyStarter-Region Weimarer Land / Weimar

(© IGES 2019)⁴

Statistische Daten der HyStarter-Region⁵:

| | Stadt Weimar | Kreis Weimarer Land | Insgesamt |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|
| Fläche | 84 km ² | 804 km ² | 888 km ² |
| Einwohner*innen | 65.228 | 82.156 | 147.384 |
| Bevölkerungsdichte | 775 EW/km ² | 102 EW/km ² | 166 EW/km ² |
| Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte | 23.825 | 34.249 | 58.074 |

³ Siehe <https://www.weimarplus.de>

⁴ Kartengrundlage: ©GeoBasis-DE / BKG 2016, Datengrundlage: TMIL (Hrsg.) 2014

⁵ Quelle: Landratsamt Weimarer Land und Stadtverwaltung Weimar

4. Bewerbung im HyLand-Wettbewerb

Im September 2019 wurden der Kreis Weimarer Land und die Stadt Weimar als Region Weimar im Rahmen der ersten Runde des BMVI-Wettbewerbs HyLand von bundesweit neun HyStarter-Regionen ausgewählt.

4.1. Die Region Weimarer Land/Weimar: Eine von neun HyStarter-Regionen

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) unterstützt mit dem HyLand-Wettbewerb Regionen in Deutschland bei der Initiierung und Realisierung einer regionalen Wasserstoffwirtschaft. Die HyStarter-Regionen erhalten dabei eine fachliche und strategische Begleitung beim Aufbau eines regionalen Akteursnetzwerks und bei der Entwicklung eines Handlungskonzeptes. Mit der fachlichen und strategischen Begleitung der HyStarter-Dialoge wurde ein Projektkonsortium bestehend aus Spilett new technologies GmbH (Projektleitung), Nuts One GmbH, BBH Consulting AG, EE ENERGY ENGINEERS GmbH und Reiner Lemoine Institut beauftragt. Das Ergebnis dieses durch HyStarter angestoßenen Prozesses ist die vorliegende Konzeptstudie.



Abbildung 2: Die neun HyStarter-Regionen im HyLand-Wettbewerb 2019. (© NOW GmbH)

Weitere Informationen zu HyStarter und dem HyLand-Programm finden Sie unter:

- <https://www.hy-starter.de>
- <https://www.now-gmbh.de/sectoren-themen/sectorenkopplung>
- <https://www.ptj.de/projektfoerderung/nip/hyland>

4.2. Motivation und Ziel der Teilnahme am HyStarter-Wettbewerb

Mit der aktuellen Überarbeitung des bestehenden „Integrierten Klimaschutzkonzeptes“, der Erarbeitung eines Konzeptes für „Nachhaltige Mobilitätsentwicklung“ und der Fortschreibung des „Nahverkehrsplans 2014 – 2018“ für die Stadt Weimar zeigt die Region ihre deutlichen Ambitionen, eine Vorreiterrolle in den Bereichen Klimaschutz, erneuerbare Energien, Mobilitätswende und Nachhaltigkeit auch außerhalb der Landesgrenzen zu übernehmen. Insbesondere die Entwicklung alternativer, CO₂-armer bzw. -freier Optionen zur Energieversorgung von Gebäuden, speziell unter den Gesichtspunkten des Denkmalschutzes, stehen, neben der Nutzung von klimafreundlichen Treib- und Kraftstoffen für den Verkehrssektor, dabei im Fokus. Der schon heute gute und intensive Kontakt zu Bauhaus-Universität Weimar soll in diesem Projekt noch verstärkt werden, um neue und innovative Bildungsangebote zu entwickeln.

Die Implementierung emissionsarmer Energieträger im ÖPNV konnte in Weimar bisher in Ermangelung der infrastrukturellen Voraussetzungen nicht wie gewünscht umgesetzt werden, obwohl der Bereich „Verkehr“ in der Stadt Weimar den zweitgrößten THG⁶-Emittenten darstellt. Die Wasserstofftechnologie bietet hier eine neue Möglichkeit auch ohne umfassende Änderungen der Taktung, der Organisation oder der Infrastruktur des Nahverkehrs den TGH-Einsparungsempfehlungen des Landes Thüringen für den Sektor „Verkehr“ zu folgen und gleichzeitig Potentiale zu heben, um in einer industriell schwachen Region regionalwirtschaftliche Kreisläufe aufzubauen. Durch die Schaffung eines lokalen und direkt nutzbaren Elementes zur Sektorenkopplung könnten gleichzeitig auch im Bereich „Gebäude“, der den größten THG-Emittenten in Weimar bildet, aufgrund regionaler Wertschöpfungsketten stärkere Modernisierungs- und Sanierungsanreize gesetzt werden.

Der Kreis Weimarer Land hat sich in den vergangenen 20 Jahren zu einem Gewerbe- und Industriestandort mit einem breit gefächerten Branchenmix entwickelt. Viele der ansässigen Unternehmen sind innovativ, kreativ und in den wichtigen Themenfeldern Umweltschutz, Energiewende, erneuerbare Energien, Rohstoffwiedergewinnung und verbesserter Rohstoffeinsatz engagiert. Ziel des Projektes ist es, eine Akteurslandschaft zu entwickeln, in der diese Breite der Unternehmen dargestellt und einzelne Unternehmen ihre Expertise und Erfahrungen einbringen können. Da der Kreis Weimarer Land und die umliegenden Städte Jena, Weimar und Erfurt Mitglieder im Verbundtarif Mittelthüringen sind, steht auch hier die Implementierung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie im Fokus des Projektes.

Zusammengefasst werden folgende Ziele verfolgt:

- **Innovationen wagen:** Durch das HyStarter-Projekt soll die Bereitschaft geschaffen werden, neue Wege zu beschreiten, zukunftsorientierte Ideen voranzubringen und Diskussionen mit anderen Branchen und kritischen Stimmen zu führen.
- **Grünen Wasserstoff einsetzen:** Der Klimaschutz wird als Markenzeichen der Region gesehen und als wichtiges Handlungsfeld benannt (auch wenn Wasserstoff nur einen vergleichsweise kleinen Beitrag zum Erreichen der Klimaschutzziele leisten wird).
- **Umsetzungsorientiert denken:** Projektideen, Maßnahmen und Fahrpläne sollen so ausgelegt sein, dass sie möglichst kurzfristig umgesetzt werden können. Es soll kein „Konzept für die Schublade“ entstehen.

⁶ THG: Treibhausgas

5. Die Ausgangslage in der Region

Neben den bereits aufgeführten regionalen Konzepten für Klimaschutz und Mobilitätsentwicklung sowie dem Nahverkehrsplan beschreibt die Wasserstoffstudie Thüringen die Situation sehr deutlich:⁷

Die **kleinteilige Wirtschaftsstruktur** mit flexibel agierenden kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) sowie die **dezentral über die Landesfläche verteilten Erzeugerstrukturen von Erneuerbaren-Energien-Anlagen** begünstigen die technische Entwicklung und den Aufbau von dezentralen Wasserstoffinfrastrukturen. Gelingt es, dies im Zusammenwirken mit den **wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Herausforderungen**, vor denen das Land steht, zu realisieren, dann können Wasserstofftechnologien ein Erfolgskonzept für Thüringens Zukunft werden.

Thüringen hat die **Chance**, in einem **Bottom-up-Prozess** der kleinen Schritte auf breiter Basis eine integrierte Energie- und Mobilitätswende mit Hilfe von Wasserstofftechnologien umzusetzen. Diese Chance, deren Hintergründe im Folgenden erörtert werden, gilt es jetzt zu nutzen. Gleichzeitig bieten sich auch Chancen, **großskalige Ansätze zur Wasserstoffnutzung** zu realisieren, etwa für die Substitution von Erdgas in Prozessanwendungen in der glas-, aluminium- und stahlverarbeitenden Industrie.

Eine vergleichbare Struktur bietet die Region Weimarer Land/Weimar. Es besteht allerdings die Herausforderung, den Ausbau der erneuerbaren Energien deutlich zu fossieren, wenn ausschließlich "grüner" Wasserstoff genutzt werden soll. Dazu müssen neue Eignungsgebiete für die Nutzung von Wind- und Solarenergie erschlossen und die bestehenden Anlagen auch zur Wasserstoffproduktion herangezogen werden.

Zusätzlich stehen die Verkehrsunternehmen der Region vor den Herausforderungen der CVD⁸ und des SaubFahrzeugBeschG⁹. Die hier beschriebenen Quoten formulieren einen Mindestanteil an sauberen¹⁰ und emissionsfreien¹¹ Fahrzeugen. Beispielsweise gilt für den Bereich der Busse für die Periode vom 02.08.2021 bis 31.12.2025 eine Mindestquote von 45 Prozent an sauberen Bussen – die Hälfte davon muss emissionsfrei sein. Für die Periode vom 01.01.2026 bis zum 31.12.2030 wird der Wert auf 65 Prozent angehoben. Auch in dieser Periode muss mindestens die Hälfte der Busse emissionsfrei sein. Dadurch löst das SaubFahrzeugBeschG einen Handlungsdruck bei den Verkehrsunternehmen aus.

Mit den vielen kleinen und mittelständischen Unternehmen der Region und darüber hinaus bietet sich eine Nachfrageseite für die Anwendung von Wasserstoff sowie für den entsprechenden Service und die Dienstleistungen in der Planung, dem Bau und dem Betrieb von Wasserstoffanlagen und Wasserstoffkomponenten.

⁷ Quelle: Studie „Wasserstoff in Thüringen – Ausgangslage, Potentiale und Handlungsoptionen“, 2019

⁸ CVD: Clean Vehicle Directive, EU-Richtlinie über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge

⁹ SaubFahrzeugBeschG: Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge

¹⁰ Nutzung alternativer Kraftstoffe wie Strom, Wasserstoff, Biokraftstoffe, synthetische und paraffinhaltige Kraftstoffe oder Gas (CNG, LNG, LPG, Biomethan).

¹¹ Fahrzeuge mit reinen Elektroantrieben (z. B. batterieelektrische oder Brennstoffzellen-Antriebe).

6. Die Akteure im HyStarter-Projekt

Aufbauend auf den bereits vorhandenen Aktivitäten und Netzwerken der Region brachten die im HyStarter-Projekt durchgeführten Veranstaltungen die unterschiedlichen Akteure aus dem Kreis Weimarer Land, der Stadt Weimar sowie den angrenzenden Landkreisen zusammen. Sie alle eint das große Interesse an den Themen "Erneuerbare Energien", "Wasserstoff" und "Wasserstoffwirtschaft" sowie die Idee, das große Potenzial der innovativen Wasserstofftechnologie in ihrer Region zu nutzen und somit den Zielen aus den regionalen Klimaschutzplänen näher zu kommen.

Folgende Akteure waren in die Diskussionsprozesse um das vorliegende Konzept beteiligt und haben ihre Expertise, Erfahrungen und Netzwerke eingebracht (in alphabetischer Reihenfolge):

| | |
|--|--|
| Bauhaus-Universität Weimar | (https://www.uni-weimar.de) |
| BürgerEnergie Thüringen e.V. | (http://buergerenergie-thueringen.de) |
| Bus&Bahn Thüringen e.V. | (https://www.bus-bahn-thueringen.de) |
| Energieversorgung Apolda GmbH | (https://evapolda.de) |
| IAB Weimar gGmbH | (https://www.iab-weimar.de) |
| IBA – Internationale Bauausstellung Thüringen | (https://www.iba-thueringen.de) |
| IHK Erfurt | (https://www.erfurt.ihk.de) |
| PVG mbH Weimarer Land | (https://pvg-weimarerland.de) |
| Stadtwerke & Stadtwirtschaft Weimar – SW Weimar | (https://sw-weimar.de/) |
| SolarInput e.V. | (https://solarinput.de) |
| TEAG Thüringer Energie AG | (https://www.thueringerenergie.de) |
| Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk e.V. | (https://www.theen-ev.de) |
| Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur (ThEGA) | (https://www.thega.de) |
| TÜV Thüringen-Gruppe | (https://www.tuev-thueringen.de) |
| VDV | (https://www.vdv.de) |

Darüber hinaus haben rund 20 weitere Unternehmen und Privatpersonen aus der Region den Prozess begleitet und Zwischenergebnisse diskutiert.

Fachlich und organisatorisch wurden die Akteure in der Region hierbei durch die Spilett new technologies GmbH und das Projektteam von HyStarter begleitet.

7. Die Strategiedialoge in der Region

Im Mittelpunkt des Wasserstoffprojektes standen sechs Strategiedialogen, die zwischen Ende 2020 und Mitte 2021 stattfanden. Hier wurden Themenfelder, Technologiekonzepte und Handlungsansätze diskutiert und die Grundlagen für das Konzept erarbeitet. Aufgrund der Schutzmaßnahmen zur Eindämmung der SARS-COVID 19-Pandemie konnten die Dialoge 1 bis 5 nur im digitalen Raum mittels Videokonferenzen stattfinden. Lediglich das Auftakttreffen, der sechste Dialog sowie die Abschlussveranstaltung wurden als Präsenzveranstaltungen durchgeführt. Die Informationsveranstaltung zwischen dem fünften und sechsten Dialog wurde als Hybrid-Veranstaltung (dabei ist die Teilnahme vor Ort und online möglich gewesen) umgesetzt.

Auftakttreffen am 06. November 2019

Das Auftakttreffen der HyStarter-Region Weimar, mit den Initiatoren in der Region, dem Landratsamt Weimarer Land sowie der Stadtverwaltung Weimar, diente dem Kennenlernen der Besonderheiten der Region und dem Austausch bereits vorhandener Kenntnisse und Aktivitäten im Bereich Wasserstoff. Neben den potenziellen Herausforderungen und Chancen (politisch, wirtschaftlich, gesellschaftlich, ökologisch) konnten auch die ersten Akteure identifiziert werden, die für eine Mitarbeit in diesem Projekt angesprochen werden konnten.

Vorabtreffen am 09. Juni 2020

Beim Kick-Off-Treffen der Region standen die Formulierung der Ziele und Erwartungen aus dem Kreis der Initiatoren im Vordergrund der Gespräche. Die Region möchte Innovationstreiber für die neue Wasserstofftechnologien werden und ein Konzept entwickeln, das auch als Blaupause für ähnliche Regionen dienen kann. Neben dem Erreichen der Klimaschutzziele ist den Partnern ein umsetzungsorientiertes Denken wichtig.

Daneben konnten eine erste strategische und technologische Grundausrichtungen diskutiert und beschlossen werden sowie an Unternehmen und Organisationen gerichtete Vorschläge für das Akteursnetzwerk besprochen werden.

1. Strategiedialog am 17. Dezember 2020

Nach einer ausführlichen Vorstellungsrunde aller Beteiligten standen im Fokus des ersten Dialoges erste Handlungsansätze zur Verwirklichung von Wasserstoffprojekte in den Bereichen "Gebäude" und "Verkehr". Der Bereich "Produktion" sollte dabei als "dienendes" Element mitbetrachtet werden. Hierzu wurden zwei Workshops durchgeführt, die ihre Ergebnisse stichpunkthaft protokolliert vorstellten. Es wurde deutlich, dass die bereits bestehenden Aktivitäten zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in den Handlungsansatz integriert werden sollten. Hierzu zählt unter anderem die Planung einer Wasserstofftankstelle.

Zum aktuellen Stand der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie hielt das Konsortium über einen Impulsvortrag.

2. Strategiedialog am 24. Februar 2021

Im Mittelpunkt des zweiten Strategiedialogs standen die Ergebnisse der Interviews und die Sammlung von Projektideen. Für die Projektideen wurden ein Workshop zu Liegenschaften und ein workshop zu

Flotten (ÖPNV und kommunale Nutzfahrzeuge)) installiert und deren Ideen zu einer "Landkarten der Möglichkeiten" (siehe Kapitel 11) zusammengestellt. Gleichzeitig wurde deutlich, wie groß der Informationsbedarf aller Beteiligten zum Thema Wasserstoff ist, um Entscheidungen für Projektideen treffen zu können. Konkrete Vorstellungen für die Umsetzung von Projekten existieren hingegen bereits in den Bereichen ÖPNV, dem kommunalen Mobilitätsbedarf, dem Gebäudesektor (speziell unter dem Gesichtspunkt des Denkmalschutzes) sowie bei der Industrie und der Produktion (hier speziell die Herstellung von "grünem" Wasserstoff).

Inhaltlicher Input kam diesmal von der Nationalen Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NOW) zur "Nationalen Wasserstoffstrategie" der Bundesregierung und zu verschiedenen Fördermöglichkeiten von Wasserstoffprojekten auf Bundesebene.

3. Strategiedialog am 26. März 2021

Themen des dritten Dialoges waren die Wasserstofferzeugung und -distribution sowie die Wasserstoffnutzung in den Bereichen "Liegenschaften" und "kommunaler Fuhrpark". Beim Themenbereich Wasserstoffnutzung und -distribution wurde deutlich, dass im Moment ausschließlich die bestehenden bzw. zukünftigen Windparks zur Produktion von grünem Wasserstoff in Frage kommen. Bezüglich der Liegenschaften wird der Egon-Eiermannbau in Apolda als potenzieller Nutzer von Energie aus Wasserstoff-BHKW in Betracht gezogen. Zusätzlich werden die Busse der regionalen Verkehrsbetriebe und die Fahrzeuge der Entsorgungsbetriebe in den Fokus der Analysen gestellt.

Daneben wurden ersten Ideen für ein Technologiekonzept vorgestellt. Hierbei soll sich das Akteursnetzwerk in seiner weiteren Arbeit vorrangig um kurzfristig umzusetzende Maßnahmen fokussieren.

Vorgestellt wurde der Windpark "Eckolstädt", der "Energieknoten Großschwabhausen", die Wasserstoffprojekte des Lehrstuhls Energiesysteme der Universität Weimar sowie weitere Verbundvorhaben, an denen der Lehrstuhl beteiligt ist, vorgestellt.

4. Strategiedialog am 06. Mai 2021

Im vierten Dialog wurde das Technologiekonzept der HyStarter-Region vorgestellt und abschließend diskutiert. Es wurde festgelegt, dass auf dieser Grundlage die Simulation der regionalen Potenziale der Wasserstofferzeugung und des Wasserstoffbedarfs sowie die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt werden. Bezüglich der Distributionsoptionen wurde beschlossen, neben dem Transport mittels Wasserstofftrailern auch eine Wasserstoffpipeline zu betrachten.

Das Strategietreffen wurde von den Verantwortlichen der Region genutzt, um die Beteiligung an den Ausschreibungen zum HyExperts-Wettbewerb bekannt zu geben.

5. Strategiedialog am 23. Juni 2021

Schwerpunkte des fünften Strategiedialogs waren die Vorstellung der Ergebnisse der Simulation, die Vorstellung eines Marktentwicklungsmodells für eine regionale Wasserstoffwirtschaft sowie die Diskussion zu den Entwürfen der Illustrationen für eine Vision der Wasserstoffregion Weimar.

Ebenso wurden eine Informationsveranstaltung für den 22.07.2021 im Saal des Eiermannbaus in Apolda und die Abschlussveranstaltung am 22.10.2021 in Weimar behandelt. Beide Tagungen sollen im Rahmen der Infektionsschutzverordnungen der Region und des Landes Thüringen als Präsenzveranstaltung stattfinden.

Informationsveranstaltung am 22. Juli 2021

Mit 25 Teilnehmer*innen vor Ort fand am 22.07.2021 in Egon-Eiermannbau in Apolda die Informationsveranstaltung in hybrider Form statt. Neben der Teilnahme vor Ort konnten sich die Teilnehmer*innen auch über eine Internetplattform an der Tagung beteiligen. In Ergänzung zu den Strategiedialogen konnte diese Veranstaltung insbesondere die politischen Entscheidungsträger der Region über den aktuellen Stand des Projektes informieren, Ergebnisse kommunizieren und das weitere Vorgehen erläutern. Insgesamt wurde die Veranstaltung von den Land- und Stadträt*innen sehr positiv aufgenommen und interessiert verfolgt. Besonders die Ankündigung der HyExpert-Bewerbung wurde positiv bewertet.

6. Strategiedialog am 16. September 2021

Der sechste und letzte Strategiedialog der Region Weimarer Land/Weimar, der als einzige Dialogveranstaltung in präserter Form in der Weimarahalle in Weimar stattfand, fokussierte die Vorstellung und der Weiterentwicklung des Maßnahmenkataloges. Die im Laufe des Projektes erarbeiteten Maßnahmen zur Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft in der Region wurden kurz dargestellt und mit Verantwortlichkeiten und Zeitplänen versehen. Neue Ideen wurden hinzugefügt. Der kompletten Maßnahmenkatalog befindet sich im Kapitel 13.

Daneben wurden die aktuellen Ergebnisse der Simulation, insbesondere zu den Überlegungen der Pipeline und die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie zur Anschaffung von Wasserstoffbussen¹², vorgestellt.

Außerdem wurde die finale Gestaltung der Illustration beschlossen.

Abschlussveranstaltung am 22. Oktober 2021

Zur Präsentation der Projektergebnisse veranstaltete das Konsortium eine Abschlussveranstaltung, die am 22.10.2021 unter Hygieneauflagen und unter Beachtung der Infektionsschutzverordnung im Seminargebäude des congress centrum der Weimarahalle in Weimar stattfand. Rund 30 Teilnehmer*innen aus dem Politik- und Verwaltungsumfeld der Stadt Weimar und des Kreis Weimarer Land, dem Akteursnetzwerk und der örtlichen Presse wurden von der Beigeordneten für Bauen und Stadtentwicklung, Dr. Claudia Kolb, begrüßt. Das Konzept, die Ergebnisse sowie der Maßnahmenkatalog, der im Rahmen des HyStarter-Projektes erarbeitet wurde, wurde von einem Vertreter des Projektteams vorgestellt. Abschließend erläuterte die Beigeordnete des Kreis Weimarer Land, Jaqueline Schwikal, das weitere Vorgehen des Kreises und der Stadt zum Aufbau einer regionalen Wasserstoffwirtschaft.

Die Präsentationsfolien der Inputvorträge können auf Nachfrage zur Verfügung gestellt werden.

*Bürger*innensprechstunden am 28.10., 04.11. und 11.11.2021*

Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit fanden an den Donnerstagabenden, jeweils von 17.00 Uhr bis 18.00 Uhr, eine öffentliche Bürger*innensprechstunde zum HyStarter-Projekt statt. Diese wurde über eine Internetplattform digital durchgeführt und dienten der Information der interessierten Bürgerinnen und Bürger im Kreis Weimarer Land und der Stadt Weimar. Nach der Vorstellung der

¹² Siehe „Machbarkeitsstudie zur Anschaffung von Wasserstoffbussen“, im Auftrag des LRA Weimarer Land vom 22.06.2021

Projektergebnisse durch das Projektteam standen auch die Vertreter*innen des Akteursnetzwerk und der "Kümmerer" für Fragen zur Verfügung.

8. Die Potenziale und Bedarfe an Wasserstoff in der Region

Eine zentrale Wasserstoffproduktionsanlage am Windpark Eckolstädt ist ein erster Ansatz für eine zukunftsweisende Wasserstoffversorgung mittels Elektrolyse in der Region Weimarer Land/Weimar. Mit einer Leistung von 7,6 MW können rund 94 t "grüner" Wasserstoff¹³ im Jahr hergestellt werden. Wird der in unmittelbarer Nähe befindliche Windpark zusätzlich für die Wasserstoffproduktion genutzt, erhöht sich die Produktionsmenge auf 953 t pro Jahr.

Zusätzlich stehen potenziell in der Kompostanlage Umpferstedt und der Kläranlage Tiefurt Klärschlamm sowie Bio- und Grünabfälle für die hydrolytische Herstellung von Wasserstoff zur Verfügung. Ebenso können, insbesondere im Kreis Weimarer Land, Ackerflächen für die Nutzung von Agro-Photovoltaik zur Stromproduktion genutzt und damit zur Wasserstoffherstellung verwendet werden. Für eine detaillierte Betrachtung und Bewertung dieser Potenziale fehlten in diesem Projekte die entsprechenden Daten.

Um einen möglichst realistisch umzusetzenden Fahrplan für die Maßnahmen entwickeln zu können, wurde dieser in zwei Phasen eingeteilt. In der ersten Phase sollen Projektideen initiiert werden, die möglichst zeitnah umgesetzt werden können. Ziel ist es hierbei, zügig Projekte durchzuführen, die in kurzer Zeit erste Ergebnisse aufweisen und etwas Sichtbares darstellen können. Die zweite Phase beinhaltet Maßnahmen, die noch nicht final entwickelt sind und demnach einen mittel- bis langfristigen Umsetzungszeitraum beanspruchen. Somit unterscheiden sich auch die Wasserstoffbedarfe in beiden Phasen.

Die Phase 1 stellt die Initialphase mit einer Teilumstellung der Flotten des Verkehrs- und der Entsorgungsunternehmen dar. Für die ersten neun BZ¹⁴-Busse bzw. das erste BZ-Müllfahrzeug wird ein Wasserstoffbedarf von 52,4 Tonnen pro Jahr prognostiziert. Als Quartiersversorgung wird in der ersten Phase nur der Egon-Eiermann-Bau in Apolda betrachtet, für das ein BZ-BHKW¹⁵ simuliert wird. Der Wasserstoffbedarf für die Energieversorgung wird mit rund 15 Tonnen pro Jahr angenommen. Zentrale Bausteine in dieser Phase sind u.a. die Errichtung einer Elektrolyseanlage am Windpark Eckolstädt sowie der Bau einer Wasserstofftankstelle in Weimar.

In Phase 2 wird die komplette Umstellung des ÖPNV und aller Entsorgungsfahrzeuge auf Brennstoffzellenantrieb sowie neben dem Egon-Eiermannbau in Apolda die Energieversorgung mit einem Wasserstoff-BHKW eines weiteren Quartiers angenommen. In diesen Annahmen kann insgesamt mit einem Wasserstoffbedarf von knapp 1.000 Tonnen pro Jahr gerechnet werden. Um die simulierten Bedarfe decken zu können, sollte der zusätzliche Windpark ebenfalls zur Wasserstoffproduktion herangezogen werden. Ein weiteres Projekt in der zweiten Phase wäre der Bau einer zweiten Wasserstofftankstelle und die Entwicklung eines Transportkonzeptes via Pipeline.

¹³ Siehe Kap. 14 "Das kleine 1x1 des Wasserstoffs"

¹⁴ BZ: Brennstoffzelle

¹⁵ BZ-BHKW: Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk, betrieben mit Wasserstoff

9. Der Handlungsansatz und die Themenfelder der Region

9.1. Wasserstoffproduktionsoptionen im Kreis und in der Stadt

Für die Region Weimarer Land/Weimar bieten sich aus Praktikabilitätsgründen zwei Möglichkeiten zu Herstellung von Wasserstoff an, zum einen die Wasserelektrolyse, zum anderen die Hydrolyse.

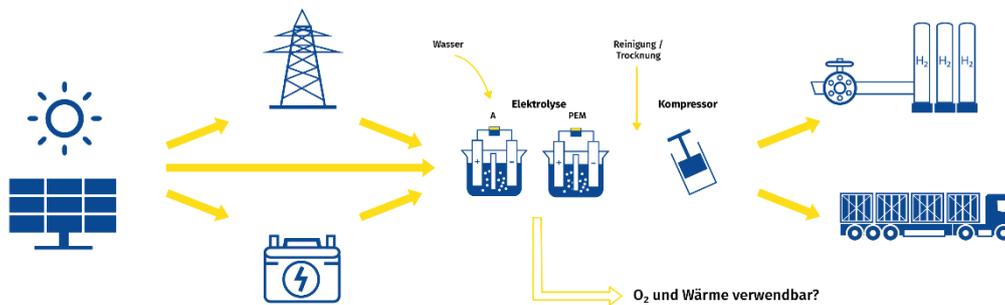


Abbildung 3: Schema der Wasserelektrolyse

(©BMVI/Spilett)

Wasserelektrolyse: Mit Strom aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen wird durch Elektrolyse grüner Wasserstoff erzeugt. Geeignet hierfür sind insbesondere die Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM) sowie alkalische Elektrolyseure, welche auch skalier- und modulierbar sind. Da der Elektrolyseur als Containerlösung installiert wird, kann er auch nachträglich an einen anderen Standort verlegt (wenn seine Abwärme nicht genutzt wird) und darüber hinaus an einzelne oder mehrere Erzeugungsanlagen gekoppelt werden. Auch die gleichzeitige Kopplung eines Elektrolyseurs an PV- und Windenergieanlagen oder weiteren Stromquellen ist umsetzbar, beispielsweise an einem Energieknotenpunkt. Bei der Standortwahl müssen neben den technischen zusätzlich regulatorische Rahmenbedingungen wie EEG-Umlage und Netzentgelte beachtet werden. Für die Speicherung des Wasserstoffes ist eine Verdichteranlage notwendig. Mit Ausnahme des Verdichters werden alle benötigten Komponenten für die Wasserstoffherzeugung im Container installiert. Je nach Elektrolyseurgröße wird eine Aufstellfläche für zwei 20 ft¹⁶-Container benötigt. Zusätzlich bedarf es einer Wasserversorgung mit mindestens Leitungswasserqualität. Ist die vorhandene Wasserqualität unzureichend, bedarf es einer separaten Wasseraufbereitungsanlage, die zusätzlich zum Container errichtet werden muss.

Hydrolyseverfahren nach blueFLUX¹⁷: Hierbei handelt es sich um ein Wasserstoffgewinnungsverfahren aus Reststoffen und wird in drei Schritte unterteilt. Im ersten Schritt werden inhomogene Stoffe zu Bio-Kohle verarbeitet. Die Bio-Kohleproduktion ist aus Klärschlamm, Gülle, Mist, Bio- u. organischen Abfälle, Plastik (bis zu 30 %) und auch faserhaltigen Abfällen wie GFK¹⁸ oder GFC möglich. Voraussetzung: Die Eingangsstoffe haben einen 30-prozentigen Feststoffanteil. Die produzierte Bio-Kohle erzeugt in einem KDC-Reaktor¹⁹ Dampf, der in einem zweiten Schritt über einem Flugstromvergaser zu Synthesegas umgewandelt wird. Bei diesem Vorgang beträgt die

¹⁶ ft: Abk. für das Längenmaß Foot (1 ft. entsprechen 30,48 cm)

¹⁷ Das blueFLUX Verfahren wird bislang einmalig vom gleichnamigen Hersteller angeboten und befindet sich in der Prototypenphase, welche 2020 startete. Ab Q4 2022 möchte der Hersteller die Anlage in verschiedenen Leistungsklassen anbieten. Die einzelnen Prozessschritte sind erprobt und gelten als zuverlässig, das Gesamtkonzept muss aber noch den Testbetrieb absolvieren.

¹⁸ GFK: Glasfaserverstärkter Kunststoff

¹⁹ Hochtemperaturreaktor

Arbeitstemperatur über 180°C, sodass die Gasphase nicht erreicht wird und aufgrund der homogenen Bio-Kohle die Teerbildung und somit ein Verkleben der Anlage ausbleibt. Das Synthesegas wird im letzten Schritt genutzt, um über eine CO-Shift-Reaktion Wasserstoff zu erzeugen. Für die einzelnen Prozessschritte werden verschiedene Systeme benötigt, die modular als Containerlösung errichtet werden können. Anstelle von Wasserstoff kann über die Anlage auch Bio-Kohle, -Methan oder -Methanol gewonnen werden. Hierzu muss der Prozess nur zur Produktion (zum Prozessschritt) des gewünschten Produkts durchgeführt werden.

Das blueFLUX Verfahren ist derzeit noch in Erprobung. Bislang sind keine Referenzprojekte oder alternative Hersteller am Markt verfügbar, sodass noch keine Erfahrungswerte vorhanden sind. Für eine solche Anlage ist das BImSchV²⁰-Verfahren notwendig und die Einordnung als grüner Wasserstoff noch ungeklärt. Die Gesteungskosten gibt der Hersteller mit < 2 € je kg Wasserstoff an, was ebenfalls noch zu prüfen ist. Der Wasserstoff wird mit einem Ausgangsdruck von 40 bar und einer 3.0-Qualität (99,9 % Reinheit) produziert. Für die Anwendung in Brennstoffzellen im Mobilitätsbereich ist daher eine Aufreinigung auf 5.0 (99,999 %) Qualität notwendig, die an den Tankstellen vorgenommen wird.

9.2. Wasserstofftransport

Zur Distribution des Wasserstoffes bieten sich grundsätzlich ebenfalls zwei Optionen an: Den Transport mittels Trailer (Lkw mit Druckflaschen- oder Röhrenspeicheraufleger) oder der Transport durch eine Pipeline. Für die reinen Transportkosten müssen bei der Nutzung einer Pipeline zwischen 0,09 € und 0,17 € / kg Wasserstoff angesetzt werden (bei einer Transportdistanz von 1.000 km). Bei derselben Transportdistanz schlägt der Transport mittels Trailer mit ca. 3,96 € / km zu Buche. Allerdings muss für den Neubau einer Wasserstoffpipeline mit einem durchschnittlichen Preis von 275.000 € je Kilometer kalkuliert werden.

9.3. Wasserstoff im ÖPNV und dem kommunalen Nutzverkehr

9.3.1. ÖPNV (BZ-Busse)

Busse mit einem Brennstoffzellenantrieb sind im Bereich der alternativen Antriebe am weitesten technologisch fortgeschritten und gelten als serienreif. Im Vergleich zur rein-batterieelektrischen Variante verfügen Wasserstoffbusse über deutlich höhere Reichweiten (von bis zu 350 km) und können innerhalb von 15 Minuten an einer 350 bar-Tankstelle betankt werden. Bei einem Betankungsdruck von 350 bar werden üblicherweise 30 kg Wasserstoff im Fahrzeugtank gespeichert.

Zur Betankung eignet sich eine Wasserstofftankstelle auf dem Betriebshof eines Verkehrsunternehmens ebenso wie eine öffentliche HRS²¹. Hier müssen allerdings die baulichen Gegebenheiten (Breite der Fahrspuren, Höhe des Dachest, etc.) beachtet werden. Bei beiden Modellen ist die Erweiterung der Betankungsoption auf 700 bar für BZ-Pkw und 500 bar für BZ-Busse möglich und sollte bei entsprechendem Bedarf in der Planung berücksichtigt werden.

9.3.2. Kommunale Nutzfahrzeuge (Müllsammelfahrzeuge)

Die aktuell verfügbaren Müllsammelfahrzeuge des Herstellers Faun haben einen Wasserstoffverbrauch von 8 kg / 100 km und eine durchschnittliche Reichweite zwischen 200 km und 300 km. Hierfür ist ein Betankungsdruck von 700 bar notwendig. Eine Wasserstofftankstelle für diese Fahrzeuge müsste entsprechend ausgerüstet sein.

Für höhere Reichweiten können Range Extender (BZ-REX)-Konzepte eingesetzt werden, bei denen die Fahrzeuge geringe Distanzen rein elektrisch zurücklegen und für längere Fahrten ein Speichersystem auf Brennstoffzellenbasis zur Verfügung steht.

²⁰ BImSchV: Bundesimmissionsschutzverordnung

²¹ HRS: Hydrogen Refuelling Station

9.3.3. Leichte Nutzfahrzeuge

Ein weiteres Anwendungsfeld für Brennstoffzellenantriebe in der regionalen Mobilität bietet sich im Verkehr von kleinen Lastkraftwagen (Transporter, Van, u.ä.) an. Auch bei dieser Fahrzeuggruppe sind die relativ hohe Nutzlast in Verbindung mit relativ hohen Reichweiten und kurzer Betankungszeit die Argumente für die Nutzung von Wasserstoff als Kraftstoff. Aktuell stehen hier allerdings noch keine Fahrzeuge zum Kauf zur Verfügung.

9.3.4. Wasserstofftankstellen

Ähnlich wie konventionelle Tankstellen benötigen Wasserstofftankstellen einen Wasserstoffspeicher (Niederdruck zwischen 20 bar und 30 bar), der mittels Trailer oder Pipeline befüllt wird. Ein Verdichter sorgt für den nötigen Vertankungsdruck von 350 bar bzw. 700 bar. Bei allen Optionen muss der Wasserstoff zur Vertankung vorgekühlt werden, um die Tankgeschwindigkeit zu erhöhen (und damit die Tankdauer zu verringern) und das Volumen der Fahrzeugtanks effizient zu nutzen.

Die Kosten einer HRS liegen bei einer Tagesdurchlaufmenge von 200 kg zwischen 1,0 und 1,5 Mio. Euro. Für die Planung sowie die Genehmigungs- und Abnahmeverfahren sollten zwischen 12 und 20 Monaten kalkuliert werden. Der Platzbedarf richtet sich nach der Speichergröße und den Vertankungsoptionen und kann zwischen 350 m² und 700 m² betragen.

Bei der Auswahl des HRS-Standortes sollten Wasserstoffanwender und -anwendungen möglichst integriert gedacht werden. Ziel muss es sein, möglichst mehrere Fahrzeuggruppen an einer HRS betanken zu können. Zusätzlich sollte der Transportweg des Wasserstoffes vom Standort der Produktion bis zur HRS bedacht und in die Planung einbezogen werden.

Neben den technischen (Berechnung der Durchflussmengen, Bestimmung der Speichermengen, u.ä.) und regulatorischen Details (Antrag auf BImSchV-Genehmigung, Brandschutz, Gefahrenabwehr, Arbeitsschutz, u.ä.) sollte ein Betriebskonzept entwickelt werden. Hierbei sind die zu erwartenden Fahrzeuge der jeweiligen Fahrzeuggruppen und deren Nutzer zu ermitteln. Daraus ergibt sich der Wasserstoffbedarf am betrachteten Standort mit den entsprechenden Kosten und Einnahmen durch den Verkauf des Wasserstoffs. Als mögliche Akteure in einem Betriebsmodell kommen insbesondere die regionalen Unternehmen, Organisationen oder private Initiatoren in Frage, damit die positiven Wertschöpfungseffekte aus diesem Wirtschaftszweig in der Region verbleiben.

9.4. Wasserstoff in der Energieversorgung von Gebäuden

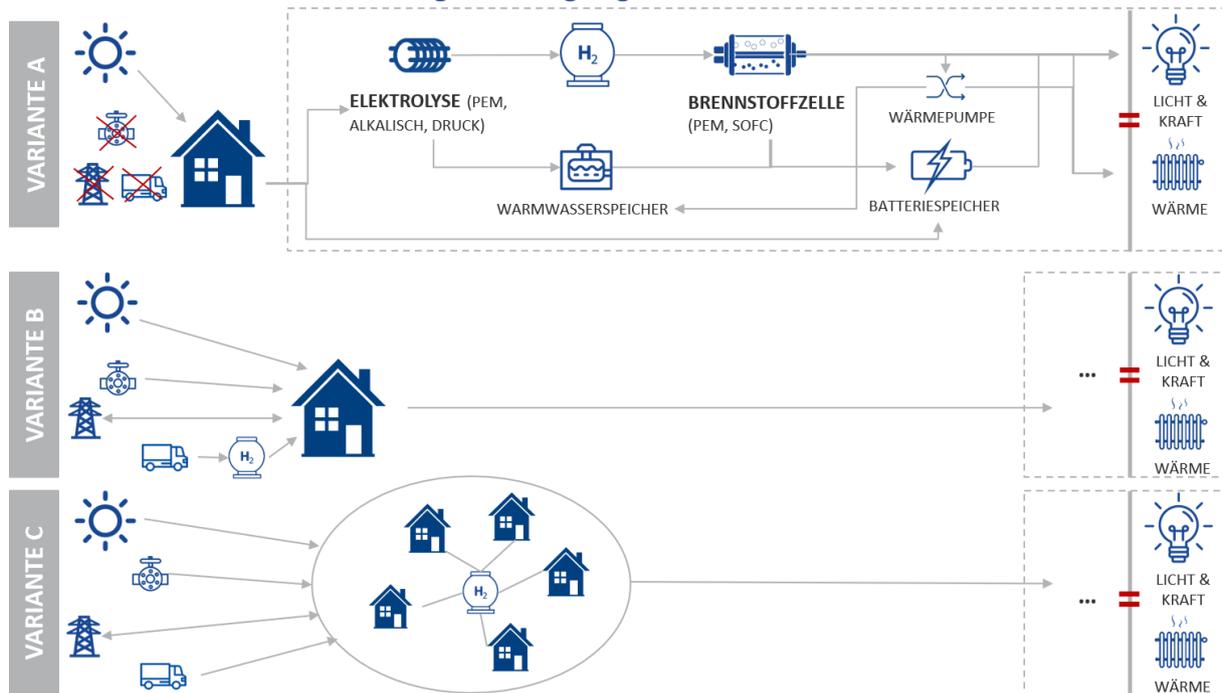


Abbildung 4: Schema Gebäudeenergieversorgung

©BMVI/Spilett

Über eine stationäre Brennstoffzelle oder ein gasmotorisches Wasserstoff-BHKW können Gebäude mit Wärme und Strom versorgt werden. Die verschiedenen Leistungsklassen, die aktuell angeboten werden, stellen unterschiedliche Nahwärmekonzepte, für Quartiere oder Einzelgebäude, zur Verfügung. Stationäre Brennstoffzellen können in den meisten Fällen mit Erdgas-, Biogas- oder Wasserstoff betrieben werden. Ebenso können Wasserstoffbrennwertkessel (umgerüstete Erdgaskessel) für die Wärmeversorgung eingesetzt werden.

Für Gebäudearten mit einem konstanten Energiebedarf eignen sich Hochtemperatur-Brennstoffzellen, zum Beispiel die SOFC²² (mit Arbeitstemperaturen von bis zu 1.000 °C) oder auch Wasserstoff-BHKWs, bei denen eine hohe Wärmeauskopplung möglich ist. Solche Systeme eignen sich insbesondere für Bestandsgebäude. Bei Gebäudearten mit geringer Grundlast, zum Beispiel Einfamilienhäuser, kann die PEM²³-Brennstoffzelle eingesetzt werden. Diese bietet zwar hohe Stromkennzahlen und einen hohen elektrischen Wirkungsgrad, hat aber nur eine vergleichsweise geringe Abwärme bei Temperaturen um 50°C. Gebäude, die weit vom Niedrigenergie- oder Passivhausstandard abweichen und einen hohen Wärmebedarf haben, sollten daher diese Anwendung nicht primär verfolgen.

Die Auswahl der Technologie für die Energieversorgung eines Gebäudes hängt sehr von der Gebäudeart und seiner Nutzung ab. Bei der Umrüstung von Bestandsgebäuden ist die Verwendung von SOFC-Systemen zu empfehlen. Bei der Nutzung von Niedrigtemperatur-BZ sollte der zusätzliche Wärmebedarf über Wärmepumpen o.ä. sicher gestellt werden.

9.5. Bildung und Qualifizierung zum Thema Wasserstoff

Als ein entscheidendes Kriterium für einen erfolgreichen Rollout einer Wasserstoffwirtschaft in der Region Weimarer Land/Weimar wird die Wissensvermittlung und Informationsweitergabe sowie die Weiterbildung und Qualifizierung von Fachpersonal vor Ort angesehen. Mit den Professuren

²² SOFC: Solid oxide fuel cell, Festoxidbrennstoffzelle

²³ PEM: Polymerelektrolytbrennstoffzelle

Energiesysteme und Verkehrssystemplanung der Bauhaus-Universität Weimar, der Industrie- und Handelskammer Erfurt und einer Vielzahl von weiteren Bildungseinrichtungen und -organisationen können regionale und ortsnahe Kristallisationspunkte für die Wissensvermittlung und den Wissenstransfer in den Themenbereichen "Wasserstoff" und "Brennstoffzellentechnologie" aufgebaut und genutzt werden. Hier werden die aktuellen Bildungsaktivitäten in diesen Bereichen eruiert und neue Formate entwickelt, die den unterschiedlichen Zielgruppen Schüler*innen, Student*innen, Auszubildene und einer interessierten Öffentlichkeit die Aktivitäten in der Region näherbringen und die technische Funktionalität und Einsatzmöglichkeiten erklären sollen. Dabei spielt der Aufbau einer "Bildungsmatrix" als aufeinander aufbauende und kombinierbare Bildungsangebote eine besondere Rolle. Diese Matrix enthält Formate für möglichst anschauliche Erklärungen, Experimentiermaterial und -technik für anwendungsorientierte Bezüge. Dem systemischen Ansatz, d.h. dem Denken über die Systeme "Produktion" und "Anwendung" hinaus, kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Die Matrix kann - inklusive entsprechend versierter Mitarbeiter*innen - Kindergärten, Schulen, Volkshochschulen und anderen Bildungseinrichtungen zur Verfügung gestellt werden.

Dementsprechend wird die Ausbildung und Qualifizierung von Personal als eine außerordentlich wichtige Aufgabe in der Region gesehen. Das gilt nicht nur für das eben genannte Lehrpersonal, sondern auch für die zukünftigen Installateur-, Logistik- und Tankstellenunternehmen. Hier müssen u.a. Fachkräfte für Wasserstofffahrzeuge, Brennstoffzellenheizungen, Blockheizkraftwerke und Tankstellenpersonal ausgebildet werden.

Eine besondere Stellung nimmt das geplante Projekt zu einer autarken Energieversorgung mit Brennstoffzelle und Wasserstoff des Egon-Eiermannbaus in Apolda ein. Der kernsanierte Bau befindet sich in der Entwicklung für die Nutzung von Kleingewerbe, Ateliers, (Kunst-) Werkstätten sowie Veranstaltungs- und Büroräumen. Neben dem bestehenden Hauptgebäude sind auf dem Gelände weitere, kleinere Gebäude für unterschiedliche Nutzungsarten geplant und sollten in das Versorgungskonzept eingebunden werden.

Die Idee hierbei ist die Erstellung eines Versorgungskonzeptes für den Egon-Eiermannbau auf Basis einer wasserstoffbasierten Brennstoffzellentechnologie (inklusive der Wasserstofflogistik) durch die oben genannten Bildungseinrichtungen unter Teilnahme der Eigentümer und Nutzerorganisationen und unter Berücksichtigung der Belange des Denkmalschutzes und der Wasserstoffregion Weimarer Land/Weimar.

10. Die Vision einer regionalen Wasserstoffwirtschaft für die Region im Jahr 2030 und 2050



Abbildung 5: Illustration der Vision 2050

(©BMVI/Spilett)

Im Jahr 2030 versorgt eine Wasserstofftankstelle in Weimar neun BZ-Busse und ein Abfallentsorgungsfahrzeug der Stadtwirtschaft Weimar GmbH mit regional erzeugtem Wasserstoff aus der Elektrolyseanlage am Windpark Eckolstädt. Eine Vertriebsgesellschaft, gegründet und betrieben von regionalen Unternehmen, organisiert den Wasserstofftransport mittels Trailern vom Standort des Windparks bis zur Tankstelle. Hier hat sich das Entwicklungsmodell "Kooperation" (siehe Kap. 12.2) durchgesetzt. Um ökonomisch sinnvoll arbeiten zu können, werden insbesondere für den Bau der Tankstelle landes- oder bundeseigene Förderprogramme genutzt.



Am Egon-Eiermann-Bau sind die Planungen für ein BZ-BHKW und einen stationären Untertagespeicher abgeschlossen. Neben Wasserstoff kann das Blockheizkraftwerk auch mit Erdgas betrieben werden. In Kombination mit einer Finanzierung aus landes- und bundeseigenen Förderprogrammen kann die Versorgung des Gebäudekomplexes und des in Entwicklung befindlichen Quartiers auf lange Sicht wirtschaftlich betrieben werden.

In Zusammenarbeit mit der Bauhaus-Universität Weimar, der IHK Erfurt, der Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur und weiteren Partnern ist ein Weiterbildungsprogramm für Ingenieur*innen und Installateur*innen der Fachbereiche Umwelt, Energie, Elektro- und Wärmeversorgung entwickelt worden. Die ersten Jahrgänge haben sich qualifiziert und stehen den Unternehmen der Wasserstoffwirtschaft im Weimarer Land und in Weimar zur Verfügung.

Zwanzig Jahre später, im Jahr 2050, ist die Akzeptanz der nicht mehr so neuen Technologie sehr hoch. Auch für die Erschließung neuer Windparks, die Nutzung von Dachflächen zur Stromerzeugung und PV-

Freiflächen kann die Bevölkerung gewonnen werden. Auf vielen Ackerflächen werden Agri-PV-Anlagen²⁴ installiert, die die weitere Nutzung der landwirtschaftlichen Nutzfläche ermöglichen. Damit dienen diese Flächen nicht nur zur Nahrungsmittel- sondern auch zur Strom- und damit zur Wasserstoffproduktion und steigern somit die Flächeneffizienz.



Mittlerweile ist die gesamte Flotte der Busse der Stadtwirtschaft Weimar und der umliegenden Verkehrsgesellschaften sowie die der regionalen Entsorgungsunternehmen auf Fahrzeuge mit Brennstoffzelleantrieb umgestellt. Die Einbindung eines weiteren Windparks in Eckolstädt und am Energieknoten Großschwabhausen decken den erhöhten Bedarf an Wasserstoff. Eine Wasserstoffpipeline verbindet die Erzeugungsstandorte mit der bestehenden Tankstelle in Weimar, der zusätzliche Wasserstofftankstelle in Apolda, dem Eiermannbau in Apolda und dem Wohn- und Gewerbequartier im Weimarer Norden. Es sind Pläne für die Einbindung der Kläranlage Tiefurt und Kompostanlage Umpferstedt zur pyrolytischen Erzeugung von Wasserstoff erstellt.

Neben den Unternehmen zur Erzeugung des Wasserstoffs und den Anwendern haben sich neue Unternehmen für den Betrieb der Pipeline bzw. den Export des Wasserstoff mittels Trailern gegründet. Liefer- und Dienstleistungsverträge habe lange Laufzeiten, so dass eine preisstabile Versorgung über Jahre gesichert ist und für positive Wertschöpfungseffekte in der Region sorgt. Die Oberzentren Jena und Erfurt signalisieren der Wasserstoffregion Weimarer Land/Weimar Exportoptionen für "grünen" Wasserstoff, die angrenzenden Landkreise nutzen das Konzept als Blaupause für ihre Region.

²⁴ Agri- oder Agrophotovoltaik ist ein Anbausystem zur Produktion von landwirtschaftlichen Gütern unterhalb bzw. inmitten von Photovoltaik-Freiflächenanlagen.

11. Das Handlungskonzept und seine Umsetzung – Die Landkarte der Möglichkeiten

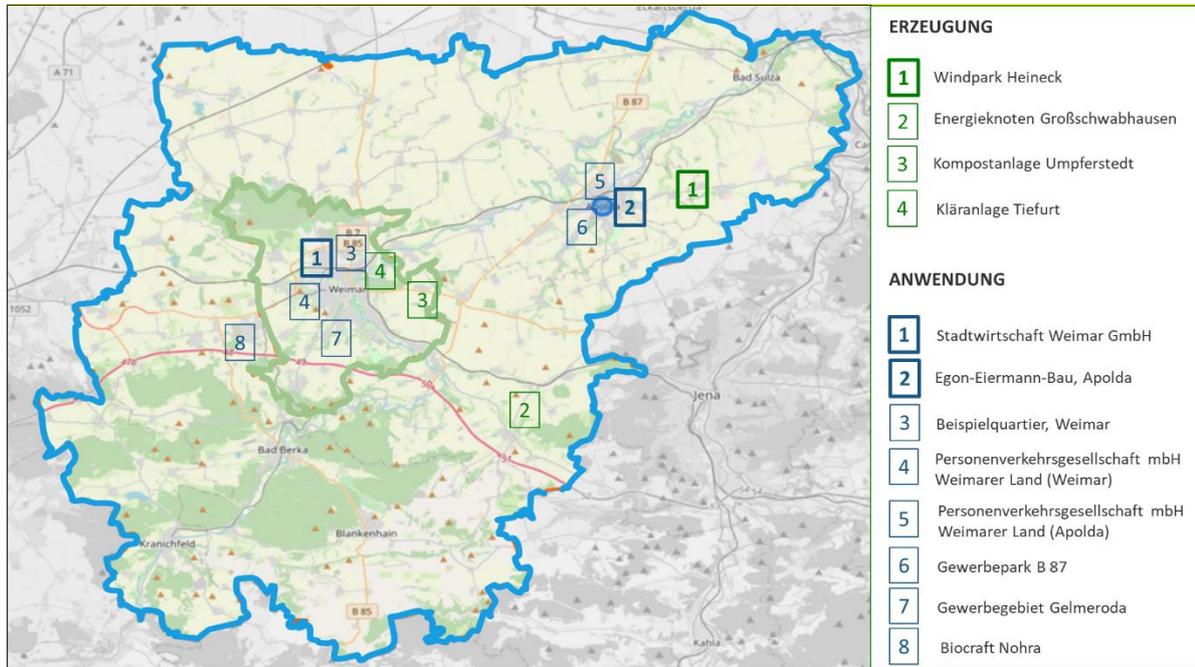


Abbildung 6: Die Landkarte der Möglichkeiten für jede Region Weimarer Land/Weimar

(©BMVI/Spilett)

Die mit dem Akteursnetzwerk der Region erarbeitete Landkarte der Möglichkeiten zeigt die geographische Lage der möglichen Wasserstoffherstellungs- und Wasserstoffnutzungsoptionen. Die fett gedruckten Orte werden der ersten Phase, die schwach gedruckten Orte der zweiten Phase zugeordnet.

11.1. Die Phase 1 – Technologiekonzept und Simulation

In der ersten Phase der Umsetzung soll der Windpark Eckolstädt als Produktionsstandort und die vorgesehene Wasserstofftankstelle der Stadtwirtschaft Weimar sowie der Egon-Eiermann-Bau in Apolda als Abnahmeorte betrachtet werden. Das dazu entwickelte Technologiekonzept kann wie folgt beschrieben werden:

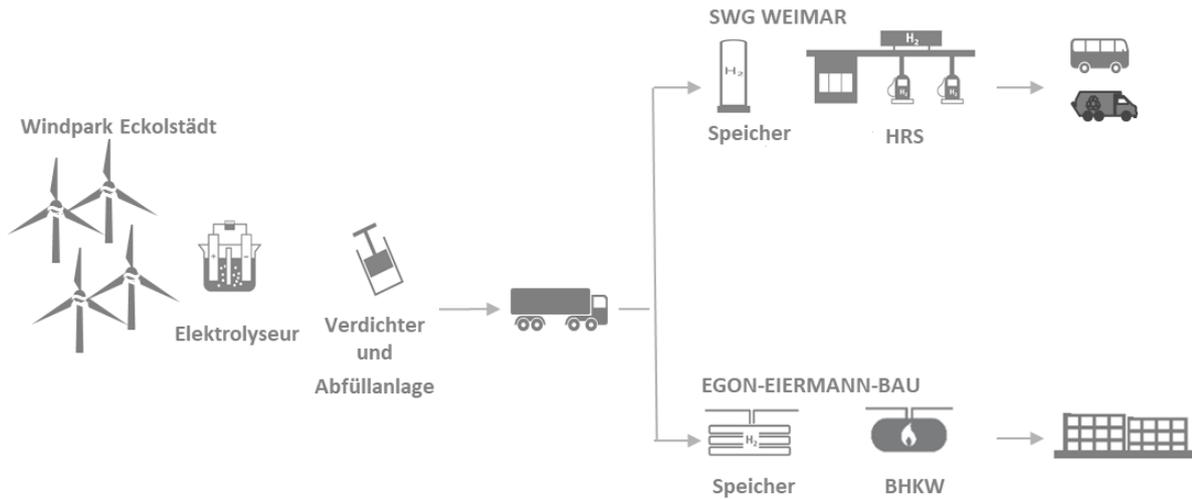


Abbildung 7: Das Technologiekonzept für die erste Phase des Handlungskonzeptes

(©BMVI/Spilett)

Nach der Produktion des grünen Wasserstoffes am Standort des Windparks Eckolstädt wird er mittels Trailer an die Tankstelle der SWG Weimar und den Egon-Eiermann-Bau in Apolda transportiert und dort in unter- bzw. oberirdischen Speicheranlagen gelagert. Hier steht er dann für die Vertankung an die ersten neun Busse des ÖPNV und an ein Müllsammelfahrzeug bzw. dem BZ-BHKW des Egon-Eiermann-Baus zur Verfügung. Die Tankstelle wird mit einem Druckniveau von 350 bar und 700 bar ausgelegt, um die Busse und Entsorgungsfahrzeuge zu versorgen. Hier wird zusätzlich ein Booster-Kompressor simuliert, um den Wasserstoff auf das benötigte Druckniveau zu verdichten.

11.1.1. Simulation der Phase 1

Windpark:

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Dimensionierung der Anlagenkomponenten des Windparks:

Tabelle 1: Ergebnisse der Optimierung der Komponenten der Wasserstoffproduktion am Windpark

| Komponenten | Ergebnisse |
|---------------------|------------|
| Elektrolyseur | 780 kW |
| Kompressor | 14 kg/h |
| Wasserstoffspeicher | 840 kg |
| Batteriespeicher | 1000 kWh |

Mit der angegebenen Dimensionierung der Komponenten des Windpark-Systems können 93.960 kg Wasserstoff pro Jahr produziert werden. Die Auslastung des Elektrolyseurs zeigt Abbildung 8. Die Nutzung der beiden Speichermöglichkeiten - Batteriespeicher zur Pufferung des Stroms aus der Windenergieanlage und Wasserstoffspeicher zur Zwischenspeicherung des produzierten Wasserstoffs - resultieren in der hohen Anzahl von Volllaststunden.

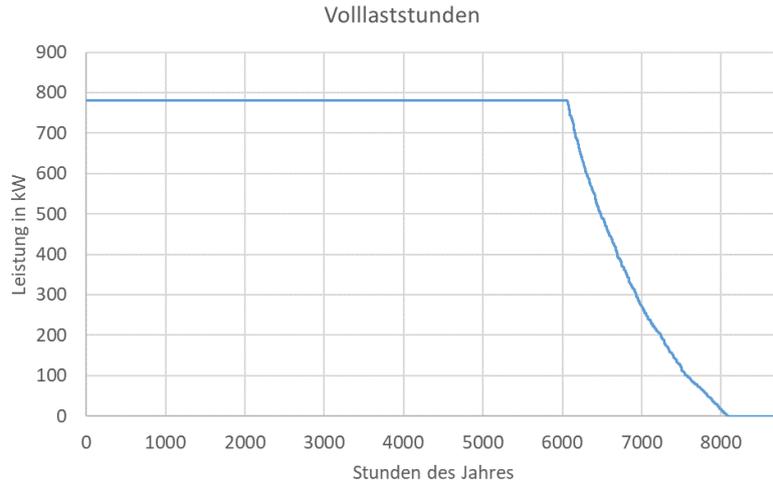


Abbildung 8: Volllaststunden des Elektrolyseurs am Windpark für Phase 1 (©BMVI/RLI)

In der nächsten Tabelle sind die Annuitäten der einzelnen Komponenten der Szenarien aufgelistet.

Die Windenergieanlage geht nur mit angenommenen Betriebskosten in die Berechnung mit ein, da der Windpark bereits existiert und keine Investitionskosten dafür berücksichtigt werden.

Tabelle 2: Kostenbetrachtung des Windparks

| Komponente | Kosten in €/a |
|--|-----------------|
| Windenergieanlage (Betriebskosten) | +287.103 |
| Batteriespeicher | +46.096 |
| Elektrolyse | +57.667 |
| Kompressor (Niederdruck) | +16.195 |
| Wasserstoffspeicher | +49.709 |
| Summe | +456.770 |
| H ₂ -Gestehungskosten in €/kg (93.960 kg/a) | +4,86 |

Das System Windpark zur Wasserstoffproduktion kann unter den getroffenen Annahmen Wasserstoff zu 4,86 €/kg bereitstellen.

Tankstelle Weimar:

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der Dimensionierung der Anlagenkomponenten.

Tabelle 3: Ergebnisse der Optimierung der Komponenten der Wasserstofftankstelle in Weimar für Phase 1

| Komponenten | Ergebnisse |
|---------------------|------------|
| Kompressor | 54 kg/h |
| Wasserstoffspeicher | 800 kg |

In Tabelle 4 sind die Annuitäten der einzelnen Komponenten der Szenarien aufgelistet.

Tabelle 4: Kostenbetrachtung der Tankstelle Weimar

| Komponente | Kosten in €/a |
|--|-----------------|
| Wasserstoffbezug (4,86 €/kg) | +243.010 |
| Wasserstoffspeicher | +47.342 |
| Kompressor (Booster) | +38.310 |
| Strom (Netzbezug) | +3.197 |
| Trailerbelieferung (0,64 €/kg) | +32.001 |
| Summe | +363.860 |
| H ₂ -Gestehungskosten in €/kg (50.002 kg/a) | +7,28 |

Der Wasserstoff wird zu Kosten von 0,64 €/kg aus dem Windpark angeliefert. An der Tankstelle wird dieser Wasserstoff noch weiter verdichtet, um die Betankung der beiden Fahrzeugtypen durchführen zu können. Für den Kompressor fallen zusätzliche Kosten für den Strombezug der Verdichtung an.

Insgesamt kann der Wasserstoff unter den getroffenen Annahmen zu 7,28 €/kg an der Zapfsäule bereitgestellt werden. Er liegt somit unter dem politisch festgesetzten Wasserstoffpreis von 7,98 €/kg (brutto: 9,50 €/kg)²⁵ und kann zu einem wirtschaftlichen Business-Case entwickelt werden.

Egon-Eiermann-Bau Apolda:

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Dimensionierung der Anlagenkomponenten.

Tabelle 5: Ergebnisse der Optimierung der Komponenten des Eiermannbau-Quartiers

| Komponenten | Ergebnisse |
|----------------------|------------|
| H ₂ -BHKW | 115 kW |
| Wasserstoffspeicher | 640 kg |



Abbildung 9: Egon-Eiermann-Bau, Apolda
Fotograf: Thomas Müller, Rechte: IBA Thüringen

Für die Versorgung des Quartiers am Egon-Eiermannbau wird ein Wasserstoff-BHKW mit einer Leistung von 115 kW ausgelegt. Damit ist eine nahezu vollständige Deckung des Strombedarfs des Quartiers möglich. Für die Wärmeversorgung wurde die Dimensionierung des H₂-BHKW im Vergleich zu einem Fremdbezug an Wärme zu 7 ct/kWh²⁶ durchgeführt. Dabei wird das H₂-BHKW lediglich zur Spitzenlast-deckung im Wärmebereich eingesetzt. Abbildung 10 zeigt die Deckungsbeiträge im Jahresverlauf.

Das H₂-BHKW kann in der simulierten Auslegung 9 % des Gesamtwärmebedarfs eines Jahres decken.

²⁵ Quelle: H2MOBILITY GmbH & Co. KG, www.h2.live.de

²⁶ Annahme RLI in Bezug auf ortsübliche Preise

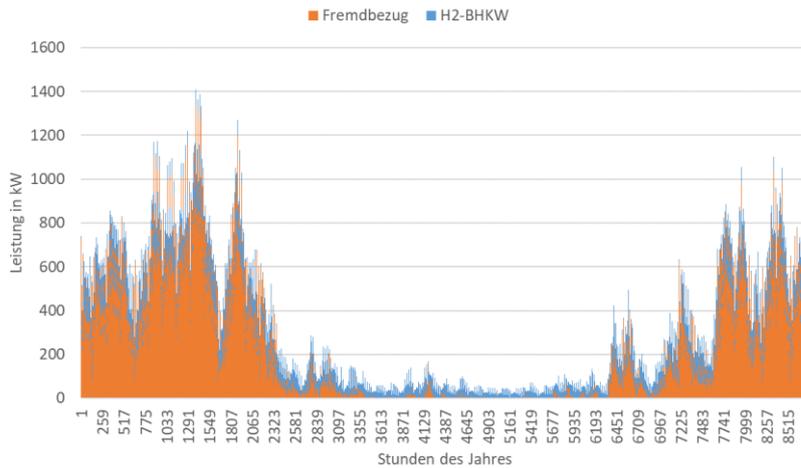


Abbildung 10: Deckung des Wärmebedarfs im Eiermannbau-Quartier, H2-BHKW und Fremdbezug im Jahresverlauf (©BMVI/RLI)

In der nächsten Tabelle sind die Annuitäten der einzelnen Komponenten der Szenarien aufgelistet.

Tabelle 6: Kostenbetrachtung Eiermannbau-Quartier

| Komponente | Kosten in €/a |
|--|-----------------|
| Wasserstoffbezug (4,86 €/kg) | +72.375 |
| Wasserstoffspeicher | +37.874 |
| H2-BHKW | +97.048 |
| Strom (Netzbezug) | +589 |
| Wärme (Fremdbezug) | +146.208 |
| Trailerbelieferung (0,62 €/kg) | +9.233 |
| Summe | +363.327 |
| Strom und Heizgestehungskosten in ct/kWh | +15,02 |

Insgesamt werden für die Versorgung des Eiermannbau-Quartiers 14.892 kg Wasserstoff pro Jahr benötigt. Zusätzlich sind zum angelieferten Wasserstoff 2.088.685 kWh Wärme durch Fremdbezug erforderlich, um alle Bedarfe des Quartiers zu decken. Mit dieser Kombination der Bedarfsdeckung liegen die Gestehungskosten für Strom und Wärme unter den getroffenen Annahmen bei 15,02 ct/kWh.

11.1.2. Fazit der Phase 1

Das simulierte System der Phase 1 liefert günstige Wasserstoffgestehungskosten durch die Nutzung des Windparks mit zusätzlichen Speichermöglichkeiten für Strom und Wasserstoff. Die Tankstelle in Weimar bietet ebenso das Potenzial eines wirtschaftlichen Betriebes, falls die Umsetzung des Gesamtsystems zu den angenommenen Kosten ermöglicht wird. Die Versorgung des Eiermannbau-Quartiers ist nur bedingt durch den produzierten Wasserstoff möglich. Speziell die Wärmeversorgung muss größtenteils durch Fremdbezug bereitgestellt werden. Dadurch sollten für die Quartiersversorgung auch andere Technologien wie Wärmepumpen zur direkten Nutzung von elektrischer Energie in Betracht gezogen werden.

11.2. Die Phase 2 – Technologiekonzept und Simulation

In Phase 2 wird der komplette Busverkehr auf Brennstoffzellenantrieb umgestellt und neben dem Egon-Eiermannbau ein weiteres repräsentatives Quartier in Weimar betrachtet. Ergänzend wird in Phase 2 die Transportoption Pipeline betrachtet und simulativ hinterlegt.

Das entsprechende Technologiekonzept kann wie folgt dargestellt werden:

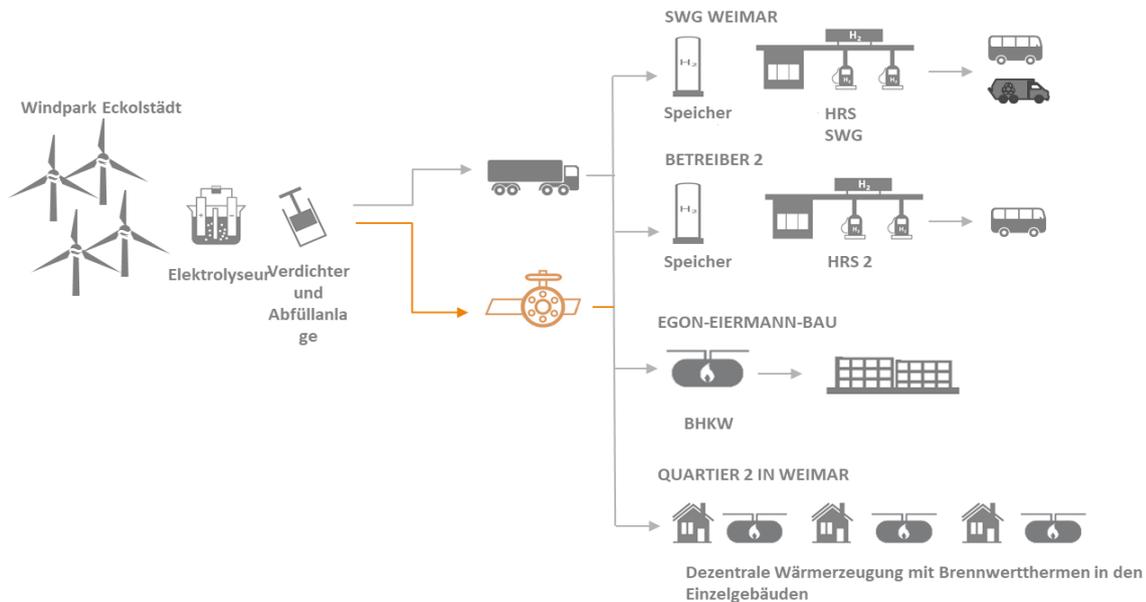


Abbildung 11: Das Technologiekonzept für die zweite Phase des Handlungskonzepts

(©BMVI/Spilett)

In einer ersten Simulation der Phase 2 wurde das System mit dem Windpark der Phase 1 (Leistung 7,6 MW) und einer Trailerlieferung als Transportmöglichkeit simuliert. Durch die enorm gestiegenen Bedarfe in Phase 2 (953 t/a Produktionsmenge Wasserstoff zu 94 t/a in Phase 1) reicht dieser Windpark nicht mehr aus und es müssen über 50 % der benötigten Energie des Elektrolyseurs aus dem Netz bezogen werden. Nach der Vorstellung und Diskussion dieser Ergebnisse im Akteursnetzwerk wurde die Simulation angepasst und ein zusätzlicher Windpark mit einer Leistung von 27,3 MW hinzugefügt. Zusätzlich wurde die Umstellung weiterer Entsorgungsfahrzeuge in Apolda in der Modellierung ergänzt, wodurch die Gesamtproduktionsmenge für Phase 2 auf 1.244 Tonnen pro Jahr steigt. Die neue Simulation wird zusätzlich mit der Transportoption einer Pipeline durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Simulation von Phase 2 werden im Folgenden dokumentiert. Zusätzlich wurde die Kostenbetrachtung der neuen Simulation für zwei Pipeline-Optionen durchgeführt:

- Pipeline Neubau (Kosten 275.500 €/km)²⁷
- Pipeline Retrofit (Kosten 100.00 €/km)²⁸

Die Option Pipeline Retrofit bezeichnet die Umrüstung einer bestehenden Gasleitung auf die Leitung von 100 % Wasserstoff.

Für die Pipeline werden folgende Annahmen getroffen:

- Distanz von 20 km
- Verlegung durch 60 % ländliches und 40 % städtisches Gebiet

²⁷ RLI-Annahme auf Basis von <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2021/02/Hydrogen-Insights-2021-Report.pdf>

²⁸ RLI-Annahme auf Basis von Reuß et al. (2017). *Seasonal storage and alternative carriers: A flexible hydrogen supply chain model*. Applied Energy 200 (2017) 290–302. 2017

- Kosten (Annuität) werden auf die Wasserstoffgestehungskosten an den Windparks addiert, womit sich der Preis an den Abnahmestandorten zur Weiterverwendung ergibt.

11.2.1. Simulation der Phase 2

Windparks:

Die Wasserstoffproduktion an beiden Windparks wird mit zwei Systemen realisiert, die jeweils einen Elektrolyseur und einen Batteriespeicher enthalten. Anschließend wird der produzierte Wasserstoff komprimiert und in die Pipeline geleitet. Abbildung 12 zeigt die schematische Darstellung der Produktionsprozesse an den Windparks in Phase 2.

Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der Dimensionierung der Anlagenkomponenten. System (1) ist dabei der Windpark mit 7,6 MW Leistung und System (2) ist der zusätzliche Windpark mit 27,3 MW.

Tabelle 7: Ergebnisse der Optimierung der Komponenten der Windpark-Systeme zur Wasserstoffproduktion in Phase 2

| Komponenten | Ergebnisse |
|----------------------|------------|
| Elektrolyse (1) | 5,7 MW |
| Elektrolyse (2) | 6,4 MW |
| Batteriespeicher (1) | 640 kWh |
| Batteriespeicher (2) | 170 kWh |
| Kompressor | 206 kg/h |

Durch die Modellierung der Wasserstoffherzeugung an beiden Windparks erhält das Gesamtsystem der Phase 2 eine redundante Wasserstoffversorgung, da beide Elektrolyseure im Bedarfsfall Strom aus dem Netz beziehen können, um die Bedarfsdeckung in der Region aufrecht zu erhalten. Die Volllaststunden beider Elektrolyseure liegen im Bereich von 4.000 h bis 4.500 h, wie die folgenden Abbildungen verdeutlichen.



Abbildung 12: Volllaststunden des Elektrolyseurs (1) am Windpark mit 7,6 MW
(©BMVI/RLI)

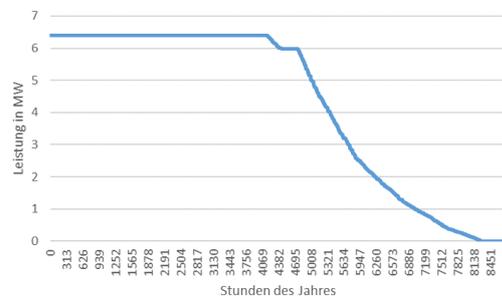


Abbildung 13: Volllaststunden des Elektrolyseurs (2) am Windpark mit 27,3 MW
(©BMVI/RLI)

In den folgenden Tabellen sind die Annuitäten der einzelnen Komponenten der Szenarien aufgelistet.

Tabelle 8: Kostenbetrachtung Windpark-Systeme der Phase 2, Pipeline Neubau

| Komponente | Kosten in €/a |
|-----------------------------------|---------------|
| Windpark 7,6 MW (Betriebskosten) | +275.496 |
| Windpark 27,3 MW (Betriebskosten) | +989.610 |
| Strom (Netzbezug) | +1.935.194 |
| Batteriespeicher (1) | +20.016 |

| | |
|---|-------------------|
| Batteriespeicher (2) | +5.317 |
| Elektrolyseur (1) | +357.335 |
| Elektrolyseur (2) | +401.218 |
| Kompressor | +89.986 |
| Pipeline (Neubau) | +358.150 |
| Summe | +4.432.322 |
| H ₂ -Gestehungskosten in €/kg (1.244.454 kg/a) | +3,56 |

Tabelle 9: Kostenbetrachtung Windpark-Systeme der Phase 2, Pipeline Retrofit

| Komponente | Kosten in €/a |
|---|-------------------|
| Windpark 7,6 MW (Betriebskosten) | +275.496 |
| Windpark 27,3 MW (Betriebskosten) | +989.610 |
| Strom (Netzbezug) | +1.935.194 |
| Batteriespeicher (1) | +20.016 |
| Batteriespeicher (2) | +5.317 |
| Elektrolyseur (1) | +357.335 |
| Elektrolyseur (2) | +401.218 |
| Kompressor | +89.986 |
| Pipeline (Retrofit) | +130.000 |
| Summe | +4.204.172 |
| H ₂ -Gestehungskosten in €/kg (1.244.454 kg/a) | +3,38 |

Das Gesamtsystem an den Windparks zur Wasserstoffproduktion kann unter den getroffenen Annahmen Wasserstoff zu 3,38 €/kg (Transport über Pipeline Retrofit) bzw. 3,56 €/kg (Transport über Pipeline Neubau) bereitstellen. Durch die geringeren Kosten der umgerüsteten Pipeline kann diese Transportoption die Gestehungskosten im Vergleich zum Neubau einer Pipeline um nahezu 20 ct/kg senken. Der angenommene Preis der umgerüsteten Pipeline von 100 €/m sollte als Zielwert verstanden werden. In aktuellen Studien²⁹ und Pilotprojekten³⁰ wird die Umrüstung von Gasleitungen zu Wasserstoffpipelines untersucht, jedoch existieren für diese Variante noch keine serienreifen Angebote am Markt für diese Variante. Deshalb sind die geringen Wasserstoffgestehungskosten von 3,38 €/kg ein Richtwert, wenn in Zukunft die Umrüstung zu einer Wasserstoffpipeline mit 100 €/m umgesetzt werden kann. Die Wasserstoffgestehungskosten liegen insgesamt unter dem politisch festgesetzten Wasserstoffpreis von 7,98 €/kg (brutto: 9,50 €/kg)³¹. Somit kann ein wirtschaftlicher Business-Case entwickelt werden.

²⁹ Roadmap Gas 2050, DVGW, <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/roadmap-gas-2050>

³⁰ Innovationsbericht 2020. Westnetz GmbH, 2020

³¹ Quelle: H2MOBILITY GmbH & Co. KG, www.h2.live.de

Tankstelle Weimar:

Die nächste Tabelle zeigt die Ergebnisse der Dimensionierung der Anlagenkomponenten.

Tabelle 10: Ergebnisse der Optimierung der Komponenten der Tankstelle Weimar in Phase 2

| Komponente | Ergebnisse |
|---------------------|-------------------|
| Kompressor | 442 kg/h |
| Wasserstoffspeicher | 7.850 kg |

In den folgenden Tabellen sind die Annuitäten der einzelnen Komponenten der Szenarien aufgelistet.

Tabelle 11: Kostenbetrachtung Tankstelle Weimar Phase 2, Pipeline Neubau

| Komponente | Kosten in €/a |
|---|----------------------|
| Wasserstoffbezug (3,56 €/kg) | +2.297.457 |
| Wasserstoffspeicher | +389.357 |
| Kompressor (Booster) | +146.434 |
| Strom (Netzbezug) | +100.972 |
| Summe | +2.934.220 |
| H ₂ -Gestehungskosten in €/kg (645.353 kg/a) | +4,55 |

Tabelle 12: Kostenbetrachtung Tankstelle Weimar Phase 2, Pipeline Retrofit

| Komponente | Kosten in €/a |
|---|----------------------|
| Wasserstoffbezug (3,38 €/kg) | +2.181.293 |
| Wasserstoffspeicher | +389.357 |
| Kompressor (Booster) | +146.434 |
| Strom (Netzbezug) | +100.972 |
| Summe | +2.818.056 |
| H ₂ -Gestehungskosten in €/kg (645.353 kg/a) | +4,37 |

Insgesamt kann der Wasserstoff unter den getroffenen Annahmen zu 4,55 €/kg (Transport Pipeline Neubau) bzw. 4,37 €/kg (Transport Pipeline Retrofit) an der Zapfsäule bereitgestellt werden. Die Wasserstoffgestehungskosten liegen damit auch in diesen Fällen unter dem politisch festgesetzten Wasserstoffpreis von 7,98 €/kg (brutto: 9,50 €/kg) und können wirtschaftlich dargestellt werden.

Egon-Eiermann-Bau Apolda:

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Dimensionierung der Anlagenkomponenten.

Tabelle 13: Ergebnisse der Optimierung der Komponenten des Eiermannbau-Quartiers

| Komponenten | Ergebnisse |
|----------------------|-------------------|
| H ₂ -BHKW | 115 kW |
| Wasserstoffspeicher | 590 kg |

In den Tabellen 14 und 15 sind die Annuitäten der einzelnen Komponenten der Szenarien aufgelistet.

Tabelle 14: Kostenbetrachtung Eiermannbau-Quartier Phase 2, Pipeline Neubau

| Komponente | Kosten in €/a |
|--|-----------------|
| Wasserstoffbezug (3,56 €/kg) | +194.886 |
| Wasserstoffspeicher | +29.264 |
| H ₂ -BHKW | +97.048 |
| Strom (Netzbezug) | +589 |
| Wärme (Fremdbezug) | +106.634 |
| Summe | +428.421 |
| Strom und Heizgestehungskosten in ct/kWh | +17,72 |

Tabelle 15: Kostenbetrachtung Eiermannbau-Quartier Phase 2, Pipeline Retrofit

| Komponente | Kosten in €/a |
|--|-----------------|
| Wasserstoffbezug (3,38 €/kg) | +185.032 |
| Wasserstoffspeicher | +29.264 |
| H ₂ -BHKW | +97.048 |
| Strom (Netzbezug) | +589 |
| Wärme (Fremdbezug) | +106.634 |
| Summe | +312.040 |
| Strom und Heizgestehungskosten in ct/kWh | +12,91 |

Die Gestehungskosten für Strom und Wärme liegen unter den getroffenen Annahmen bei 17,72 ct/kWh (Transport Pipeline Neubau) und 12,91 ct/kWh (Transport Pipeline Retrofit).

Repräsentatives Quartier

Die nächste Tabelle zeigt die Ergebnisse der Dimensionierung der Anlagenkomponenten.

Tabelle 16: Ergebnisse der Optimierung der Komponenten des repräsentativen Quartiers

| Komponenten | Ergebnisse |
|---------------------|------------|
| Brennstoffzelle | 210 kW |
| Wasserstoffspeicher | 400 kg |

In den folgenden Tabellen sind die Annuitäten der einzelnen Komponenten der Szenarien aufgelistet.

Tabelle 17: Kostenbetrachtung Repräsentatives Quartier, Pipeline Neubau

| Komponente | Kosten in €/a |
|------------------------------|---------------|
| Wasserstoffbezug (3,56 €/kg) | +142.276 |

| | |
|--|-----------------|
| Wasserstoffspeicher | +19.840 |
| Brennstoffzelle | +207.678 |
| Strom (Netzbezug) | +0 |
| Wärme (Fremdbezug) | +466 |
| Summe | +370.260 |
| Strom und Heizgestehungskosten in ct/kWh | +47,02 |

Tabelle 18: Kostenbetrachtung Repräsentatives Quartier, Pipeline Neubau

| Komponente | Kosten in €/a |
|--|-----------------|
| Wasserstoffbezug (3,38 €/kg) | +135.082 |
| Wasserstoffspeicher | +19.840 |
| Brennstoffzelle | +207.678 |
| Strom (Netzbezug) | +0 |
| Wärme (Fremdbezug) | +466 |
| Summe | +363.066 |
| Strom und Heizgestehungskosten in ct/kWh | +46,10 |

Die Gestehungskosten für Strom und Wärme liegen unter den getroffenen Annahmen bei 47,02 ct/kWh (Transport Pipeline Neubau) und 46,10 ct/kWh (Transport Pipeline Retrofit).

11.2.2. Fazit der Phase 2

Das simulierte System der Phase 2 zeigt für beide Pipeline-Transportoptionen geringe Wasserstoffgestehungskosten am Produktionsstandort. Diese Kosten übertragen sich zu den beiden Tankstellen in Weimar und Apolda, sodass für die Mobilitätsbedarfe unter den getroffenen Annahmen ein konkurrenzfähiger Preis angeboten werden kann. Die beiden simulierten Quartiere in Phase 2 weisen hingegen recht hohe Kosten für die Strom- bzw. Wärmeversorgung auf und können nur bedingt mit aktuellen Marktpreisen für Strom und Wärme konkurrieren.

Insgesamt sind beide Pipelineoptionen als Transportmedium eine umsetzbare Alternative, sofern die angenommenen Kostenstrukturen für die Pipelines in Zukunft erreicht werden. Durch die hohen Kosten bei der Quartiersversorgung sollte in Betracht gezogen werden, weitere bzw. andere Technologien wie Wärmepumpen o.ä. für den direkten Stromeinsatz zu nutzen. Dadurch sinkt der Gesamtbedarf der Region um ca. 65 Tonnen Wasserstoff pro Jahr. Im Vergleich zur Gesamtmenge von Phase 2 (1.066 Tonnen pro Jahr) wird dies jedoch nur einen geringen Einfluss auf die berechneten Gestehungskosten haben.

11.3. Gesamtfazit für die Region

Insgesamt bietet die Region mit der zentralen Wasserstoffproduktionsanlage am Windpark eine zukunftsweisende Lösung zur lokalen Wasserstoffversorgung. Sowohl in der Initialphase als auch bei einer Komplettumstellung können speziell für die Mobilitätsbedarfe konkurrenzfähige Gestehungskosten erzielt werden.

Die unterschiedlichen Wasserstofftransportoptionen der beiden Phasen profitieren ebenso von der Topologie der jeweiligen Phase. Für die initialen Bedarfe ist der Trailer-Transport mit Lkw eine

kostengünstige Lösung, die alle Bedarfsstandorte abdecken kann. In Phase 2 bietet sich durch die hohen Bedarfe und damit hohen transportierten Mengen die Nutzung einer Pipeline an. Jedoch ist die angenommene Kostenstruktur dieser Simulation als Richtwert zu sehen, der bei der Umsetzung erreicht werden sollte, um die angegebenen Gestehungskosten zu erhalten.

Die Quartiersversorgung mit Wasserstoff ist in beiden Phasen nur mit relativ hohe Kosten realisierbar. Hier können alternative Technologien zur direkten Stromnutzung speziell im Wärmebereich kosteneffizientere Systeme bereitstellen. Zusätzlich benötigen die simulierten Quartierssysteme bereits in dieser Betrachtung Fremdbezugslösungen, um die komplette Nachfrage nach Strom und Wärme zu decken.

12. Entwicklungsmodell für einen Wasserstoffmarkt in der Region

Die Umsetzung von Wasserstoffkonzepten kann regionale Wertschöpfung erzeugen. Je nach Ausgangssituation ist eine Region für die Etablierung gewisser Wertschöpfungsstufen besser oder schlechter geeignet. Je nach Wertschöpfungsstufe liegt der Fokus dabei eher auf der Erzeugung neuer Wertschöpfung, einer Substitution bestehender Wertschöpfung oder vorbereitenden Maßnahmen für zukünftige Wertschöpfung. Die Produktion von Komponenten, wie Elektrolyseure zur Wasserstofferzeugung oder Brennstoffzellen zur Wasserstoffnutzung, erfordert eine spezialisierte Industrie. Der Wirtschaftsstandort Weimarer Land/Weimar ist stark durch kleine und mittelständische Unternehmen geprägt und verfügt nur bedingt über eine Industriekapazitäten, die Potenziale der Erzeugung von regionaler Wertschöpfung in diesem Bereich aufweist.

In der Erzeugung von Wasserstoff wird in der Region um Weimar aktuell das größte Potenzial regionaler Wertschöpfung gesehen. Im Rahmen der Konzeptausarbeitungen zusammen mit den regionalen Akteuren*innen wurde dabei der Fokus auf die Wasserstofferzeugung über das Elektrolyseverfahren unter Nutzung von Windstrom gelegt. Durch eine regionale Wasserstoffproduktion kann, neben der Etablierung regionaler Wertschöpfung, einerseits die Abhängigkeit von fossilen Energieimporten wie Erdöl und Erdgas und andererseits eine mögliche Abhängigkeit von überregionalen Wasserstoffimporten reduziert oder umgangen werden.

Damit der Wasserstoff vom Ort der Produktion zum Verbraucher gelangt, wird eine entsprechende Wasserstoffinfrastruktur benötigt. Neben dem Betrieb von Wasserstofftankstellen für den Verkehrssektor ist die Wertschöpfung durch einen Wasserstofftransport mit Trailern oder Wasserstoffpipelines innerhalb der Region eng an die Entwicklung regionaler und integraler Wasserstoffkonzepte gebunden.

Im Rahmen der Nutzung von Wasserstoff werden bestehende Technologien von neuen Technologien teilweise verdrängt. Entsprechend geht mit der Wasserstoffnutzung oftmals eine Substitution von bestehender Wertschöpfung durch neue Wertschöpfung einher. Die Verdrängung von grauem durch grünen Wasserstoff in der Industrie hat aus Sicht der Nutzung keine Änderung der wertschöpfenden Prozesse zur Folge. Auch die Umstellung von Prozessen von konventionellen Energieträgern wie zum Beispiel Erdgas auf Wasserstoff ändert die Wertschöpfung im Normalfall nur unwesentlich. Der Einsatz von Wasserstoff im Verkehrssektor erfordert dementsprechend den Ersatz oder die Umrüstung von diesel- oder benzinbetriebenen Fahrzeugen auf Brennstoffzellenfahrzeuge. Die damit einhergehende Wertschöpfung liegt jedoch überwiegend bei den großen Fahrzeugherstellern und somit nicht direkt in der Region Weimarer Land/Weimar. Der Betrieb der neuen Fahrzeuge kriert zwar Wertschöpfung, wie zum Beispiel bei der Wartung. Die entsprechenden Wartungsprozesse der substituierten Verbrennungsfahrzeuge gehen damit aber verloren.

Der Markthochlauf für die Herstellung und Nutzung von grünem Wasserstoff steht noch aus. Zudem befinden sich viele Technologien, die Wasserstoff außerhalb des Industriesektors nutzen, noch in einer frühen Reifephase. Entsprechend hoch ist der Bedarf an Forschung, um die Technologien weiterzuentwickeln, sowie der Bedarf an Ausbildung von Fachpersonal für den späteren Einsatz der Technologien. Die Bauhaus-Universität Weimar verfügt teilweise über H₂-Forschungsschwerpunkte. Die Staatliche Berufsbildende Schule Weimarer Land/Sömmerda bietet zudem Ausbildungen in den Bereichen Mechatroniker*in, Elektriker*in, etc. Damit verfügt die Region zumindest über eine gewisse Basis für eine zukünftige Spezialisierung auf die Thematik Wasserstoff.

Der noch in den Kinderschuhen steckende grüne Wasserstoffmarkt ermöglicht viel Spielraum und Kreativität für die Ausgestaltung von Wasserstoffgeschäftsmodellen. Über die Implementierung und

Erprobung neuer Geschäftsmodelle in der Region können Konzepte entwickelt werden, die anschließend als Blaupausen in anderen Regionen dienen können.

Aktuell haben die regionalen Akteur*innen und damit die gesamte Region Weimarer Land/Weimar die Chance, die (noch) unbesetzten Rollen in der aufkommenden Wasserstoffwirtschaft zu besetzen. Insbesondere in der Rolle des H₂-Erzeugers und des Exporteurs von Geschäftsmodellen können Potenziale für eine regionale Wertschöpfung liegen. Um Wasserstoffprojekte in der Region, die als Blaupause fungieren könnten, umzusetzen, ist es einerseits wichtig eine entsprechende Wirtschaftlichkeit der Projekte sicherzustellen. Andererseits helfen Marktstrukturen die Einzelakteure in den unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen zu einem integrierten Konzept zusammenzubringen. Im folgenden Kapitel wird deshalb darauf eingegangen, wie Wasserstoffmarktmodelle in der Region Weimarer Land/Weimar aussehen könnten.

Die aktuellen Planungen in der Region Weimarer Land/Weimar sehen ein Wasserstoffkonzept vor, bei dem in einer Elektrolyse aus Windstrom erzeugter Wasserstoff als Kraftstoff für den Betrieb von Bussen und Müllsammelfahrzeugen in der Region eingesetzt wird sowie die Energieversorgung von Quartieren übernimmt.

Regionale Akteure stehen hinsichtlich der Realisierung von integrierten Wasserstoffprojekten gewissen Herausforderungen gegenüber. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die zentralen Fragestellungen. Neben möglichen Unterstützungsfeldern auf Bundes- oder EU-Ebene zeigt sie auf, bei welchen Herausforderungen eine aktiv gestaltende Region die Akteure bei der Umsetzung von Wasserstoffprojekten sinnvoll unterstützen könnte. Die Abbildung zeigt auch, dass, neben einer fehlenden Wirtschaftlichkeit (bzw. zu überwindenden Mehrkosten gegenüber Alternativtechnologien) insbesondere die Marktstrukturen fehlen, die den bilanziellen wie auch physischen Wasserstoffhandel in der Region organisieren und der Wasserstoffherzeugerseite Abnahmegarantien und der Verbraucherseite Verfügbarkeitsgarantien gewährleisten.

| Übergreifend | | | |
|---|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Hohe Unsicherheit zu Regulierung Regierung hat Fokus auf Industrie (Regionen werden „vergessen“) | | | |
| EE-Erzeuger | H ₂ -Erzeuger | H ₂ -Verteiler | H ₂ -Verbraucher |
| <ul style="list-style-type: none"> Zu wenig ausgewiesene Flächen Lange Genehmigungsprozesse mit vielen Klagen | <ul style="list-style-type: none"> Zu hohe H₂-Gestehungskosten <ul style="list-style-type: none"> Aktuelle Förderung für EL: <ul style="list-style-type: none"> Bis zu 0 % EEG-Umlage CAPEX-Förderungen „Kleckern“ im Vergleich zum EEG für den Hochlauf von EE-Anlagen Unsicherheit bzgl. Wettbewerbsfähigkeit mit zukünftigen (Groß-)projekten Keine Abnahmegarantien zu Mengen/Preisen <ul style="list-style-type: none"> Zusatz: Problem des Vergaberechts bei kommunalen H₂-Verbrauchern Es gibt keinen funktionierenden Markt (weder bilanziell noch physisch) | <ul style="list-style-type: none"> Fehlende Klarheit bzgl. Verteilinfrastrukturen der Zukunft (Netz und/oder Trailer) Fehlende Regulierung von H₂-Netzen Hohe Kapitalintensität (bei geringer Anfangsauslastung) → fehlende Wirtschaftlichkeit am Anfang Aktuell erfolgt Transport per Diesel-Trailer | <ul style="list-style-type: none"> Keine H₂-Verfügbarkeitsgarantien; im Regelfall kein Interesse an Eigenerzeugung H₂ wird bis 2030 rares Gut bleiben (national und regional) Ggf. Akzeptanzprobleme beim Einsatz von blauem/grauen H₂ als Backup oder in Übergangsphasen Technologieverfügbarkeit (z. B. BZ-Busse) Mehrkosten (vor allem ÖPNV, da defizitär) Hohe Auslastung durch Parallelprojekte (z. B. ÖPNV-Umstieg auf E-Mob) Technologische Unsicherheit (Verkehr: Batterie vs. BZ; Wärme: WP, Sanierungsraten) Hoher Initialaufwand für kleines Pilotprojekt (z. B. ÖPNV braucht angepasste Werkstatt, geschulte Mechaniker etc.) |
| Bund/EU | | | |
| Region | | | |

Abbildung 14: Herausforderungen bei der Realisierung von Wasserstoffprojekten

(©BMVI/BBHC)

Im Folgenden sind zwei mögliche Optionen für die vertraglichen Beziehungen der Einzelakteure bzw. Marktstrukturen im geplanten Wasserstoffkonzept für die Region Weimarer Land/Weimar dargestellt.

12.1. Entwicklungsmodell „Eigenständigkeit“

Die Struktur in der folgenden Abbildung basiert ausschließlich auf bilateralen Vertragsbeziehungen und bietet den Akteuren damit größtmögliche Autonomie. Der Wasserstoffherzeuger sucht sich in dieser Option seine Wasserstoffanwender und organisiert den Wasserstofftransport über die Beauftragung eines Wasserstofflogistikers. Dazu schließt der Wasserstoffherzeuger bilaterale Lieferverträge mit den einzelnen Anwendern sowie einen Dienstleistungsvertrag für den Transport.

Für die Wasserstofflieferung an die Verbrauchsorte erhält der Erzeuger einen individuell ausgehandelten Preis und entlohnt den Logistiker für den Transport mit einem entsprechenden Dienstleistungsentgelt.

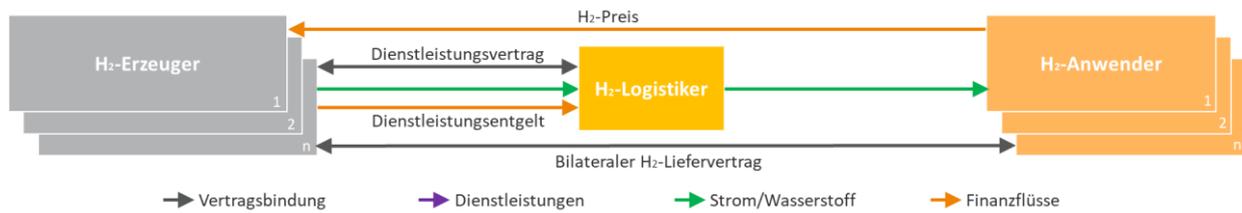


Abbildung 15: Akteursstruktur mit bilateralen Verträgen

(©BMVI/BBHC)

In der nächsten Abbildung ist die Akteursstruktur auf das Wasserstoffkonzept in der Region übertragen. Hier hat gemäß aktuellen Planungen der Wasserstoffherzeuger gleichzeitig auch die Stromproduktion inne. In der ersten Phase wird ein Nutzer aus dem Verkehrssektor den Wasserstoff für die Betankung von Bussen sowie Abfallsammelfahrzeugen abnehmen und ein Nutzer den Wasserstoff für die Energieversorgung eines Quartiers einsetzen.

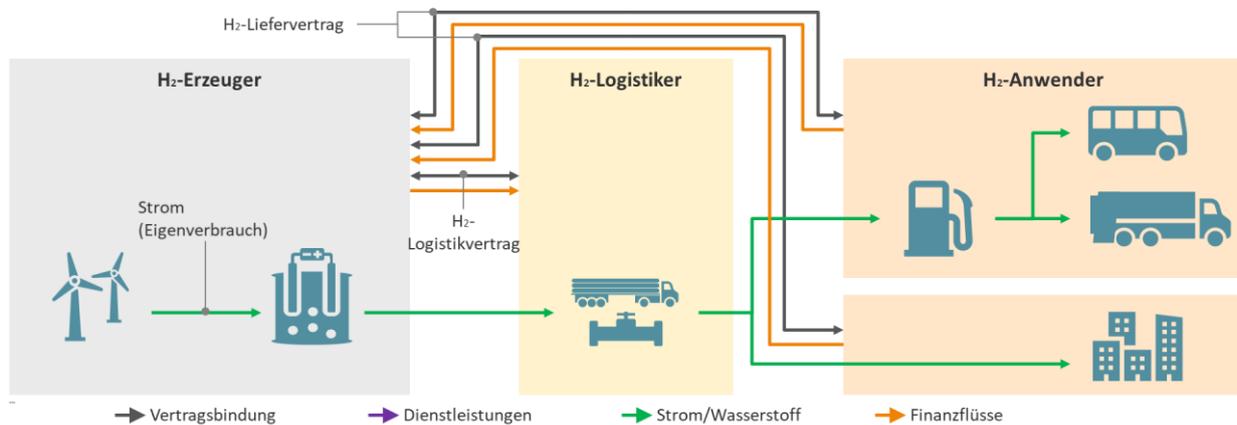


Abbildung 16: Akteursstruktur im Wasserstoffkonzept der Region (Option "Eigenständigkeit" über bilaterale Verträge) (©BMVI/BBHC)

12.2. Entwicklungsmodell "Kooperation"

In der Alternativstruktur der folgenden Abbildung werden die bilateralen Vertragsbeziehungen zwischen den einzelnen Akteuren durch einen Wasserstoffmarktplatz bzw. eine Wasserstoffplattform abgelöst. Auf dem Marktplatz / der Plattform wird das Mengen-Matching für den Wasserstoff organisiert und somit Transparenz über Angebot und Nachfrage in der Region geschaffen. Zudem garantiert der Marktplatz / die Plattform den Wasserstoffherzeugern vorab vereinbarte Wasserstoffabnahmen und den Wasserstoffverbrauchern vorher vereinbarte Wasserstoffverfügbarkeiten zu einem vertraglich definierten Preis. Das dargestellte Konzept entkoppelt somit energetische von finanziellen Flüssen.

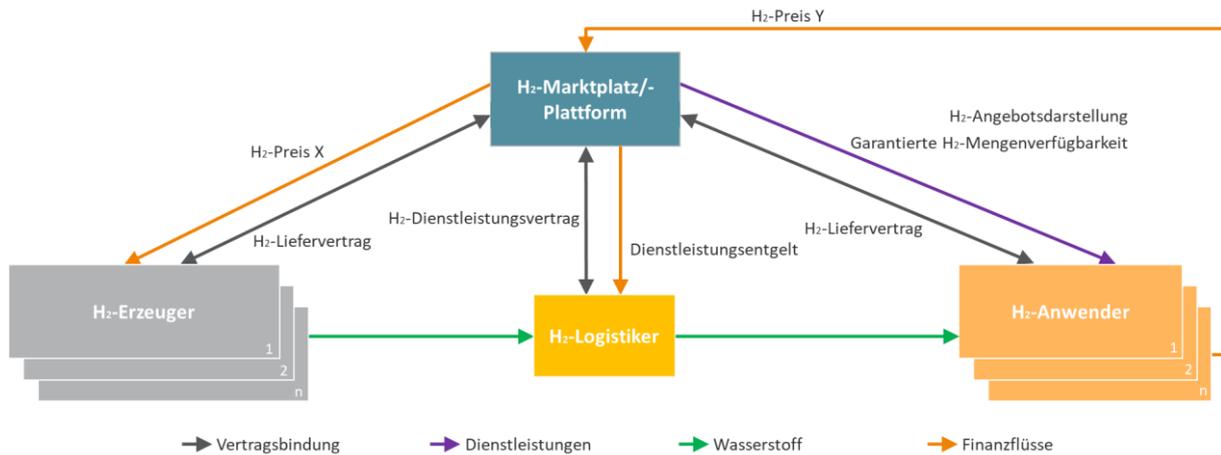


Abbildung 17: Akteursstruktur Option "Kooperation" über Wasserstoffplattform

(©BMVI/BBHC)

Veranlasst beispielsweise ein Elektrolysebetreiber einen Wasserstofftransport zu einer Tankstelle, erhält er eine entsprechende Vergütung vom Betreiber des Marktplatzes / der Plattform. Dabei garantiert der Betreiber sowohl dem Wasserstoffhersteller als auch dem Tankstellenbetreiber feste Verkaufs- bzw. Einkaufspreise, sodass diese Investitionssicherheit für ihre Infrastruktur haben. Wenn diese einheitlichen Einkaufspreise unter Berücksichtigung notwendiger Zulagen für "Weiterverarbeitungsprozesse" auch einheitlich an den Endkunden in der Region weitergegeben werden, würde das Konzept einer Kannibalisierung verschiedener Akteure entgegenwirken. Beispielsweise würde vermieden, dass unterschiedliche Tankstellen den Wasserstoff zu unterschiedlichen Preisen anbieten und die Nutzer nur dort tanken, wo der Wasserstoff am günstigsten ist.

Gleichzeitig garantiert der Betreiber des Marktplatzes / der Plattform dem Elektrolysebetreiber Abnahmemengen und dem Anwender verfügbare Wasserstoffmengen. Flottenbetreiber, die Brennstoffzellenfahrzeuge anschaffen möchten, müssten sich somit keine Gedanken um die Kraftstoffversorgung mit Wasserstoff machen.

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

Die folgende Abbildung zeigt die Übertragung dieses Modells auf die Region Weimarer Land/Weimar.

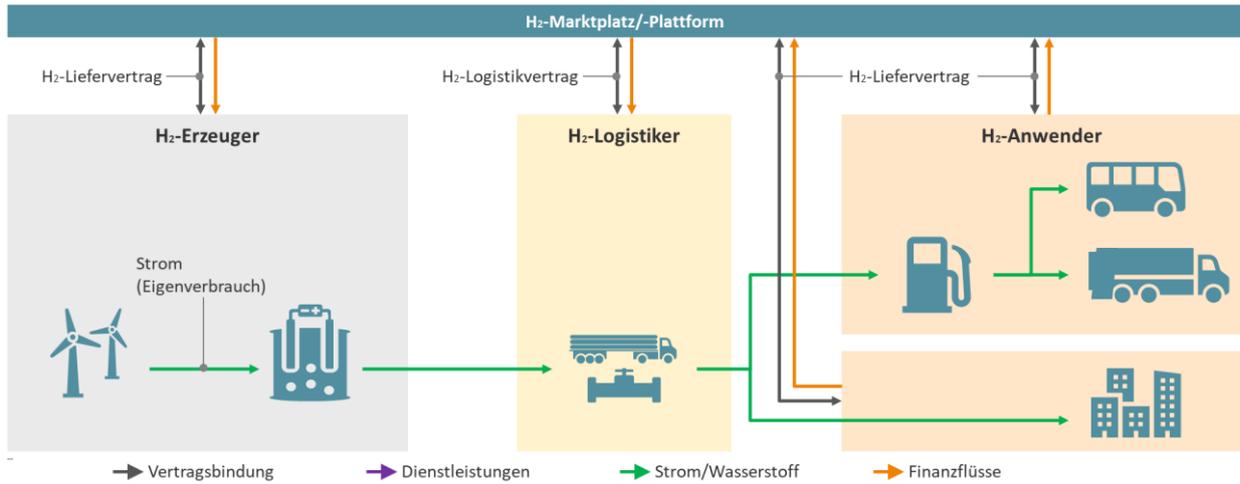


Abbildung 18: Akteursstruktur im Wasserstoffkonzept der Region (Option "Kooperation" über Wasserstoffplattform) (©BMVI/BBHC)

Voraussichtlich würden beim Betreiber des Marktplatzes / der Plattform in der Anfangszeit negative Margen anfallen. Hier könnte die Inanspruchnahme von verschiedenen Förderprogrammen des Bundes oder der EU Abhilfe schaffen.

Die gezeigten zwei Optionen für die vertraglichen Beziehungen der Einzelakteure bzw. Marktstrukturen im geplanten Wasserstoffkonzept der Region weisen jeweils gewisse Vor- und Nachteile auf. Die große Stärke der Option "Kooperation" ist die Senkung von Eintrittsbarrieren für Akteure, vor allem im Hinblick auf die Ausweitung der Wasserstoffaktivitäten in der Region über die aktuellen Planungen hinaus sowie die zukünftige Integration weiterer Akteure in ggf. bereits bestehende Wasserstoffkonzepte. Dieser Ansatz setzt einen Akteur voraus, der gewillt ist einen Großteil des Risikos zu übernehmen. Zudem wird ein wirtschaftlicher Betrieb des Marktplatzes / der Plattform den Ausgleich anfänglich zu erwartender negativer Margen bspw. durch Fördermittel erforderlich machen.

Tabelle 19: Kurzbewertung der erläuterten Optionen

| | Option "Eigenständigkeit" über bilaterale Verträge | Option "Kooperation" über H2-Marktplatz/-Plattform |
|-------------------------|--|---|
| Übergreifend | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Konzeptrealisierung unabhängig von drittem Akteur, dafür viele bilaterale Verträge und volles Risiko für jeden Partner. ▶ Eintrittsbarrieren für zusätzliche Projekte werden nicht gesenkt, da für zusätzliche Projekte bilaterale Neuverhandlung notwendig sind. | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Dritter Akteur (Plattformbetreiber) mit Bereitschaft der Risikoübernahme für Umsetzung notwendig, dafür standardisierte Verträge möglich. ▶ Plattform als zentrale Anlaufstelle senkt Eintrittsbarrieren für zusätzliche Projekte. |
| H2-Erzeuger | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Erzeuger trägt alleiniges Mengenrisiko. ▶ Bei nicht langfristig angelegten Verträgen ggf. Konkurrenz im Falle von neuen H2-Erzeugern im Markt. | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Nur ein Vertragsverhältnis mit teilweiser Weitergabe des Mengenrisikos. ▶ Zuschlagserteilung durch wettbewerbliche Ausschreibung der H2-Erzeugungsbedarfe ggf. unsicher. |
| H2-Infrastruktur | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Starkes Abhängigkeitsverhältnis ggü. H2-Erzeuger (nicht H2-Anwender). ▶ Bei nicht langfristig angelegten Verträgen ggf. Konkurrenz im Falle von neuen H2-Logistikern im Markt. | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Leichtere Ausweitung der Geschäftstätigkeiten bei zusätzlichen Akteuren im Markt. ▶ Zuschlagserteilung durch wettbewerbliche Ausschreibung der H2-Erzeugungsbedarfe ggf. unsicher. |
| H2-Nutzer | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Ggf. geringe Versorgungssicherheit durch individuellen H2-Erzeuger. | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Ggf. Umgehung des Ausschreibungszwanges durch H2-Bezug von Plattform. |

13. Maßnahmenkatalog

Siehe Anlage 1

14. Das kleine 1x1 des Wasserstoffes

Siehe Anlage 2