Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

NOW Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

REINER LEMOINE INSTITUT

Wasserstofftankstellen richtig auslegen und betreiben

Projekt H2BER

Projektlaufzeit: Januar 2015 – Dezember 2016 | Auszug aus dem Projekt 03BV242

- Dimensionierung von Wasserstofftankstellen für verschiedene Anwendungen und Nachfrager
- Optimierung der Betriebsstrategie unter Berücksichtigung von realistischen Prognosen zu Strompreisen, Windenergieverfügbarkeit und Wasserstoffnachfrage
- Entwicklung eines interaktiven Demonstrators zur Darstellung des Zusammenwirkens der Komponenten und der Projektergebnisse

DIE WASSERSTOFFTANKSTELLE

- An der Wasserstofftankstelle am zukünftigen Flughafen BER (Multienergiestation) können neben konventionellen Fahrzeugen auch wasserstoffbetriebene und batterieelektrische Fahrzeuge getankt bzw. geladen werden.
- Der zur Betankung notwendige Wasserstoff wird vor Ort mittels Druckelektrolyse produziert (siehe Infokasten).
- Speicher mit verschiedenen Druckniveaus ermöglichen sowohl die Betankung von PKW mit 700 bar als auch von Bussen mit 350 bar.
- Ausgelegt ist die Tankstelle nach den Anforderungen der H_2 Mobility Klassifikation Small.

i

Warum Elektrolyse?

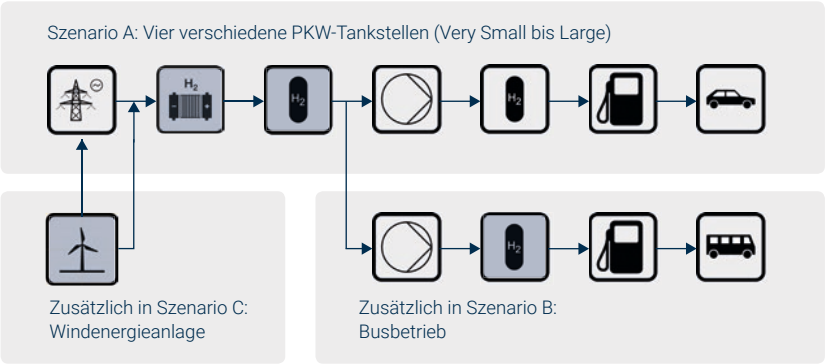
Wasserstofffahrzeuge können wie herkömmliche Fahrzeuge innerhalb weniger Minuten betankt werden – lange Ladezeiten wie bei batterieelektrischen Fahrzeugen entfallen. Der benötigte Wasserstoff kann auf verschiedene Arten produziert werden. Geschieht dies auf Basis von Erdgas, entstehen jedoch CO_2-Emissionen. Alternativ kann Wasserelektrolyse verwendet werden: Dabei wird Wasser mithilfe elektrischer Energie in H_2 und O_2 aufgespalten. Kommt dieser Strom aus erneuerbaren Quellen, ist die Elektrolyse vollständig klimaneutral.

Quelle: Total

SIMULATIONSSZENARIEN

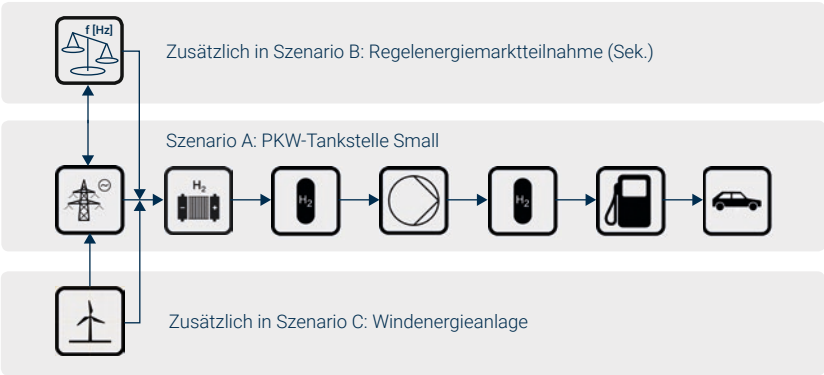
Topologieoptimierung

- Für jedes Szenario wurde eine optimale Dimensionierung ausgewählter Komponenten (im Bild dunkel) berechnet.
- Ziel der Optimierung sind möglichst niedrige Wasserstoffgestehungskosten.



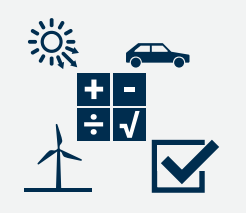
Betriebsstrategien

- Eine intelligente Betriebsstrategie mit Vorausschau wurde simuliert. Prognosen für Nachfrage, Strompreise und Windenergieverfügbarkeit wurden berücksichtigt.
- Zu Vergleichszwecken wurde eine einfache Strategie simuliert.



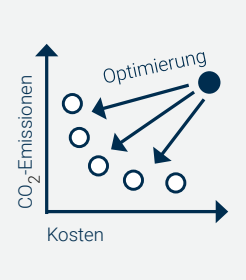
DER RLI-OPTIMIERUNGSBAUKASTEN

Für die Optimierung der Topologie und Betriebsführung wurden auf Basis bestehender Modelle Simulationstools entwickelt und mit Messdaten validiert. Sie beinhalten unter anderem folgende Bausteine:



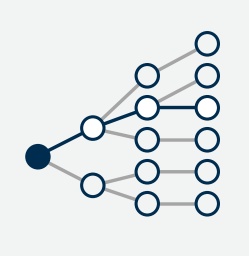
SMOOTH:
***S**imulation **M**odel for **O**ptimized **O**peration and **T**opology of **H**ybrid Energy Systems*

Modellierung lokaler, hybrider, regenerativer Energiesysteme und zeitschrittaufgelöste Simulation. Wird zur Abbildung einfacher Betriebsstrategien genutzt.



MOEA:
***M**ulti-**O**bjective **E**volutionary **A**lgorithm*

Heuristische Optimierung der Topologie bezüglich mehrerer ökologischer und ökonomischer Zielkriterien.

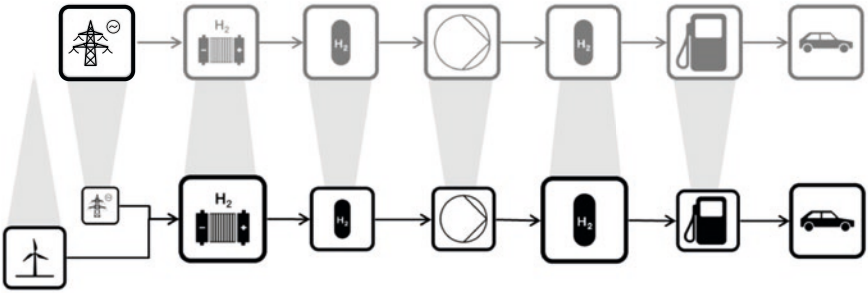


FORESIGHT:
Simulation mit intelligenter Vorausschau

Erweiterung von SMOOTH zur Optimierung und Simulation eines intelligenten Betriebs von Systemen. Sie berücksichtigt Prognosen für Nachfrage, Preise und Energiedargebot.

TOPOLOGIEOPTIMIERUNG - ERGEBNISSE

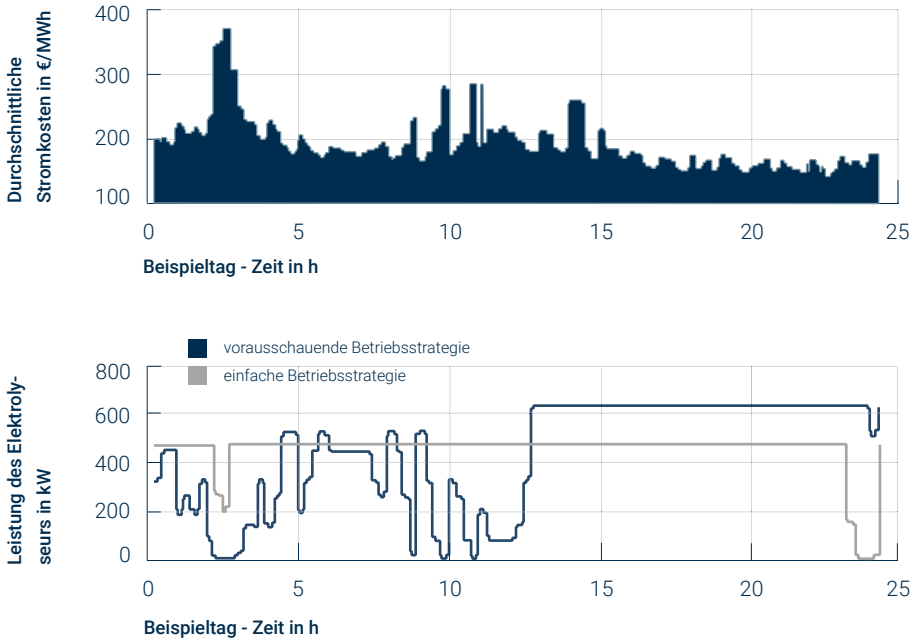
- Mit steigender Wasserstoffnachfrage sinken die Wasserstoffgestehungskosten.
- Wegen hoher Abgaben, Umlagen und Steuern auf bezogenen Strom ergeben sich dennoch allgemein hohe Wasserstoffgestehungskosten von mehr als 10 €/kg.
- Durch präzise Anpassung der Komponenten an die tatsächliche Nachfrage können Kosten gesenkt werden. Dies kann etwa durch skalierbare, modulare Lösungen erreicht werden.
- Die Wasserstoffgestehungskosten lassen sich durch direkte Anbindung von Windenergieanlagen (WEA) um bis zu 20 % auf etwa 10,36 €/kg im Vergleich zu reinem Netzstrombezug senken. Bei einer größeren Tankstelle („Medium“) sinken die Kosten so auf 9,32 €/kg.



	Ist-Zustand (Ist)	Optimierte Topologie	Ist + Bus	Ist + WEA
H_2-Bedarf in kg/d	168	168	545	168
Elektrolyseleistung in kW Überlast: + 40%	450	450	1.170	720
Speicherkapazität in kg	380	125	160 + 618	570
WEA-Leistung in kW	-	-	-	1.300
Wasserstoffgestehungskosten in €/kg	13,02	12,89	11,50	10,36

BETRIEBSSTRATEGIEN - ERGEBNISSE

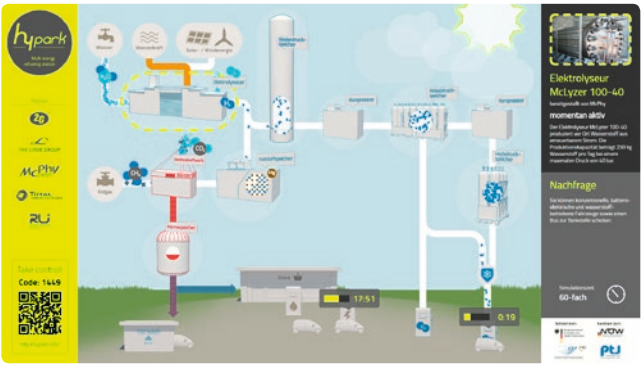
- Die Kosten für Wasserstoffherstellung konnten in allen Szenarien gesenkt werden. Je größer die Flexibilität der Anlagen zur Wasserstoffbereitstellung, desto stärker ist der Einfluss der Betriebsstrategie.
- Onsite-Elektrolyse kann flexibel betrieben werden und zur Kostensenkung auf Strompreis signale reagieren (siehe Bild). Der mittlere Strompreis kann so um etwa 6 % gesenkt werden.
- Regelenergiemarktteilnahme senkt die Kosten auf 12,67 €/kg.
- Die direkte Anbindung einer Windenergieanlage in Kombination mit vorausschauender Betriebsführung hat das größte Potenzial zur Kostenreduktion. Es ergeben sich Kosten von 10,79 €/kg.
- Zur Bewertung der intelligenten Betriebsstrategie wurde von der tatsächlichen Auslegung der Tankstelle am BER ausgegangen („Ist-Zustand", nicht-optimiert).



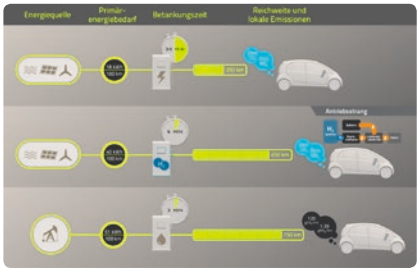
Vergleich der vorausschauenden und der einfachen Betriebsstrategie. Mit Vorausschau kann auf Strompreissignale (oben) reagiert werden.

WISSENSTRANSFER

- Es wurde ein interaktiver Demonstrator entwickelt und vor Ort aufgebaut, der das Zusammenwirken aller Komponenten darstellt.
- Neben Brennstoffzellenfahrzeugen werden auch konventionelle und batterieelektrische Fahrzeuge vergleichend dargestellt.
- Über ihr Smartphone können Nutzerinnen und Nutzer Einfluss auf das Tankstellengeschehen nehmen, indem sie z. B. Fahrzeuge zum Tanken schicken oder den Strombezug wechseln.
- Zusätzlich können Informationen zum Projekt und zu Wasserstoffmobilität allgemein abgerufen werden.



Screenshot des erstellten Demonstrators (Bildschirmansicht)

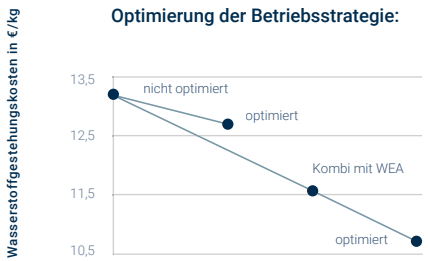


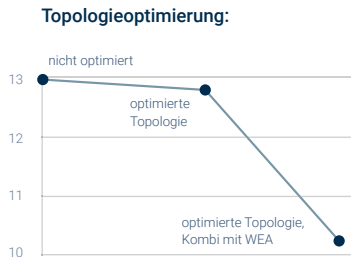
Overlay „Wasserstoffmobilität im Vergleich“

Aufgebauter Demonstrator in der Leitwarte der H_2-Tankstelle am BER

FAZIT & EMPFEHLUNGEN

- ✓ Durch Topologieoptimierung und Anbindung an eine Windenergieanlage können die Wasserstoffgestehungskosten um bis zu 20 % gesenkt werden.
- ✓ Onsite-Elektrolyse kann sehr flexibel betrieben werden und zur Kostensenkung auf Strompreissignale reagieren.
- ✓ Ein bedeutender Anteil der Wasserstoffproduktionskosten ist auf Umlagen, Steuern und Abgaben zurückzuführen – diese sind in einigen Szenarien für Kosten von über 7 €/kg verantwortlich.





Partner:

Gefördert durch:

Koordiniert durch:

Vertreten durch:

Im Rahmen des:

Das Projekt fand im Rahmen des Förderprogramms „Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie" (NIP) statt und wurde vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gefördert. H2BER war im Demonstrationsprojekt des Unternehmenszusammenschlusses „Clean Energy Partnership" (CEP) im Programmbereich „Verkehr und Wasserstoffinfrastruktur" angesiedelt. Die Koordination der Projekte lag bei der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie NOW.

Reiner Lemoine Institut gGmbH | Rudower Chaussee 12 | 12489 Berlin
www.reiner-lemoine-institut.de | mobilitaet@rl-institut.de