

Grüner Wasserstoff definiert – was nun?

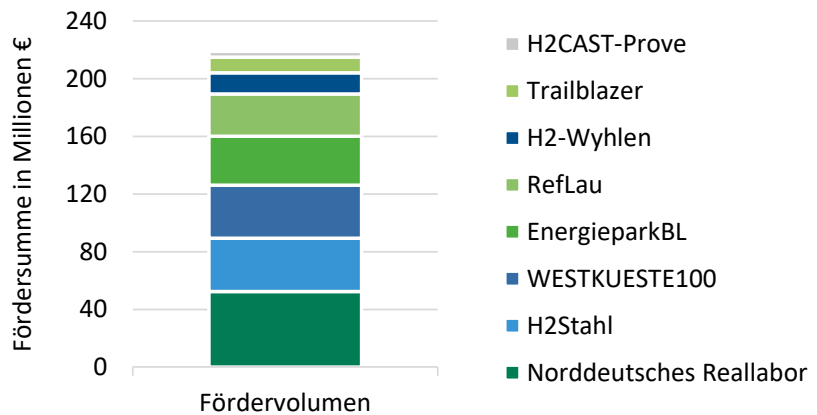
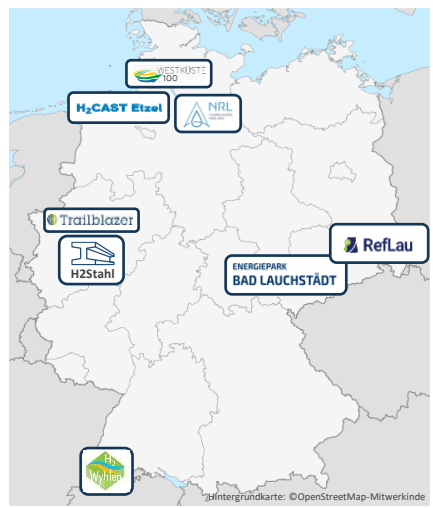
Welche Betriebsmodelle verfolgen die Reallabore für ihre Elektrolyseure?



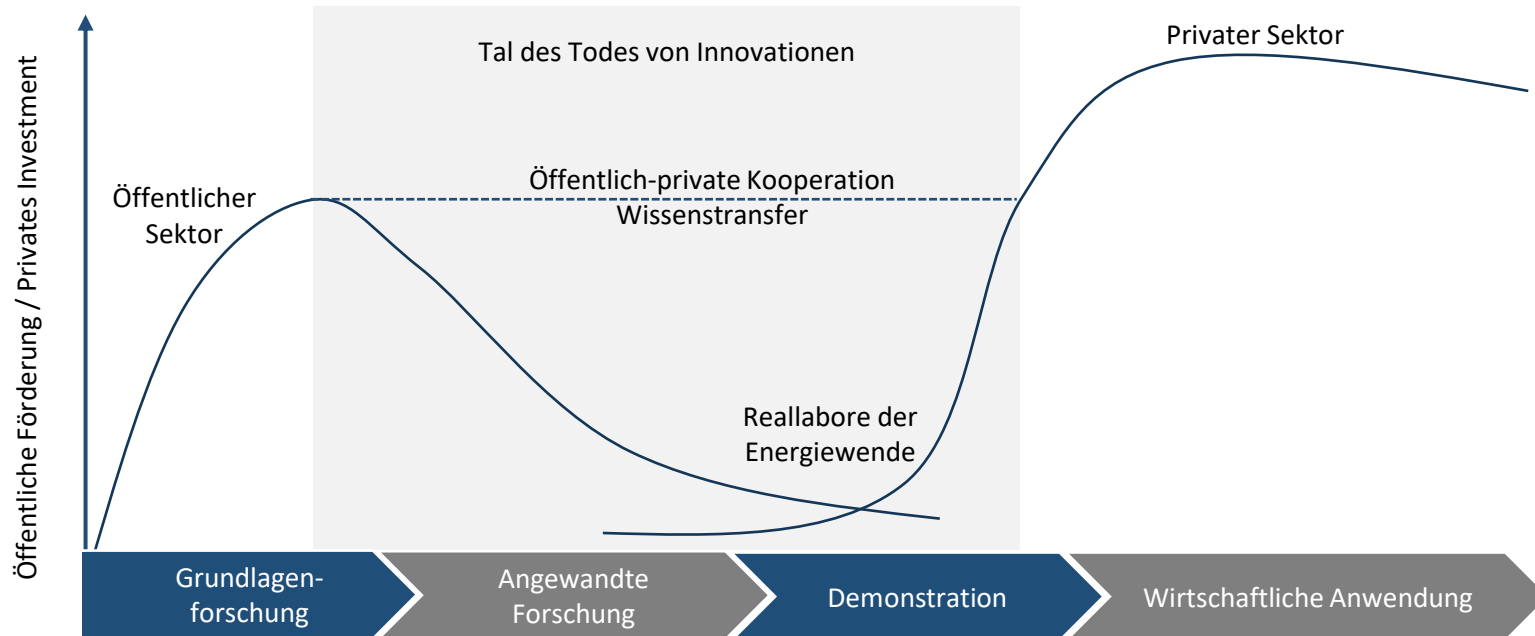
Reallabore der Energiewende im Kontext Wasserstoff und Sektorkopplung

„Mit den Reallaboren der Energiewende werden wir neue Wasserstofftechnologien nicht nur in der Forschung, sondern auch in der Anwendung unter realen Bedingungen und im industriellen Maßstab erproben.“

Bundeswirtschaftsminister a. D. Peter Altmaier



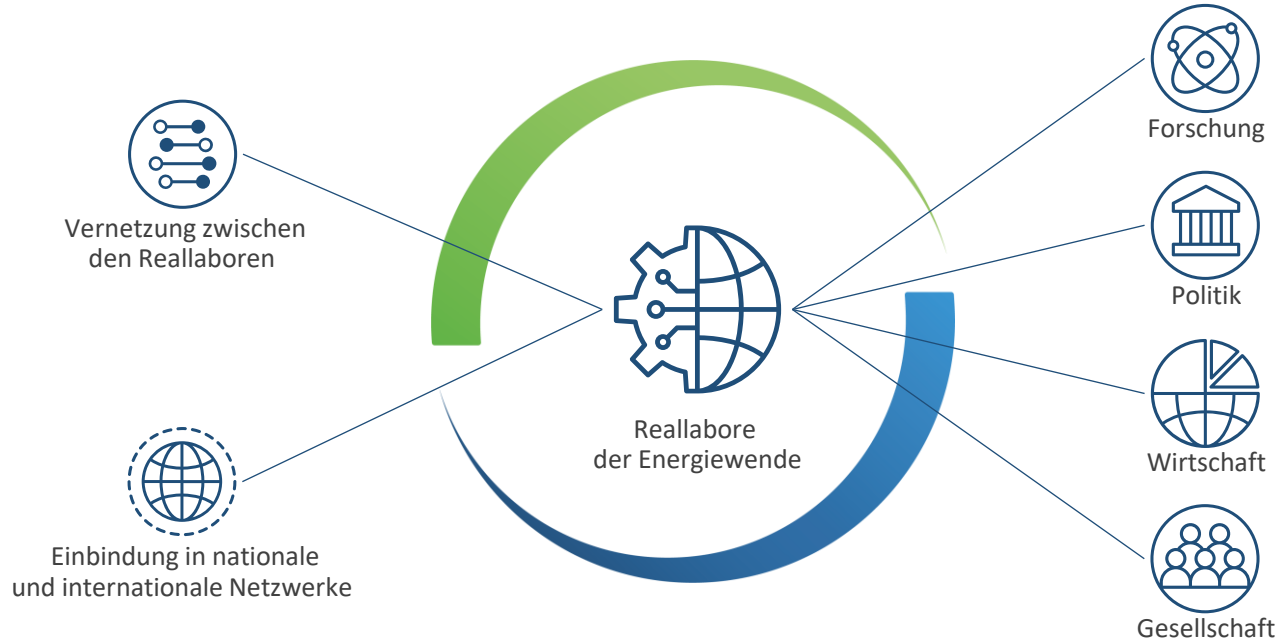
Die Reallabore als Brücke zwischen Forschung und wirtschaftlicher Anwendung



Wesentliche Schnittstellenaufgabe der Transferforschung Wasserstoff

Vernetzung mit anderen relevanten Initiativen und Netzwerken zum gegenseitigen Nutzen

Einordnung und Kommunikation der Erkenntnisse in Form von Handlungsansätzen



Einleitung Elektrolysebetrieb



Optionen für die Herstellung von „grünen“ Wasserstoff nach RED II DA



Gleicher Netzknoten
und Smart Metering System

oder

+

Zusätzlichkeit

(Ab Inkrafttreten)
EE-Anlage max. 3 Jahre
vor EL in Betrieb

Ohne Netzanschluss

Direktbezug



EE-Anteil im Strommix > 90%

in einem der letzten fünf Jahre in der Gebotszone des EL

Netzbezug



**PPA mit
EE-Anlage**

+

Zusätzlichkeit

(Ab 01.01.2028)
EE-Anlage max. 3 Jahre
vor EL in Betrieb

oder

Emissionen Strommix
< 64,8g CO₂eq/kWh

+

Gleichzeitigkeit

- Bis 31.12.2029: Gleicher Monat
- Ab 01.01.2030: Gleiche Stunde
- Alternativ:
Day-Ahead-Preis <= 20€/MWh
oder <= 0,36 * CO₂-Preis (t)

+

Räumlicher Zusammenhang

- Gleiche Gebotszone, oder
- Benachbarte Gebotszone
mit höheren Strompreis, oder
- Benachbarte Offshore-Gebotszone



**Vermeidung der Abregelung von EE-Anlagen
im Zuge von Redispatch**


EE – Erneuerbare Energien
EL – Elektrolyseur
RED – Renewable Energy Directive
DA – Delegated Act
PPA – Power Purchase Agreement


Moderne Elektrolyseure können äußerst flexibel reagieren, aber Vorsicht beim Abschalten

Ein Elektrolyseur kann sich in drei Zuständen befinden:

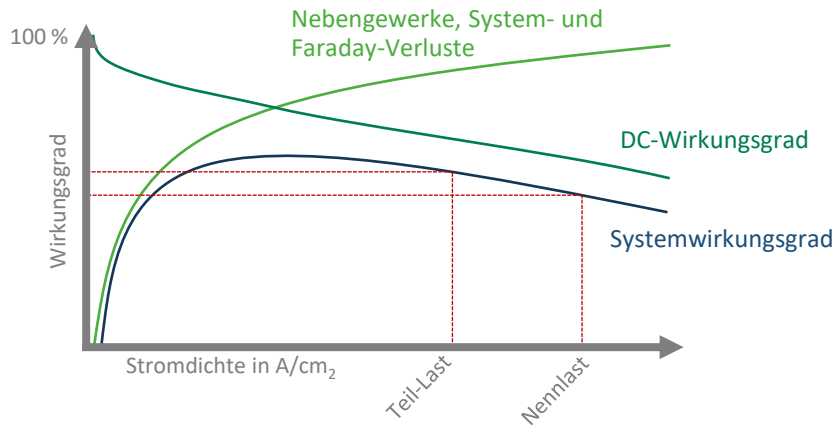
Wechsel zwischen den Zuständen in...



 Degradation bei Wechsel zwischen An- und Aus-Zustand (Je nach System auch Standby)

 Wechsel zwischen verschiedenen Lastzuständen im Sekundenbereich

Effizienz im Teillastbetrieb



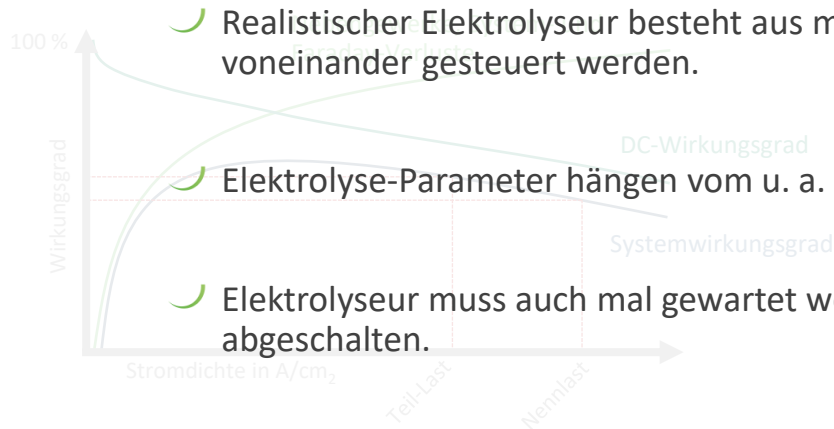
Quelle: [nach Siemens \(Wirkungsgrad – Elektrolyse\)](#)

- ✓ Elektrolyseeffizienz steigt mit niedriger Leistung
- ✓ Aber Balance of Plant (Pumpen etc.) verbrauchen konstante Leistung → unter bestimmter Schwelle kein sinnvoller Betrieb
- ✓ Kurzfristige Überlast möglich, langfristiger Effekt jedoch bisher ungeklärt



Flexibilitätsbereich ist unten (!= 0) und oben (Nennleistung) begrenzt!

Effizienz im Teillastbetrieb, aber...



Quelle: [nach Siemens \(Wirkungsgrad – Elektrolyse\)](#)

Realistischer Elektrolyseur besteht aus mehreren Stacks, die unabhängig voneinander gesteuert werden.

Elektrolyse-Parameter hängen vom u. a. auch vom Ausgangsdruck ab.

Elektrolyseur muss auch mal gewartet werden und wird in dem Zuge abgeschaltet.

- Elektrolyseeffizienz steigt mit niedriger Leistung
- Alten Anlagen (of Pt-Elektrolyseuren etc.) verbrauchen konstante Leistung → unter bestimmter Schwelle kein sinnvoller Betrieb
- Kurzfristige Überlast möglich, langfristiger Effekt



Flexibilitätsbereich ist unten (!= 0) und oben (Nennleistung) begrenzt!



Workshop



menti.com | 6935 1998

Gruppe 1

Beschreibung:

Ich bin mit meinem Elektrolyseur Akteur in einem funktionierenden System aus Strom- und Wasserstoffmarkt. Die Märkte sind so ausgestaltet, dass möglichst viele Erneuerbare in das System integriert werden. Mein Ziel in diesem System ist es, maximal wirtschaftlich zu sein.

Gruppe 2

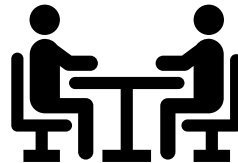
Beschreibung:

Ich will mit meinem Unternehmen einen Elektrolyseur errichten, um Wasserstoff zu erzeugen. Ob ich Wasserstoff verkaufe oder selbst nutze, ist vorab noch nicht klar. Mein Ziel hier ist, aus Sicht des Elektrolyseurs, ein maximal wirtschaftliches System zu betreiben.

Zwei Positionen auf Seite des Systems und des Akteurs

Der Strom in Deutschland ist in den meisten Stunden zu teuer, dass eine Elektrolyse wirtschaftliche laufen könnte.

Um Geld zu verdienen, muss meine Elektrolyse laufen. Je mehr Stunden das der Fall ist, desto früher refinanziert sich meine Anlage.



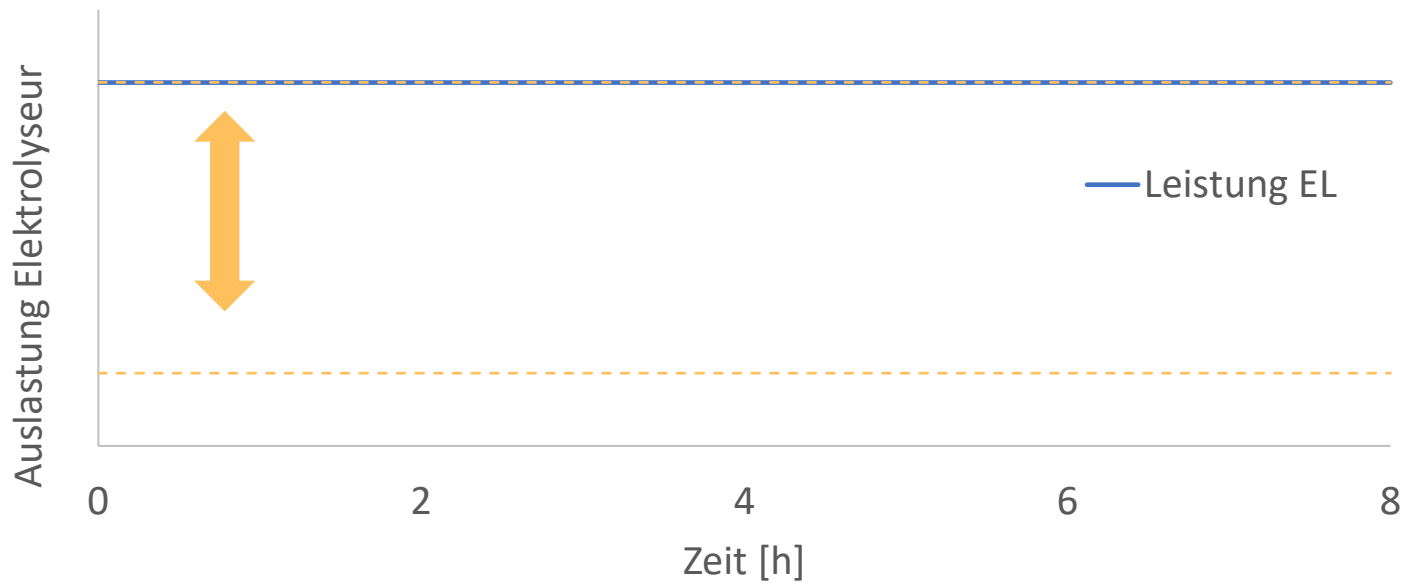


5 Eckpunkte für Betriebsweisen

5 Eckpunkte für Betriebsweisen

- ✓ Kontinuierlicher Betrieb
- ✓ Betrieb nach erneuerbarem Erzeugungsprofil
- ✓ Nutzung von überschüssigem EE-Strom
- ✓ Stromkostenoptimierter Betrieb
- ✓ Anbieten von Regelleistung

Kontinuierlicher Betrieb



Kontinuierlicher Betrieb

Beschreibung

- Durchgängiger Betrieb bei Nennlast
- Elektrolyseur wird nur für Wartungen heruntergefahren

Strombezug



Geschäftsmodell

Regelmäßige, vorhersehbare Wasserstoffversorgung

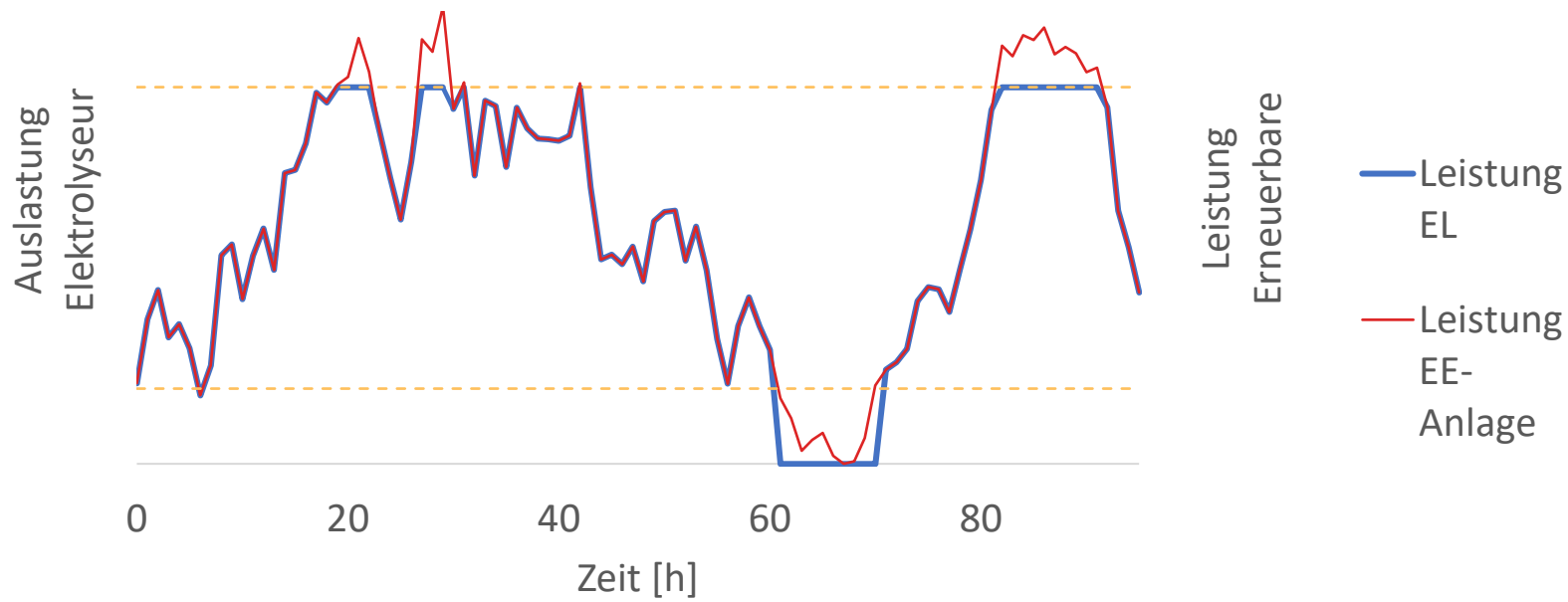
Wirtschaftlichkeit

Aktuell nur wirtschaftlich bei hohem Grünstromanteil und hohen Prämien für grünen Wasserstoff

Auswirkungen auf Elektrolyseur

Keine negativen Auswirkungen

Betrieb nach erneuerbarem Erzeugungsprofil

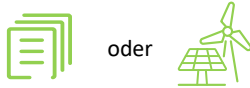


Betrieb nach erneuerbarem Erzeugungsprofil

Beschreibung

- Strombezug über Direktleitung oder grünes PPA
- Elektrolyseur folgt Leistungsprofil instantan (Direktleitung) oder stundenweise (PPA)

Strombezug



oder

Geschäftsmodell

Vermarktung von 100% grünem Wasserstoff (RED II)

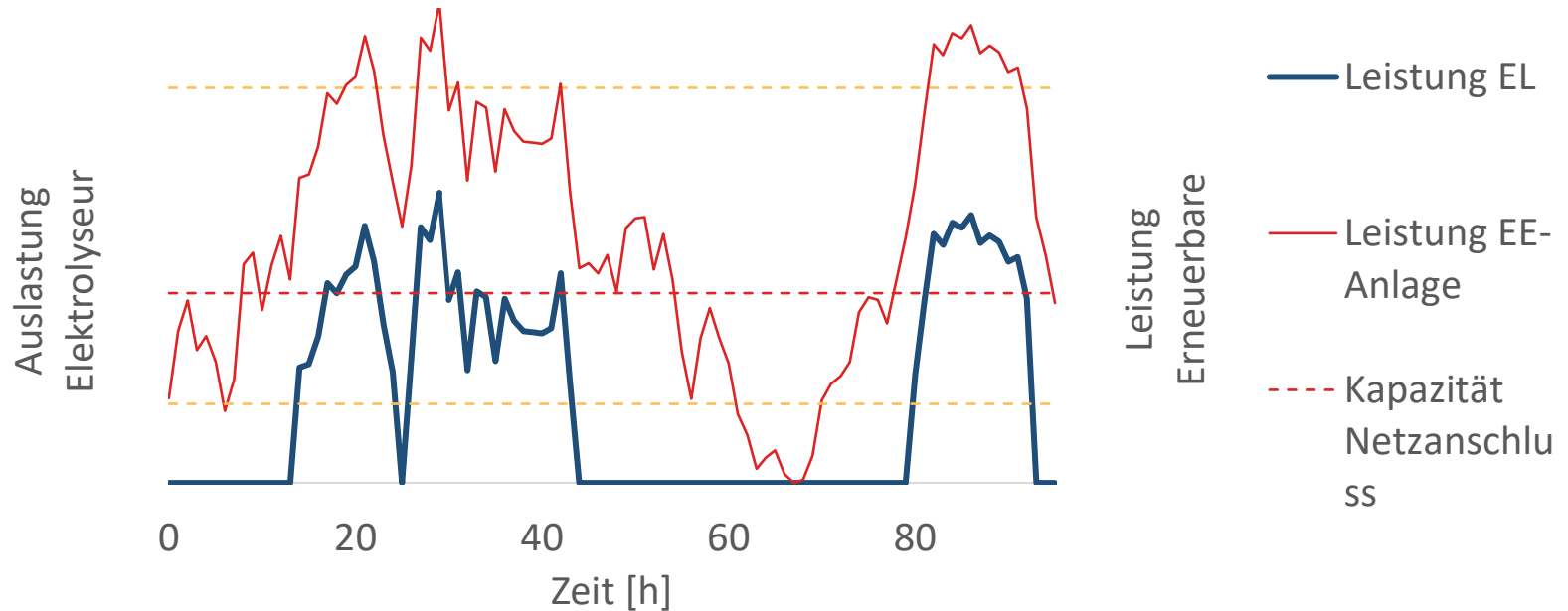
Wirtschaftlichkeit

Aktuell nur wirtschaftlich bei hohen Prämien für grünen Wasserstoff

Auswirkungen auf Elektrolyseur

Häufige An-Aus-Zyklen verringern voraussichtlich Lebensdauer

Nutzung von überschüssigem EE-Strom



Nutzung von überschüssigem EE-Strom

Beschreibung

- Elektrolyseur wird zusammen mit EE-Anlage betrieben
- Strom der EE-Anlage wird bevorzugt auf dem Strommarkt verkauft
- Elektrolyseur wird betrieben wenn Stromproduktion ÜBN-Anschlusskapazität übersteigt oder Strompreise stark fallen

Strombezug



Geschäftsmodell

Vermeidung von Abschaltung von EE-Anlagen
Einsparungen durch geringere ÜBN-Anschlusskapazität

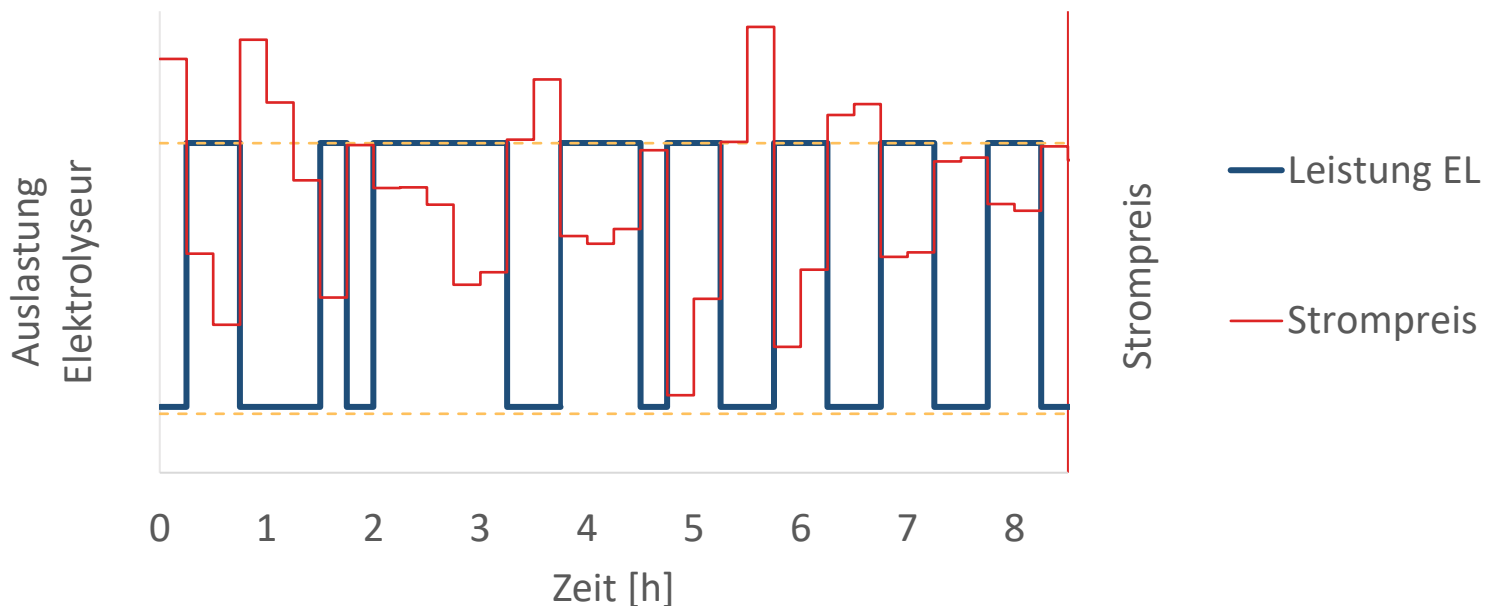
Wirtschaftlichkeit

Kann bei stark fluktuierenden Strompreisen wirtschaftlich sein

Auswirkungen auf Elektrolyseur

Häufige An-Aus-Zyklen verringern voraussichtlich Lebensdauer

Stromkostenoptimierter Betrieb



Stromkostenoptimierter Betrieb

Beschreibung

- Strom wird möglichst günstig über den Day-Ahead- oder Spotmarkt bezogen
- Betrieb bei Vollast nur, wenn Strompreis unter Grenzwert
- Auch andere Strompreisabhängigkeiten möglich

Strombezug



Geschäftsmodell

Gewinnoptimierung durch minimale Stromkosten

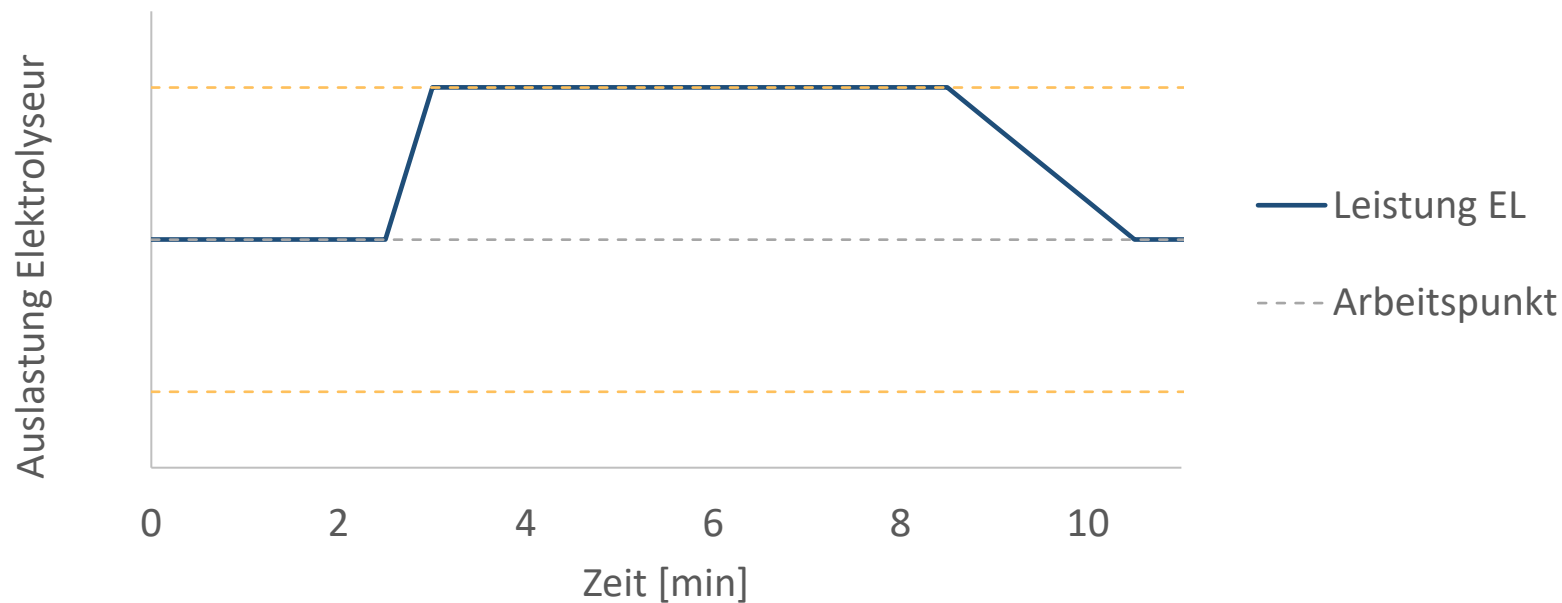
Wirtschaftlichkeit

Aktuell nicht wirtschaftlich [Samani 2020]

Auswirkungen auf Elektrolyseur

Häufige An-Aus Zyklen verringern Lebensdauer. Daher z.B. Betrieb bei Minimallast statt vollständigem Herunterfahren bei hohen Strompreisen

Anbieten von Regelleistung



Anbieten von Regelleistung

Beschreibung

- Standardmäßiger Betrieb um Arbeitspunkt
- Bei Abweichungen der Netzfrequenz wird Leistung innerhalb von 30s angepasst
- Betrieb zwischen minimaler Last und Vollast, um An-Aus-Zyklen zu vermeiden
- Auch Anbieten von asymmetrischer Regelleistung möglich

Strombezug



Geschäftsmodell

Vergütung von Regelleistung durch Netzbetreiber

Wirtschaftlichkeit

In Netzen mit hohem Anteil von Erneuerbaren oder Inselnetzen wirtschaftlich.

Auswirkungen auf Elektrolyseur



Wie machen das nun die Reallabore?

Referenzkraftwerk Lausitz



Allgemeines

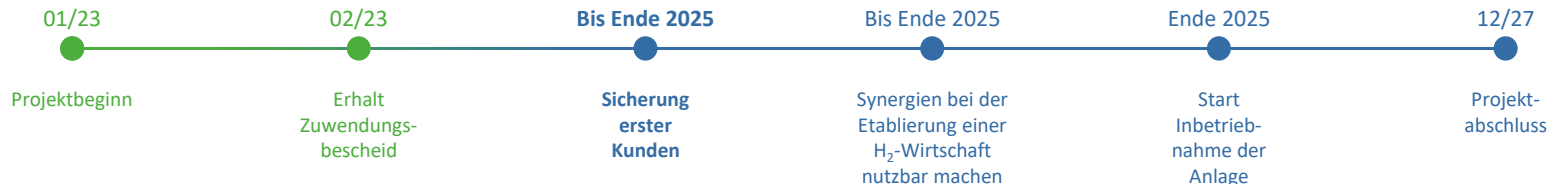
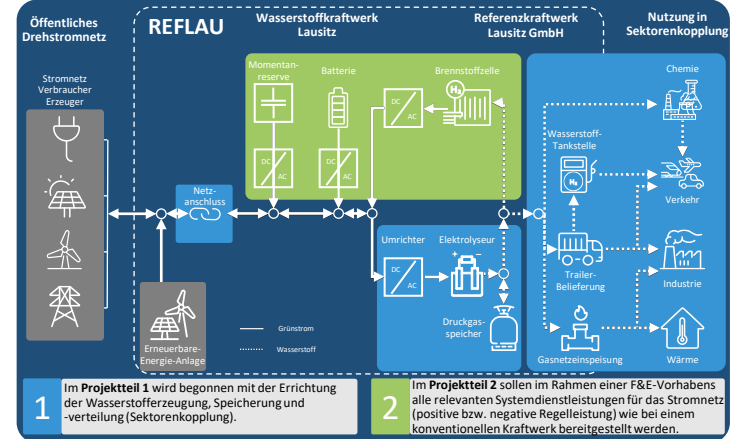
- ✓ Standort: Spremberg (bei Cottbus)
- ✓ Konsortialführung: Referenzkraftwerk Lausitz GmbH (Ben Schüppel)
- ✓ Fördervolumen: 28,3 Mio. Euro
- ✓ Förderkennzeichen: 03EWR018A,C,D,E
- ✓ Projektlaufzeit: 01.01.2023 – 31.12.2027
- ✓ Website: www.reflau.com
- ✓ Partner: Referenzkraftwerk Lausitz GmbH, TU Dresden, BTU Cottbus-Senftenberg, Fraunhofer IEG, Zweckverband Industriepark Schwarze Pumpe, Energiequelle, ENERTRAG

Beschreibung

- ✓ Errichtung eines modernen Kraftwerks (ausschließliche Nutzung erneuerbarer Energien, Sektorenkopplung, Erschließung neuer Wertschöpfungspotentiale in der Region)
- ✓ Ziele: Nutzung während Dunkelflaute, Schwarzstartfähigkeit, Rückverstromung, Momentanreserve, Strukturwandel
- ✓ Errichtung und Nutzung einer H₂-Tankstelle & H₂-Einspeisung ins Gasnetz

Vorreiterrolle

- ✓ Entstehung eines neuartigen Speicherkraftwerks (Netzdienliche Regelleistung, Sektorenkopplung mit Verkehr, Industrie & Wärmesektor)
- ✓ Dient als Referenz für die Umstellung von konventionellen Kraftwerksstandorten auf erneuerbare Energieerzeugung
- ✓ Untersuchung netzstabilisierender Systemleistungen durch das H₂-Kraftwerk



Referenzkraftwerk Lausitz

Betriebsweise und Verwendung

Betriebsregime ergibt sich aus einer Kombination aus Strompreis an der Börse, Lieferverpflichtungen, Lagerstand und aktuellem und prognostiziertem Dargebot an erneuerbarer Energie
Primär werden voraussichtlich die Preise an den Energiemärkten für die Betriebsweise bestimmend sein.

Geplante Volllaststunden

5.000 Volllaststunden
Bei entsprechender Überbauung mit EE-Anlagen wären bis zu 7.000 Volllaststunden möglich

Strombezug

Primär über assoziierte und lokal verfügbare PV- und Windanlagen
Falls erforderlich Ergänzung um weiteren DA-konformen Strombezug

System- und Netzdienstleistungen

Angebot von Regelleistung (Teil des Forschungsauftrags)

Trailblazer

Allgemeines

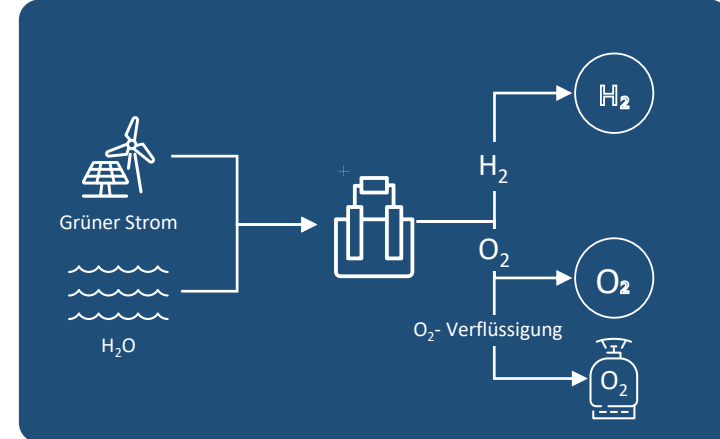
- ✔ Standort: Oberhausen
- ✔ Konsortialführung: AIR LIQUIDE Deutschland GmbH
- ✔ Fördervolumen: 10,9 Mio. Euro
- ✔ Förderkennzeichen: 03H2I150
- ✔ Projektlaufzeit: 01.08.2021 – 31.12.2023
- ✔ Website: <https://de.airliquide.com/trailblazer>
- ✔ Partner: AIR LIQUIDE Deutschland GmbH, Siemens Energy

Beschreibung

- ✔ Ziel: Versorgung der Schlüsselindustrien und der emissionsfreien Mobilität an Rhein und Ruhr mit erneuerbarem Wasserstoff
- ✔ Errichtung eines 20 MW-PEM-Elektrolyseurs mit jährlich 2.900t H₂
- ✔ Anschluss an bestehende Wasserstoffpipeline
- ✔ In zukünftiger 2. Phase ist ein Ausbau auf 30 MW geplant

Vorreiterrolle

- ✔ Das erste H₂-Vorhaben, das im Rahmen der NWS aus Mitteln des Konjunkturpaketes gefördert wird
- ✔ Eine der größten Anlagen Europas
- ✔ Air Liquide ist Pionier bei Wasserstoff-Betankungslösungen für alle Verkehrsträger → Unterstützt so u.a. die weitere Entwicklung dieser



Trailblazer

Betriebsweise und Verwendung

Bis 2026 optimiert anhand Preisen an den Energiemärkten bei erwarteter anziehender Wasserstoffnachfrage.
Ab 2027 Betrieb in „Volllast“ basierend auf DA-konformen Strombezug.

Geplante Volllaststunden

Bis 2026 1.000-3.000
Ab 2027 5.000-6.000 bei 8.300 Betriebsstunden (entspricht Volllast gemäß eigener Definition)

Strombezug

Primär Wind Offshore über PPAs kombiniert mit PV zur Optimierung der Volllaststunden.
Ausschließlich DA-konform

System- und Netzdienstleistungen

Ja (Umsetzung noch unklar)

Norddeutsches Reallabor



Allgemeines

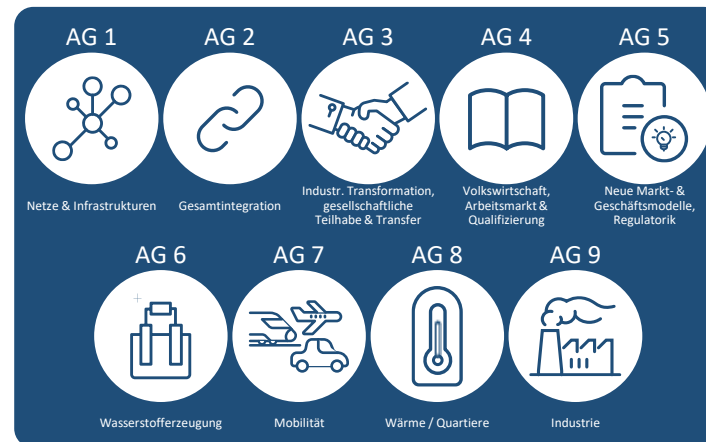
- ✔ Standort: Länderübergreifend (Hamburg, M-V, Schl. Hols., Bremerhaven)
- ✔ Konsortialführung: HAW Hamburg
- ✔ Fördervolumen: 52,3 Mio. Euro
- ✔ Förderkennzeichen: 03EWR007A-V
- ✔ Projektlaufzeit: 01.04.2021 – 31.03.2026
- ✔ Website: norddeutsches-reallabor.de
- ✔ Anzahl Partner: 50

Beschreibung

- ✔ Sektorkopplung mit H₂ und energieeff. Quartierslösungen im Wärmebereich
- ✔ Projektpartner bilden gesamte Energie-Wertschöpfungskette ab und werden in verschiedene Teilvorhaben und darin in Arbeitsgruppen unterteilt
- ✔ Simulation zu erwartender Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte für Norddeutschland auf Grundlage von Szenarien zu Wertschöpfungsketten
- ✔ 8 Elektrolyseure (insg. 42 MW) & Abwärmenutzung (Umfang: 700 GWh/a)

Vorreiterrolle

- ✔ Untersuchung genereller innovativer neuer Ideen großflächig, technologieoffen sowie markt- und realitätsnah in einem gesamtsystematischen Ansatz (auch Tankstellen- und Fahrzeug-Erprobung)
- ✔ Mehrere Sektorkopplungs-Schwerpunktanlagen in geografischen „Hubs“
- ✔ Überregionaler Modellcharakter für H₂-basierte Sektorkopplung in DE & EU



Norddeutsches Reallabor Stadtreinigung Hamburg



Betriebsweise und Verwendung

Elektrolyseur zur Bereitstellung von Wasserstoff für eine diskontinuierliche Biomethananlage (Steigerung der Biomethanausbeute im Rohbiogas). Betrieb des Elektrolyseurs primär bedarfsgesteuert.

Geplante Volllaststunden

3.000

Strombezug

Erneuerbar über PPAs

System- und Netzdienstleistungen

Nein (Zulassungsverfahren zu aufwändig)



Vielen Dank.



Dr.-Ing. Simon Pichlmaier
Leiter Wasserstoff und
synthetische Energieträger
+49 89 158121-41
spichlmaier@ffe.de



David Ruprecht
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
+49 89 158121-56
druprecht@ffe.de



FfE
Am Blütenanger 71
80995 München

