

EnergieSynergie

H₂-FEE

Flexible Energieträger für die Energiewende: Open-WebGIS zur digitalen Analyse von PtG-Potentialen an dezentralen Energiestandorten in Deutschland am Beispiel von Niedersachsen

**08. November 2023
Windenergietage Potsdam
Prof. Dr. – Ing. Carsten Fichter**



Prof. Dr. – Ing. Carsten Fichter

**Professur für Windenergie,
Energiewirtschaft und
Speicherung**

Bachelor Maritime Technologien

**Bachelor Nachhaltige Energie
und Umwelttechnik**

Master Windenergietechnik

Master PEET

**Hochschule
Bremerhaven**



Forschung

**Entwicklungs- und Anwendungsforschung für
die Windenergie und Speichersysteme**

- Forschungsleiter der Hochschule Bremerhaven für das Forschungscluster Energie- und Meerestechnik
- Wasserstoffstudie Lune Delta und Fischereihafen Bremerhaven (2018 – 2019)
- GoodWind! (2018 – 2020)
- Grünes Gas für Bremerhaven (2020 – 2022)
 - Alternative Kraftstoffe: Herstellung von SNG und LNG im Labormaßstab.
 - Einsatz von Wasserstoff in der Mobilität und Logistik.
 - Wasserstoff Microgrid
 - Entwicklung eines Wasserstoffbackofens
- WindGISKI (2021 – 2024)

EnergieSynergie

CNO – Chief Networking Officer

EnergieSynergie GmbH entwickelt Konzepte für den intelligenten Einsatz von EE-Anlagen mit den Schwerpunkten Wind, Geothermie, PV und Wasserkraft für Unternehmen und Kommunen mit dem Ziel 100% Erneuerbare Energien.

Studiere bei mir mit und
suche nach Lösungen
→ **Ingenieurwesen -
Maritime Technologien**

**He Hochschule
Bremerhaven**

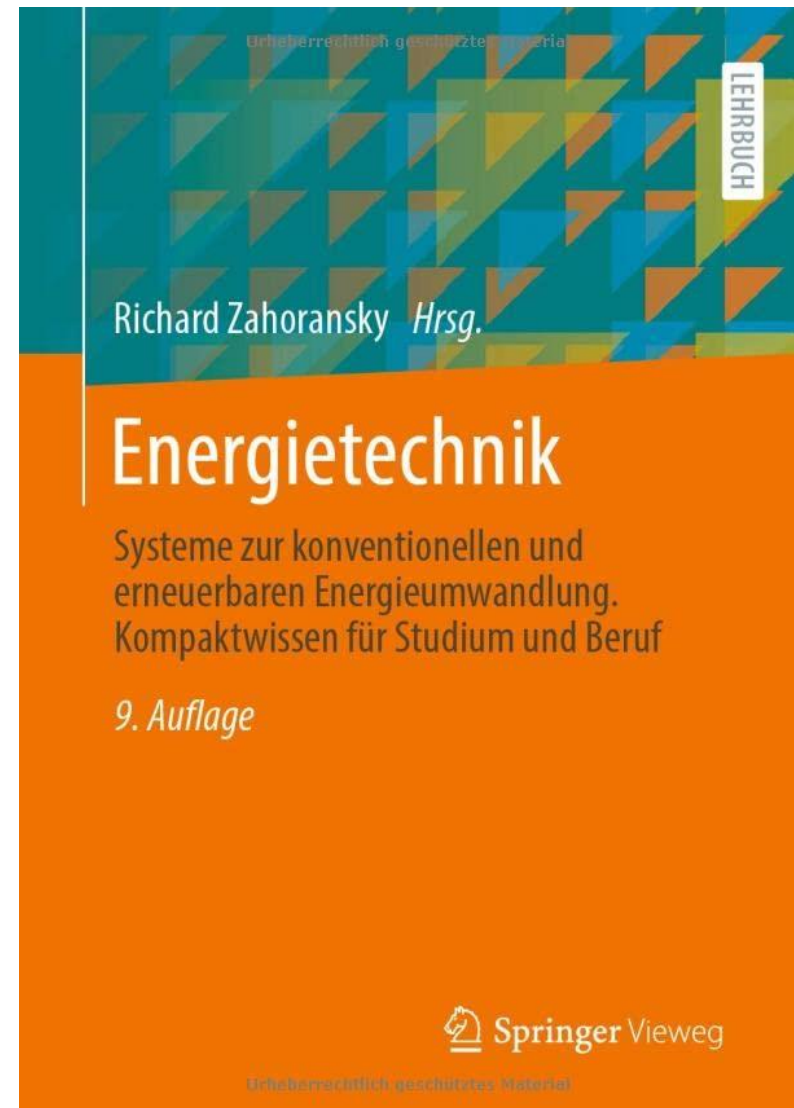
Exkursion Windpark
Nordergründe



**Energietechnik- Systeme zur
Energieumwandlung.
Kompaktwissen für Studium
und Beruf;**

**Zahoransky, R.; Fichter, C.; et
al.; Springer Vieweg; 9.
Auflage; 2022**

→ Kapitel Speichertechnologie



EnergieSynergie ist Ihr Partner für den effizienten Energieeinsatz in Kommunen und Unternehmen



Erneuerbare Energien

- Wind
- Photovoltaik
- Biomasse
- Wasser
- Geothermie



Energieversorgung

- Virtuelle Kraftwerke
- Lastmanagement
- Speicher
- Wasserstoff



Betriebe, Kommunen, Endverbraucher

- Energiekonzepte
- Prozessanalyse und Optimierung

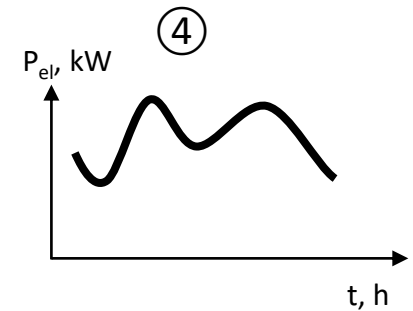
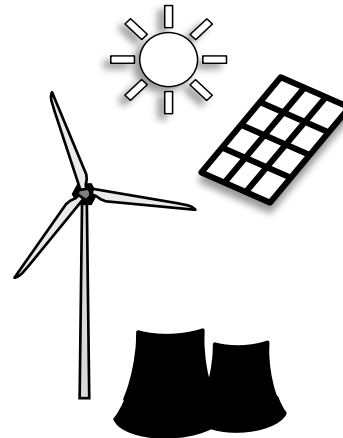
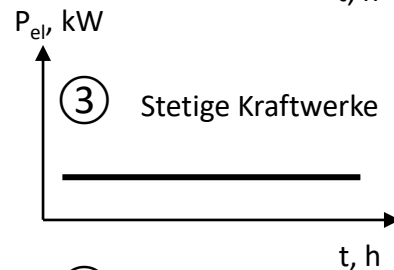
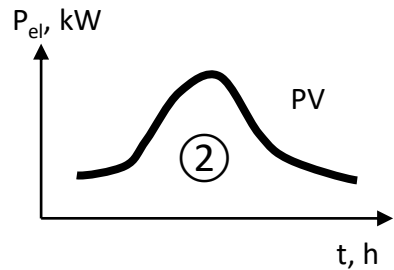
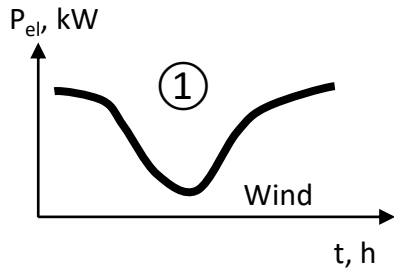


Schulungen

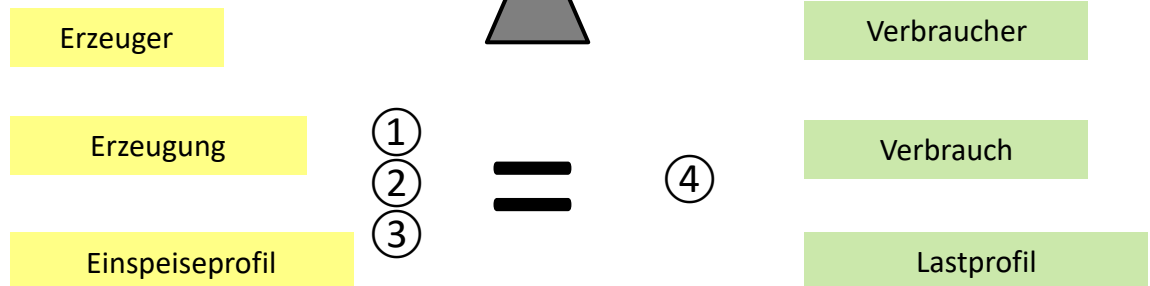
- z.B. Windenergie für die Industrie, Wasserstoff-technologie

Erzeugung und Verbrauch

Erzeuger und Verbraucher stehen im Gleichgewicht.
Es muss soviel Energie (elektrische Energie und Wärme) bereitgestellt werden wie der Verbraucher anfordert.



Regelgröße
U, f



③

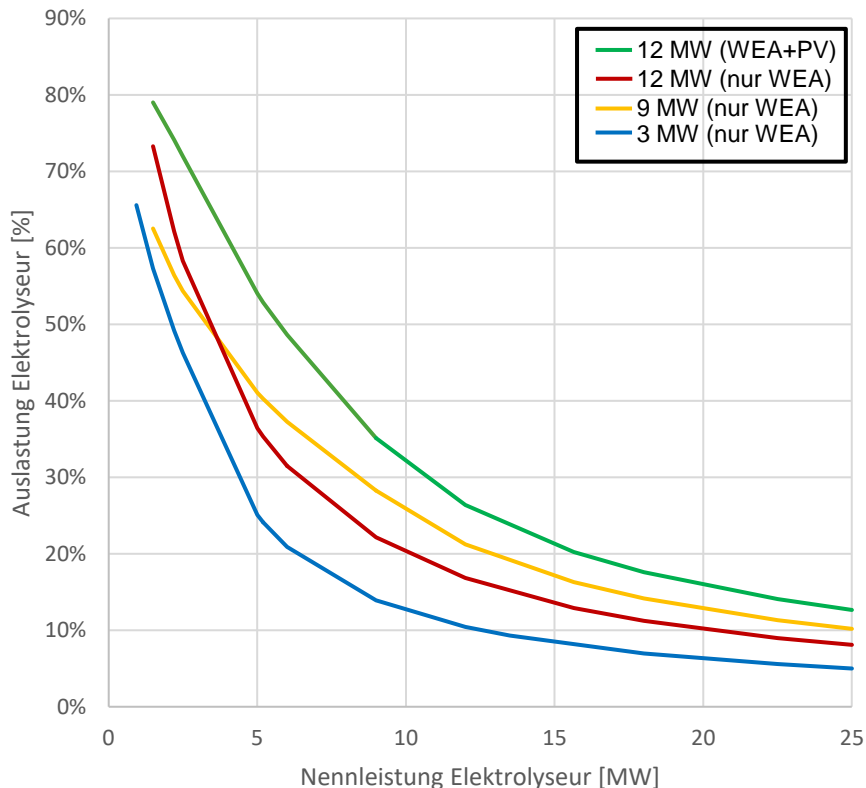
Stetige Kraftwerke:

- Wasserkraft
- Biomasse
- Geothermie
- Erdgas
- Steinkohle
- Braunkohle
- Kernkraft

Beispiel Wasserstoffherzeugung

Wasserstoffsimulation einer PtG-Simulation auf Basis von 10-Min Daten

Auslastung eines Elektrolyseurs bei unterschiedlichen Nennleistungen und Leistungsprofilen von Erneuerbaren Energien Anlagen



Die rote Linie in der Grafik zeigt die Auslastungskurve der Elektrolyseure mit der Kopplung eines Windparks (12 MW Gesamtleistung) an der Küste.

Die grüne Linie in der Grafik zeigt die Auslastungskurve der Elektrolyseure mit der Kopplung eines Wind- und PV-Parks (12 MW Gesamtleistung) im Binnenland.

Bei derselben Gesamtleistung der Erzeuger von 12 MW ergeben sich unterschiedliche Auslastungskurven bei der PtG Simulation mit 10-Min Daten. Grund dafür sind die unterschiedlichen und fluktuierenden Leistungsprofile sowie die verschiedenen Standorte der EE-Anlagen.

Es ist somit für jedes Projekt notwendig die variierende Auslastung und in Folge die variierenden Wasserstoffgestehungskosten zu berechnen.

Beispiel Kopplung 12 MW Einspeiseprofil mit 12 MW Elektrolyseur

Ziel der Optimierung:

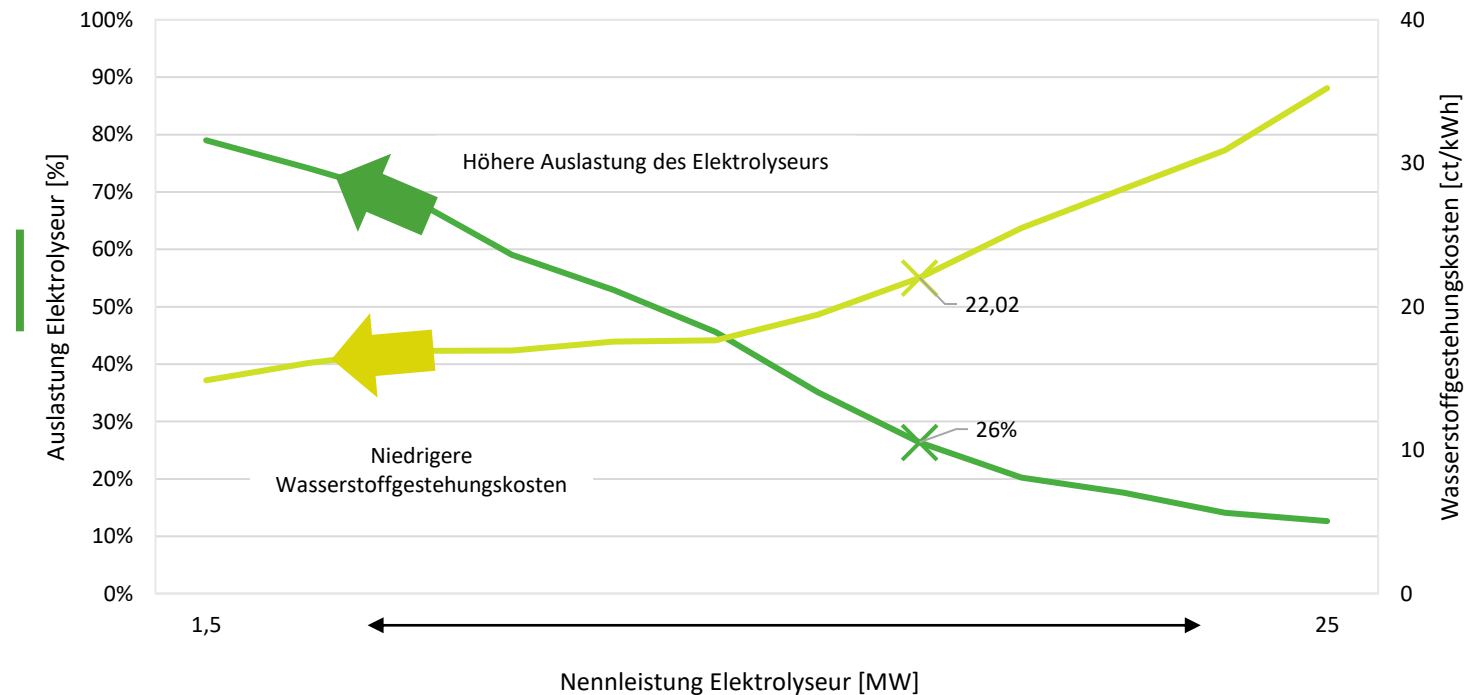
- Auslastung des Elektrolyseurs erhöhen
- Wasserstoffgestehungskosten senken

Tabelle 3: LCOH aus den Jahren 2015 und 2050 aus verschiedenen Studien, durch die AutorInnen simulierte LCOH für das Jahr 2022 sowie LCOH berechnet durch das EWI

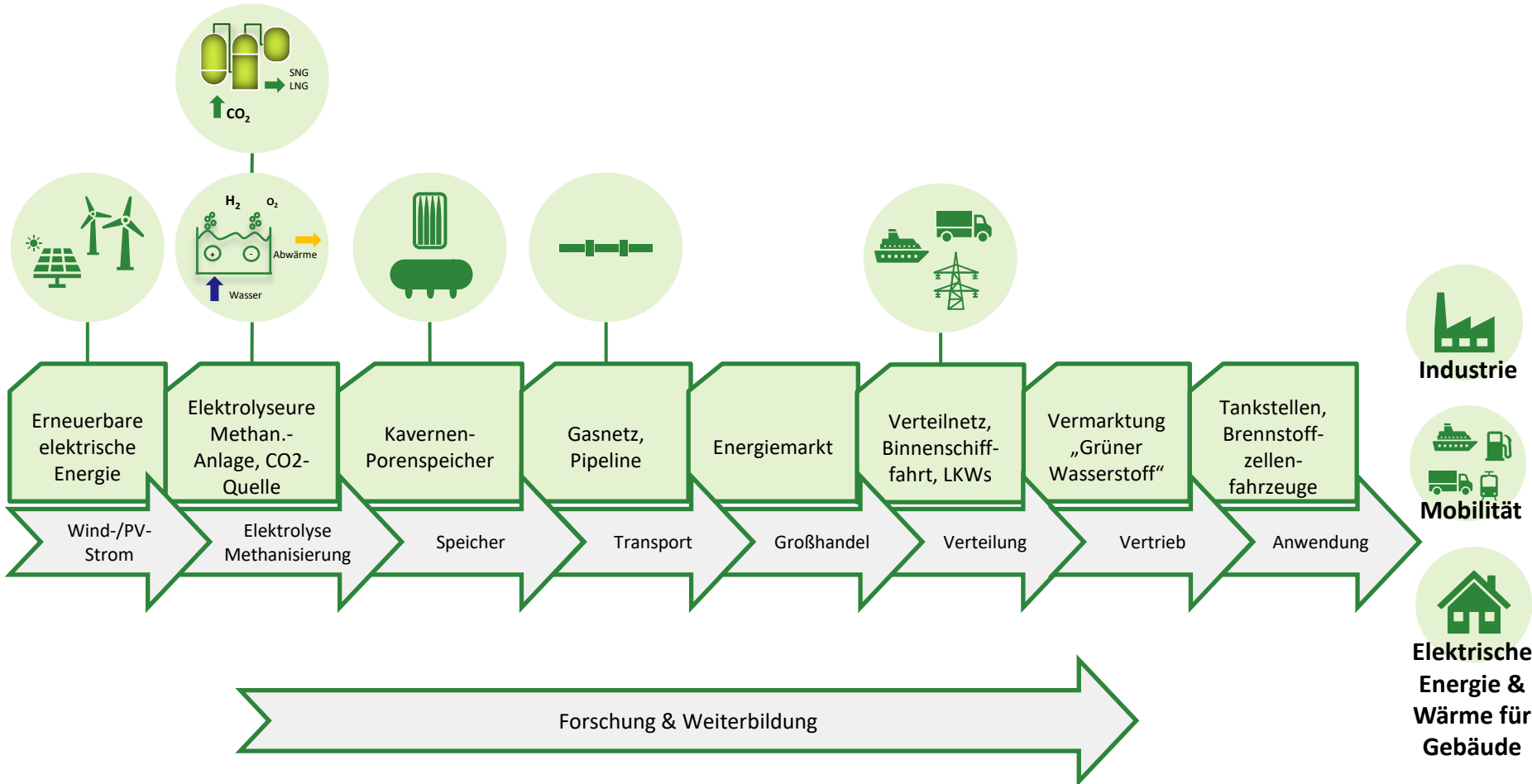
2015	2022	2050
5,25-5,30 €/kg (PEM)	4,22 €/kg und 9,38 €/kg PtG Simulation (PEM) Durchschnittswert: 6,16 €/kg (EWI)	2,87 – 4,84 €/kg (PEM)

Bei der Analyse von Studien zu LCOH wurde festgestellt, dass es eine Vielzahl von Faktoren gibt, welche die LCOH beeinflussen. Wichtige Faktoren, die die LCOH beeinflussen sind:

- Elektrolyseurprinzip und Wirkungsgrad (bzw. Systemverbrauch)
- Stromgestehungskosten
- Auslastung des Elektrolyseurs
- Investitionskosten Elektrolyseur
- Herstellungsland erneuerbarer Energien
- Berücksichtigung von Transportkosten



H₂ Wertschöpfungskette



**Eine Elektrifizierung von Prozessen ist häufig Vorteilhafter im Vergleich zum Einsatz von Wasserstoff!
Der Wasserstoffbedarf der Anwender gibt das Ziel vor!**

Projekt H₂-FEE

Flexible Energieträger für die Energiewende: Open-WebGIS (Geoinformationssystem) zur digitalen Analyse von PtG (Power-to-Gas)-Potentialen an dezentralen Energiestandorten in Deutschland am Beispiel von Niedersachsen

Projektlaufzeit: 3 Jahre

Projektpartner:

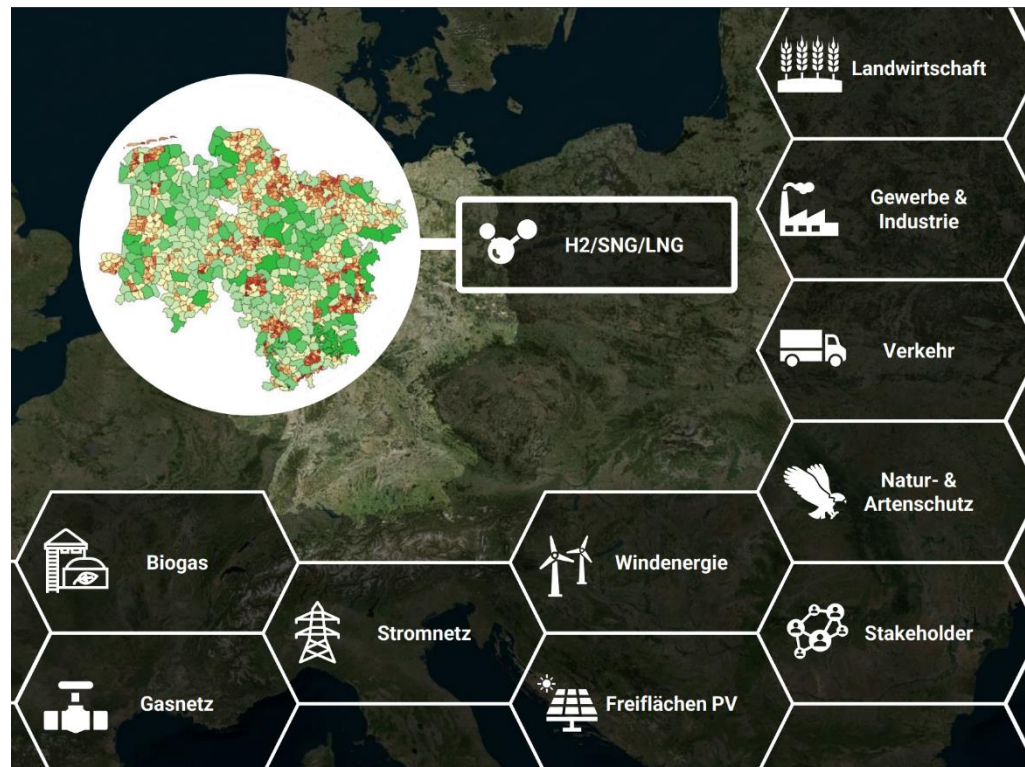


Richtet sich an: Kleinere und dezentrale Akteure in Niedersachsen, wie PlanungsträgerInnen (z.B. Landkreise und Kommunen), EE-ProjektentwicklerInnen und -BetreiberInnen sowie energieintensive Industrie- und Gewerbebetriebe

Projekt H₂-FEE

Fragestellung: Wie können KMUs und der ländliche Raum am Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft partizipieren, in Folge davon profitieren und welche Schlüsselemente werden dafür benötigt?

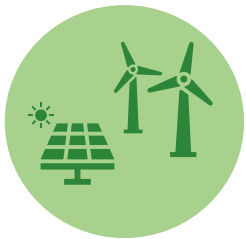
Ziel: Etablierung einer transparenten Plattform zur Identifikation von günstigen und naturverträglichen Standorten für die Wasserstoffproduktion auf Basis von EE-Anlagen (Onshore-Windenergie sowie Photovoltaik) insbesondere in Regionen mit hoher Bioenergie-Dichte sowie die Entwicklung von Geschäftsmodellen u.a. für die Landwirtschaft.



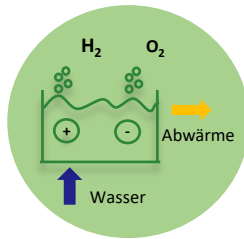
Projekt H₂-FEE

Wertschöpfungskette Wasserstoff

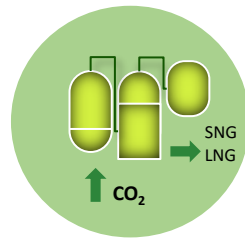
Das Projekt H₂-FEE bildet die gesamte Wertschöpfungskette Wasserstoff ab:
Elektrische Energie > Wasserstoff > synthetisches Erdgas > LNG > Speicherung > Endverbraucher z.B. Landwirtschaft



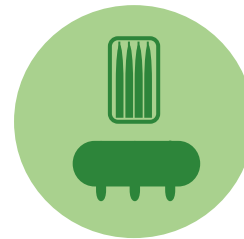
Elektrische Energie



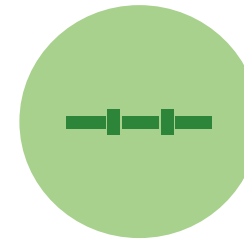
Elektrolyse



Methanisierung



Speicherung



Transport

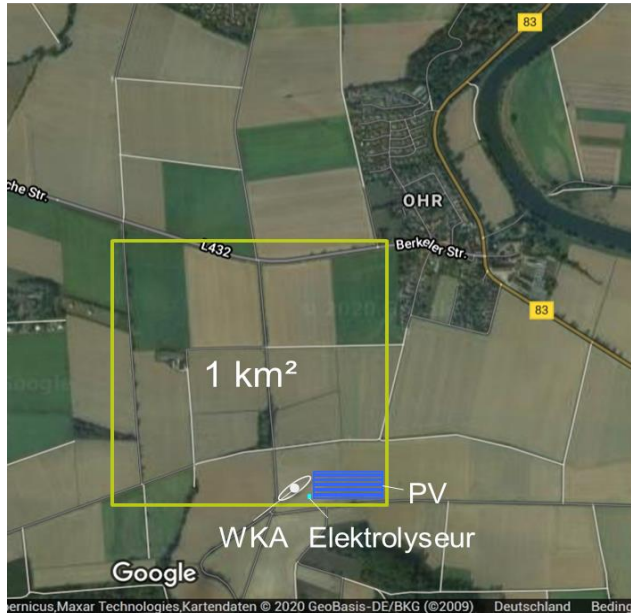


Endverbraucher

Ziele:

- Entwicklung von Dekarbonisierungsstrategien für Kommunen und Unternehmen auf Basis von Wasserstoff.
- Entwicklung von ökologisch und ökonomisch sinnvollem Wasserstoffeinsatz für Kommunen und Unternehmen in Zusammenhang mit EE.
- Proaktive Entwicklung neuer Power to Gas - Anwendungsfällen für Betreiber von Wind- und Freiflächen-PV-Anlagen sowie für KMU und Industrie - Grundlage für Beratungsdienstleistungen im Bereich der Kommunen und KMU (Wind / PV / Industrie / Gewerbe) für Wasserstoffapplikationen, insb. im ländlichen Raum.

Vergleich der Flächenerträge von Biogas- und Wind-Solar-Wasserstoffproduktion



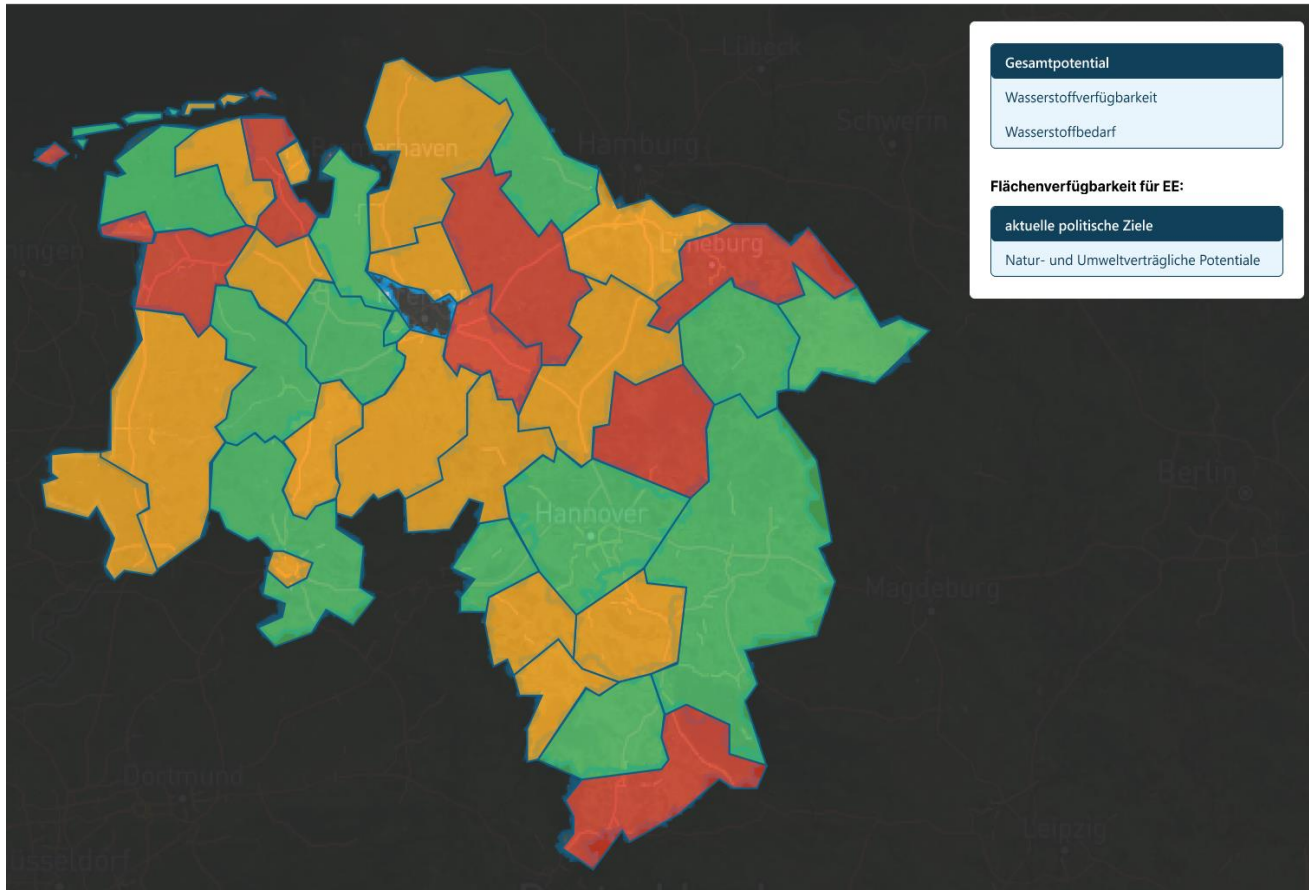
1 km² (= 100 ha) Biogas aus Silomais:
4,4 – 6,6 GWh/a Methan ¹
6 – 9 ct/kWh ¹
2,5 ha Solar-Wind-Hybridkraftwerk³:
6,6 GWh/a Wasserstoff
7,35 ct/kWh ⁴
97,5 ha für Naturschutz oder Nahrungsmittelproduktion
¹ https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/ ² bezogen auf den Heizwert ³ 2,5 MW PV, 1,9 MW WEA und 2 MW Elektrolyse ⁴ Gestehungskosten im Jahr 2025 bezogen auf den Heizwert, IEA-Preismodell für Elektrolyse, ohne H ₂ -Speicher

Der Bildausschnitt in der Karte dient nur der Illustration und ist nicht mit einem konkreten Umsetzungsvorhaben verknüpft.

Wie viel Hektar benötigt man für die Herstellung von einer gewissen Energiemenge an Biogas und wie viel Hektar für die selbe Energiemenge Wasserstoff?

Open WebGIS für alle AkteurInnen frei nutzbar

1. Ebene: Wasserstoffpotentialkarte Niedersachsen

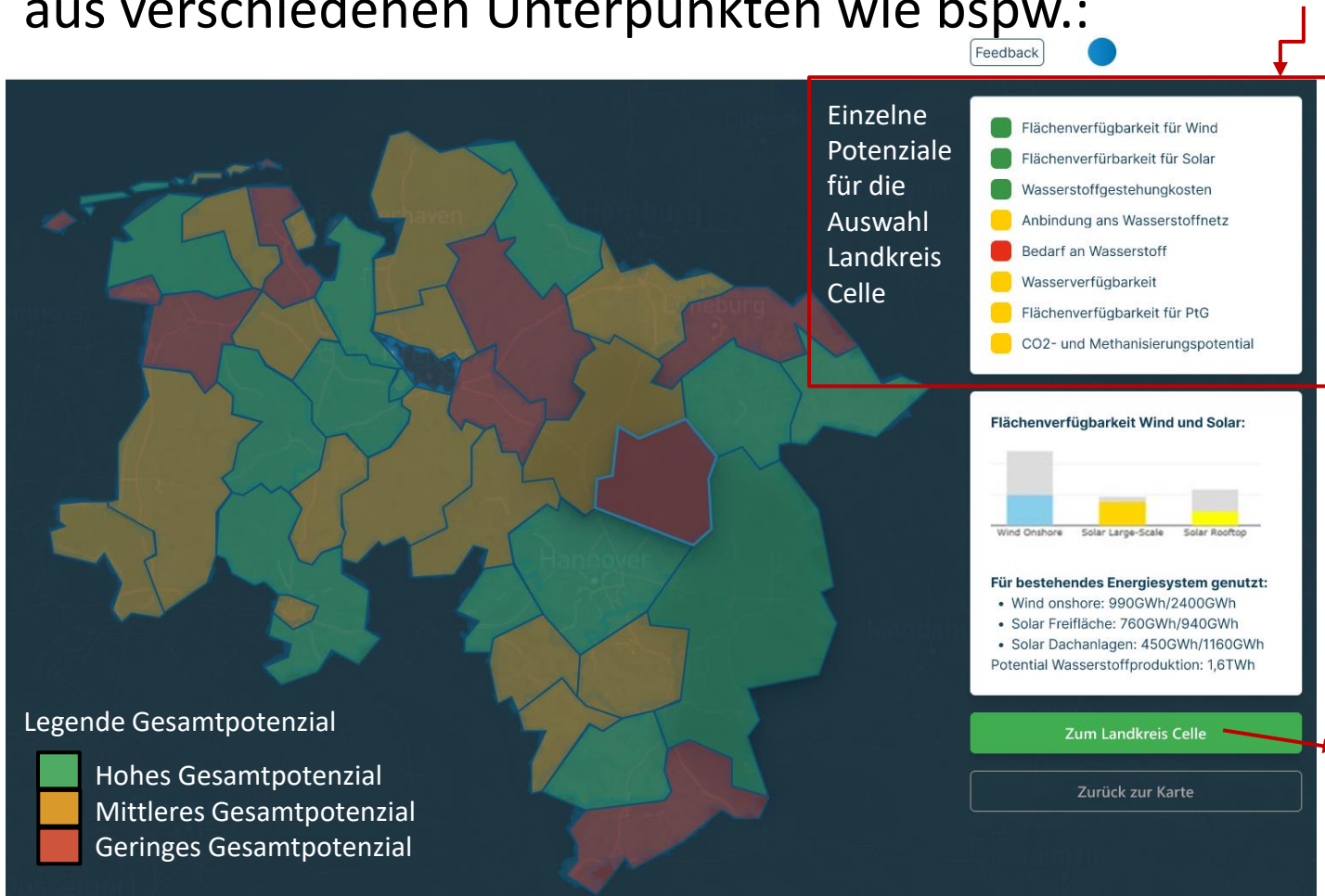


- Hohes Gesamtpotenzial
- Mittleres Gesamtpotenzial
- Geringes Gesamtpotenzial

- Darstellung der Wasserstoffbedarf und Verfügbarkeit auf Landkreisebene
- Darstellung prozentualer Anteil Natur- und Umweltverträgliche Potentiale

Open WebGIS für alle AkteurInnen frei nutzbar

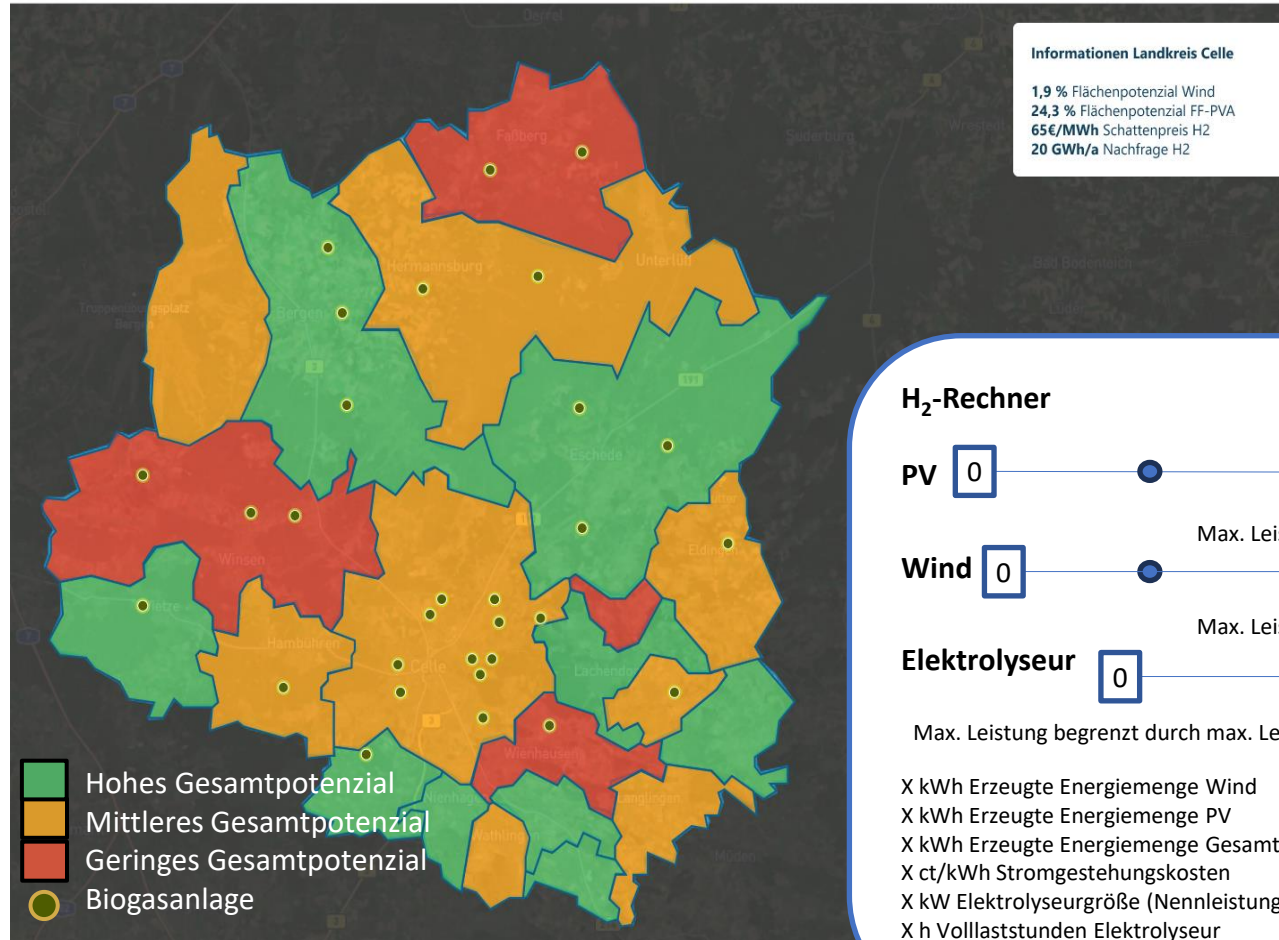
Gesamtpotenzial für bspw. den Landkreis Celle ergibt sich aus verschiedenen Unterpunkten wie bspw.:



Auswahl des Landkreises möglich, um auf 2. Ebene zu gelangen

Open WebGIS für alle AkteurInnen frei nutzbar

2. Ebene: Wasserstoffpotentialkarte Auswahl eines bestimmten Landkreises



- Darstellung der Potenziale zukünftig auf Ebene von Gemarkung
- Durch Auswahl einer Biogasanlage Nutzung eines H₂-Rechners möglich

H₂-Rechner

PV —————

Wind —————

Elektrolyseur —————

Max. Leistung auf der Fläche (MW)

Max. Leistung begrenzt durch max. Leistung von Wind/PV (MW)

X kWh Erzeugte Energiemenge Wind
 X kWh Erzeugte Energiemenge PV
 X kWh Erzeugte Energiemenge Gesamt
 X ct/kWh Stromgestehungskosten
 X kW Elektrolyseurgröße (Nennleistung)
 X h Volllaststunden Elektrolyseur
 X Benötigte Wassermenge (l/a)

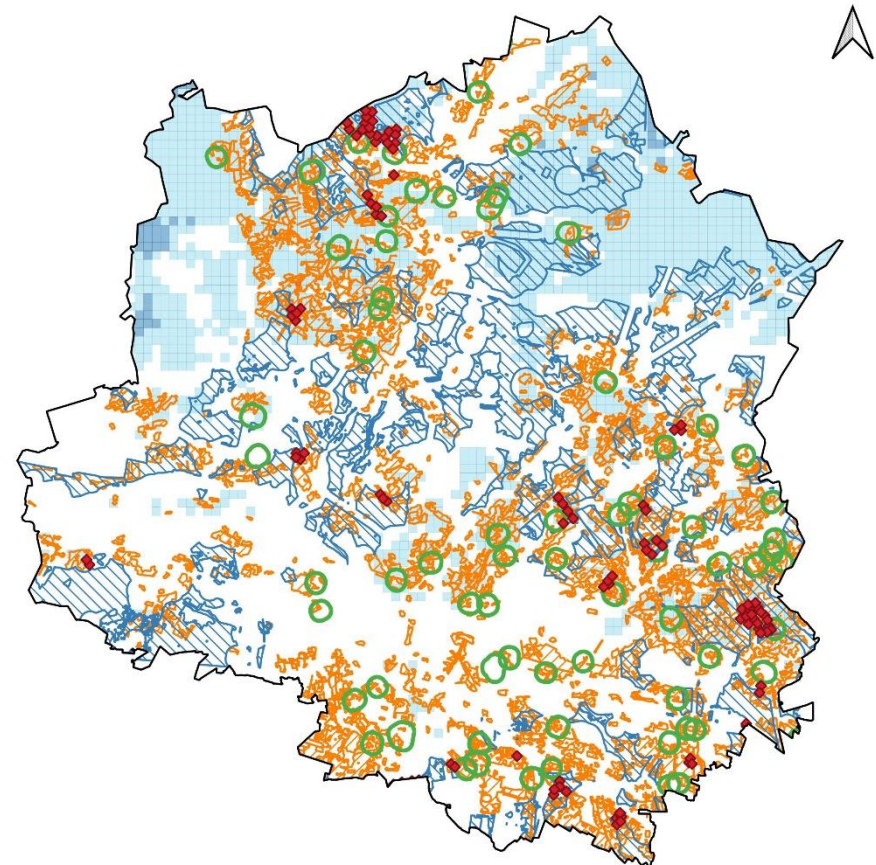
Detaillierte Betrachtung spezieller Standorte - Erzeugerseite

Entwicklung eines konkreten PtG-Projekts durch Nefino & EnergieSynergie

Beispielhafte Darstellung der Potenziale zur Erzeugung von Wasserstoff:

Legende

- Landkreis Celle
- Bestands-WEA
- Bestands-FFPVA
- Biogasanlagen (CO₂-Potenziale)
- Potenzialfläche Windenergie
- Potenzialfläche Solarenergie
- Gewinnbares Grundwasser - hohes Potenzial
- Gewinnbares Grundwasser - mittleres Potenzial



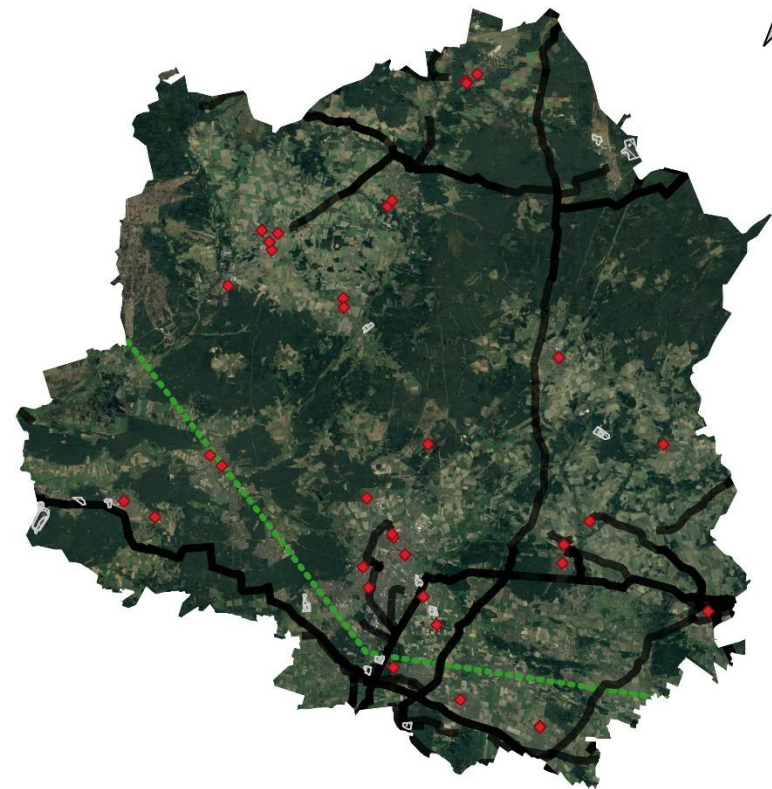
Detaillierte Betrachtung spezieller Standorte - Verbraucherseite

Entwicklung eines konkreten PtG-Projekts durch Nefino & EnergieSynergie

Beispielhafte Darstellung der potenziellen Bedarfe von Wasserstoff:

Legende

- Industrie
- Tankstellen
- Gasnetz
- European Hydrogen Backbone

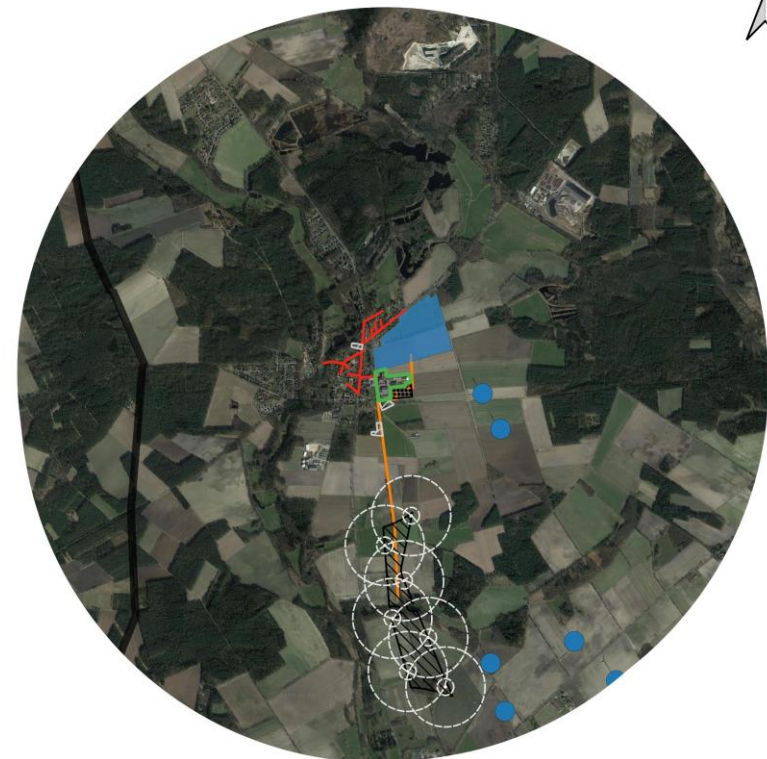


Detaillierte Betrachtung spezieller Standorte

Entwicklung eines konkreten PtG-Projekts durch Nefino & EnergieSynergie

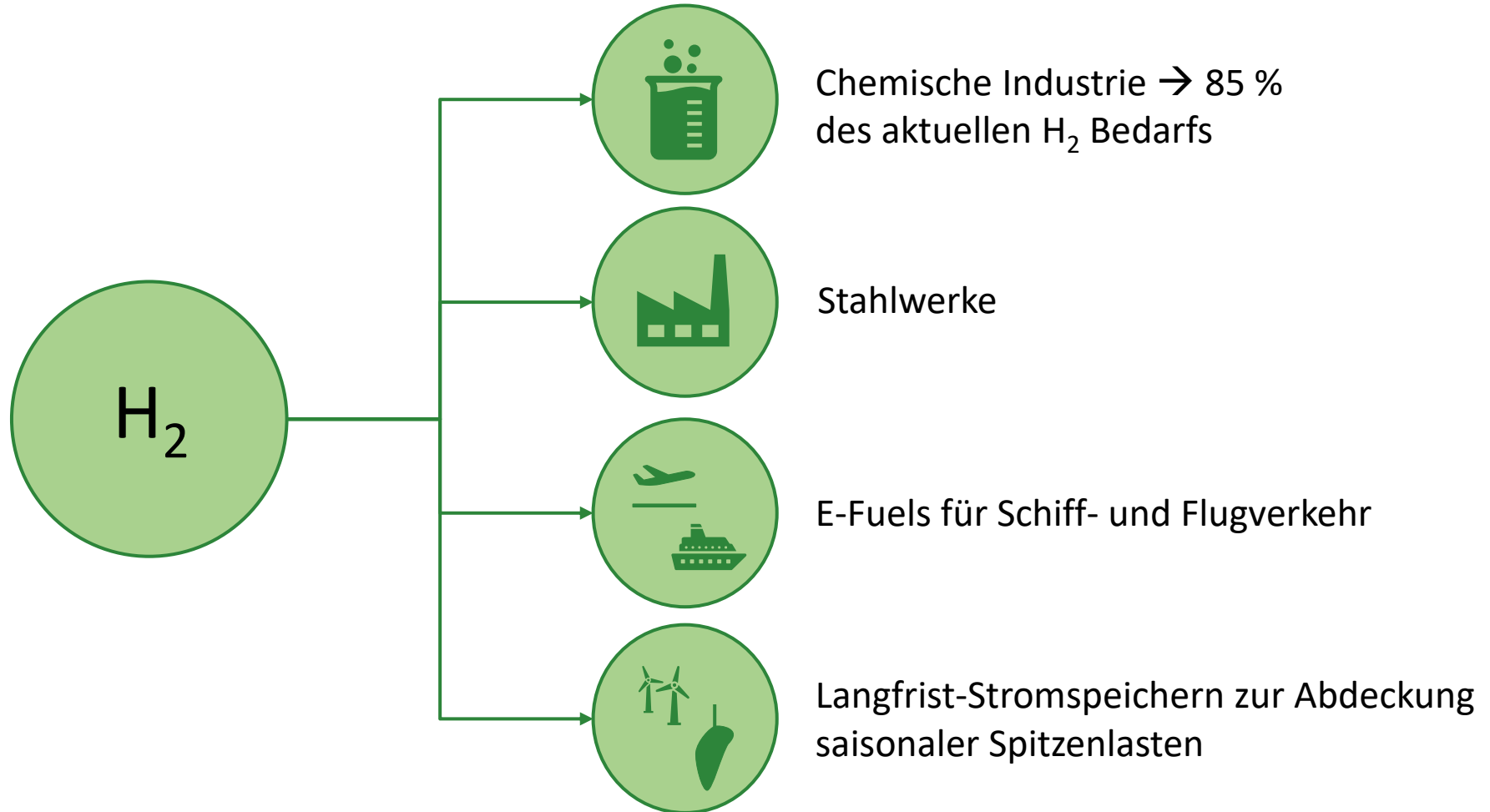
- GIS basierte Flächenanalyse für konkretes PtG-Projekt für durch **Zusammenführung von potenzieller Erzeugung (Wind und PV), Wasserverfügbarkeit, CO₂ Verfügbarkeit und Verbrauch Industrie, Verkehr, Hydrogen Backbone, Gasnetz, Nahwärmenetz**
- Projektspezifische Berechnung der H₂- / SNG -Gestehungskosten
- Standortauswahl für Elektrolyseur

- Legende
- Biogasanlage Detailansicht
 - ▨ Potenzielle PtG-Abnehmer
 - ▩ Potenzialfläche Power-to-Gas
 - Windenergieanlagen
 - ▨ Potenzialfläche Wind
 - Freiflächen-Photovoltaikanlage
 - Nahwärmenetz
 - Stromleitung
 - Gasnetz
 - Bestands-WEA



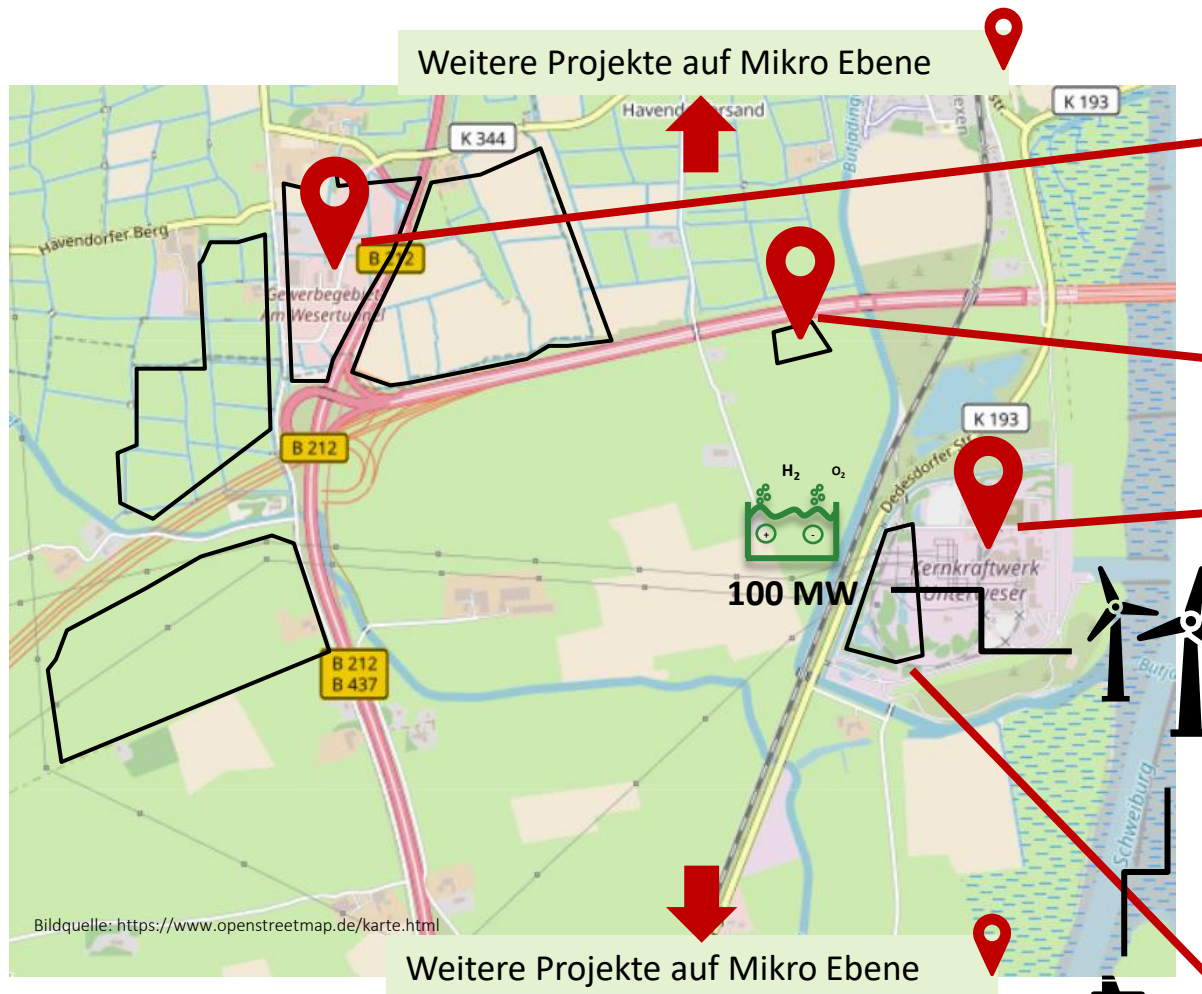
0 500 1.000 m

In welchen Bereichen ist es sinnvoll Wasserstoff einzusetzen?



Bei allen weiteren Anwendungsfeldern bedarf es einer detaillierten Betrachtung zum wirtschaftlich, ökonomisch und energetisch sinnvollen Einsatz von Wasserstoff.

Beispiel Energiewendedrehkreuz Wesermarsch Mitte – Standort KKW



Weitere Projekte auf Mikro Ebene

Grünes Interkommunales Gewerbegebiet:
Unternehmen ansiedeln die Wasserstoff nutzen, H₂ Fuhrpark integrieren

H2 Tankstelle: Dient der Versorgung der zukünftigen A20

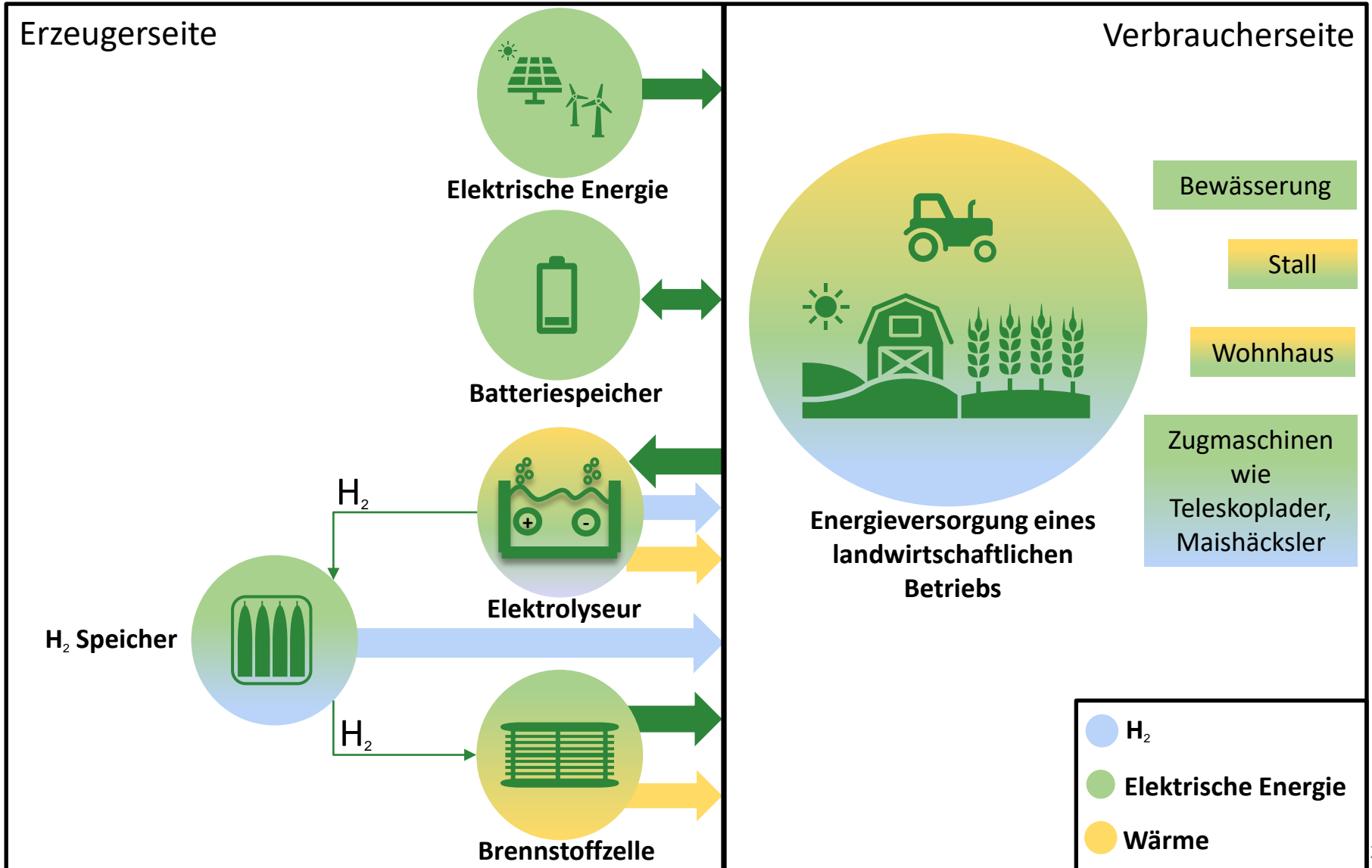
Offshore Netzanschluss mit 1.700 MW und 2.000 MW Übertragungsleistung bis 2030 (NOR-9-1 und 10-1): z.B. Kappung der Leistungsspitzen (Peakshaving z.B. 100 MW) zur Umwandlung von elektrischer Energie in H₂.

KKW Unterweser mit 380/400 kV, 220 kV und 20 kV Netzanschluss: Standort für die Umwandlung von H₂/SNG/LNG und Abtransport via Pipeline, Herstellung weiterer Derivate wie bspw. Methanol, Ammoniak für den maritimen Sektor

Weitere Projekte auf Mikro Ebene

Durch die Anbindung der Wesermarsch an die **Bundeswasserstraßen Weser und Hunte** sowie die **direkte Lage an die Nordsee** kann der **Im- und Export von Wasserstoff und grünen Gasen** mit **See- und Binnenschiffen** voraussichtlich problemlos bewerkstelligt werden.

Anwendungsfeld – Landwirtschaftliche Betriebe



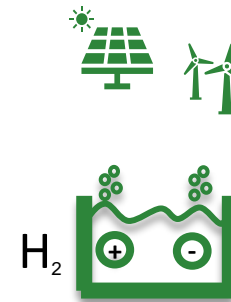
Anwendungsfeld – Landwirtschaftliche Betriebe

Verbraucherseite



Überlagerung der Verbrauchsprofile

Erzeugerseite

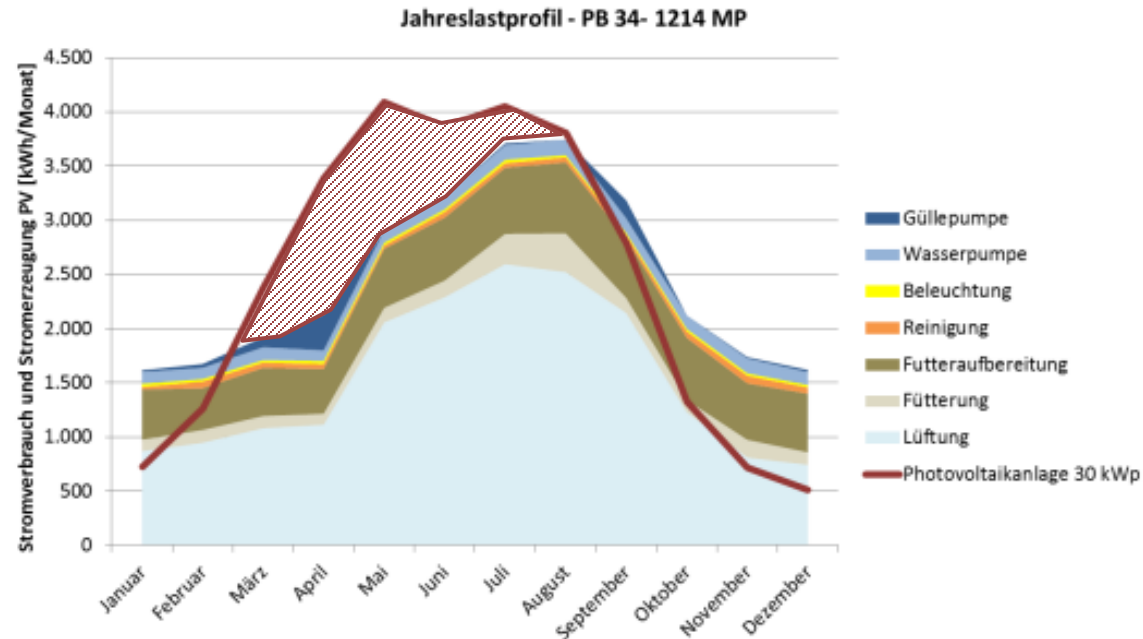


Elektrische Energie/Wasserstoff

- Wie viel elektrische Energie/Wasserstoff wird benötigt um den landwirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten?
- Zu welchem Zeitpunkt wird welche Menge an Wasserstoff/elektrischer Energie benötigt?
- Wie viel CO₂ wird durch den Einsatz von grüner elektrischer Energie und Wasserstoff eingespart?

Anwendungsfeld – Landwirtschaftliche Betriebe

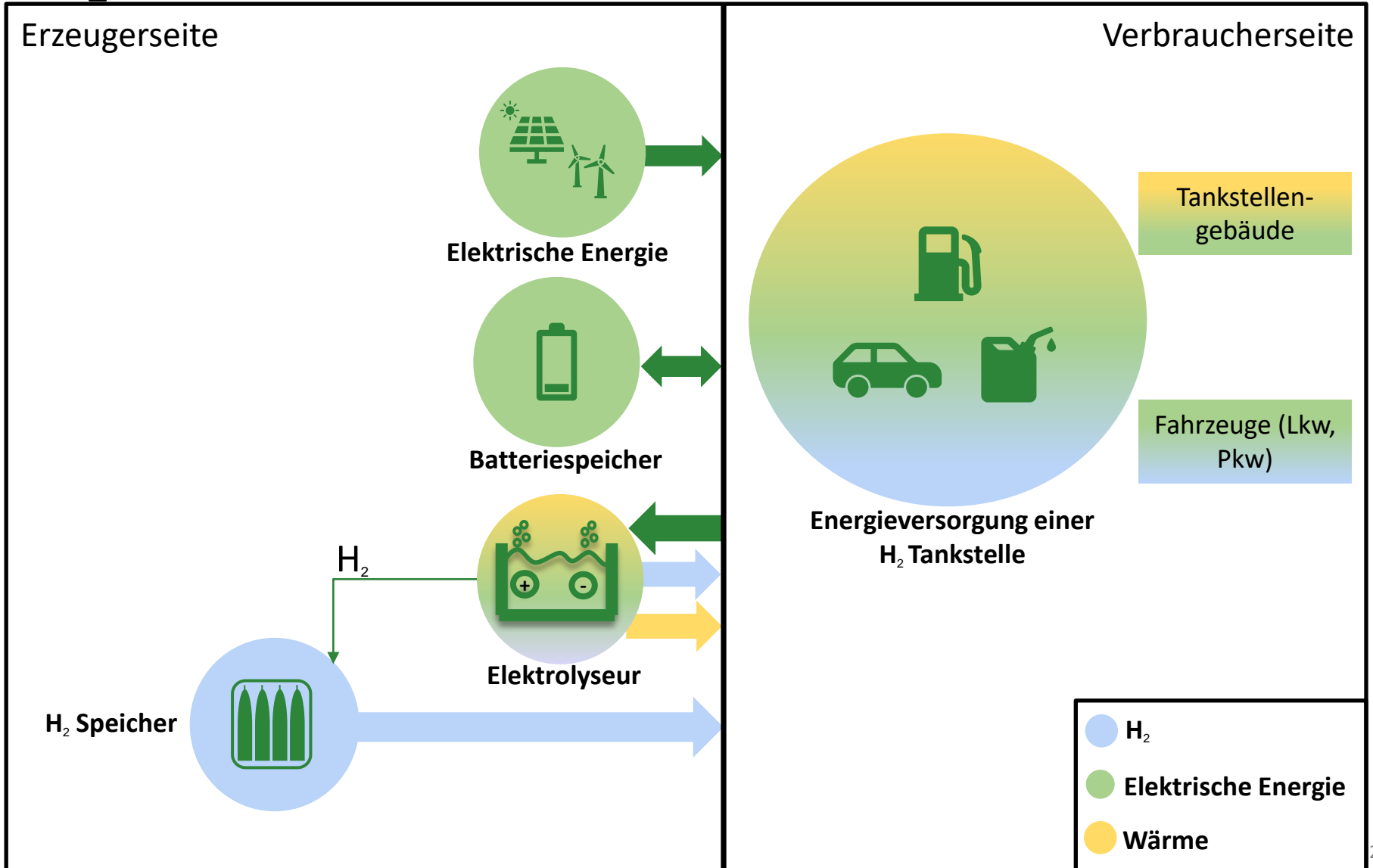
Jahreslastprofil eines
Schweinemast-
betriebs und
Solarertragskurve
einer
Photovoltaik(PV)-
Anlage mit 30 kWp



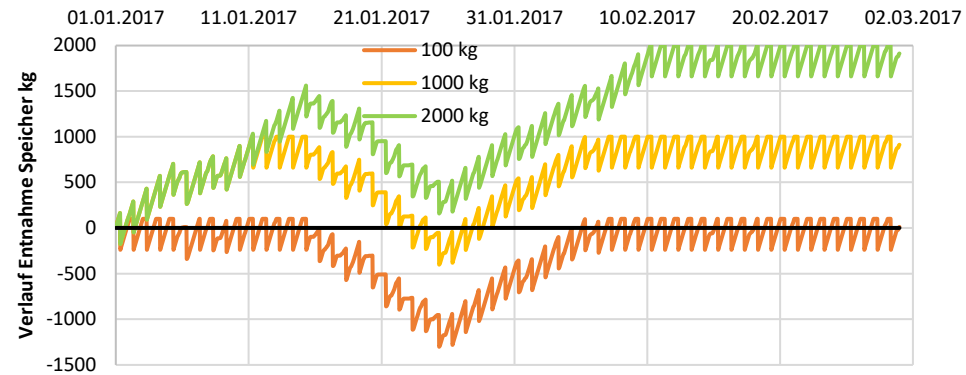
Bildquelle: https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/Tagungen_2020/Energie/04_Neiber.pdf

Der rot-gestrichelte Bereich zeigt, dass mehr elektrische Energie zur Verfügung steht als benötigt wird. Diese Energie kann genutzt werden um Wasserstoff mittels Elektrolyse herzustellen und zu speichern. In den Herbst-/Wintermonaten kann der Wasserstoff rückverstromt werden um das Defizit an elektrischer Energie wieder auszugleichen. Außerdem kann die, bei dem Prozess der Elektrolyse sowie Rückverstromung, gewonnene Abwärme genutzt werden.

Anwendungsfeld – H₂ Tankstelle



Anwendungsfeld – H₂ Tankstelle



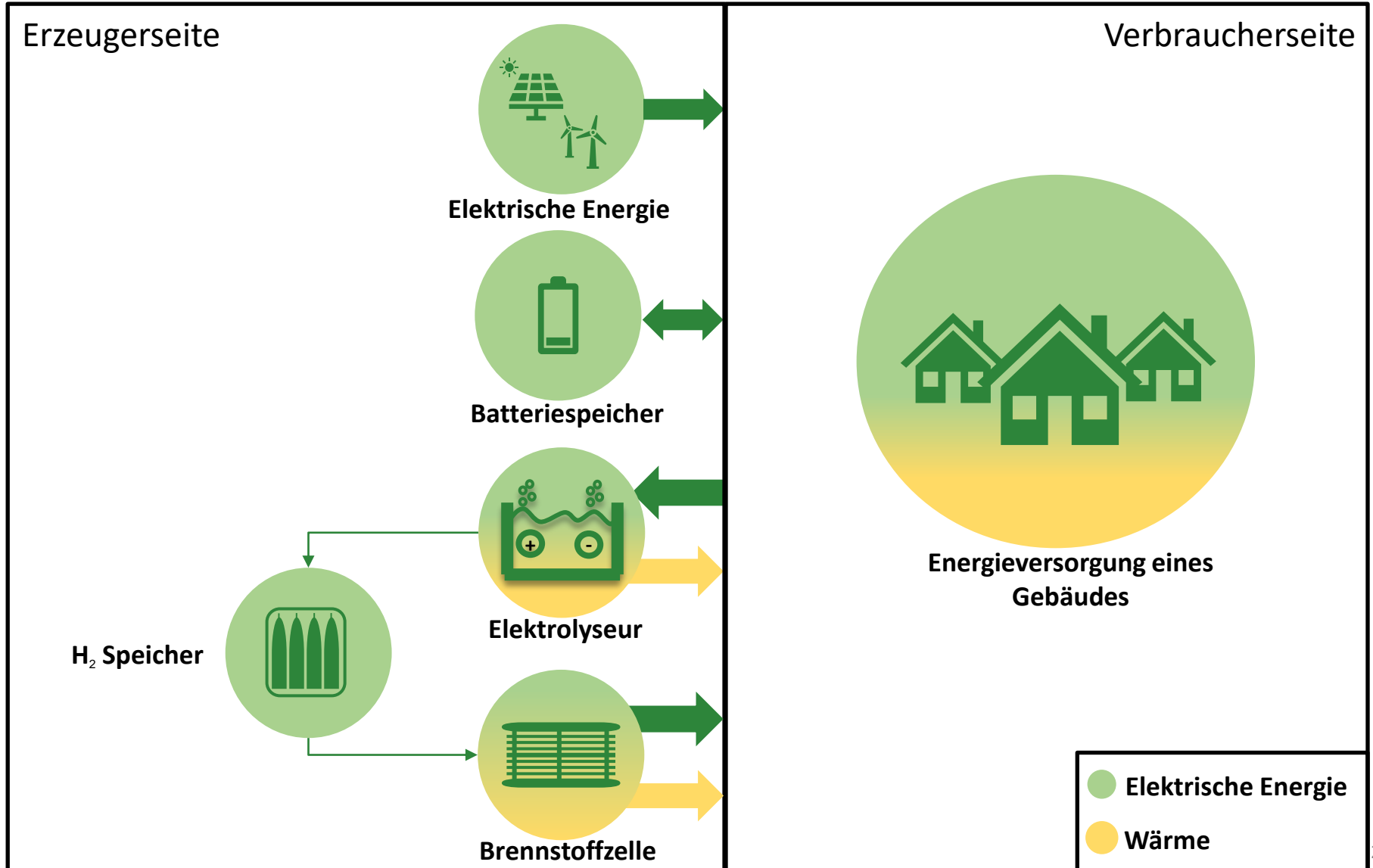
- Wie viel Wasserstoff wird benötigt um den Bedarf der H₂ Tankstelle zu decken?
 - Analyse des H₂ Bedarfs der möglichen Tankkunden im Hinblick auf zukünftigen Bedarf sowie verschiedenen Szenarien für den prozentualen Anteil der Tankkunden
 - Bestimmung einer passenden Tankstellengröße, sowie der benötigten

Technologieoptionen

Anteil LKW-Tankkunden [%]	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
0,10	0,9	33,4	90,4	147,3	209,6	272,2	281,9
0,20	1,8	35,7	98,3	160,3	233,6	307,3	325,3
0,30	2,8	38,1	106,1	173,4	257,6	342,4	368,7

Gesamtbedarf an Wasserstoff in Tonnen pro Jahr (inkl. H₂ Bedarf für ÖPNV, kommunale Sonderfahrzeuge sowie LKWs)

Anwendungsfeld – Energieversorgung eines Gebäudes



Energieversorgung eines Gebäudes

Im ersten Schritt müssen die Verbraucher/Nutzer eines Gebäudes feststehen. Hieraus ergeben sich **Verbrauchslastgänge** z.B. über ein Jahr (graue Fläche ①). (Verbrauchslastgänge können über die Stadtwerke angefragt werden. Liegen keine Verbrauchslastgänge vor, wird mit Hilfe von Standardlastprofilen ein Verbrauchslastgang simuliert.)

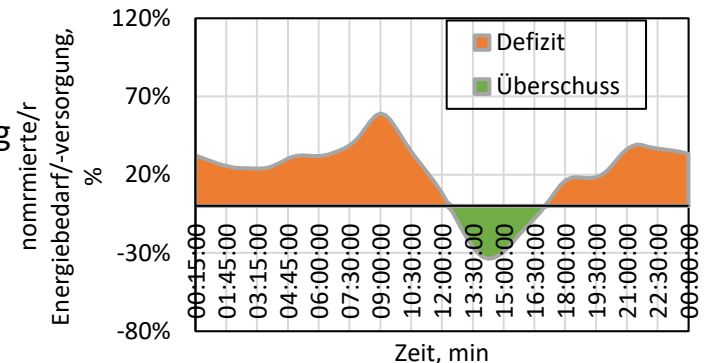
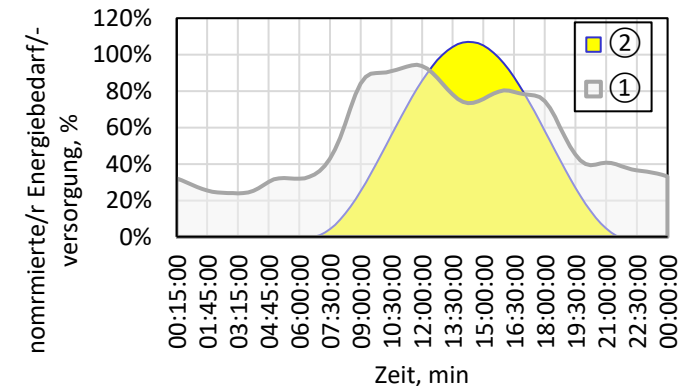
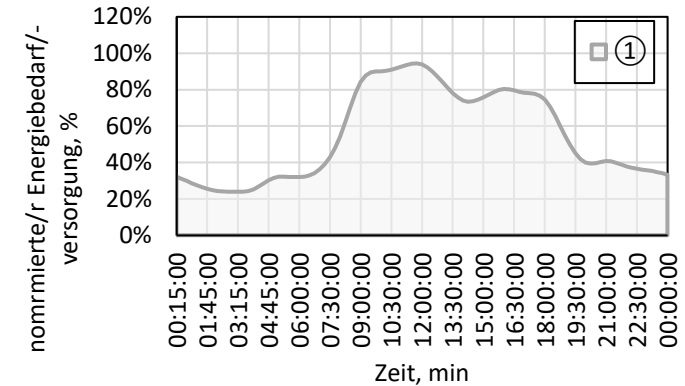
Im nächsten Schritt wird z.B. eine Photovoltaikanlage für ein Gebäude ausgelegt (gelbe Fläche ②). Man erhält das **Einspeiseprofil / Erzeugungsprofil**. (Das Einspeiseprofil kann bspw. über die Stadtwerke angefragt werden. Es gibt die Möglichkeit die Größe der PV-Anlage hoch zu skalieren, um eine mögliche Erweiterung der PV-Anlage mitzubedenken.)

Wird die Erzeugung ② von dem Verbrauch ① abgezogen erhält man das **Überschussprofil** (grüne Fläche).

Dieser Überschuss kann:

- Ins Netz eingespeist werden
- Durch einen Batteriespeicher in die Nachtstunden zur Deckung des Verbrauchs verschoben werden
- In Wasserstoff umgewandelt und z.B. zur Verbrauchsdeckung verschoben werden

Die orange Fläche stellt das Defizit dar. Dieses kann z.B. aus einer Batterie oder dem Netz bezogen werden.

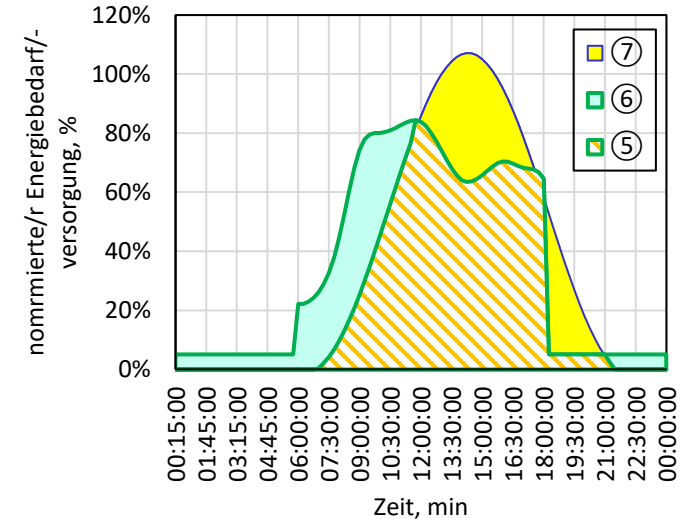


Anwendungsfeld – Energieversorgung eines Gebäudes

Der Einsatz von elektrischer Energie für die elektrischen Verbraucher ist am effizientesten, da hier die geringsten Verluste auftreten. Somit wird im folgenden Schritt ein **Batteriespeicher** einbezogen. Dieser speichert die elektrische Energie der PV Anlage, welcher nicht direkt benötigt wird (Ausgleich für nächtlichen Stromverbrauch).

Die verbleibende elektrische Energiemenge kann im Anschluss zur **Wasserstoffproduktion**: Δ aus Erzeugung – Verbrauch – Batterie = elektrische Energie, die für die Herstellung von Wasserstoff zur Verfügung steht (Wasserstoff wird gespeichert, um die vorher berechneten Zeiten (bspw. im Winter) zu denen nicht genügend elektrische Energie zur Verfügung steht zu decken (Rückverstromung des Wasserstoffs)).

Bei den Berechnungen stehen z.B. das beste Kosten-/Nutzenverhältnis (**Stromgestehungskosten**) oder **Autarkiegrad** im Vordergrund.



Legende: ⑤ Verbrauch abgedeckt durch PV, ⑥ Energiebedarf welcher nicht durch PV gedeckt wird, ⑦ PV Überschuss welcher in einer Batterie gespeichert werden kann und zur Versorgung der Fläche ⑤ genutzt werden kann.

Flyer: <https://www.energiesynergie.de/leistungen/>

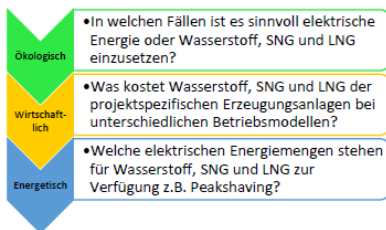
Weiterführende Information: <https://bit.ly/3whz16D>

EnergieSynergie

PtG Simulationstool - zur ökologischen, wirtschaftlichen und energetischen Analyse zur Erzeugung von Wasserstoff / SNG¹ und LNG² in Kombination mit erneuerbaren Energieanlagen (Wind / PV / Wasserkraft / Biomasse)

Um die Anforderung eines konkreten Wasserstoff-, SNG- und LNG Projekts zu untersuchen und die Stellschrauben projektspezifisch zu analysieren, hat EnergieSynergie ein Wasserstoff – SNG – LNG – Simulationstool für die Kopplung mit erneuerbaren Energieanlagen entwickelt.

Folgende Ziele verfolgt die Simulation:



In den Berechnungen kann die gesamte Wertschöpfungskette von der Elektrolyse, über die Methanisierung (SNG), hin zur Verflüssigung (LNG) für

¹ SNG = synthetisches Erdgas hergestellt aus grünem Wasserstoff, auf Basis von z.B. elektrischer Energie aus Windenergieanlagen.

² LNG = verflüssigtes SNG

einen beliebigen, projektspezifischen Standort automatisiert simuliert werden.

Schwerpunkte der Simulation liegen u.a. auf der Berechnung der Wasserstoff – SNG – LNG Gestehungskosten, der Analyse der Wirtschaftlichkeit und der CO₂-Reduktionspotentiale.

Weiterhin werden ausgewählte Kennzahlen gebildet, um Sensitivitäten und Szenarien für projektspezifische Anforderungen zu ermitteln.

Ein weiterer Fokus gilt der Bewertung des Einsatzes nicht einspeisbarer elektrischer Energie (Einspeisemanagement – EinsMan) zur Herstellung von Wasserstoff – SNG – LNG.

Die Simulation baut auf projektspezifischen 10 - min SCADA Einspeisedaten (Windenergie-, Photovoltaik-, Wasserkraft-, Biomasseanlage) auf.

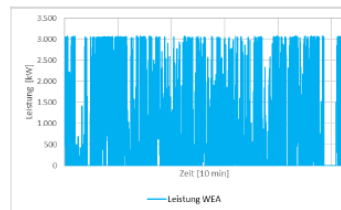


Abbildung 1: Auswertung der jährlichen Einspeisung einer 3 MW Windenergieanlage

Liegen keine 10 – min SCADA vor, dienen lokale Windgeschwindigkeitsdaten bzw. solare

Einstrahlungsdaten von Wetterdiensten als Eingangsgröße. Diese werden z.B. mit der projektspezifischen Leistungskennlinie der Windenergieanlagen gekoppelt, um das Einspeiseprofil der Anlagen zu ermitteln.

Es stehen eine Vielzahl an Leistungskennlinien von Windenergieanlagen der Hersteller Vestas, Siemens, Enercon, GE, etc. zur Verfügung.

Eventlogs zur Bestimmung von EinsMan – Events können ebenfalls automatisiert für ein spezifisches Projekt integriert werden.

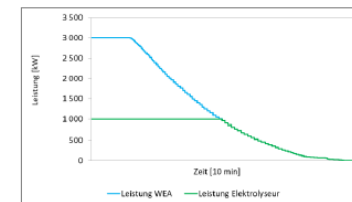


Abbildung 2: Jahresdauerlinie einer 3 MW Windenergieanlage (blau), gekoppelt mit 1 MW Elektrolyseur (grün)

Im Zuge der Berechnungen werden projektspezifische Rahmenbedingungen festgelegt, wie diverse Strombezugsoptionen (z.B. Eigenversorgung oder Strombezug von Dritten durch Direktleitung), der Betriebsweise (z.B. Strombezug durch Bandbezug oder Peakshaving) und weiterer Rahmenbedingungen.



Wir geben Ihrer Energie ein Gesicht

EnergieSynergie GmbH

Garveshellmer 1
26939 Ovelgönne

info@energiesynergie.de
www.energiesynergie.de

T +49 - 4480 233 125

