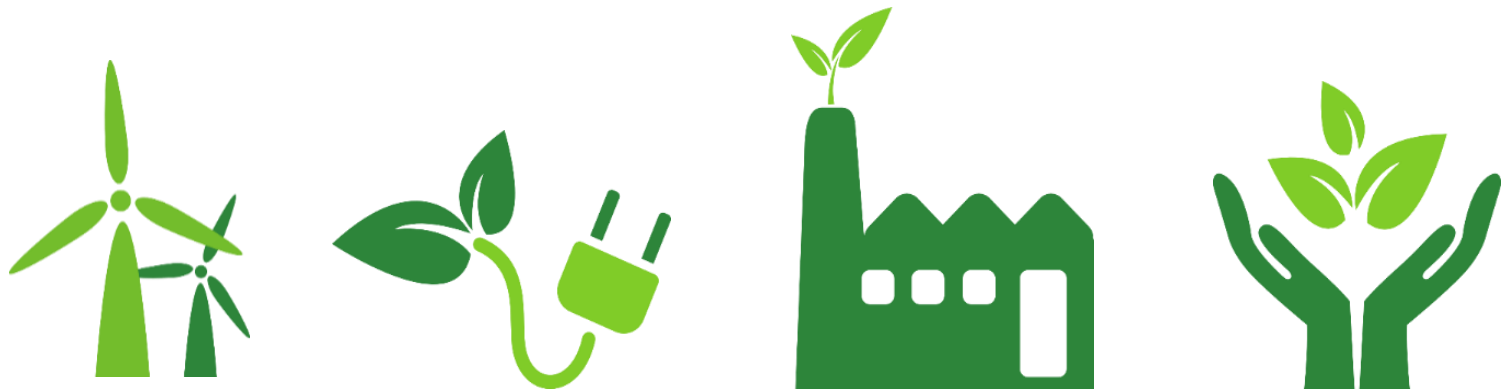


EnergieSynergie

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



Erstellt durch:

EnergieSynergie GmbH, Garveshellmer 1, D-26939 Ovelgönne

Projektbearbeitung:

Prof. Dr.-Ing. Carsten Fichter

Marvin Müller

Nele Uhlenwinkel

Hinweis zum vorliegenden Dokument

- Diese beratende Darstellung des Dokumentes ist kein Gutachten und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Das Dokument gilt nur in seiner Gesamtheit.
- Die Informationen in diesem Dokument sind nach bestem Wissen und Gewissen unter der Zuhilfenahme der aufgeführten Quellen zusammengestellt und dienen einem allgemeinen Informationszweck.
- Eine Haftung oder Garantie für die Aktualität, Richtigkeit und Vollständigkeit der zur Verfügung gestellten Informationen und Daten ist ausgeschlossen.
- Die Ausarbeitung ersetzt keine rechtliche, wirtschaftliche oder technische Beratung im Einzelfall.

Die Vervielfältigung und Verbreitung von Informationen und Daten (Text, Bilder, Grafiken) aus diesem Dokument ohne vorherige schriftliche Zustimmung von EnergieSynergie GmbH ist untersagt. Dies gilt auch für die auszugsweise Vervielfältigung und Verbreitung. Inhalte und Rechte Dritter in dem Vortrag sind als solche gekennzeichnet.

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



Erneuerbare Energien

- Wind
- PV
- Biomasse
- Wasser
- Geothermie



Energieversorgung

- Virtuelle Kraftwerke
- Lastmanagement
- Speicher
- Wasserstoff



Betriebe, Kommunen, Endverbraucher

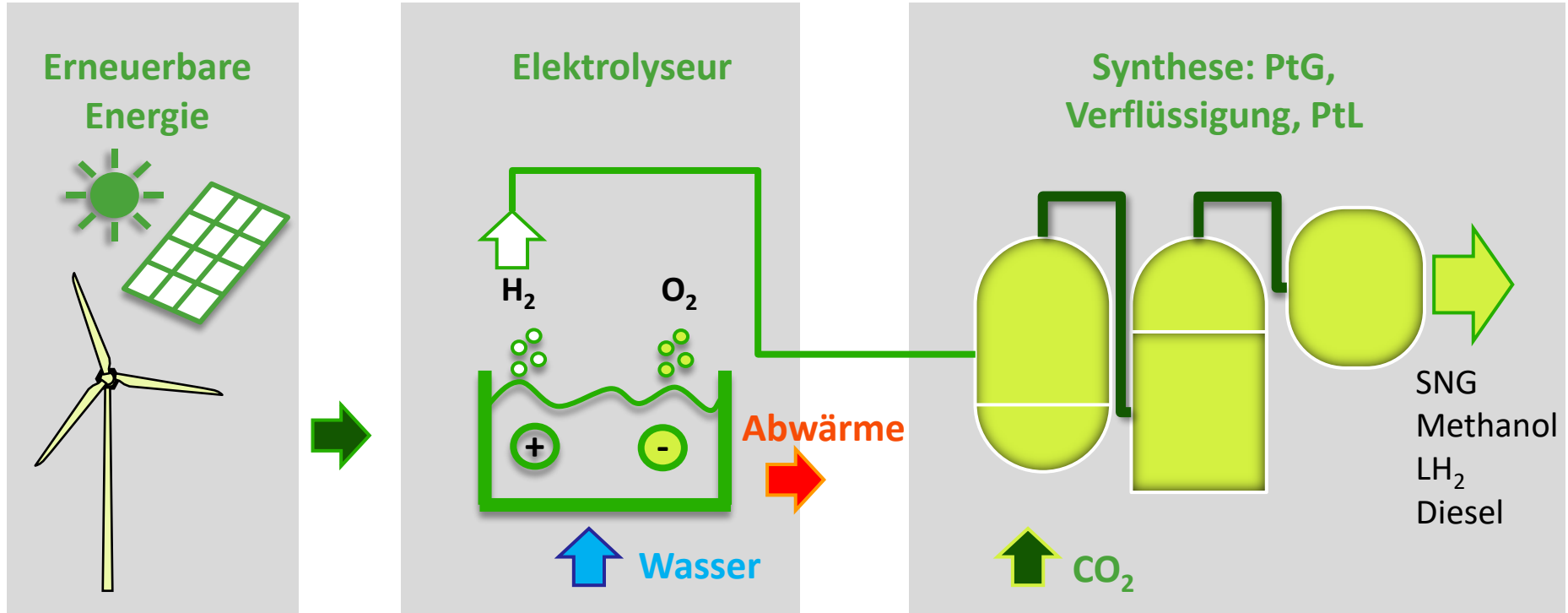
- Energiekonzepte
- Prozessanalyse und Optimierung



Schulungen

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

Wasserstoff für die Sektorkopplung

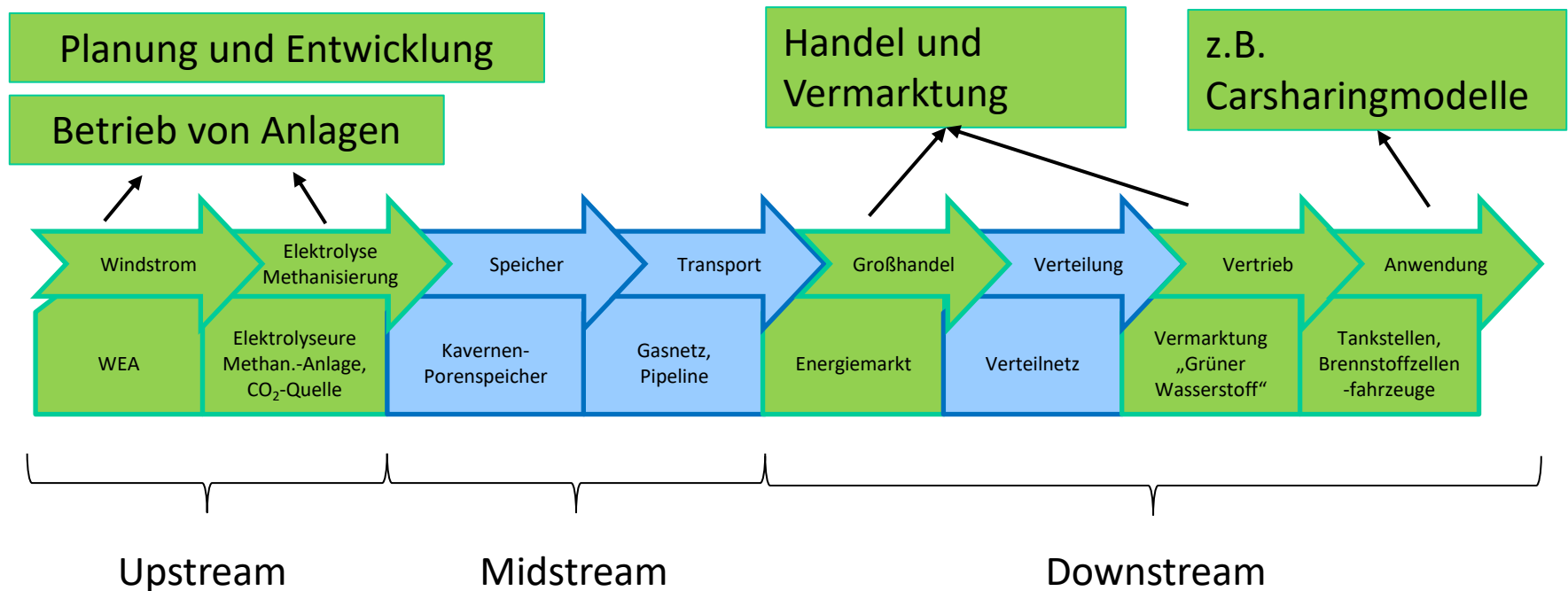


PtX	Elektrolyseur
Methan	71%
Diesel	71%
Methanol	71%
LH2	71%

PtG	Verflüssigung	PtL	Gesamt
75%	96%	x	51%
x	x	75%	53%
x	x	75%	53%
x	83%		59%

Wertschöpfungskette H₂

Wie können der Windenergieparkplaner und der Windparkbetreiber an der H₂ Wertschöpfungskette partizipieren?



Für welche Fragestellungen kann beispielsweise das PtG Simulationstool eingesetzt werden?

Öko-
logisch

- In welchen Fällen ist es sinnvoll elektrische Energie oder Wasserstoff, SNG und LNG einzusetzen?

Wirt-
schaftlich

- Was kostet Wasserstoff, SNG und LNG der projektspezifischen Erzeugungsanlagen bei unterschiedlichen Betriebsmodellen?

Ener-
getisch

- Welche elektrischen Energiemengen stehen für Wasserstoff, SNG und LNG zur Verfügung z.B. Peakshaving?

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

Mit dem PtG Tool ist es möglich die Prozesskette: Wind-/PV-Strom > Wasserstoff > synthetisches Erdgas > LNG > Endverbraucher z.B. Transport und Logistik abzubilden und:

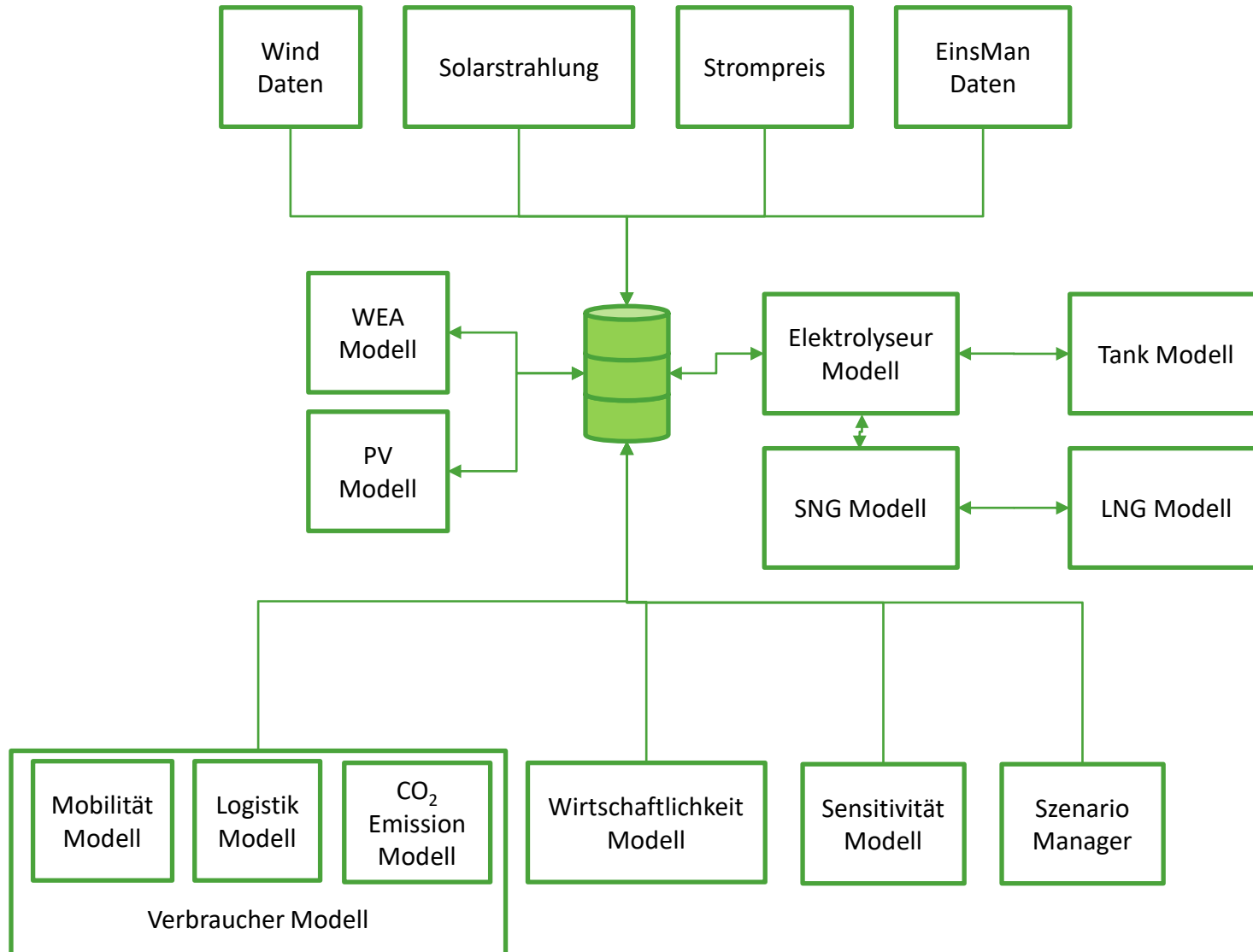
- H₂- und SNG- / LNG-Gestehungskosten (ct/kWh, €/Nm³ oder €/kg) zu berechnen, z.B. minimale Wasserstoffkosten Bandbezug oder Peakshaving oder minimale Gestehungskosten für eine definierte Menge an Wasserstoff (Bandbezug oder Peakshaving) .
- Prognosen für die H₂- und SNG- / LNG-Erzeugung basierend auf realen Windparkdaten und Wind-/Solarstrahlungsprognosen auszusprechen.
- Sensitivitätsanalysen für die Wasserstoff- und SNG- / LNG-Gestehungskosten durchzuführen.
- Szenarien / Fallanalysen zu betrachten, z.B. für welche Fälle eignet sich die Elektrolyseeinheit am besten z.B. Bandbezug, Peakshaving, Negative Strompreise, etc.

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

Mit dem PtG Tool ist es möglich die Prozesskette: Wind-/PV-Strom > Wasserstoff > synthetisches Erdgas > LNG > Endverbraucher z.B. Transport und Logistik abzubilden und:

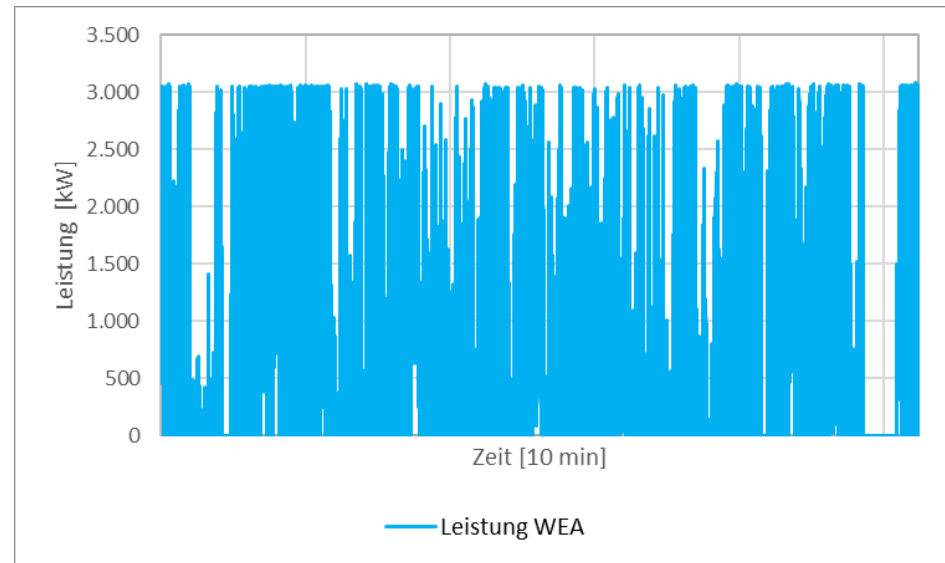
- KPI's zu ermitteln, wann sich die Erzeugung von H₂ oder SNG / LNG lohnt.
- CO₂ Reduktionspotential z.B. für den Mobilitätsbereich zu berechnen.
- Benchmarking des CO₂ Emissionsreduktionspotential mit den Farben des Wasserstoffs.
- Berechnung der Auslastung des Elektrolyseurs.
- Konzepte und Geschäftsfelder für die Versorgungskette Kraftwerk (Wind, PV), Transport und Verteilung sowie Verbraucher zu entwickeln.
- Konzepte für weiterführende Themen wie Einsatz von Nebenprodukten wie Sauerstoff, Abwärme zu erstellen.

Modelle des PtG Simulationstools



Welche Daten werden für die Berechnungen benötigt?

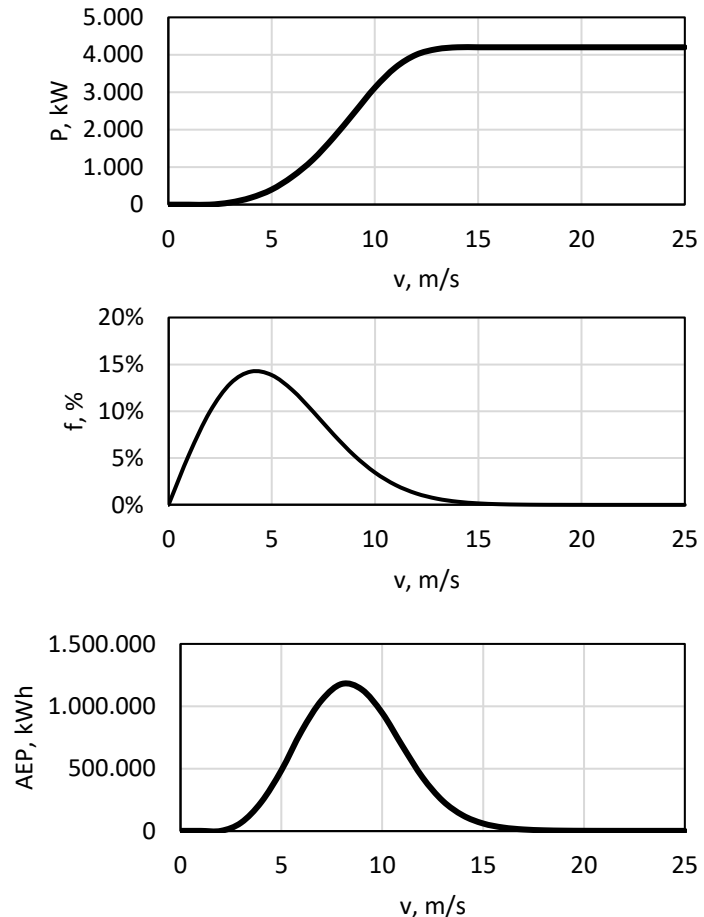
- ① Die Simulation basiert auf 10-min SCADA Einspeisedaten (Wind, PV, Wasserkraft, Biomasse) - 52.560 Datensätze pro Jahr.
- ② Aufbereitung der 10-min SCADA Einspeisedaten. In einem ersten Bearbeitung Schritt, werden fehlende Datensätze bewertet, ersetzt und die Datenqualität berechnet.
- ③ Eventlogs zur Bestimmung von EinsMan – Events können ebenfalls automatisiert für ein spezifisches Projekt integriert werden.



Auswertung der jährlichen Einspeisung einer 3 MW Windenergieanlage

Wie ist das Vorgehen wenn keine Datensätze für z.B. ein neues Windparkprojekt vorliegen?

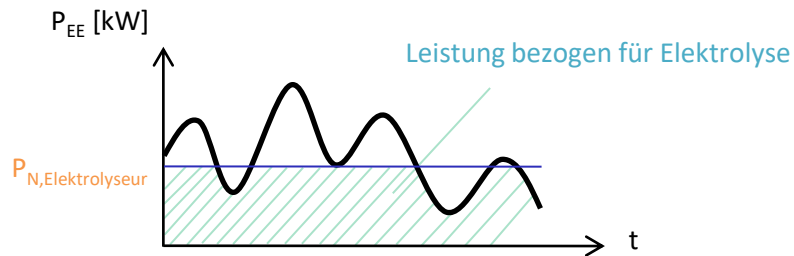
- Liegen keine 10 – min SCADA vor, dienen lokale Windgeschwindigkeitsdaten bzw. solare Einstrahlungsdaten von Wetterdiensten als Eingangsgröße.
- Diese werden z.B. mit der projektspezifischen Leistungskennlinie der Windenergieanlagen gekoppelt, um das Einspeiseprofil der Anlagen zu ermitteln.
- Es stehen eine Vielzahl an Leistungskennlinien von Windenergieanlagen der Hersteller Vestas, Siemens, Enercon, GE, etc. zur Verfügung.



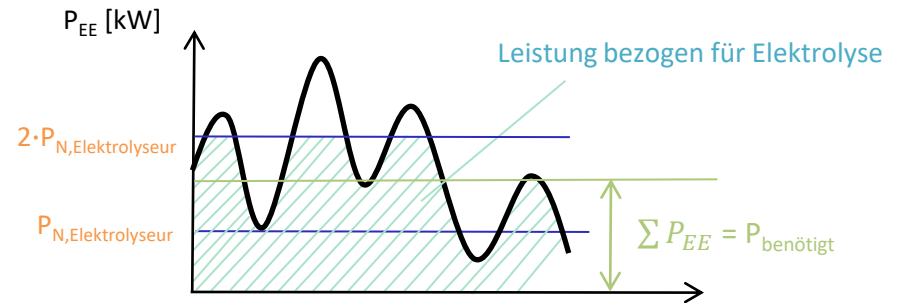
Berechnungen von unterschiedlichen Elektrolyseurkonzepten Baseload, Peakshaving, Mittelbandbezug

Berechnungen von unterschiedlichen Elektrolyseurkonzepten Baseload, Peakshaving, Mittelbandbezug mit dem Optimierungsziel die passende Elektrolyseurgröße bzw. Elektrolyseurkombinationen bei z.B. minimalen H₂ Gestehungskosten oder einer maximal benötigten H₂ Menge zu finden .

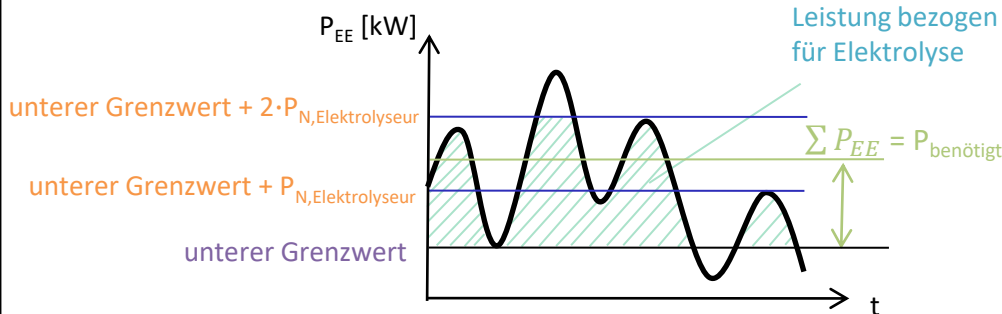
Baseload: Ziel suche nach passendem Elektrolyseur



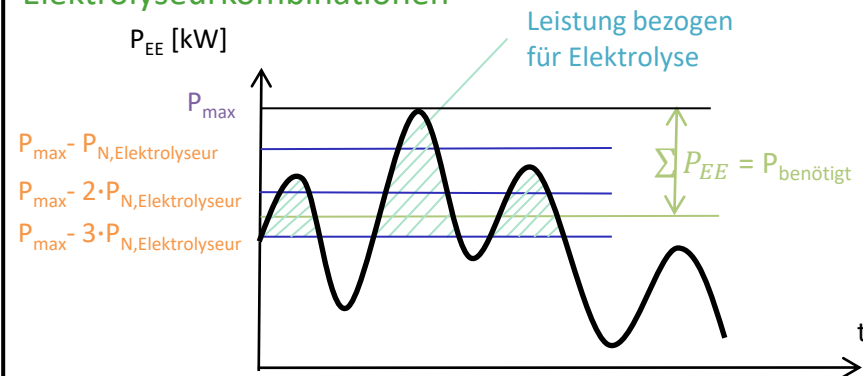
Baseload: Ziel suche nach passender Elektrolyseurkombinationen



Mittelbandbezug: Ziel suche nach passendem Elektrolyseur

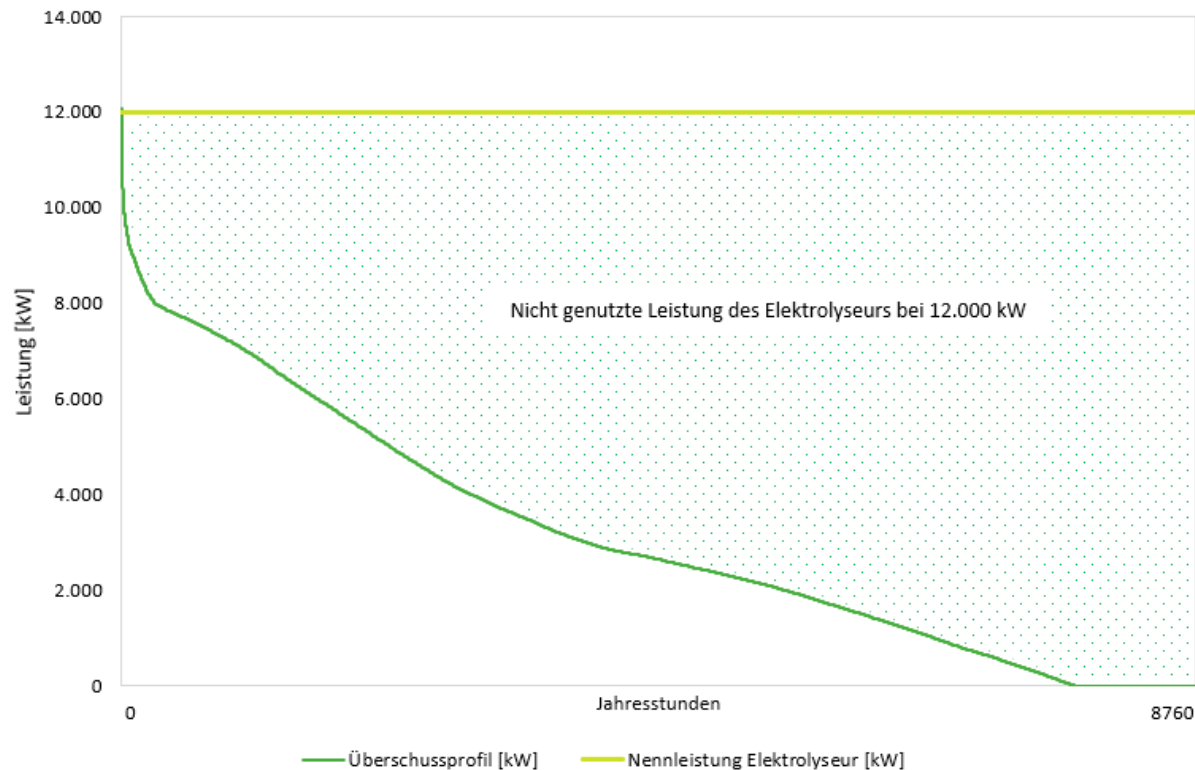


Peakshaving: Ziel suche nach passender Elektrolyseurkombinationen



Beispiel Kopplung 12 MW Einspeiseprofil mit 12 MW Elektrolyseur

- **Aufgabenstellung:** die gesamte zur Verfügung stehende Energiemenge wird dem Elektrolyseur zugeführt.



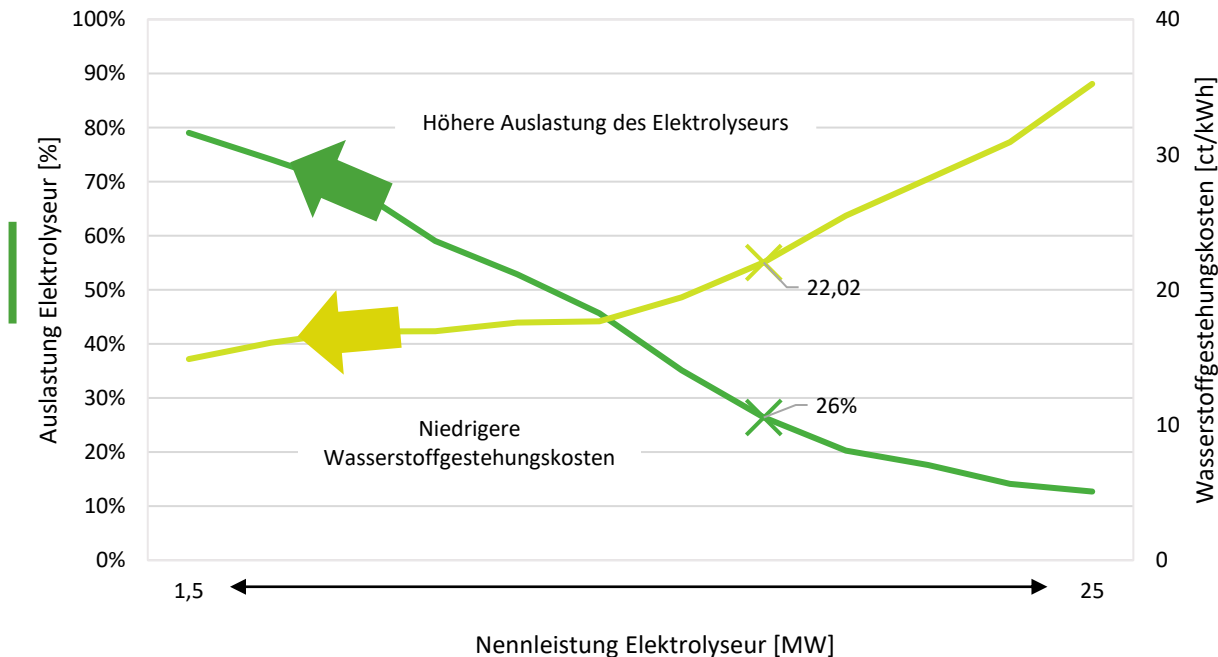
Führt zu:

- Niedrige Auslastung des Elektrolyseurs (26%)
- Geringen Volllaststunden
- Hohe Wasserstoffgestehungskosten

Beispiel Kopplung 12 MW Einspeiseprofil mit 12 MW Elektrolyseur - Optimierung

Ziel der Optimierung:

- Auslastung des Elektrolyseurs erhöhen
- Wasserstoffgestehungskosten senken



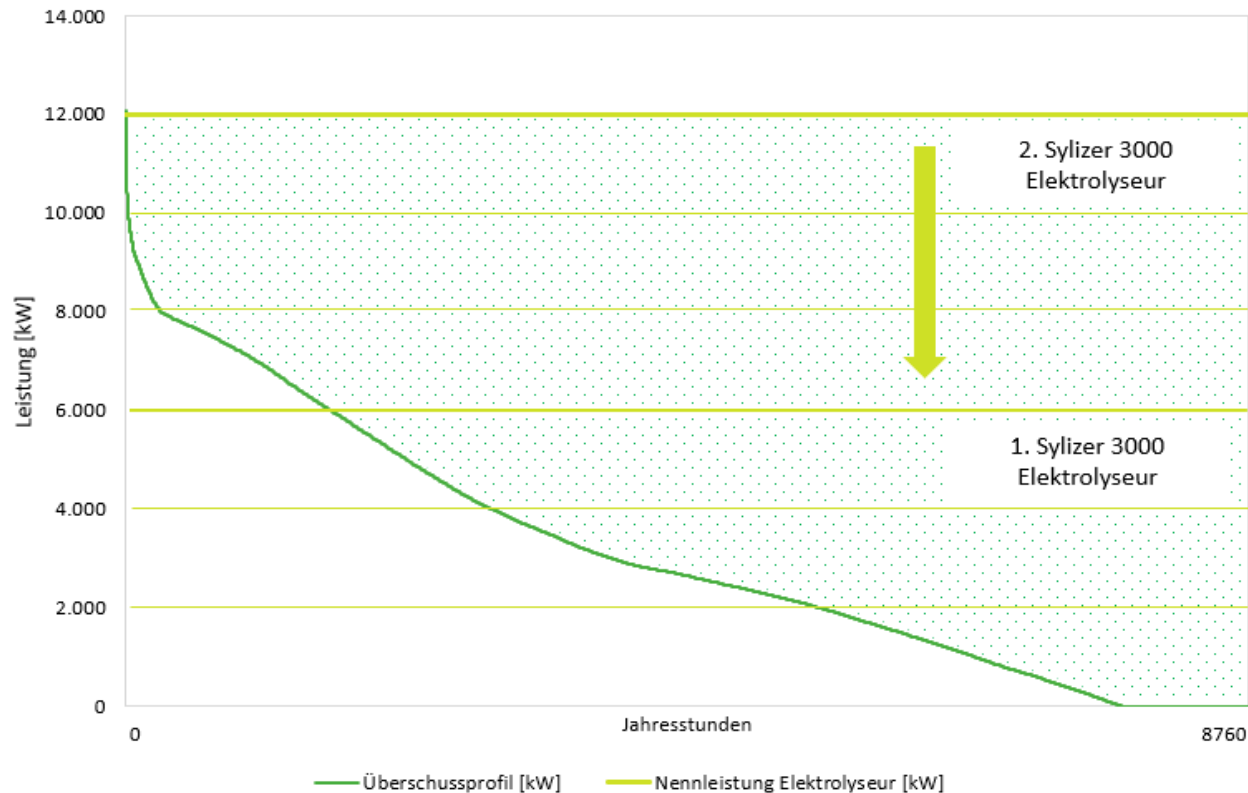
Ergebnis der Analyse:

Es wird deutlich, dass die Auslastung eines Elektrolyseurs mit geringerer Nennleistung steigt und die Wasserstoffgestehungskosten sinken. Durch die Kombination eines kleineren Elektrolyseurs ist es möglich, die Wasserstoffgestehungskosten, um rund 60 % zu reduzieren.

Beispiel Kopplung 12 MW Einspeiseprofil mit 12 MW Elektrolyseur

Optimierung durch niedrigere Nennleistung des Elektrolyseurs:

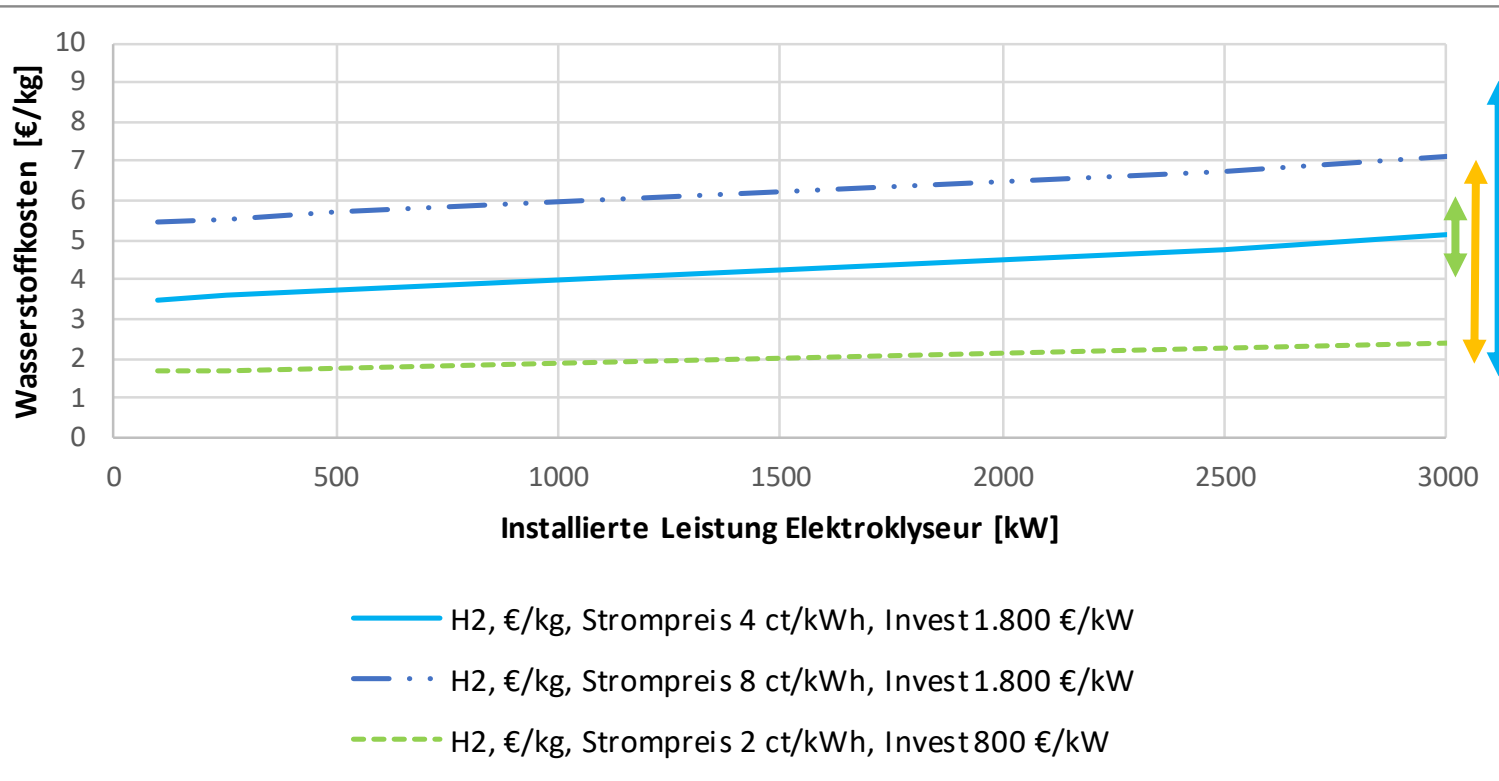
- Erster 6MW Elektrolyseur: 49 % Auslastung
- Zweiter 6MW Elektrolyseur: 4 % Auslastung



Beispiel Kosten H₂

Was kostet der Wasserstoff?

Was darf der Wasserstoff kosten?



↓

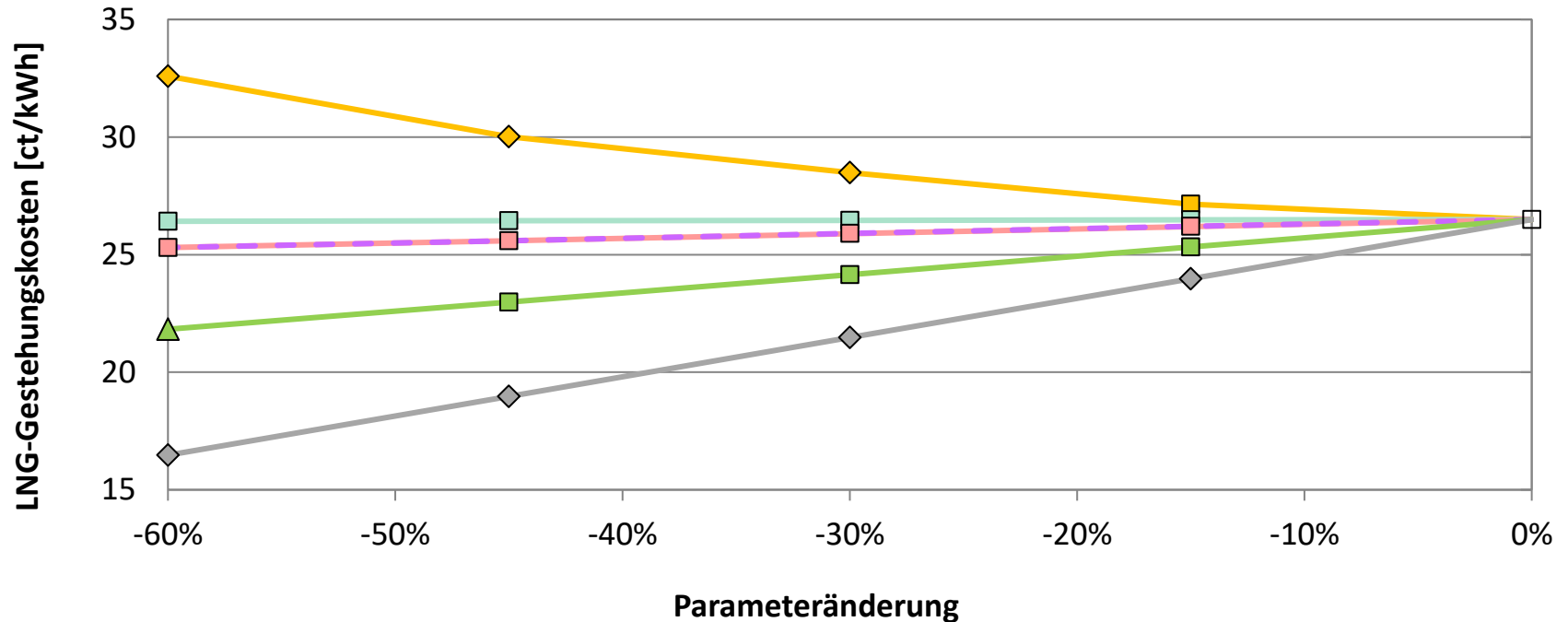
Mobility
4 - 6 €/kg***

Industry
2 - 7 €/kg***

Energy
2.5 - 9 €/kg***

Berechnungsgrundlage 3 MW WEA, Kapitalwertmethode,
Berechnung der Grenzkosten, Stromkosten siehe Grafik,
Steuern und Umlagen sind nicht enthalten

Beispiel Sensitivitätsanalyse LNG

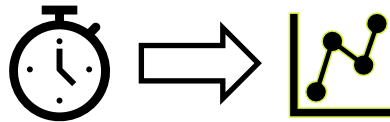


- Kalkulatorische Nutzungsdauer
- Wassergrundpreis
- Zinssatz
- CO2-Abtrennungskosten
- CAPEX-/OPEX-Kosten
- Strombezugskosten
- ◇ 294 kW - Elektrolyseur
- 480 kW - Elektrolyseur
- △ 940 kW - Elektrolyseur

Look Forward Tool & Benchmarking CO₂ Emissionen

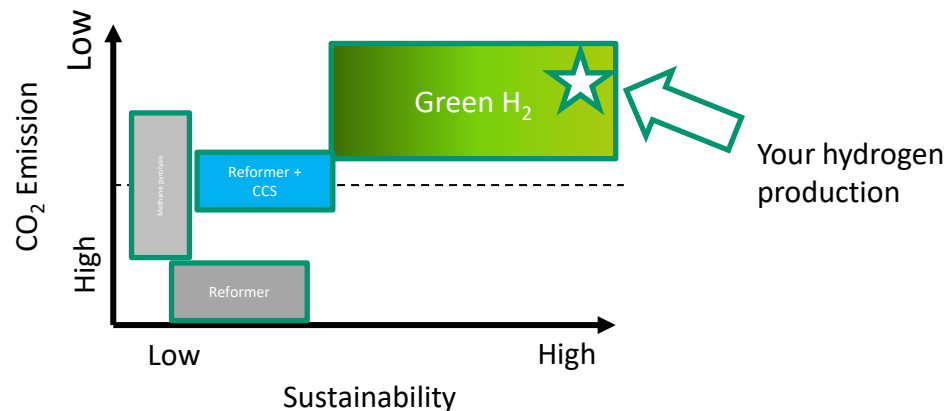
Look Forward Tool

Das Prognose - Look Forward Tool prognostiziert die Wasserstoff – SNG – LNG – Mengen der EE Anlage, basierend auf Wetterprognosen.



Benchmarking der CO₂ Emissionsreduktionspotential

In dieser Auswertung werden die berechneten spezifischen CO₂ Emissionen mit der Farbgebung des Wasserstoffs (grün, türkis, blau, grau) abgeglichen.

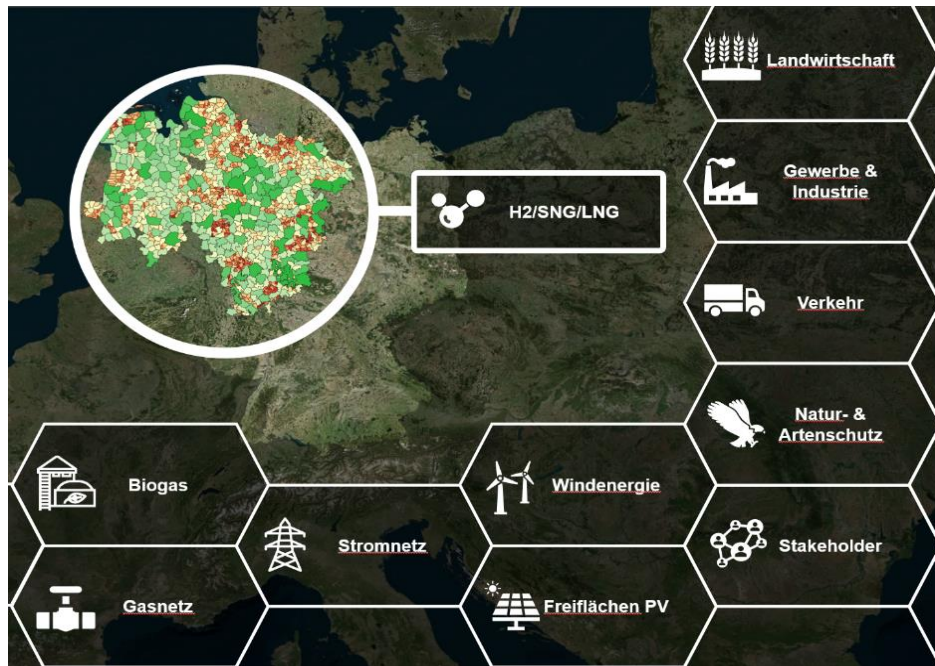


Praxisbeispiel F&E

Projekt H2-FEE

H2-FEE: Flexible Energieträger für die Energiewende: Open-WebGIS zur digitalen Analyse von PtG- Potentialen an dezentralen Energiestandorten in Deutschland am Beispiel von Niedersachsen

Übergeordnetes Ziel des Projektes H2-FEE ist es, Potentiale für eine naturschutz- und landwirtschaftskompatible inländische Wasserstoffproduktion auf Basis von EE-Anlagen (Onshore-Windenergie sowie Photovoltaik) insbesondere in Regionen mit hoher Bioenergie-Dichte webbasiert in einem GIS u.a. für Betreiber, Investoren, Kommunen und die Industrie abzubilden und somit eine transparente Plattform zur Identifikation von günstigen und naturverträglichen Standorten für die Wasserstoffgewinnung zu etablieren.



EnergieSynergie



1 km² (= 100 ha) Biogas aus Silomais:

4,4 – 6,6 GWh/a Methan¹

6 – 9 ct/kWh¹

2,5 ha Solar-Wind-Hybridkraftwerk³:

6,6 GWh/a Wasserstoff

7,35 ct/kWh⁴

97,5 ha für Naturschutz oder Nahrungsmittelproduktion

¹<https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/>

²bezogen auf den Heizwert

³2,5 MW PV, 1,9 MW WEA und 2 MW Elektrolyse

⁴Gestehungskosten im Jahr 2025 bezogen auf den Heizwert, IEA-Preismodell für Elektrolyse, ohne H₂-Speicher

Vergleich der Flächenerträge von Biogas- und Wind-Solar-Wasserstoffproduktion. Der Bildausschnitt in der Karte dient nur der Illustration und ist nicht mit einem konkreten Umsetzungsvorhaben verknüpft.



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

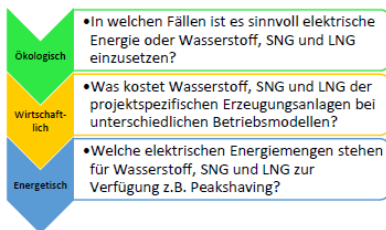
Weiterführende Information: <https://bit.ly/3whz16D>

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.

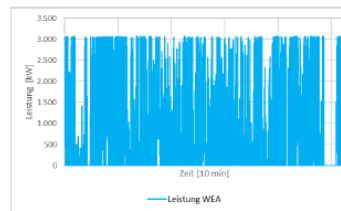


Abbildung 1: Auswertung der jährlichen Einspeisung einer 3 MW Windenergieanlage

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.

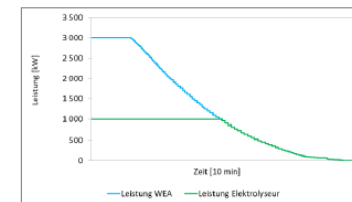


Abbildung 2: Jahresdauerlinie einer 3 MW Windenergieanlage (blau), gekoppelt mit 1 MW Elektrolyseur (grün)

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

