

ELEKTROLYSE IM VERTEILNETZ

Eine techno-ökonomische Analyse zum netzstützenden Einsatz

IEWT 2025

Philipp Ortmann, Roman Schwalbe, Andreas Patha, Daniel Schwabeneder, Klara Maggauer (AIT)
Stefan Fink, Gregor Taljan, Moritz Meixner, Oliver Schellander, Maximilian Prasser, Maria Aigner (ENS)

Das Projekt ‚SETHub‘ wird unterstützt im Rahmen der 3. FFG Ausschreibung Energie.Frei.Raum



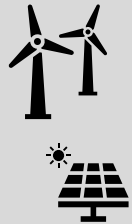
INHALTSVERZEICHNIS

1. **Ausgangslage und Fragestellung**
2. Methodik und Annahmen
3. Ergebnisse
4. Schlussfolgerungen



AUSGANGSLAGE & KERNFRAGE

Auf einer Fallstudienbasis wurde untersucht, ob Elektrolyseure eine kosteneffiziente und wirksame Maßnahme darstellen können, um Restriktionen im Verteilernetz zu beheben



SITUATION

- **Massiver Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung erwartet**
 - Verschärfte Situationen im Stromverteilernetz
 - Massive Netzverstärkungen notwendig
- **Netzdienlich betriebene Elektrolyse** könnte eine wirksame Maßnahme darstellen



KERN- FRAGEN

- **Technoökonomische Modellierung eines Elektrolyseurs im Verteilnetz**
 - Wie sieht ein netzdienlicher/marktbasierter Betrieb eines Elektrolyseurs aus?
 - Wie ist der Einsatz von Elektrolyse in ökonomischer Hinsicht zu bewerten?
- **NICHT** in dieser Analyse: Regulatorische Fragestellungen

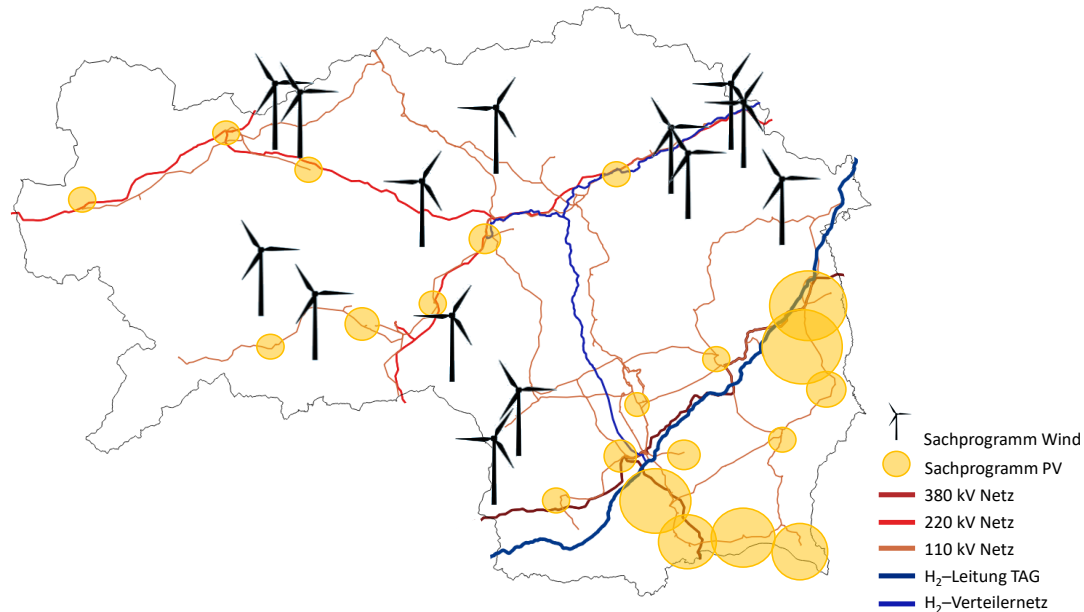
INHALTSVERZEICHNIS

1. Ausgangslage und Fragestellung
2. **Methodik und Annahmen**
3. Ergebnisse
4. Schlussfolgerungen



FALLSTUDIEN: AUSWAHL DER STANDORTE

STROMNETZ UND GEPLANTES H2-NETZ IN DER STEIERMARK 2040



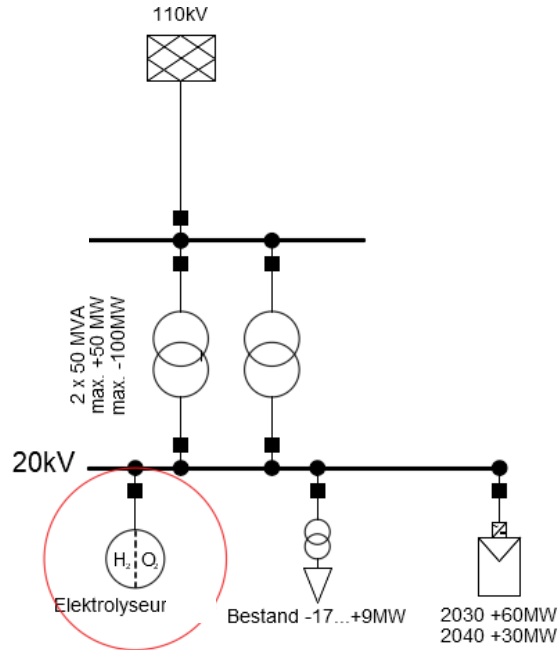
Anforderungen

- Starker Ausbau Erneuerbarer
- Netzingpässe erwartet
- Nähe zum geplanten H2-Netz gegeben

Schwerpunkt im Südwesten

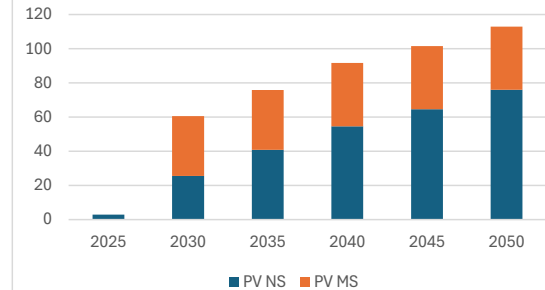
- 4 potenzielle Standorte identifiziert
- 2 Standorte präsentiert

NETZMODELL UND INPUTS: STANDORT A

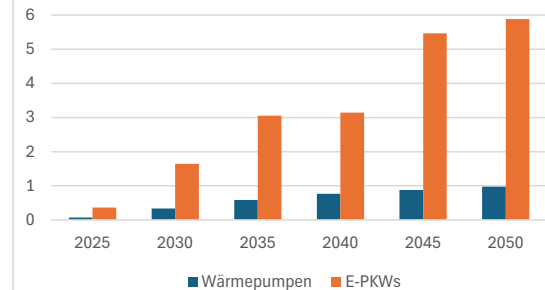


- Elektrolyseur soll Umspannwerk entlasten => Verbrauch auf NE4
- Aktueller Verbrauch: +9 MW,
Aktuelle Rückspeisung: -17 MW
- Umspanner-Kapazität:
+50 MW (n-1-sicher) ... -100 MW
- Massiver PV-Zuwachs, aber
keine Windkraft erwartet
- Aufnahmekapazität im
110 kV-Netz gegeben

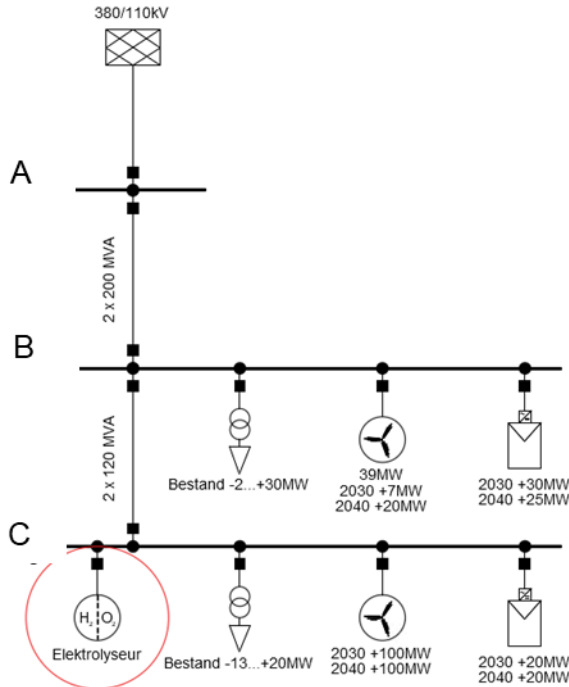
Ausbau Erneuerbarer [MW]



Integration WP & E-PKWs [1000 Stück]

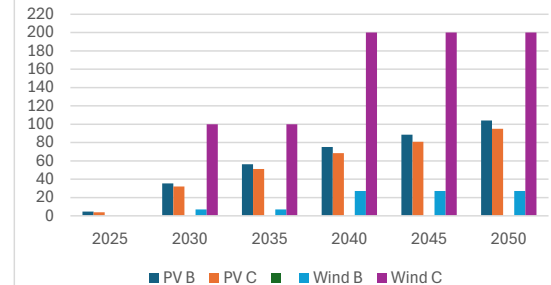


NETZMODELL UND INPUTS: STANDORT B

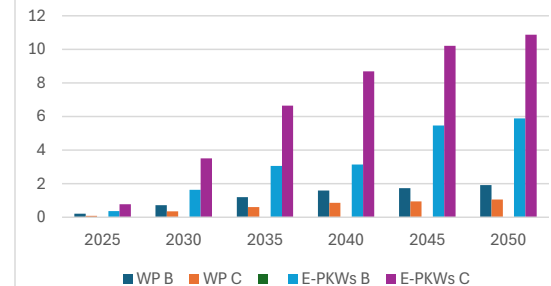


- Elektrolyseur soll 110 kV Ausläufer entlasten => Verbrauch auf NE3
- Aktueller Verbrauch: +50 MW, Aktuelle Rückspeisung: -15 MW
- Leitungs-Kapazität (n-1-sicher):
A – B: +100 MVA ... -200 MVA
B – C: +200 MVA ... -400 MVA
- Massiver PV- und Windkraft-Zuwachs erwartet
- Geplant ist Anbindung des Elektrolyseurs über separaten Umspanner, d.h. keine Versorgung über bestehendes MS-Netz

Ausbau Erneuerbarer [MW]

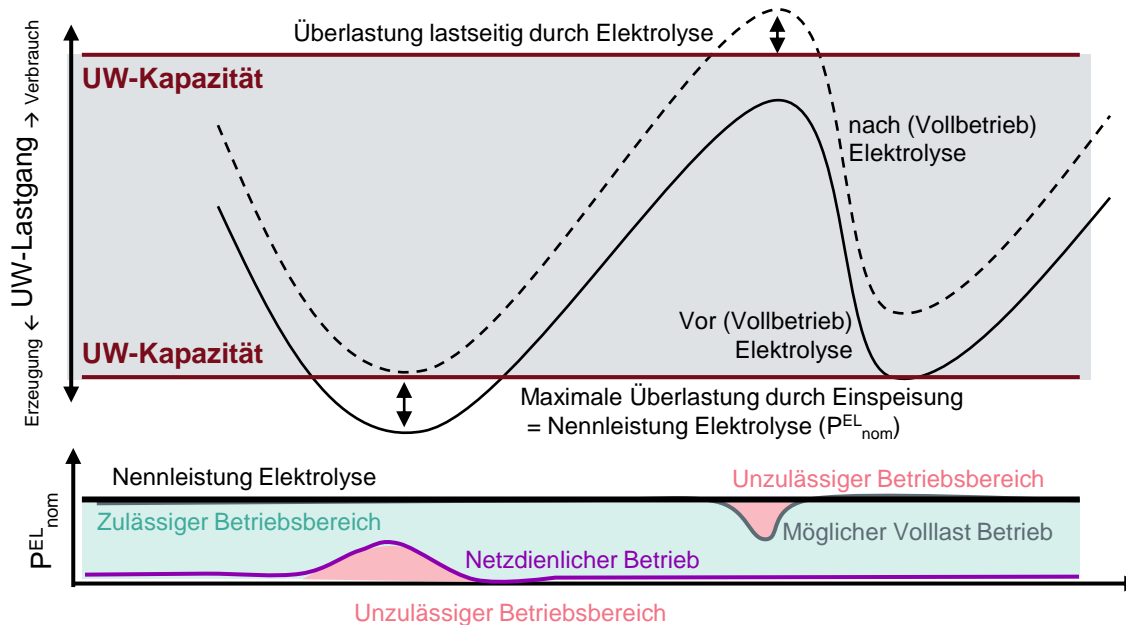


Integration WP & E-PKWs [1000 Stück]



NETZDIENLICHER EINSATZ & DIMENSIONIERUNG

SKIZZENHAFTE DARSTELLUNG



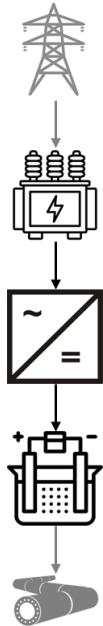
Netzdienlicher Einsatz

- aus Sicht des Netzes minimal erforderlicher Elektrolyseurbetrieb, um von Einspeisung verursachte Grenzwertverletzungen zu verhindern
- Entweder positiv, um Übereinspeisung zu kompensieren oder null, um Netz nicht zusätzlich lastseitig zu überlasten

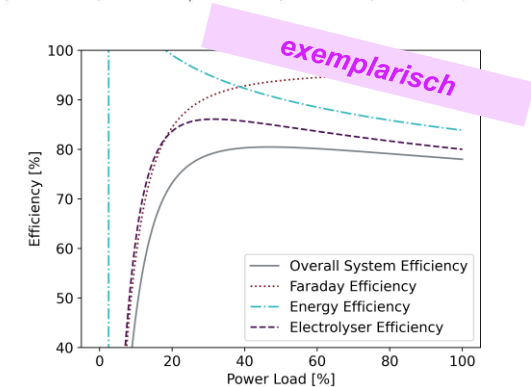
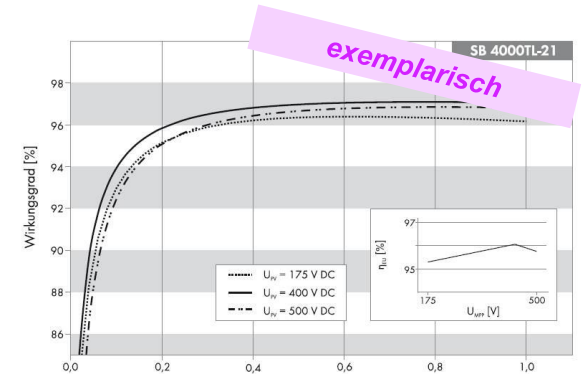
Elektrische Nennleistung Elektrolyse

- ermittelt sich aus der maximal beobachteten Überlastung in jedem zukünftigen Jahr

TECHNISCHE SIMULATION



- El. Übertragungs- bzw. Verteilnetz
 - Grenzwerte für Bezug
- Umspanner
 - Leistungsveränderlicher Wirkungsgrad
 - Nur für einen Standort relevant
- Gleichrichter
 - Leistungsveränderlicher Wirkungsgrad
- Elektrolyseur
 - PEM-Elektrolyseur
 - Leistungsveränderlicher Wirkungsgrad
 - Minimallast von 20 %
 - Inkl. Hilfsenergiebedarf v. 5 % der nominalen DC-Leistung
- Wasserstoffnetz
 - Grenzwert für Wasserstoffabnahme
 - Möglicherweise notwendiger Kompressor wird dem Wasserstoffnetz zugerechnet



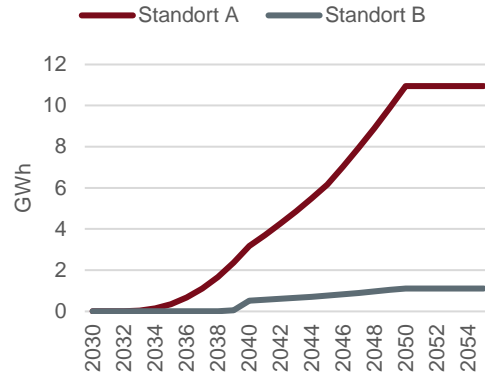
INHALTSVERZEICHNIS

1. Ausgangslage und Fragestellung
2. Methodik und Annahmen
3. **Ergebnisse**
 1. **Rein netzdienlicher Betrieb**
 2. Netzdienlicher + Marktbasierter Betrieb
 3. Vergleich mit herkömmlichem Netzausbau
4. Schlussfolgerungen

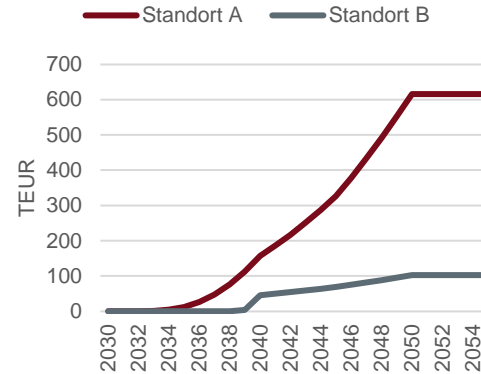


ERGEBNISSE NETZDIENLICHER BETRIEB

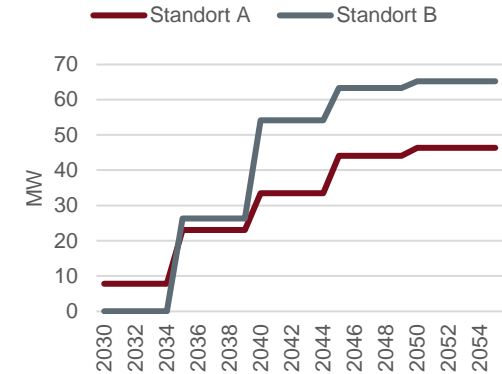
ABGEREGELTE EINSPEISUNG



VERLORENE ERLÖSE STROMMARKT



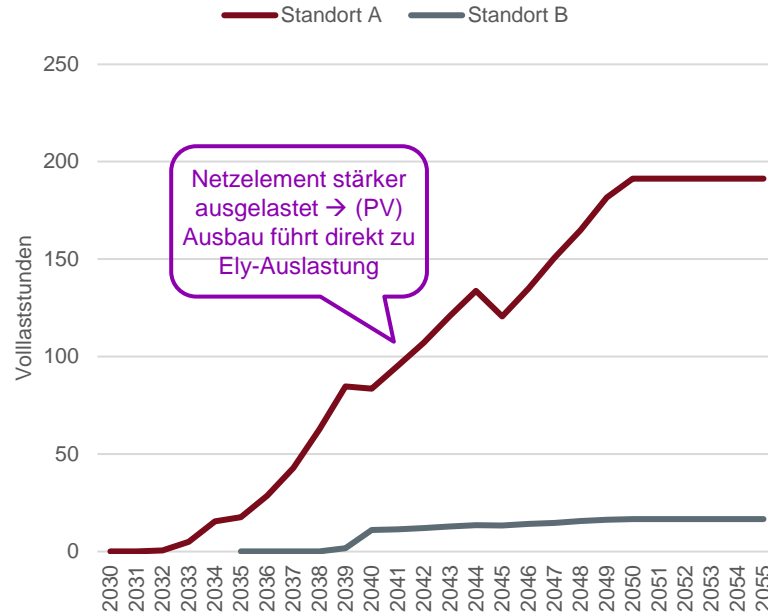
ELEKTROLYSE NENNLEISTUNG



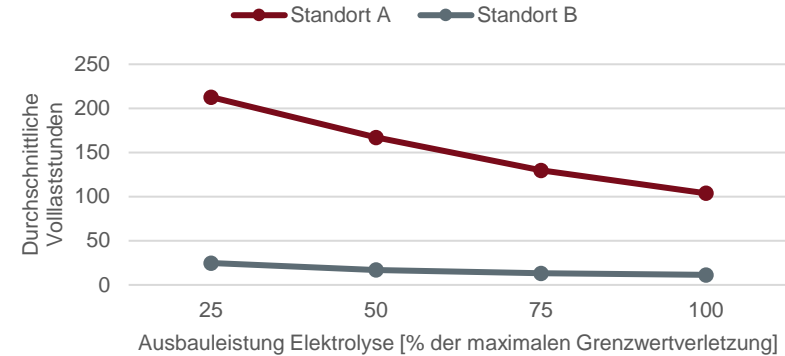
- In der Ausgangslage gehen Strommarkterlöse (für den EE-Erzeuger) durch abgeregelte Einspeisung verloren
- Durch den Betrieb des Elektrolyseurs kann die Abregelung vermieden werden, in der Folge als ‚gewonnene Einspeisung‘ bezeichnet
- Elektrolyse wurde auf maximale Netzüberlastung ausgelegt und in 5-Jahres Schritten ausgebaut

VORLÄUFIGE ERGEBNISSE NETZDIENLICHER BETRIEB

VOLLASTSTUNDEN



VARIATION DER NENNLEISTUNG ELEKTROLYSE



Rein netzdienlicher Betrieb nicht darstellbar

- Zu geringe Volllaststunden
- Zusätzlich marktbasierter Einsatz notwendig, um Kostendegression zu erreichen

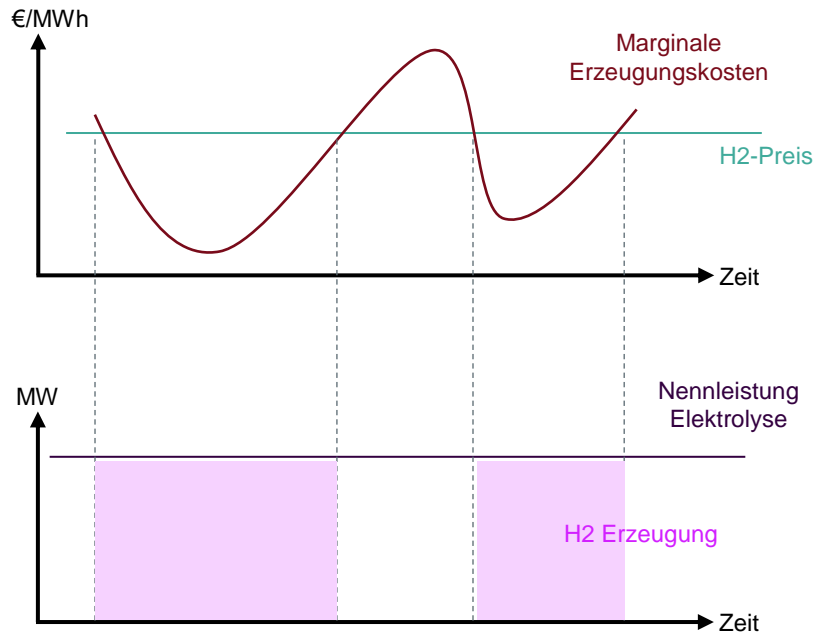
INHALTSVERZEICHNIS

1. Ausgangslage und Fragestellung
2. Methodik und Annahmen
3. **Ergebnisse**
 1. Rein netzdienlicher Betrieb
 2. **Netzdienlicher + Marktbasierter Betrieb**
 3. Vergleich mit herkömmlichem Netzausbau
4. Schlussfolgerungen



MARKTBASIERTER BETRIEB

OPTIMIERUNG GEGEN MARKTPREISE



Netzdienlicher Einsatz ist als Einsatz definiert, der über den marktbasieren Betrieb hinaus geht

03/03/2025

Optimale Fahrweise auf Marktbasis

- Verhältnis von Strom/H2-Preis/Netzentgelten und Effizienz
- Kann auch Auslastung von Null ergeben
- Simultane Bestimmung von Leistungsspitze (abhängig von NE) sowie laufender Betrieb mittels perfect foresight

Technische Randbedingungen

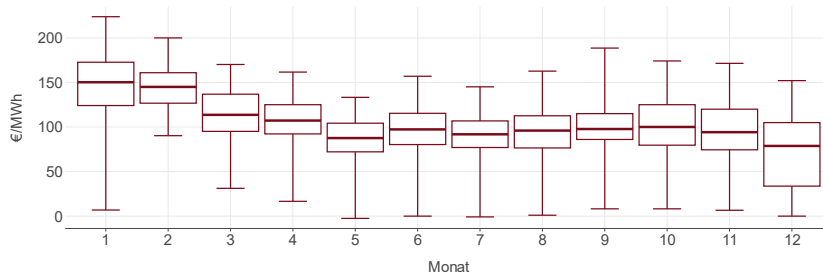
- Minimum Stable Load nicht relevant (immer volle Last)
- Rampen nicht relevant auf 15-min Zeitskala (10%/s)

Zeitliche Abfolge



ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE ANNAHMEN

HISTORISCHE STROMPREISE (AT, 60M, 2023)



NETZENTGELTE, NETZEBENE 4, STEIERMARK (2023)²

	Leistung	Variabel
Netzentgelte	35,520 €/MW/a	17.4 €/MWh
Steuern & Gebühren	0	1 €/MWh
Summe	35,520 €/MW/a	18.4 €/MWh

TECHNOÖKONOMISCHE ANNAHMEN ELEKTROLYSE¹

	2025	2030	2040
CAPEX [€/kW]	1425	950	725
OPEX [%/kW/a]	2	2	2

- **Strompreise** auf Historischer Basis, Jahr 2023, AT
- **WACC Annahme** 4%, real
- **Netzentgelte** für den Bezug sind zu bezahlen (Ausnahme nur bei Voll-Integrierter-Netzkomponente)
- **Elektrolyse** Technologie PEM, System Größe ~10MW

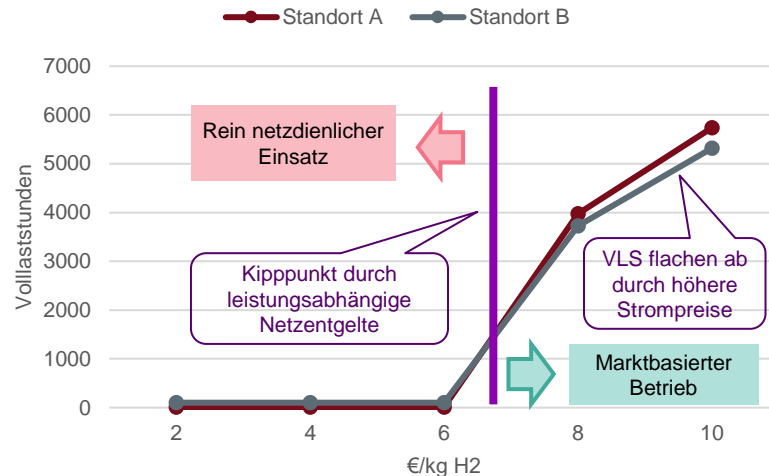
1 – Danish Technology Catalogue Renewable Fuels (April 2024)

2 – Reduziert per SNE-VO März 2023

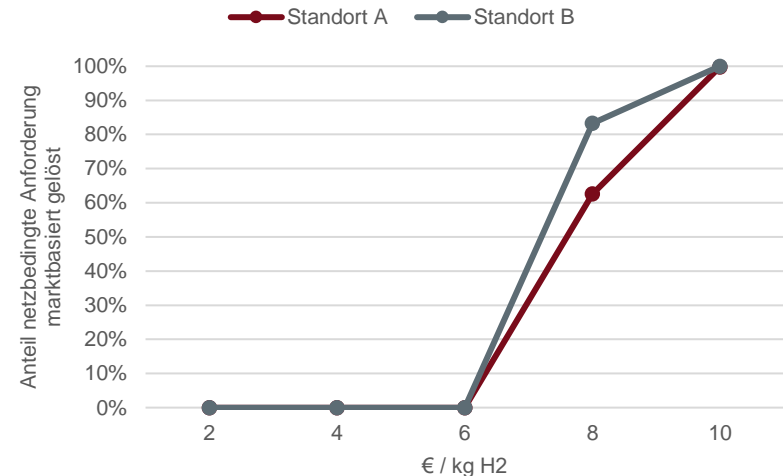
ERGEBNIS: MARKTBASIERT UND NETZDIENLICH

Bei höheren H₂-Preisen steigt die Auslastung. Damit wird bei hohen H₂-Preisen der netzdienliche Bedarf bereits marktbasiert gelöst es ist keine ‚rein‘ netzdienliche Fahrweise mehr notwendig

VOLLASTSTUNDEN



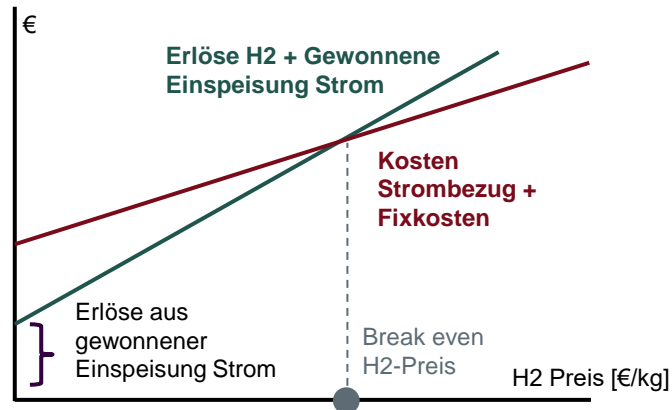
NETZBEDINGTER EINSATZ MARKTBASIERT GELÖST



GESAMTWIRTSCHAFTLICHE BEWERTUNG

Die Vorteilhaftigkeit des Elektrolyse Einsatzes hängt stark vom anzunehmenden Wasserstoff Preis ab. Ab einem Preis von 6-7 €/kg ist der Einsatz von Elektrolyse insgesamt wirtschaftlich vorteilhaft

Gesamtwirtschaftliches Ergebnis Elektrolyse (illustrativ)



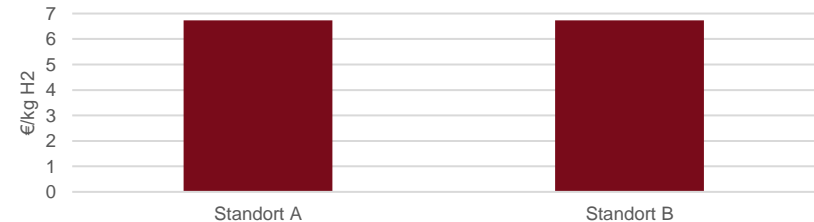
Kosten aus dem Elektrolysebetrieb

- Strombezug (Energiepreise + Netzentgelte)
- Fixkosten (CAPEX, OPEX)

Erlöse aus dem Elektrolysebetrieb

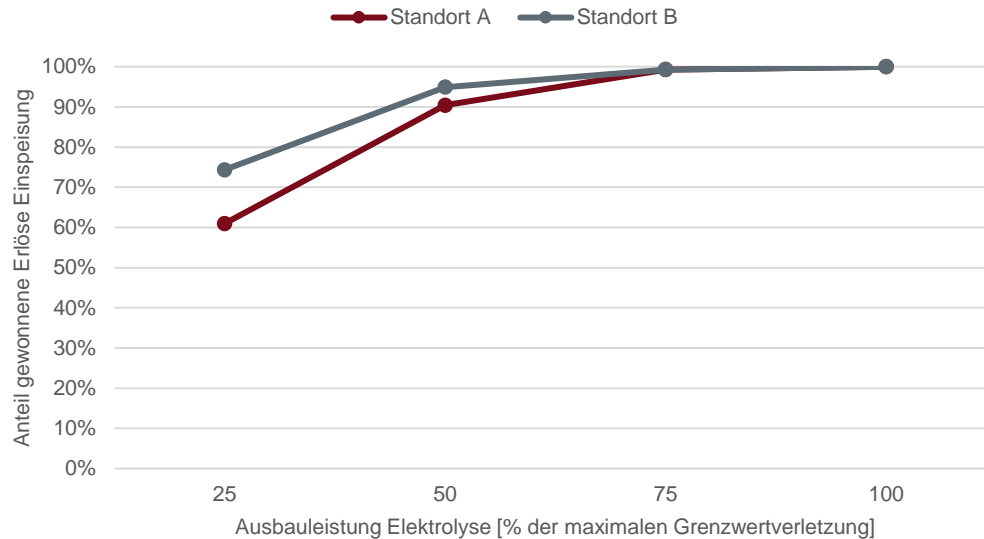
- Gewonnene Einspeisung Strom
- Erlöse Verkauf Wasserstoff

Resultierender Break-even H2-Preis [€ / kg H2]



VARIATION NENNLEISTUNG ELEKTROLYSE

Leistung der Elektrolyse muss nicht unbedingt auf die maximale Netzverletzung ausgelegt werden, möglicherweise ist eine Kombination aus Abregelung und Elektrolyse gesamtwirtschaftlich sinnvoll



Bereits 85-95% der Erlöse können gewonnen werden

- bei einer Auslegung auf 50% der maximal beobachteten Grenzwertverletzung

Netzengpass ist nicht vollständig gelöst

- Gewisse Energiemenge geht verloren
- Fraglich, wie wertvoll Solar- & Windspitzen in Zukunft sein werden



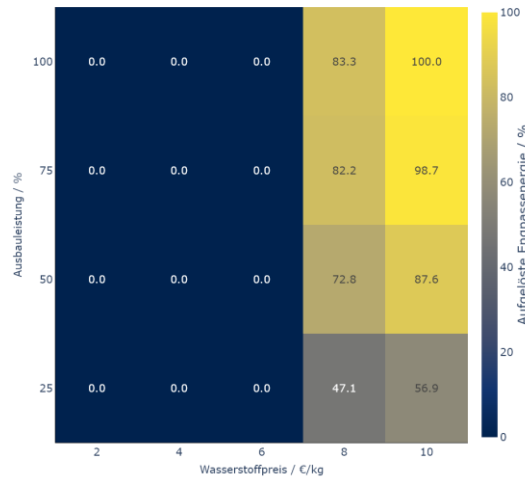
Ökonomisches Optimum vorhanden?

Elektrolyse wirtschaftlich wenn Leistung reduziert?

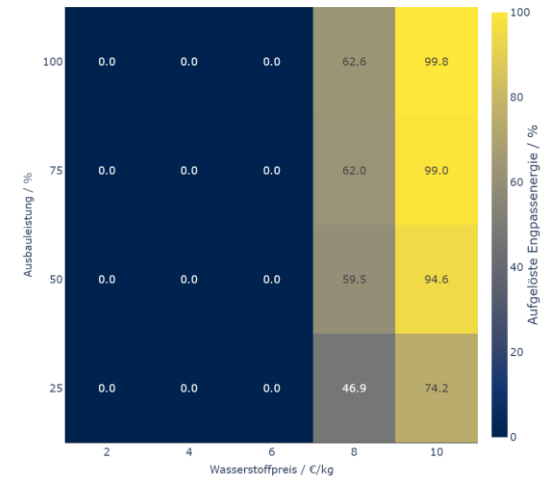
MARKTBASIERTER BETRIEB: GEWONNENE EINSPEISUNG

Auch bei kleineren Elektrolyse-Nennleistungen wird durch den marktbasierten Betrieb bereits ein hoher Anteil an Einspeisung gewonnen, die ansonsten abgeregelt werden müsste

STANDORT A



STANDORT B

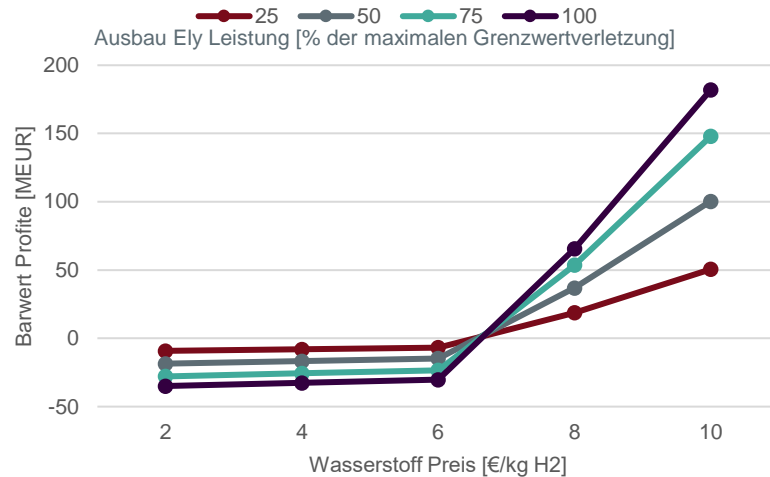


Heatmaps zeigen die gewonnene Einspeisung alleine durch den marktbasierten Betrieb als Anteil der Energie, die ohne Maßnahmen abgeregelt werden müsste (%)

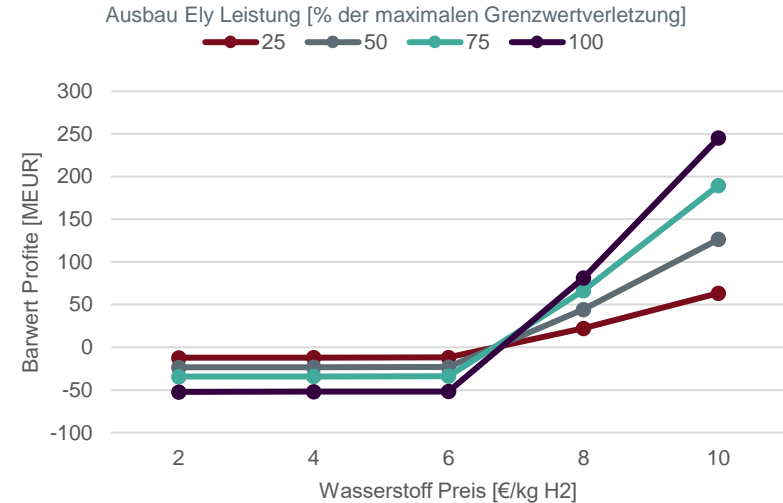
VARIATION NENNLEISTUNG ELEKTROLYSE

Je geringer die Zahlungsbereitschaft für Wasserstoff, desto kleiner sollte die Leistung der Elektrolyse ausfallen. Bei hohen H₂-Preisen kann die Elektrolyse Leistung möglichst groß ausfallen

STANDORT A



STANDORT B



Ergebnisse zeigen die diskontierten Kosten und Erlöse über den gesamten Betrachtungszeitraum (2025-2055)

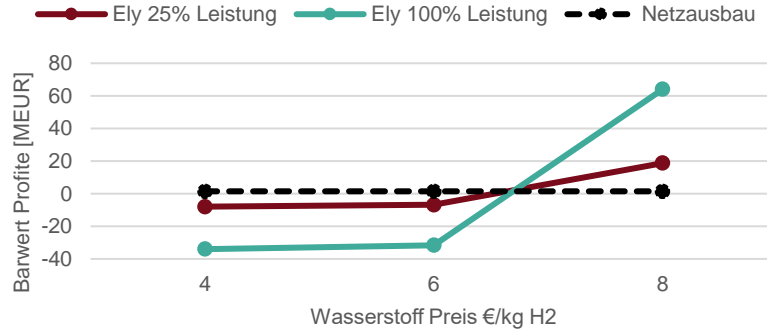
INHALTSVERZEICHNIS

1. Ausgangslage und Fragestellung
2. Methodik und Annahmen
3. **Ergebnisse**
 1. Rein netzdienlicher Betrieb
 2. Netzdienlicher + Marktbasierter Betrieb
 3. **Vergleich mit herkömmlichem Netzausbau**
4. Schlussfolgerungen

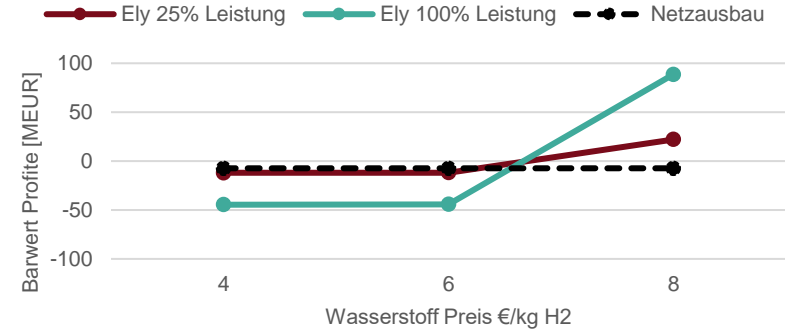


VERGLEICH MIT NETZAUSBAU

STANDORT A



STANDORT B



Bei hoher Zahlungsbereitschaft für Wasserstoff (> 7 €/kg) ist Elektrolyse dem konventionellem Netzausbau vorzuziehen

- Bei hohen H2-Preisen übersteigen die Gesamterlöse (H2-Verkauf, Stromeinspeisung) die laufenden und fixen Kosten

Bei niedrigen Preisen für Wasserstoff (< 7 €/kg)

- Erzielt der Ausbau von Elektrolyse auf 25% der maximalen Leistung ein Ergebnis vergleichbar zum Netzausbau

INHALTSVERZEICHNIS

1. Ausgangslage und Fragestellung
2. Methodik und Annahmen
3. Ergebnisse
4. **Schlussfolgerungen**



FAZIT, LIMITATIONEN UND AUSBLICK



FAZIT

Elektrolyse kann als Alternative zum herkömmlichen Netzausbau dienen

- Bei hoher Zahlungsbereitschaft für Wasserstoff (+ 7 €/kg)
- In Kombination mit Abregelung, Ausbau auf maximalen Wert eher nicht sinnvoll



LIMITATIONEN & AUSBLICK

Aussagekraft basiert auf zwei Standorten, die im Verteilnetz liegen Netzdienlichkeit im Übertragungsnetz noch zusätzliche Wertschöpfung Ökonomische Betrachtung erfolgt gegen historische DA-Preise

- In der vorliegenden Analyse wurden Day-ahead Preise 2023 betrachtet. Als weitere Use-Cases kommen Intraday Markt und Regelenergie Markt in Frage
- Volatilität der Preise (und damit Erlöspotenzial Elektrolyse) könnte zukünftig steigen



Ein Unternehmen der
ENERGIE STEIERMARK

*Das Projekt „SETHub“ wird unterstützt im Rahmen der 3. FFG
Ausschreibung Energie.Frei.Raum*

 **Federal Ministry**
Republic of Austria
Climate Action, Environment,
Energy, Mobility,
Innovation and Technology



AIT

Philipp Ortmann, Roman Schwalbe, Andreas Patha, Daniel Schwabeneder, Klara Maggauer

ENS

Stefan Fink, Gregor Taljan, Moritz Meixner, Oliver Schellander, Maximilian Prasser, Maria Aigner