
Techno-Ökonomische Analyse der Hochtemperatur-Elektrolyse (SOEC)

Vortrag zu: 14. Symposium Energieinnovation

Energie für unser Europa, 10-12.2.2016, TU Graz

Henrik Gommel

Mobil: +43 676 888 616 21
henrik.gommel@fraunhofer.at

Arko Steinwender

Mobil: +43 676 888 616 11
arko.steinwender@fraunhofer.at

Christoph Biegler

christoph.biegler@fraunhofer.at

Fraunhofer Austria Research GmbH
Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement
Theresianumgasse 7 | A-1040 Wien

Fraunhofer Austria Research GmbH

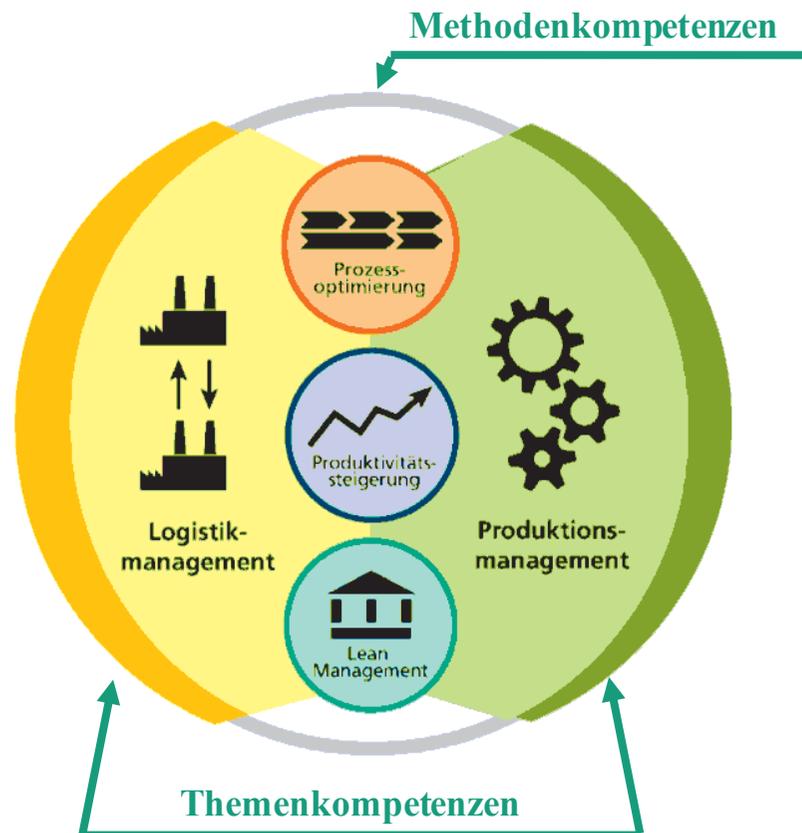
Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement

Vorsprung für Unternehmen in Produktion und Logistik

Leistungsangebot: Lösungen und Methoden für Exzellenz in den operativen Unternehmensbereichen

Industriekompetenzen

- Automotive
- Fahrzeug- und Baumaschinenhersteller
- Maschinen- und Anlagenbau
- Elektroindustrie
- Metallindustrie
- Energieversorger



Geschäftsführung Fraunhofer Austria

■ Univ.-Prof. Prof. e.h. DI
Dr.-Ing. Dr. h.c. Wilfried Sihm

Leitung Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement

■ Dipl.-Ing. Peter Schieder

Projektvorstellung

Hydrogen Production by Solid Oxid Electrolyser Cells (HydroCell)

- Forschungsprojekt des Programmes e!mission.at des Klima- und Energiefonds (KLIEN)
- Förderträger: Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG
- Konsortium aus:
 - AVL List GmbH
 - Plansee SE
 - Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS
 - Montanuniversität Leoben
 - Fraunhofer Austria Research GmbH
- Projektziel: Entwicklung und Auslegung eines Hochtemperatur-Elektrolysesystems auf Basis von Feststoff-Oxid-Zellen (solid oxide electrolyser cells – SOEC)



Zielsetzung der techno-ökonomischen Analyse

HydroCell-Begleitstudie der Fraunhofer Austria Research GmbH

- Erhebung des Marktpotenzials der Wasserstoffherzeugung durch Umwandlung von EE in SOE-Systemen
- Herausforderung:
 - Sehr frühe Phase der Technologieentwicklung
 - Geringe Verfügbarkeit an Basisinformationen (Leistungsmerkmale, Herstellverfahren, Materialeinsatz)
 - Analyse baut auf Prototyp eines SOE-Systems auf (Proof-of-Concept)
- Angestrebte Projektergebnisse:
 - Verbraucher- und erzeugerseitige Darstellung des Marktes für SOEC-Systeme
 - Quantifizierte Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale

Methodische Vorgehensweise

Überblick der gewählten Methodik

1. Identifikation potenzieller Nutzergruppen
 - Darstellung möglicher Einsatzgebiete der SOE-Systeme
 - Identifikation und Spezifikation von Anforderungen
2. Erarbeitung von Energieszenarien
 - Analyse von Studien bezüglich EE-Entwicklung
 - Ableitung der zu erwartenden Überschussleistung
 - Definition der notwendigen Umwandlungsleistung für SOE-Systeme
 - Bildung von Stückzahlenszenarien
3. Plankostenrechnung bei Skalierung des Proof-of-Concept
 - Kostenseitige Bewertung
 - Ableitung von Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenzialen
4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

1. Identifikation von Nutzergruppen

Einsatzgebiete, Spezifikationen und Anforderungen der SOEC

- Breites Anwendungsspektrum
 - Herkömmliche Energiespeichersysteme (Pumpspeicher, ...) und -
umwandlungssysteme (PEM- und Alkalische Elektrolyse, ...) sowie klassische
Verfahren der H₂-Produktion (Reformierung) sind aktuell der HT-Elektrolyse
kostenseitig überlegen
 - Vorteile:
 - Rasche An- und Abschaltzeiten (bei einem Halten auf Betriebstemperatur)
 - Gute Eigenschaften bei Laständerungen
 - Nutzung von Industrie- und Prozessabwärme zur Wirkungsgradsteigerung
- besondere Eignung zur Speicherung von volatilen, periodischen EE (Wind, PV)

2. Erarbeitung von Energieszenarien

Nachfrageseitige Analyse

■ Annahmen Gesamtspeicherbedarf

- 1,6-fach der installierten EE-Leistung
- Mischszenario 2030 → Installierte Leistung EE: 125.000 MW

→ Erforderlicher Speicherbedarf: 200.000 MW in 2030

■ HydroCell Anteilsszenario 1:

- 5% vom Gesamtspeicherbedarf als H2-Umwandlung
- Davon 25% als SOEC
- → Speicherleistung H2 → 10.000 MW

→ Erforderliche Leistung SOEC (25% von H2-Speichern): **2.500 MW in 2030**

Quellen:

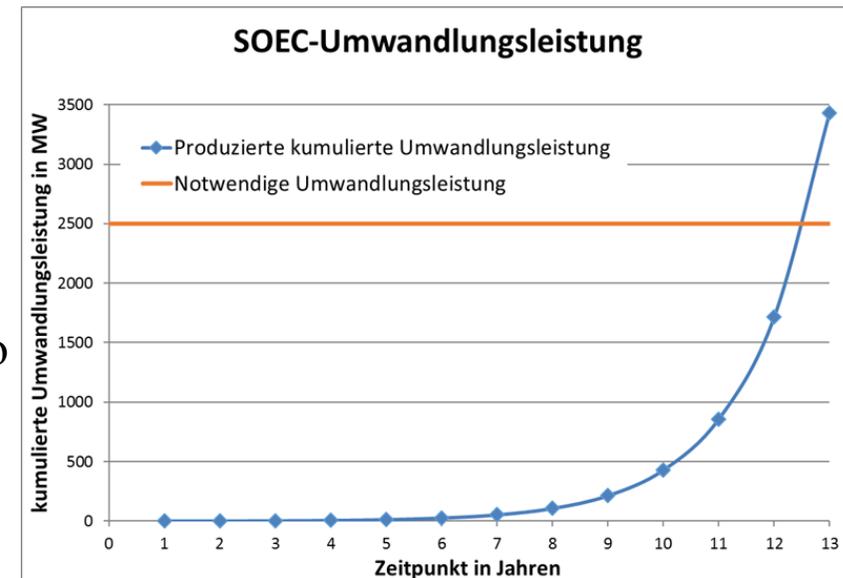
DLR, Fraunhofer-IWES, IfnE (2010): Leitstudie 2010 - Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global

M. Popp (2010): Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien, Springer Berlin Heidelberg.

2. Erarbeitung von Energieszenarien

Bildung von Stückzahlenszenarien

1. Planwerte für Komponentenpreise für T1
– Basis T1: 10.000 Zellen/a
2. Zeitliche Zuordnung der Planzahlen
 1. Annahme „Jährliche Verdopplung der Ausbringungsmenge“
 2. Abgleich mit notwendiger Umwandlungsleistung aus Energieszenario IWES
 3. Szenario „Prozessabwärme aus energieintensiven Industrien“
3. Ableitung der Stückzahlen für weitere Komponenten gemäß Strukturstückliste



2. Erarbeitung von Energieszenarien

ungenutzte Industrie- und Prozessabwärme

- Analyse von ungenutzten Abwärmepotenzialen aus energieintensiven Industrien (Metall, Zement, Chemie, ...)
- Wirkungsgradsteigerung durch vorhandene Abwärme ($T > 100^\circ\text{C}$)
- → Prozessabwärme stellt keine Restriktion gemäß des gewählten EE-Szenario dar (2500 MW in 2030)

Vorhandene Abwärmeleistung in MW			Daraus mögliche Umwandlungsleistung in MW
Pehnt et al.	D+AT	11.116	54.424
	EU28	36.279	177.623
Broberg et al.	D+AT	1.752	8.578
	EU28	6.821	33.396

Quellen:

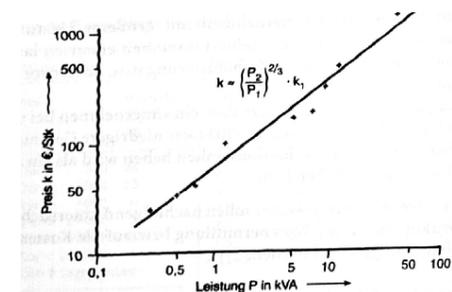
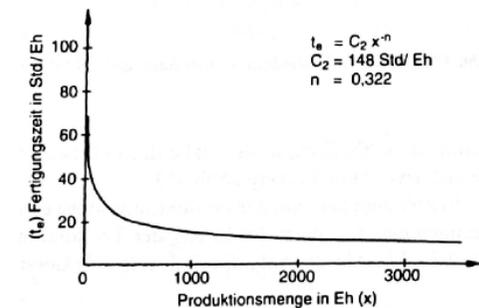
S. Broberg, S. Backlund, M. Karlsson, P. Thollander (2012): Industrial excess heat deliveries to Swedish district heating networks: Drop it like it's hot, Energy Policy 51, S. 332–339.

M. Pehnt, J. Bödeker, M. Arens, E. Jochem, F. Idrissova (2010): Die Nutzung industrieller Abwärme: technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung, Heidelberg, Karlsruhe.

Wertschöpfungskettenanalyse

Kostenentwicklung ausgehend des Proof-of-Concepts

- Gesetzmäßigkeiten und Tendenzen von Kosten
 - Wachstumsgesetze für Kostenarten: Volumen, Oberflächen, Abmaße, Gewicht, Baureihen Stufungen
 - Auf Basis Strukturstückliste - Komponentenebene
- Mengengesetze
 - Zeitliche Kostendegression durch Lerneffekte
 - → auf Basis der Stückzahlen-Szenarien
 - Lernratendefinition auf Komponentenebene
- Größeneffekte
 - Kostendegression durch Scale-Up auf leistungstärkere Anlagen
 - Anlagengrößen: 200 kW, 600 kW, 2000 kW



Quelle:

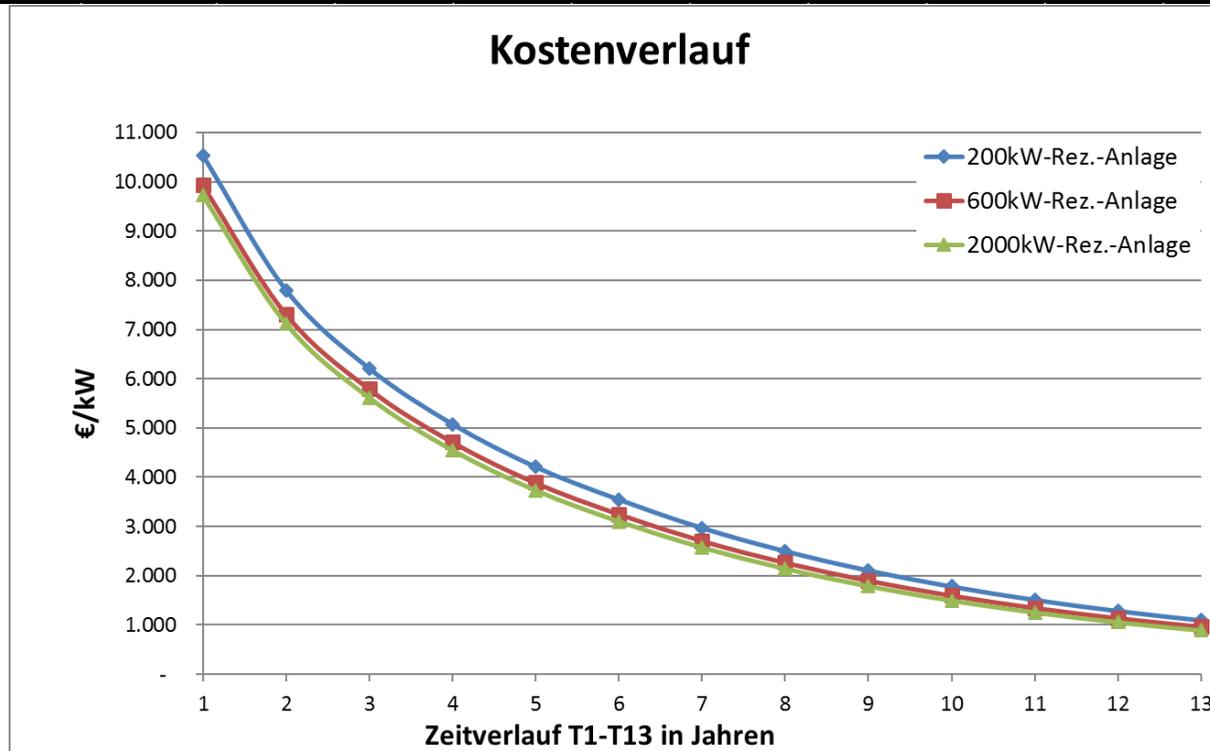
A. Bronner (2008): Angebots- und Projektkalkulation - Leitfaden für Praktiker, Springer.

Leistungsbezogene Herstellkosten

zeitlicher Verlauf bezüglich der 3 definierten Anlagengrößen

Zeitpunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	€/kW												
200 kW	10.533	7.798	6.210	5.080	4.211	3.550	2.974	2.501	2.110	1.785	1.514	1.288	1.098
600 kW	9.934	7.312	5.794	4.716	3.889	3.254	2.712	2.268	1.903	1.601	1.350	1.141	967
2000 kW	9.723	7.120	5.617	4.552	3.736	3.105	2.575	2.144	1.789	1.497	1.255	1.055	889

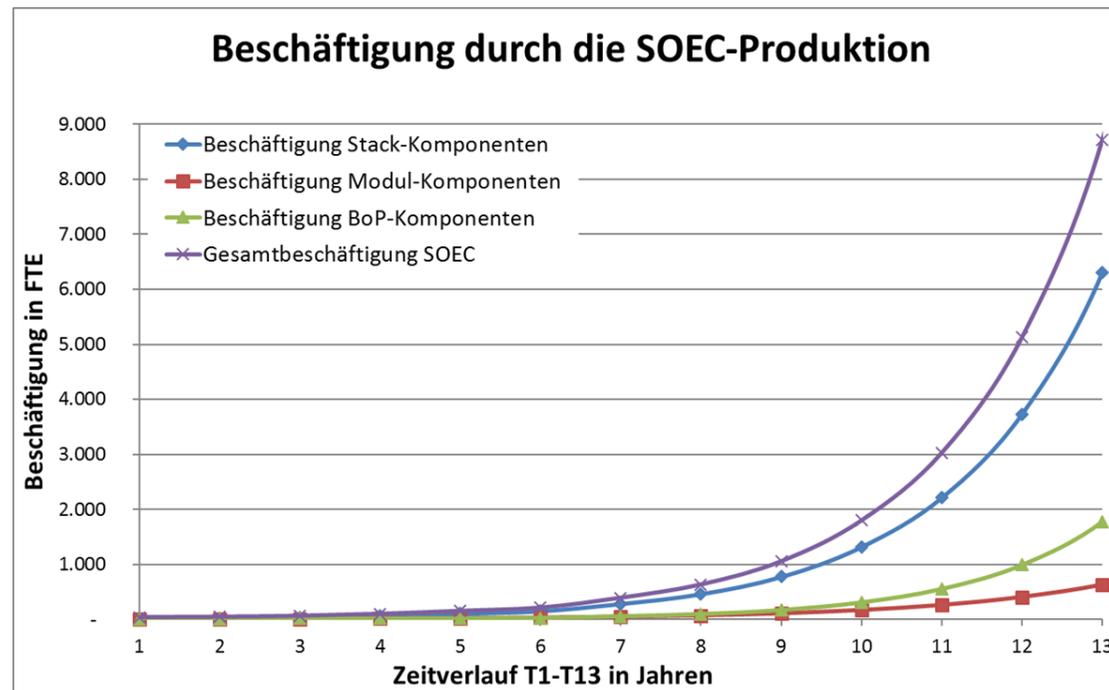
-20%



Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale

zeitlicher Verlauf der Beschäftigungspotenziale

- Komponentenspezifische Zuordnung auf passende Branche nach ÖNACE-Klassifikation
- Branchenspezifische Kennzahlen → Berechnung der potenziellen Beschäftigung und Wertschöpfung im zeitlichen Verlauf



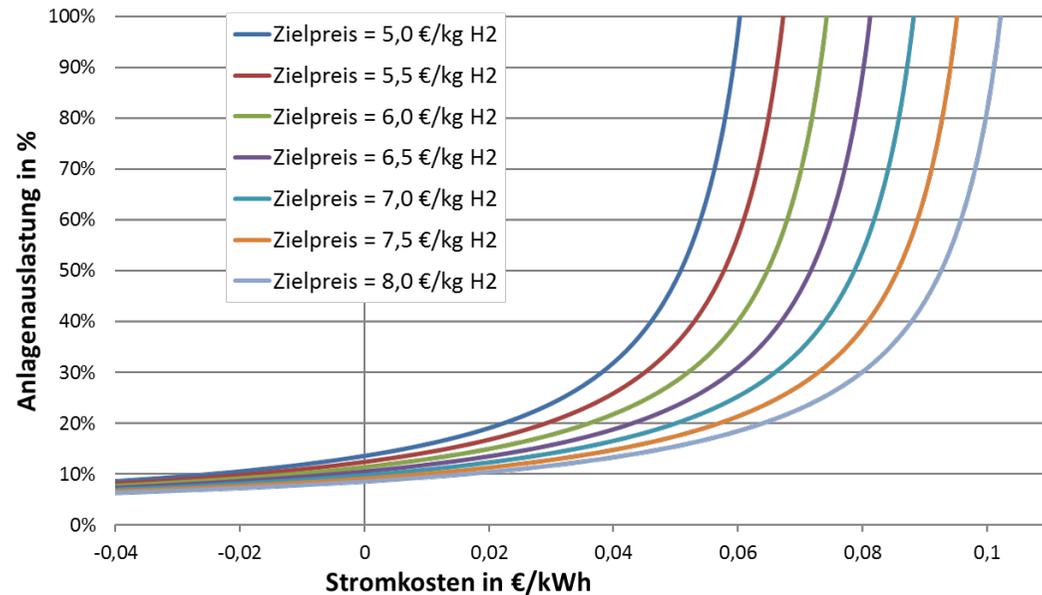
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Analyse der Wasserstoffgestehungskosten

■ Annahmen:

- Abschreibungsdauer: 10 Jahre
- 600kW-Anlage zum Zeitpunkt T10
- 6 ct./kWh Strompreis
- 50% Anlagenauslastung

Notwendige Anlagenauslastung für BE-Produktion



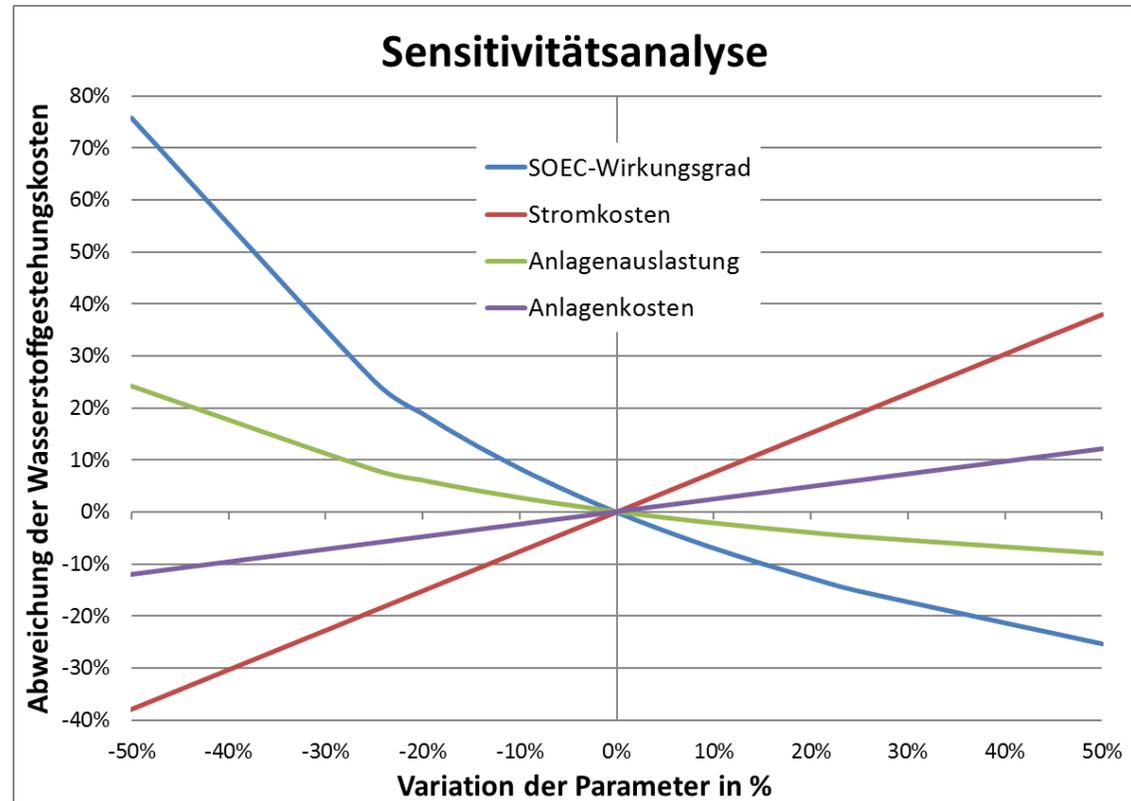
Zeitpunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	€/kg H2												
200 kW	13,77	11,31	9,88	8,86	8,08	7,49	6,97	6,55	6,19	5,90	5,66	5,45	5,28
600 kW	13,23	10,87	9,51	8,54	7,79	7,22	6,73	6,34	6,01	5,74	5,51	5,32	5,17
2000 kW	13,04	10,70	9,35	8,39	7,66	7,09	6,61	6,22	5,90	5,64	5,42	5,25	5,10

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Untersuchung der Sensitivität der Eingangs-Parameter

■ Annahmen:

- 600kW-Anlage zum Zeitpunkt T10
- 6 ct./kWh Strompreis
- 50% Anlagenauslastung



- Speziell der SOEC-Wirkungsgrad hat bei einer negativen Variation einen starken Einfluss auf die Wasserstoffgestehungskosten!

Fazit & Ausblick

- Hochtemperatur-Elektrolyse besonders bei Kopplung mit industriellen Prozessen (Abwärmenutzung) geeignet
- Unter den getroffenen Annahmen ist eine zukünftige Konkurrenzfähigkeit zu anderen Elektrolyseverfahren (PEM, Alkalisch) gegeben
- Große Unsicherheiten aufgrund des frühen Entwicklungsstandes



Wir begleiten Sie gerne in
innovativen Projekten...



„Fraunhofer Austria - Im Auftrag der Zukunft“

Christoph Biegler

christoph.biegler@fraunhofer.at