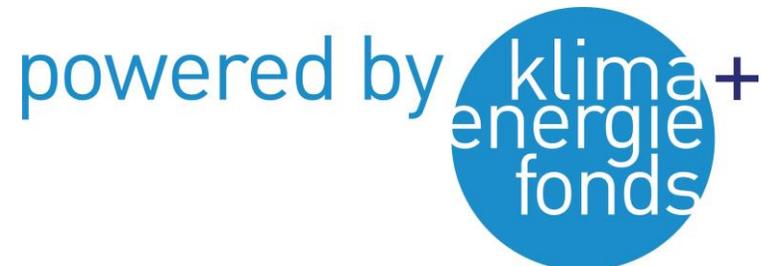


Energieeffizienz und Flexibilität bei der Elektrostahlproduktion

Johannes Dock, Stefan Wallner, Thomas Kienberger

17. Symposium Energieinnovation

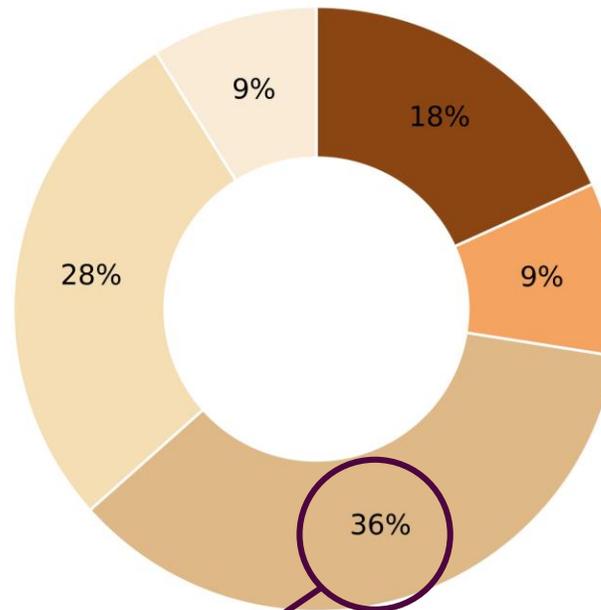
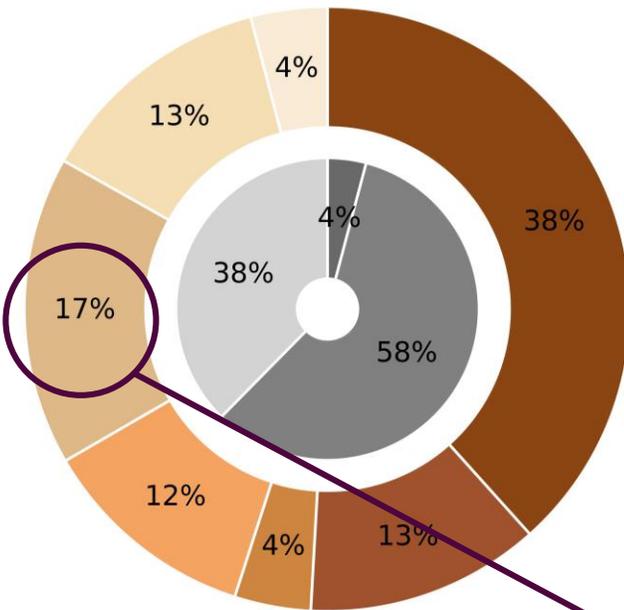
Graz, 16. – 18.02.2021





(A) Endenergieverbrauch

(B) direkte CO₂-Emissionen



- Kohle
- Elektrolichtbogenofen
- andere Verbraucher
- Wärmebehandlung
- elektrische Energie
- Pffannenofen
- Pffannenfeuer
- Prozessdampfproduktion
- Erdgas
- Entstaubung

Ausgangssituation

Energie und Emissionen

Pffannenfeuer sind **größter Erdgasverbraucher** und **größter CO₂-Emittent!**



Stefan Nadrag, Breitenfeld Edelstahl AG

Eisen- und Stahlindustrie in Österreich (2019):

- 34.2 TWh Primärenergieverbrauch¹
- 12.1 Mt CO₂-Emissionen (15.6 % der österreichischen CO₂-Emissionen)²

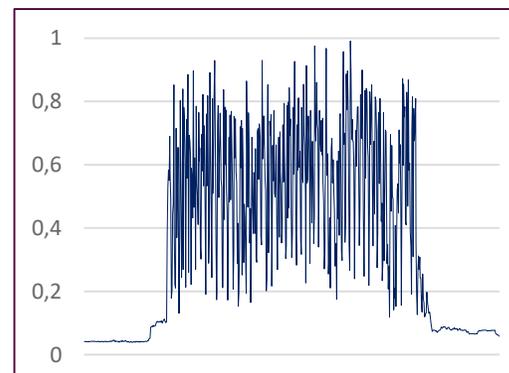
Sekundärstahlproduktion via Elektrolichtbogenofenroute:

1. Recycling von Stahlschrott → Wegfall des energie- und emissionsintensiven Reduktionsschrittes
2. Hoher Elektrifizierungsgrad → Versorgung mit erneuerbarem Strom
3. Energieintensive Hilfsprozesse → Emissionsintensive Verbrennungsprozesse



Energieeffizienz

- Einsatz Oxyfuel-Brenner
- Carbon Capture and Utilization (CCU)
- Integration in bestehendes Energiesystem



Flexibilität

- Lastprofilerstellung
- Demand Side Management
- Einbindung erneuerbarer Energien
- Sauerstoffbereitstellung

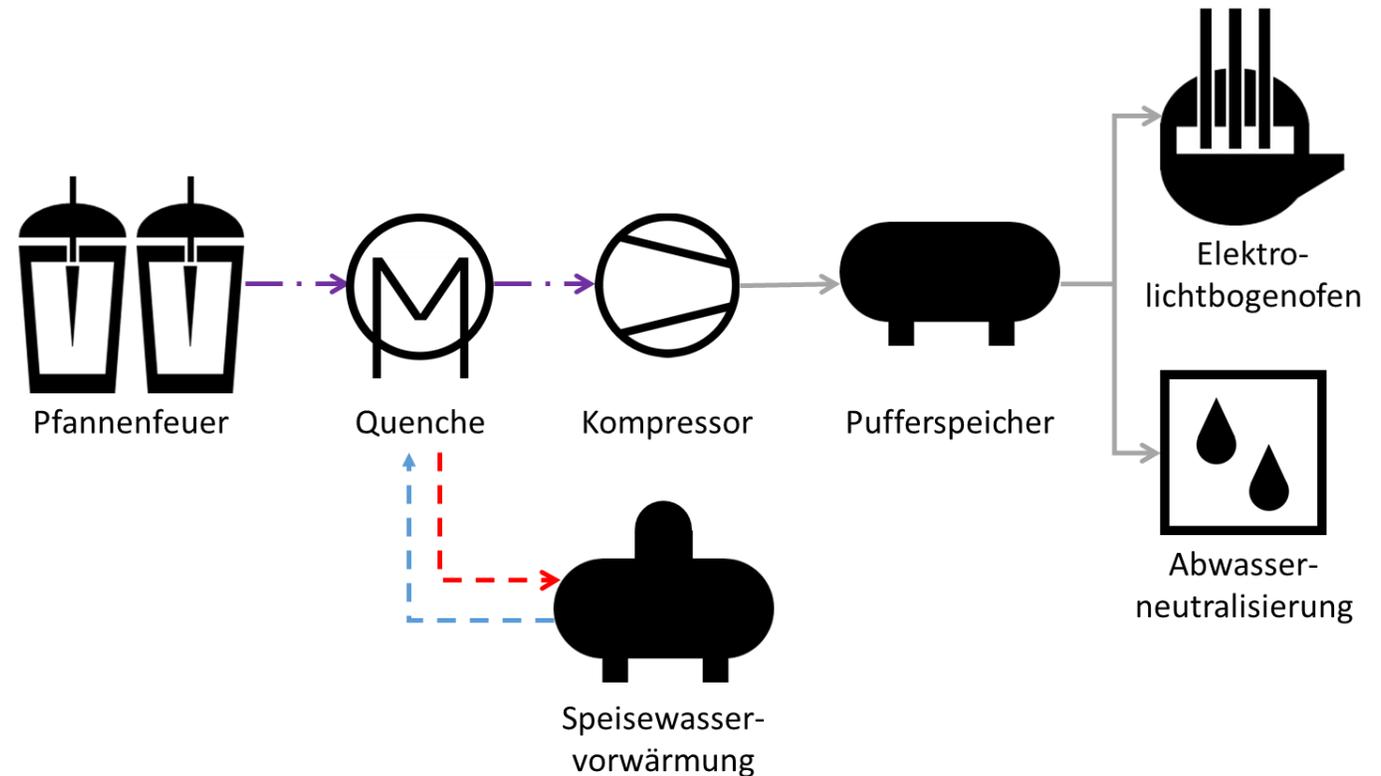
¹ Statistics Austria, Energy balances Austria 1970-2019, Vienna.

² Umweltbundesamt, Austria's national inventory report 2021: Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol, Vienna, 2021

Oxyfuel-Verbrennung und CCU Methoden

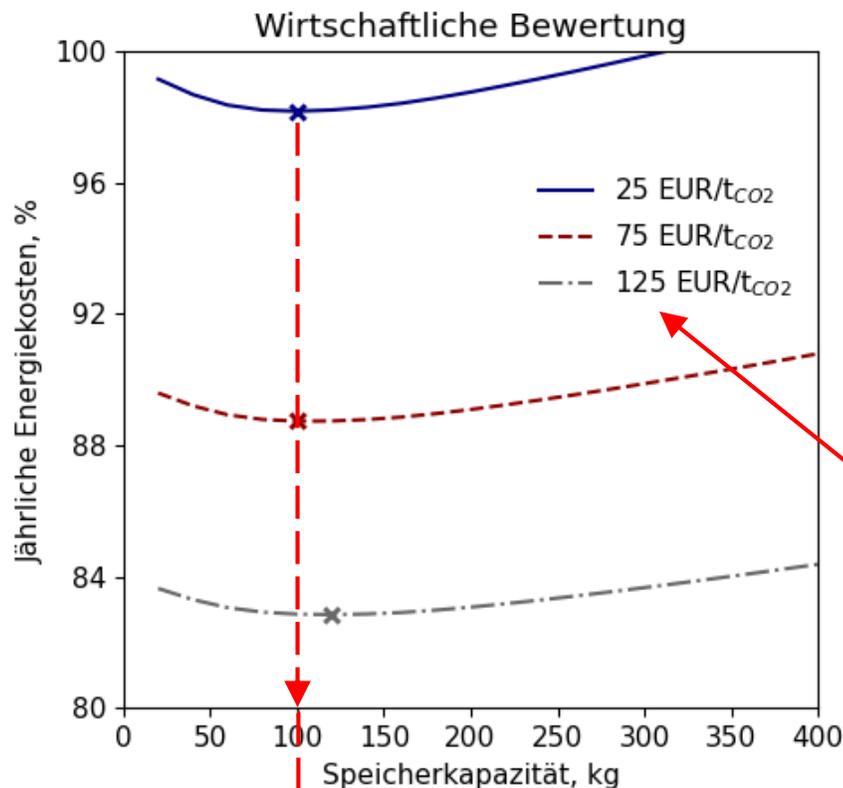
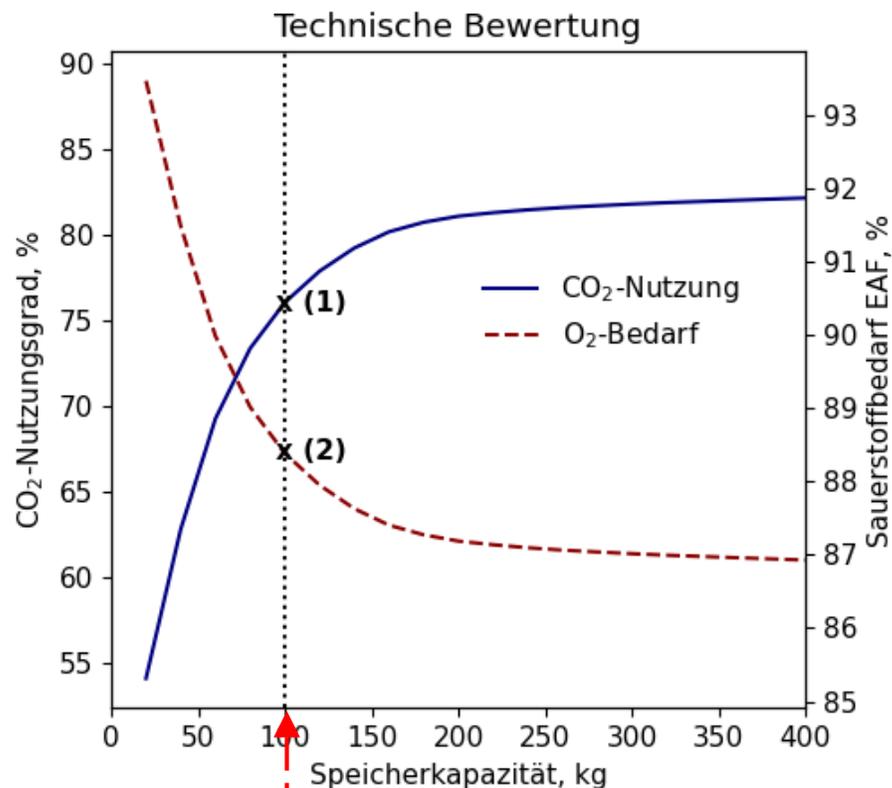
Demonstrationsszenario

- Implementierung zweier Oxyfuel-Pfannenfeuer mit CO₂- und Abwärme-Rückgewinnung
- Nutzung des CO₂ zur Abwasserneutralisierung und zum Einblasen in den Elektrolichtbogenofen
- Nutzung der Abwärme zur Speisewasservorwärmung im Prozessdampfkessel
- Einsatz von Pufferspeichern zum Ausgleich von Versorgung und Bedarf



Oxyfuel-Verbrennung und CCU

Ergebnisse



Ressource	Einheit	Preis
Erdgas	EUR/MWh	28
Sauerstoff	EUR/t	85
Kohlenstoffdioxid	EUR/t	90

Kohlenstoffdioxid ist sowohl Rohstoff als auch Emission!

Wirtschaftliches Optimum:

- Nutzung von 76 % des entstandenen Kohlenstoffdioxids
- Deckung des CO₂-Bedarfs zur Abwasserneutralisierung
- Substitution von 12 % des O₂-Bedarfs des EAF

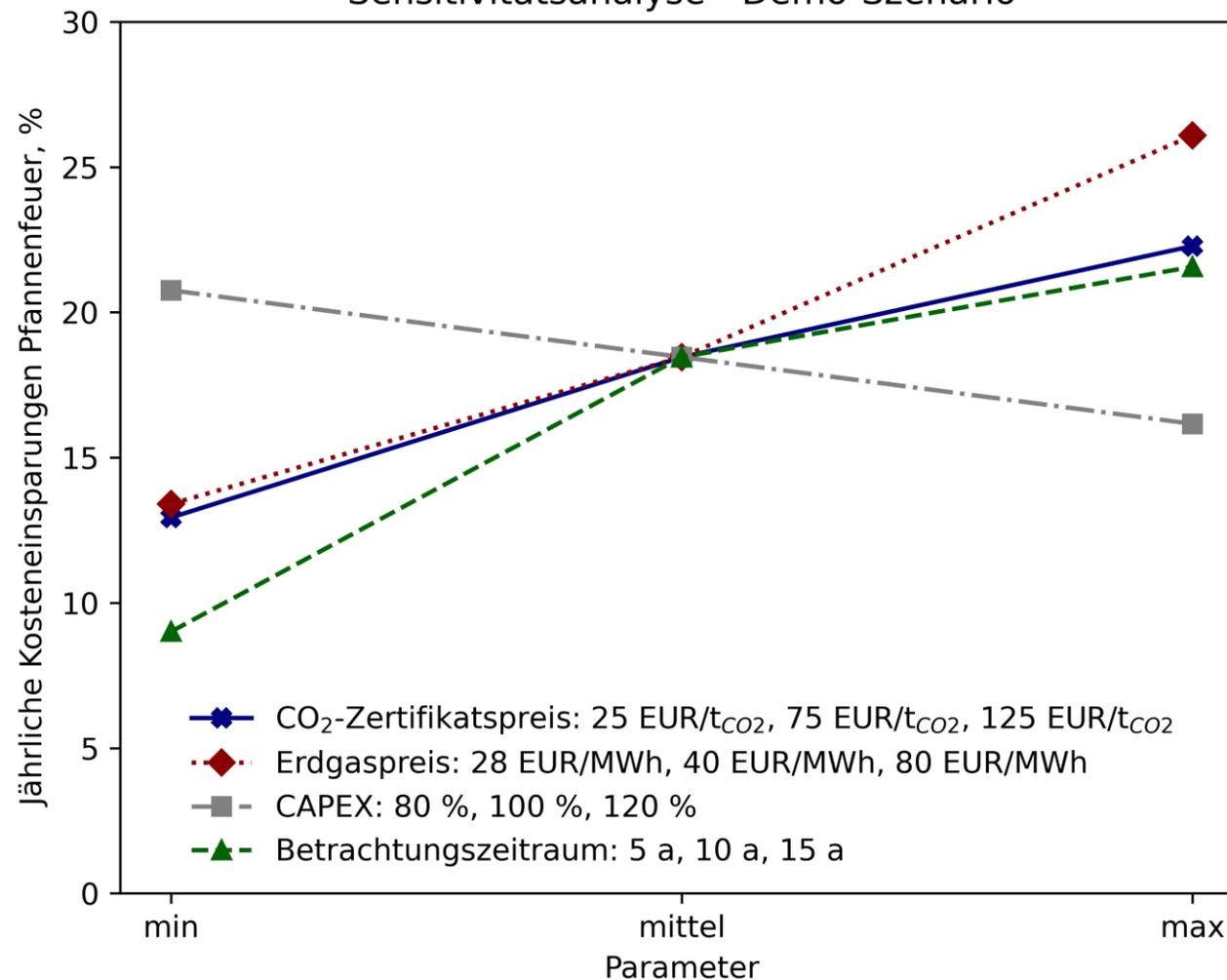
Oxyfuel-Verbrennung und CCU

Ergebnisse

Simulationsergebnisse Demo-Szenario

Erdgasbedarf	- 16 %		
Sauerstoffbedarf	+ 44 %		
CO ₂ -Bedarf Wasserneutralisierung	- 100 %		
CO ₂ -Emissionen	- 15 %		
CO ₂ -Emissionszertifikatspreise	25 EUR/t	75 EUR/t	125 EUR/t
Kostenreduktion Pfannenheizen	2 %	11 %	17 %
Amortisationszeit	10 a	6 a	4 a

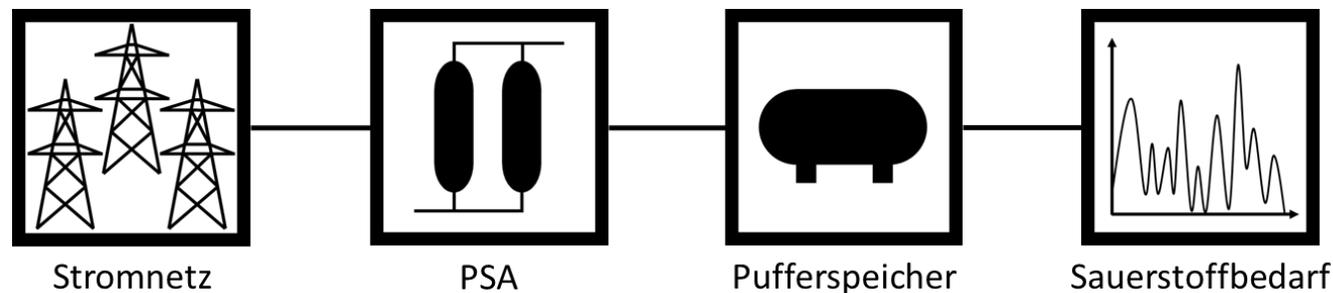
Sensitivitätsanalyse - Demo-Szenario



Flexibilität Szenarien

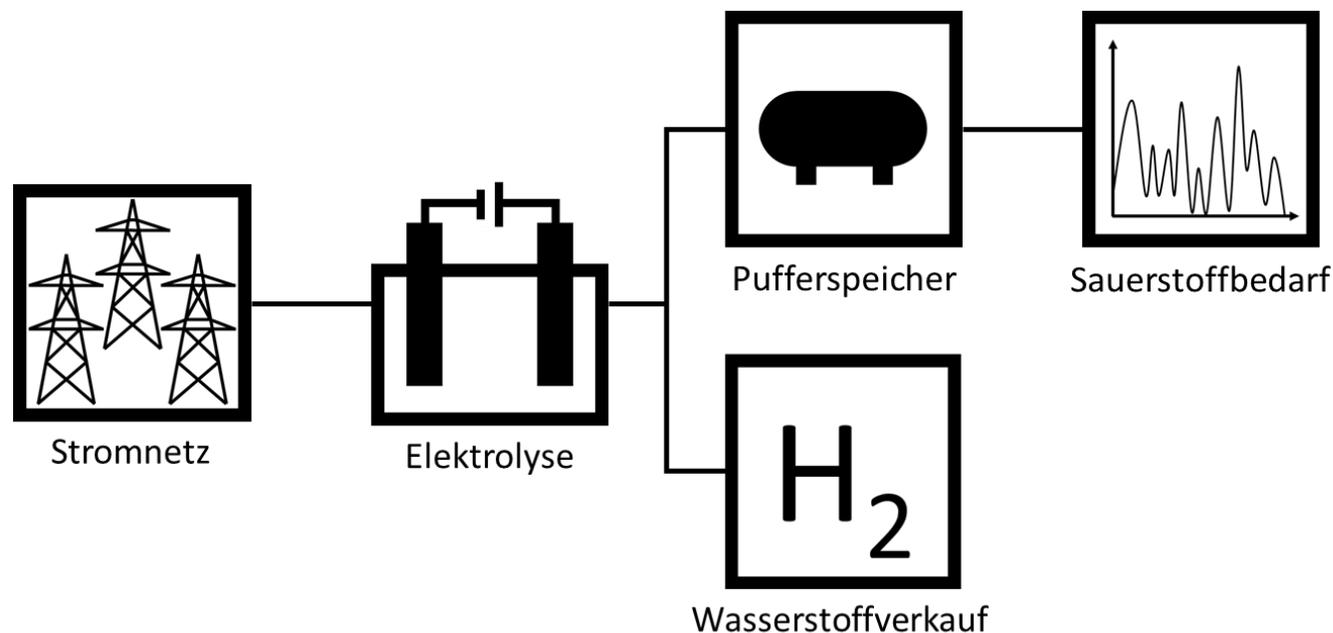
1. Szenario *PSA*

- Sauerstoffproduktion mittels Vacuum Pressure Swing Adsorption
- Deckung Sauerstoffbedarf
- Berücksichtigung volatiler Strompreise
- Ausgleich durch Pufferspeicher



2. Szenario *PEM*

- Sauerstoffproduktion mittels PEM-Elektrolyse
- Deckung Sauerstoffbedarf
- Wasserstoffverkauf
- Berücksichtigung volatiler Strompreise
- Ausgleich durch Pufferspeicher



Design- und Betriebsoptimierung beider Anlagenkonfigurationen (*PSA* und *PEM*):

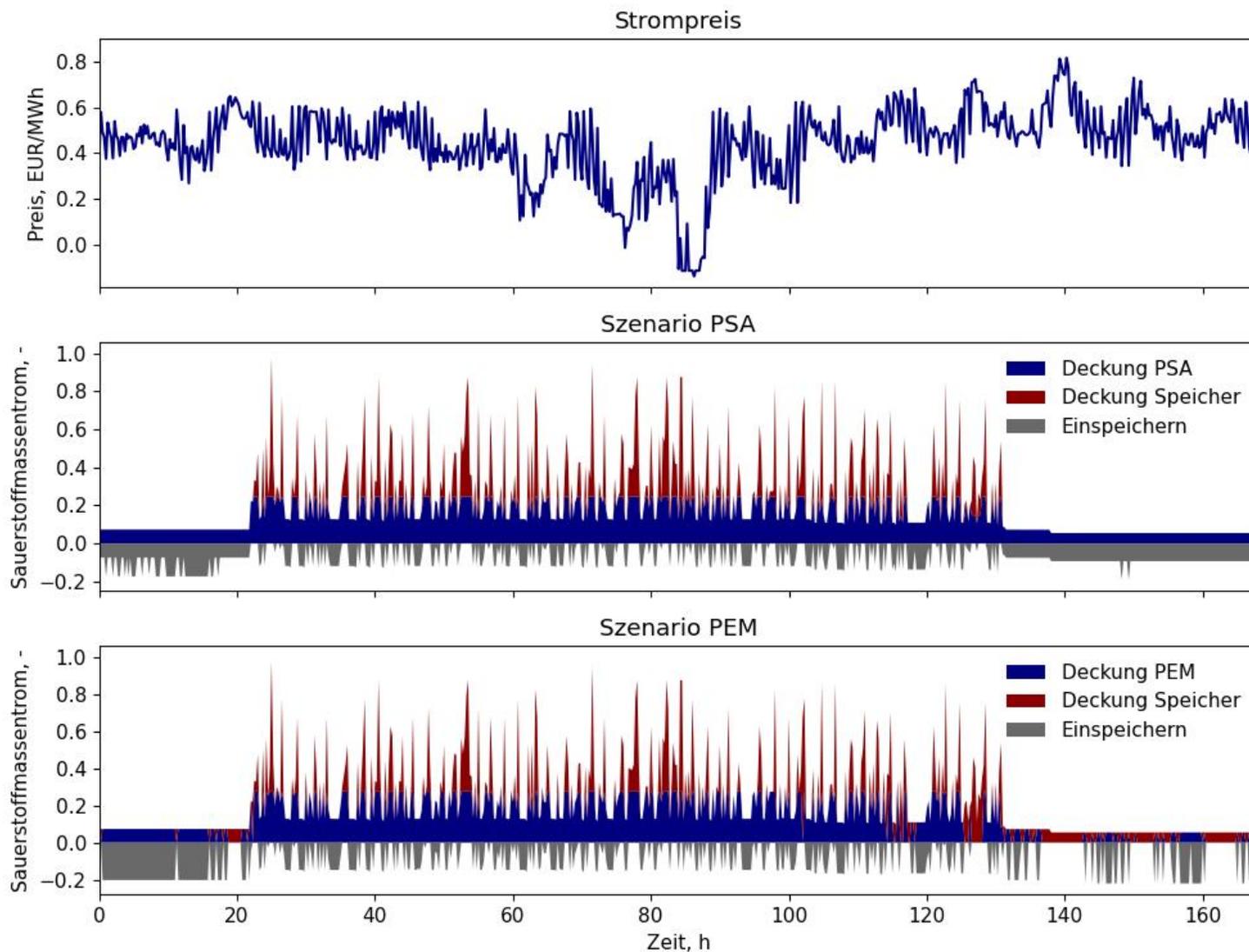
- Optimierungsumgebung *oemof*³ (Open energy modelling framework)
- Modellierung des Sauerstoffversorgungssystems mit der linearen Optimierungsbibliothek *oemof solph*
- Zielfunktion ist die Minimierung der Kosten für die Deckung des vorgegebenen zeitlich aufgelösten Sauerstoffbedarfs
- Inputs:
 - Sauerstofflastprofil des untersuchten Elektrostahlwerkes
 - Strompreiszeitreihe (1/4h-Spotpreise Day-Ahead-Markt⁴)
 - Parametrierung der Umwandlungseinheiten und Speicher (siehe Tabelle)
- Anschließend erfolgt die Berechnung wirtschaftlicher und energietechnischer KPIs zum Vergleich der Szenarien

Parameter	Einheit	PSA	PEM
<i>Umwandlungseinheit</i>			
CAPEX	EUR/kW	3 000	1 500
OPEX	% _{CAPEX}	2	2.75
Nutzungsdauer	a	10	20
Spez. Energiebedarf O2	kWh/kg	0.5*	6.5*
Spez. Energiebedarf H2	kWh/kg	-	51
Leistungsbereich	%	60-100	0-100
<i>Sauerstoffspeicher</i>			
CAPEX Speicher	EUR/kg	35	35
OPEX Speicher	% _{CAPEX}	1	1

³ S. Hilpert, C. Kaldemeyer, U. Krien, S. Günther, C. Wingenbach, G. Plessmann, The Open Energy Modelling Framework (*oemof*) - A new approach to facilitate open science in energy system modelling, Energy Strategy Reviews 22 (2018) 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.07.001>.

⁴ Austrian Power Grid AG, EXAA day-ahead prices 2020. <https://www.apg.at/de/markt/Markttransparenz/Uebertragung/EXAA-Spotmarkt> (accessed 21st December, 2021).

Flexibilität Ergebnisse



Kennzahl	Einheit	Lieferung	VPSA	PEMEL
Anlagenleistung	kW	-	570	8 210
Volllaststunden	h	-	7 334	6 580
Wasserstoffproduktion	GWh/a	-	-	35
Wasserstoffpreis	EUR/MWh	-	-	64
Sauerstoffkosten	EUR/t	118	67	116
CO ₂ -Emissionsreduktion	t/a	-	-	7 760

Zusammenfassung

- Zur optimalen Integration neuer Prozesse in bestehende Stahlwerke ist die ganzheitliche und zeitlich aufgelöste Analyse des betrachteten Energiesystems notwendig.
- Dekarbonisierungsmaßnahmen wie die Umstellung auf Oxyfuel-Verbrennung und die CO₂-Rückgewinnung und -Nutzung sind nicht nur energie- und ressourceneffizient, sondern auch wirtschaftlich.
- Amortisationszeiten betragen etwa 4 bis 15 Jahre und sind stark von Energie- und Emissionspreisen abhängig.
- Ein wirtschaftlicher Betrieb der Elektrolyse ist aufgrund der Sauerstoffnutzung schon bei moderaten Wasserstoffpreisen möglich.
- Eine strompreisorientierte Fahrweise der VPSA und der Elektrolyse wird durch die hohen spezifischen Anlagenkosten gehemmt.
- Als Folge der Kostendegression für Elektrolyseanlagen sowie zunehmender Strompreisfluktuationen aufgrund des Ausbaus erneuerbarer Erzeugungskapazitäten besteht zukünftig hohes Potential.



Vielen Dank für Ihr Interesse!

© Stefan Nadrag, Breitenfeld Edelstahl AG