

# Wie könnte eine optimierte Betriebsstrategie für systemdienliche Elektrolyse aussehen?

Modellierung und Simulation von Betriebsstrategien eines PEM-Elektrolyseurs

Moritz End (M.Sc.)

Einleitung und Methodik

Grundlager der Modellierung eines PEM-Elektrolyseurs

Simulation von Betriebsstrategien

Vergleich der Ergebnisse

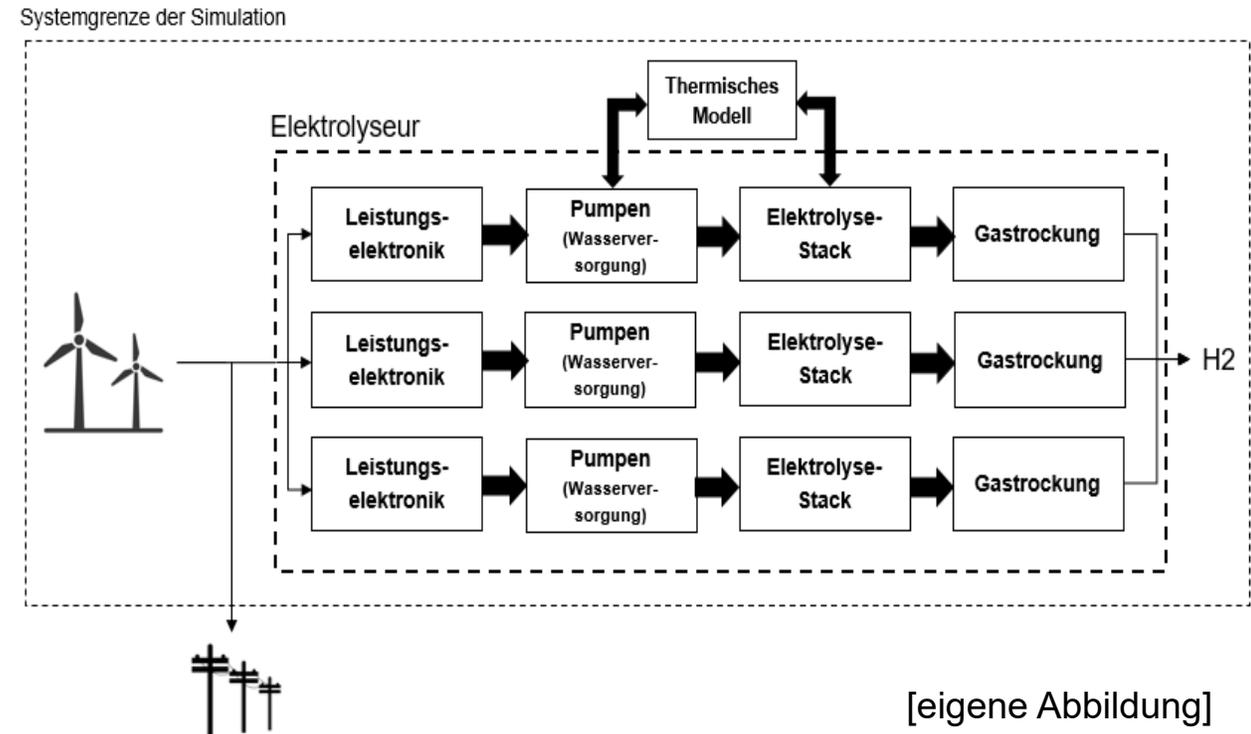
Diskussion und Fazit

# Kontext

- Nach der deutschen Nationalen Wasserstoffstrategie 2023 soll die Elektrolyse systemdienlich und gleichzeitig wirtschaftlich sein [1]
- Systemdienlichkeit kann nach [2] definiert werden, als...  
**darüber** **„Anlagen, die sich system- bzw. sektorübergreifend netzdienlich verhalten und hinaus Marktakteure einbeziehen“**

# Ziel und Methodik

- In dieser Arbeit wird ein PEM-Elektrolyseur modelliert und verschiedene Betriebsweisen simuliert
  - Das Modell ist modular aufgebaut
  - Betrachtet werden Stromerzeugung aus Wind und der Elektrolyseur
  - Simuliert wird mit Python
- Ziel ist eine Betriebsweise zu finden, die Wirtschaftlichkeit und Systemdienlichkeit kombiniert



Einleitung und Methodik

Grundlager der Modellierung eines PEM-Elektrolyseurs

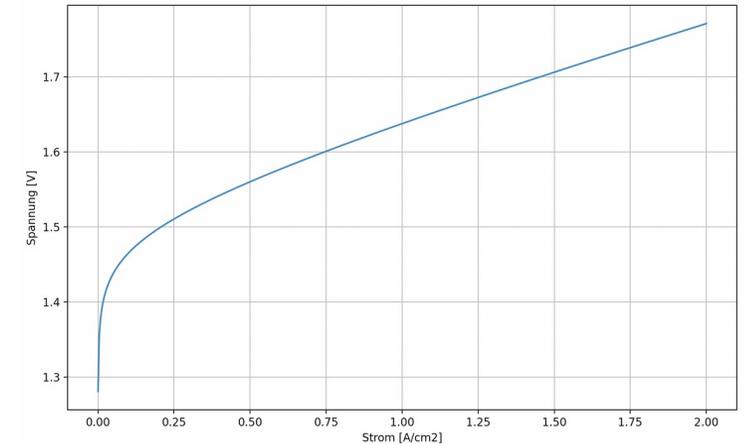
Simulation von Betriebsstrategien

Vergleich der Ergebnisse

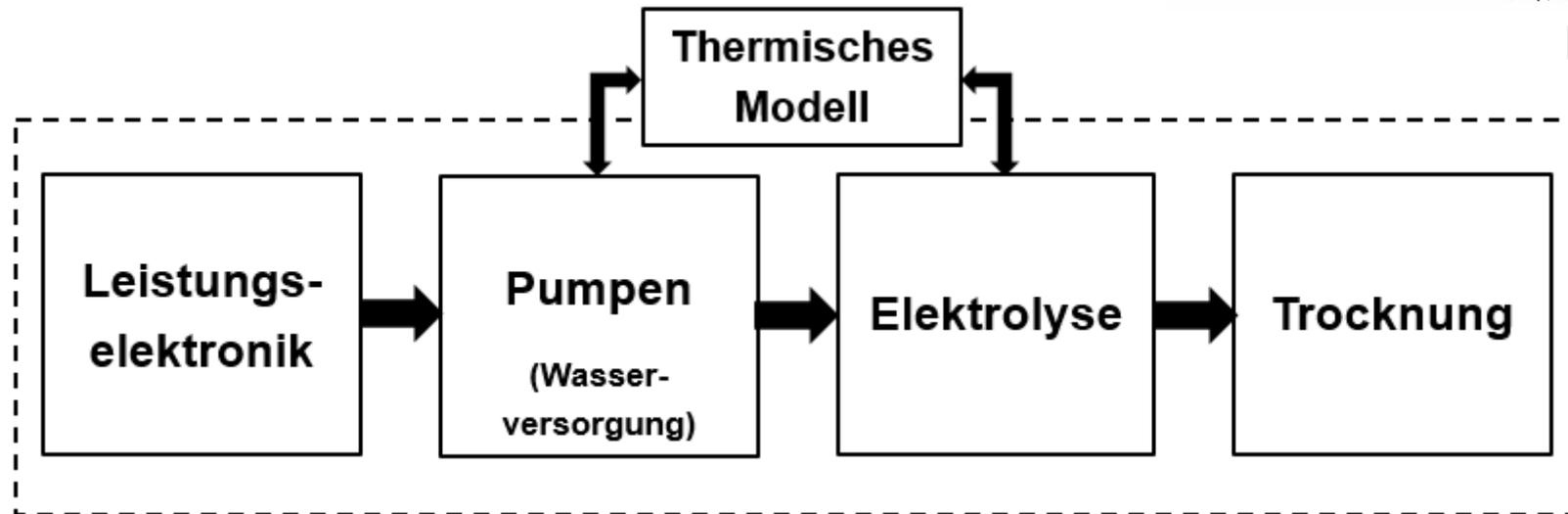
Diskussion und Fazit

# Grundlagen der Modellierung eines PEM-Elektrolyseurs

- Es wird ein literaturbasiertes Modell eines PEM-Elektrolyseurs erstellt
  - Kern der Modellierung ist die Berechnung der Zell-Spannung
  - Daraus ergibt sich die Polarisationskurve
  - Daneben wird der Leistungsbedarf weiterer Komponenten berechnet



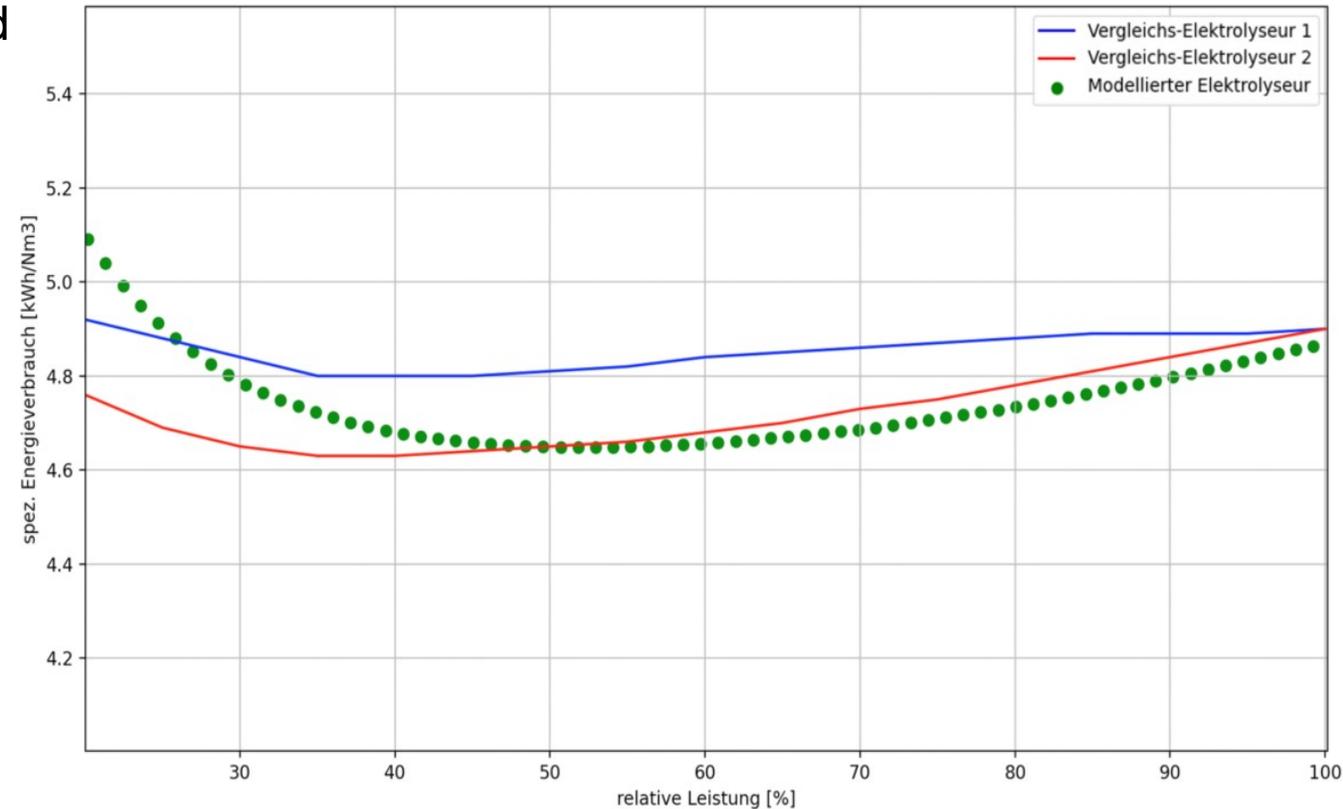
[eigene Abbildung]



[eigene Abbildung, nach [3]]

# Resultierende Wirkungsgradkurve aus der Modellierung

- Simuliert wurde ein Stack mit 500 kW und entsprechender Peripherie
- Ergebnis ist die Wirkungsgradkurve in Form des spez. Energieverbrauchs [kWh/m<sup>3</sup>] über den Lastverlauf des Elektrolyseurs
- Validiert wird die Modellierung mit Messdaten von zwei kommerziellen Elektrolyseur-Herstellern



[eigene Abbildung]

Einleitung und Methodik

Grundlager der Modellierung eines PEM-Elektrolyseurs

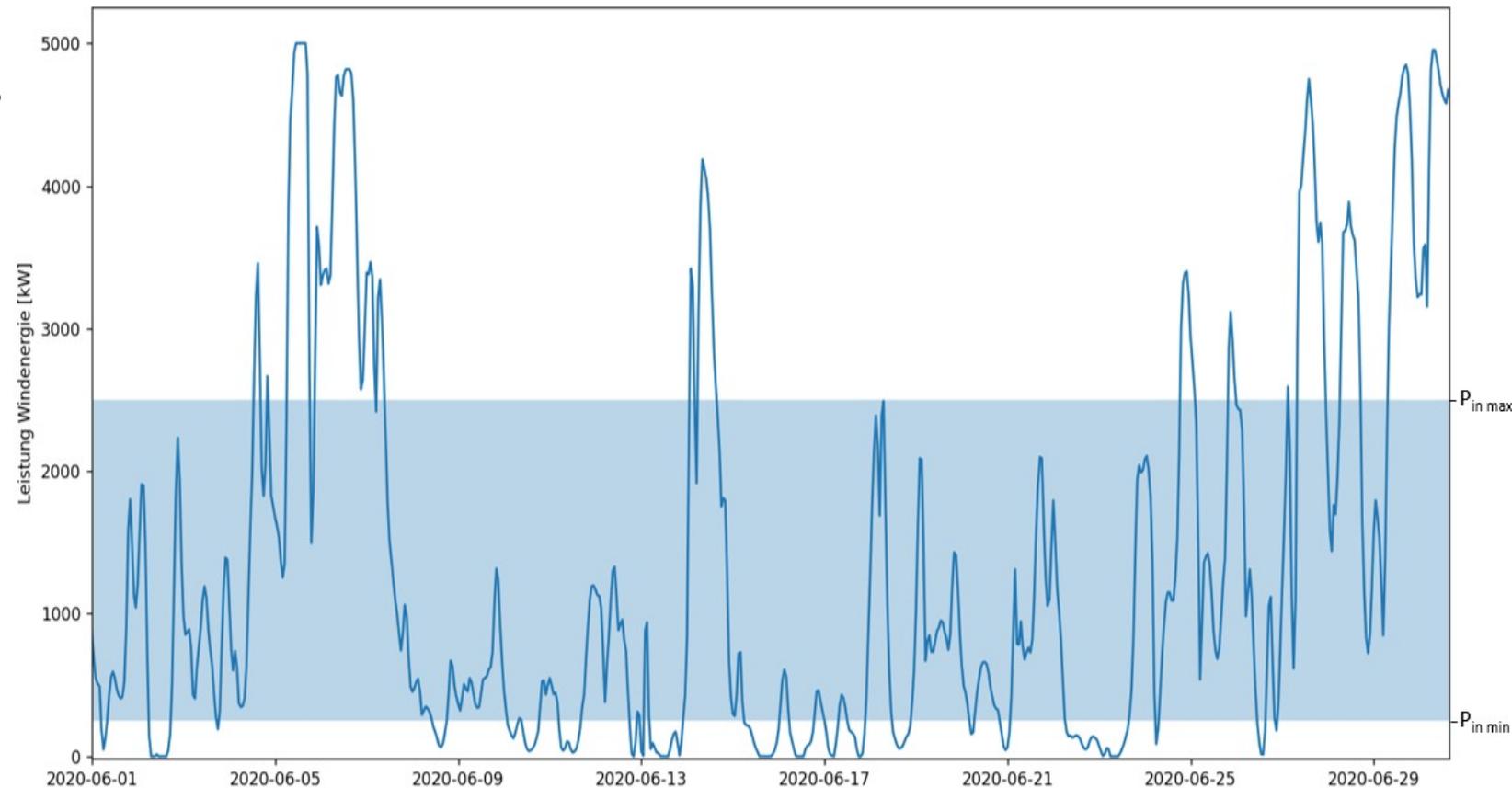
Simulation von Betriebsstrategien

Vergleich der Ergebnisse

Diskussion und Fazit

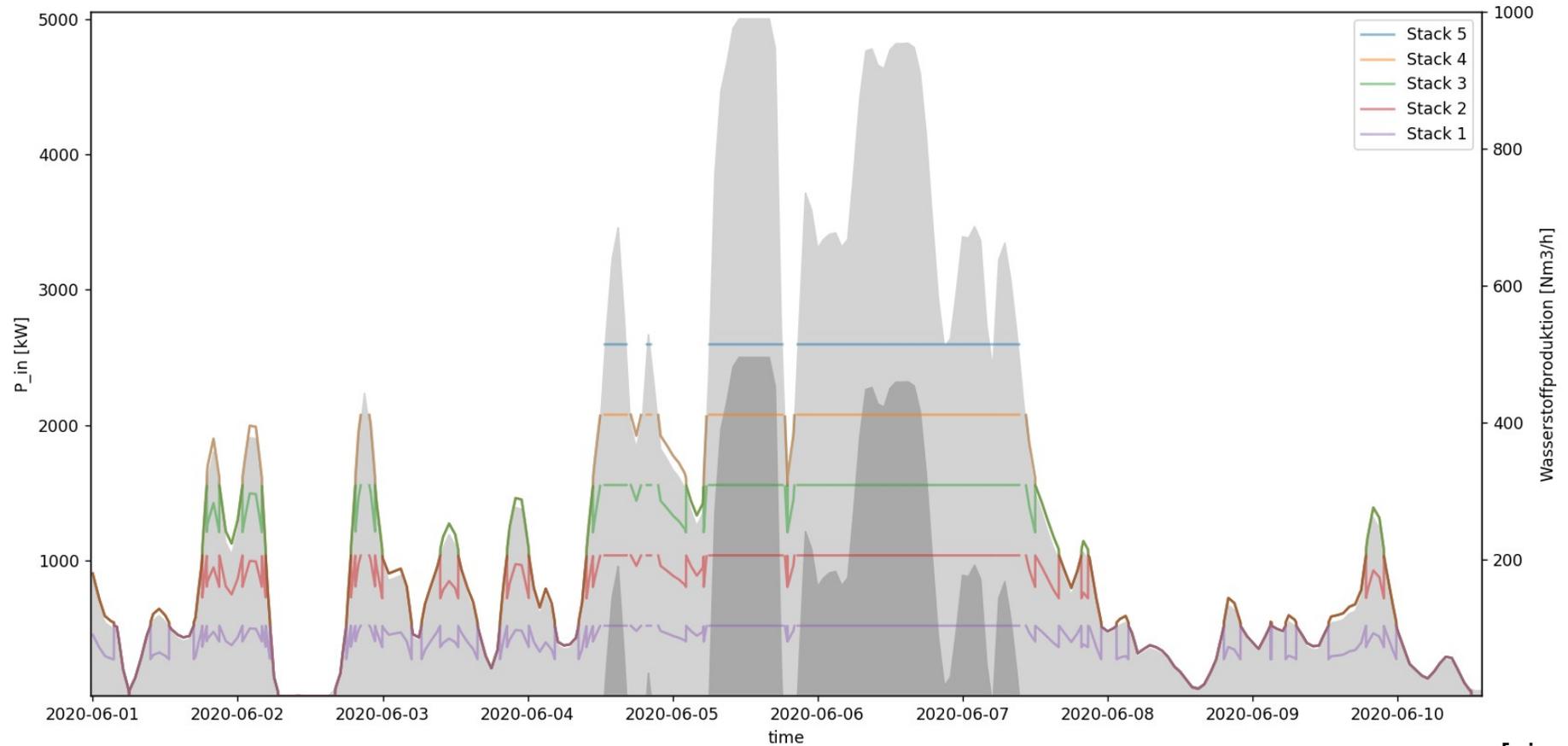
# Betriebsbereich des Elektrolyseurs

- Betriebsbereich des Elektrolyseurs zwischen  $P_{\text{minimum}}$  und  $P_{\text{maximum}}$ 
  - $P_{\text{maximum}}$  = elektr. Nennlast
  - $P_{\text{minimum}} = 0,1 * P_{\text{maximum}}$
- Alle Lastpunkte über  $P_{\text{maximum}}$  und unter  $P_{\text{minimum}}$  können nicht zur Wasserstoffproduktion verwendet werden



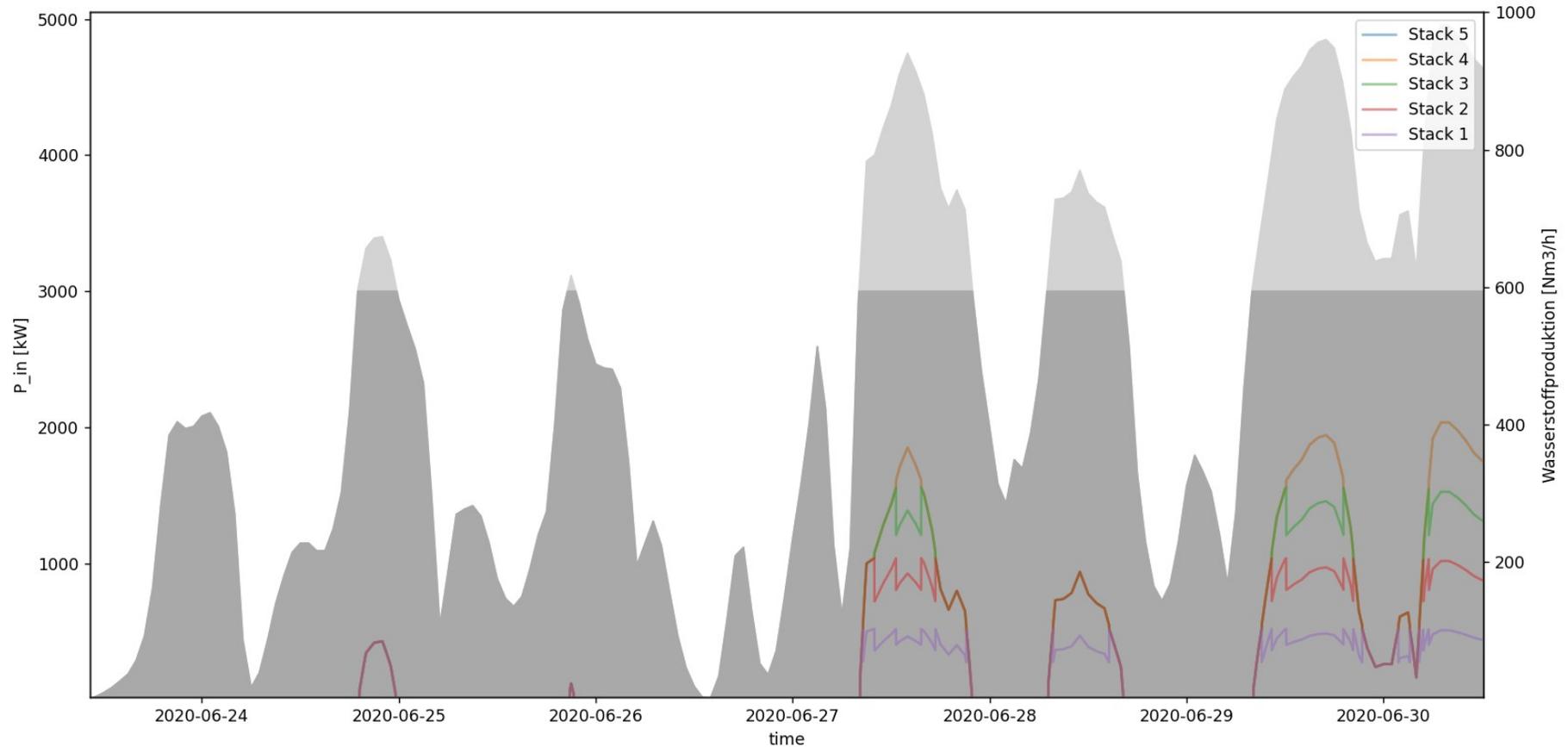
[eigene Abbildung]

# Betriebsstrategie nach Stromprofil



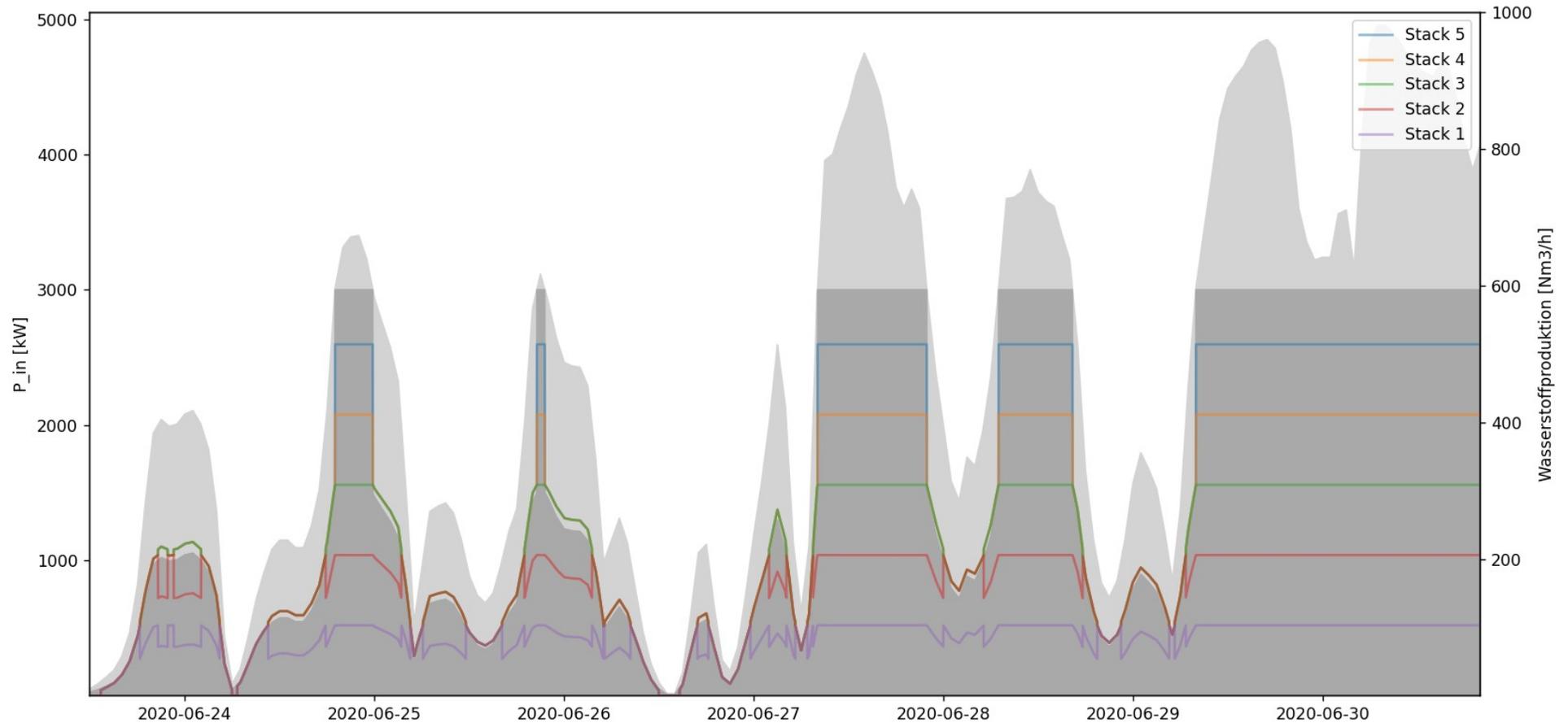
[eigene Abbildung]

# Betriebsstrategie durch Stromerzeugungsspitzen



[eigene Abbildung]

# Optimierte netzdienliche Betriebsstrategie



[eigene Abbildung]

Einleitung und Methodik

Grundlager der Modellierung eines PEM-Elektrolyseurs

Simulation von Betriebsstrategien

Vergleich der Ergebnisse

Diskussion und Fazit

# Simulationsergebnisse

<b>Betriebsstrategie</b>	<b>Wasserstoffproduktion [Nm<sup>3</sup>/a]</b>	<b>Volllaststunden [h/a]</b>
<b>Betriebsstrategie nach Stromprofil</b>	2.482.000	5.331
<b>Betriebsstrategie durch Stromerzeugungsspitzen</b>	570.000	1.558
<b>Optimierte netzdienliche Betriebsstrategie</b>	2.164.000	4.183

## Rahmenbedingungen:

<b>Nennleistung Windenergie</b>	5 MW
<b>Nennleistung Elektrolyseur</b>	2,5 MW
<b>Anzahl der Stacks</b>	5

# Inhalt

Einleitung und Methodik

Grundlager der Modellierung eines PEM-Elektrolyseurs

Simulation von Betriebsstrategien

Vergleich der Ergebnisse

Diskussion und Fazit

# Diskussion und Ausblick

- Optimierte Betriebsstrategie ermöglicht Kombination aus hoher Anzahl an Volllaststunden und Erzeugungsspitzenkappung
  - Könnte eine Möglichkeit sein, Wirtschaftlichkeit und Systemdienlichkeit zu kombinieren
- Der Begriff Systemdienlichkeit ist diskutierbar
  - Hier ist er definiert, dass Erzeugungsspitzen von Windenergie gekappt werden, um das Stromnetz nicht zu belasten
  - Systemdienlichkeit kann auch die Bereitstellung von Regelenergie bedeuten
  - Sektoren-übergreifend wurde hier nicht betrachtet
- Hier wurde ein einfaches Energiesystem modelliert
  - In wie weit die Betriebsstrategie systemdienlich ist, wird Teil der weiteren Forschungsarbeit

# Fazit

- Diese Arbeit zeigt eine Python-basierte Modellierung eines ganzheitlichen PEM-Elektrolyseurs mit simulierten energieintensiven Komponenten
- Simulation von drei verschiedenen Betriebsstrategien:
  - Betriebsweise nach Stromprofil
  - Betriebsweise durch Erzeugungsspitzen
  - Optimierte netzdienliche Betriebsweise
- Mit über 4000 Volllaststunden und ca. 2 Mio. Nm<sup>3</sup>/a Wasserstoff, zeigt die 3. Betriebsstrategie eine gute Kombination aus Erzeugungsspitzenkappung und Wirtschaftlichkeit
- Das simulierte Modell ist beliebig erweiterbar
  - So können komplexere Simulationen folgen, um die Systemdienlichkeit zu überprüfen

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

**Moritz End**, M.Sc.

*Wissenschaftlicher Mitarbeiter*

## **Technische Hochschule Köln**

Cologne Institute for Renewable Energy (CIRE)

Betzdorfer Str. 2

50679 Köln

E-Mail: [moritz.end@th-koeln.de](mailto:moritz.end@th-koeln.de)

Phone: [0049 221 8275-4951](tel:004922182754951)

[www.th-koeln.de](http://www.th-koeln.de)

# Referenzen

- 1 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Ed., "Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie: NWS 2023," Berlin, Jul. 2023. Accessed: Nov. 30 2023. [Online]. Available: [https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2023/230726-fortschreibung-nws.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2023/230726-fortschreibung-nws.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- 2 Appel, A., et. al, VDE Impulspapier, Dez. 2022, Accessed: 30.01.2024. [Online]. Available: <https://www.vde.com/resource/blob/2226594/279eeea65a48407ecbd2227be6f190e9/netzdienliche-integration-von-elektrolyseuren-data.pdf>
- 3 G. H. Tjarks, PEM-electrolysis-systems for the integration in power-to-gas applications: RWTH Aachen University, 2017.