

M.Sc. Krishnakumar Rana
Professur für Energieverfahrenstechnik
TU Dresden

Entwicklung eines Referenzkraftwerkes in der Lausitz als Leitkonzept für die Transformation der Kohle- Energiewirtschaft

19. ENERGIZING EUROPE
Graz, den 13.02.2026

Motivation

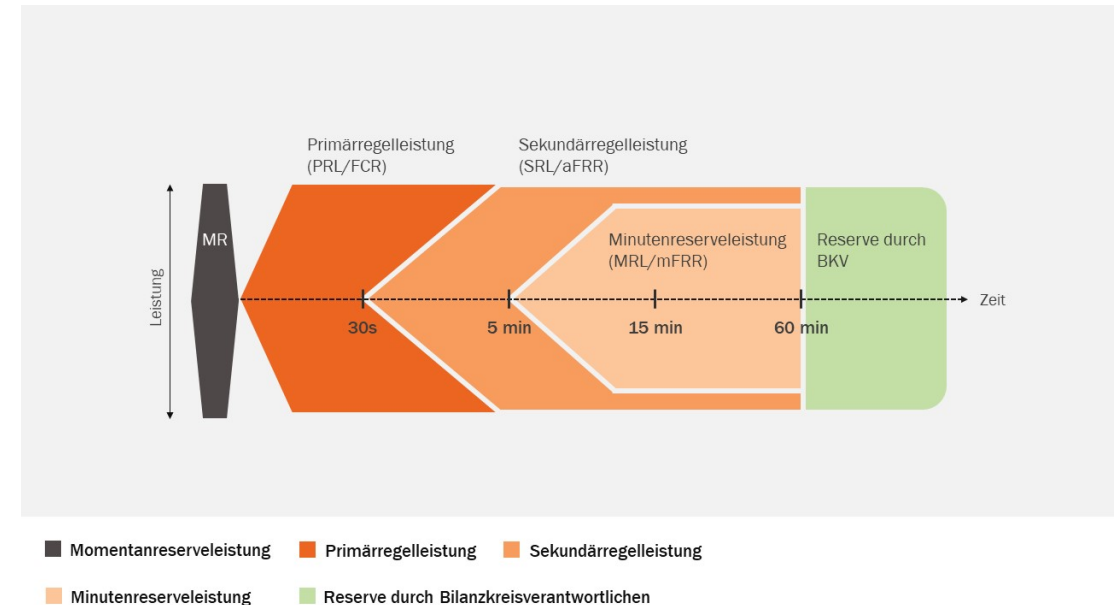
Motivation: Fluktuierende Erneuerbare Energien, Kohleausstieg, Ende fossile Energiebereitstellung

- Zunehmender Anteil von Wind- und PV-Strom
- Stark fluktuierende Einspeisung
- Stromnetz kann Erneuerbaren Energie-Strom nicht jederzeit vollständig aufnehmen
- Abregelung von EE- und konventionellen Erzeugern
- Geplantes Ende kohlebasierte Energiebereitstellung in Deutschland spätestens in 2038 (?)
- Frage: Netzstabilisierung ohne „rotierende Massen“ = Synchronmaschinen ?
- Geplantes Ende fossile Energiebereitstellung in Deutschland bis 2045 (?)

- 2 Fragen: Bereitstellung von Regelenergie, speziell Momentanreserve?
 Speicherung EE in elektrochem. bzw. chem. Speichern – Stichwort Dunkelflaute?

Wegfall rotierender Masse

- Wegfall rotierender Massen (Synchrongeneratoren) in fossil gefeuerten Kraftwerken
- Abnahme der Momentanreservebereitstellungskapazitäten, dadurch steigende Gefahr von Frequenzabweichungen
- Rückgang der Regelenergiekapazitäten
- Zusätzliche Anforderungen an:
 - Primärregelung
 - Sekundärregelung
 - Minutenreserve



Frequenzschwankungen im Netz

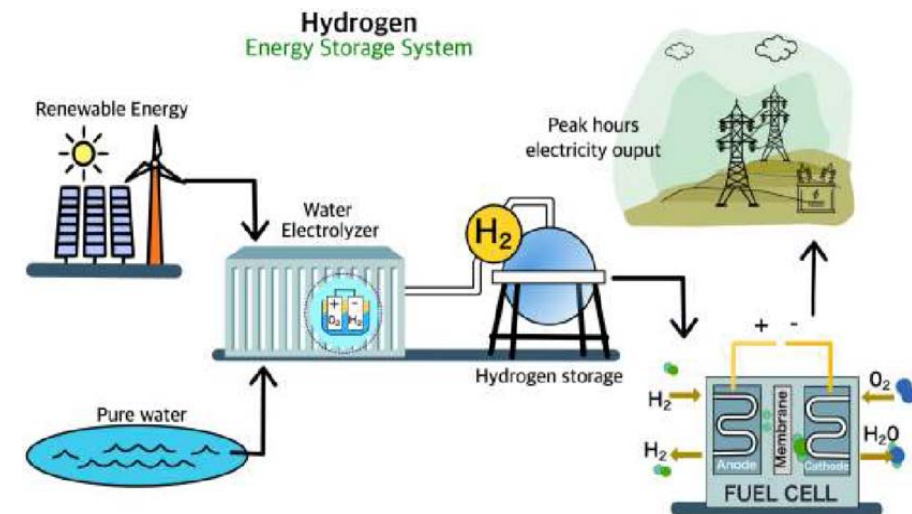
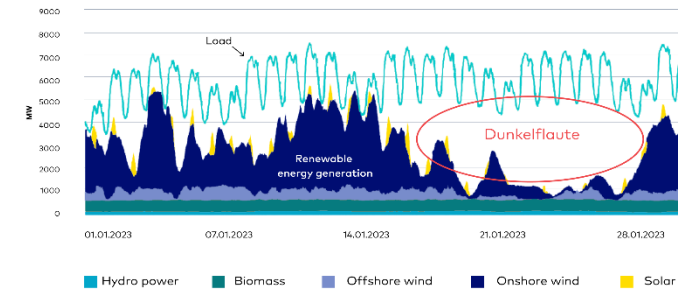
Versorgungssicherheit: Dunkelflaute

- Langanhaltende Phasen mit kaum EE, Schwachwindphasen bei gleichzeitig bedecktem Himmel
- Fehlende gesicherte Leistung
- Begrenzte Kapazität rein elektro-chemischer Speicher
- Bedarf an langfristigen Speicher- und Rückverstromungslösungen mit hoher Kapazität

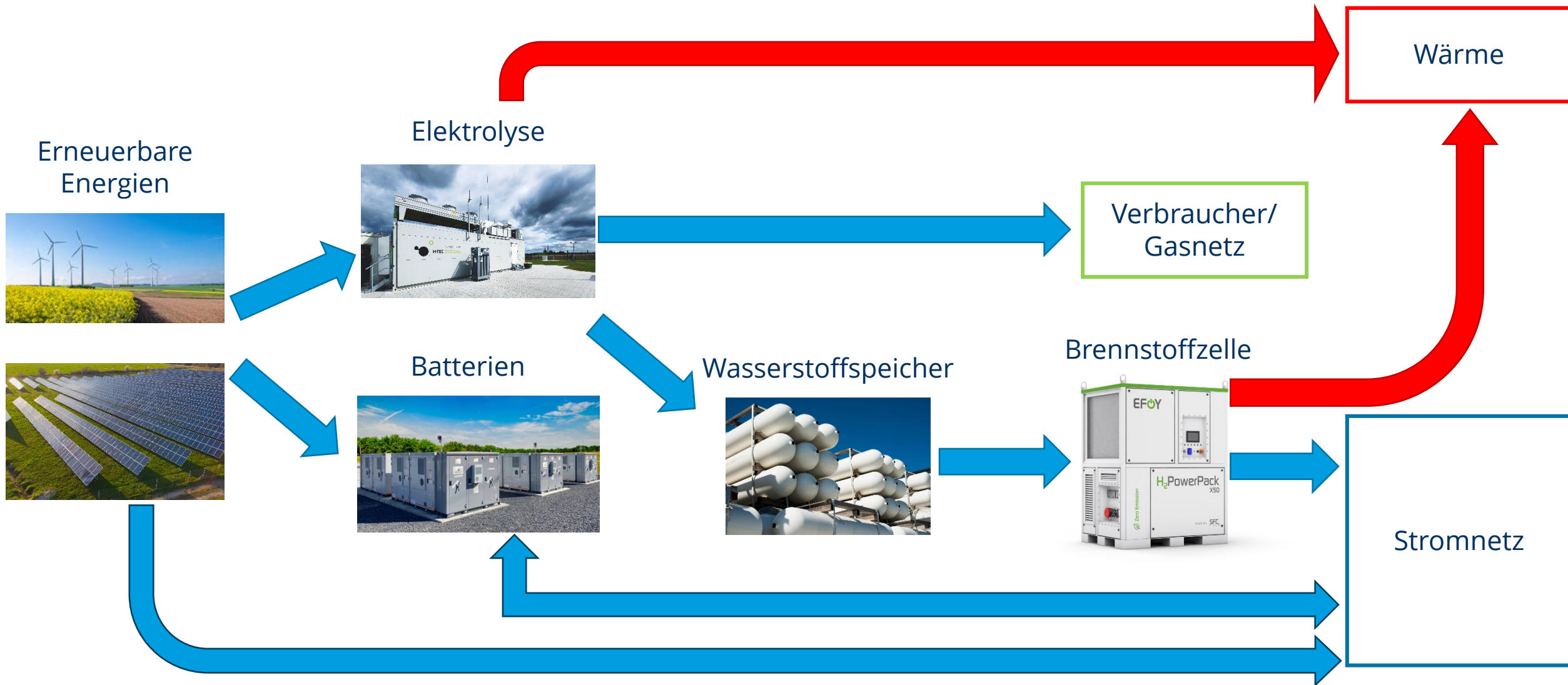
→ Schlussfolgerung: Kombination elektrochemische und chemische Speicher in einem System:

→ RefLau

Dunkelflaute in Germany in January 2023



RefLau: Zielsetzung



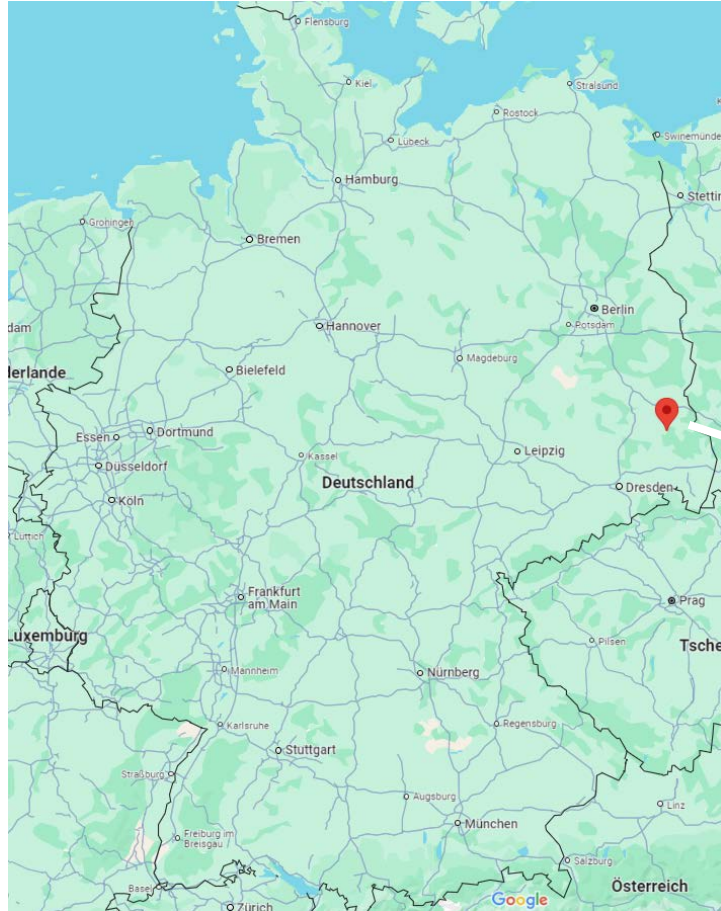
1. Vorstellung RefLau

Hauptkomponenten:

- EE-Stromerzeugung:
 - Windenergieanlagen 80 MW_{el}
 - PV 20 MW_{el}
- Elektrolyse 2,5 MW_{el}
- Wasserstoffverdichter
- Trailerabfüllung
- Batterie 0,5 MWh_{el}
- Brennstoffzelle 0,5 MW_{el}



1. Vorstellung RefLau - Lage



Modellierung

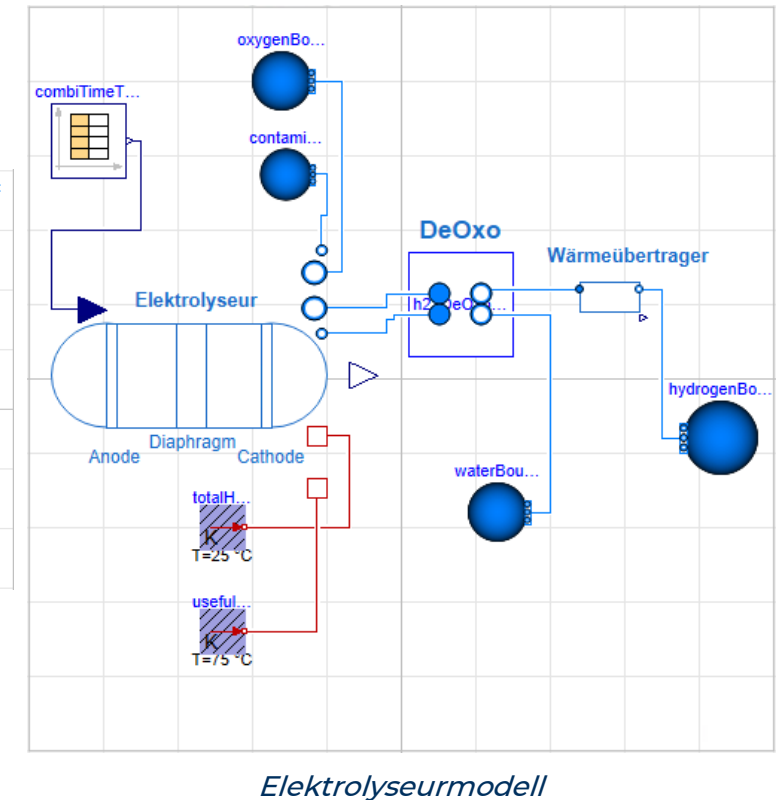
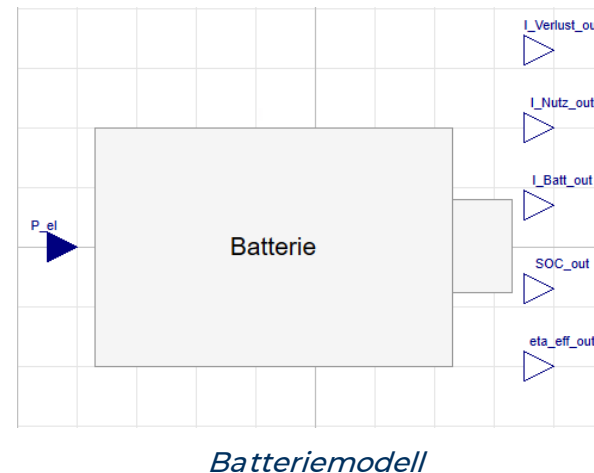
Was wird gebaut – was wird simuliert?

Versuchsanlage

- Validierung des realen Anlagenbetriebs
- Erfassung dynamischer Betriebsdaten
- Analyse einzelner Komponenten im Realbetrieb
- Referenz für Modellabgleich

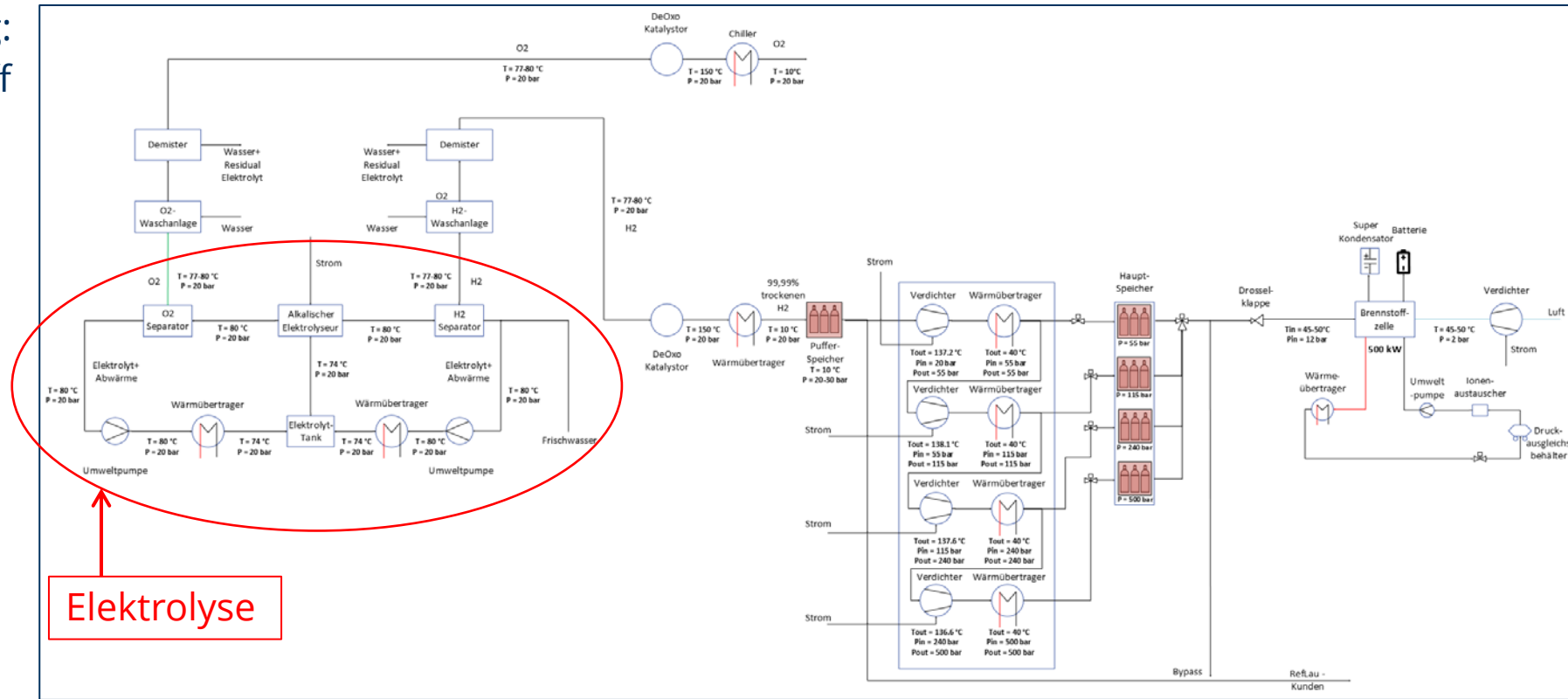
Digitaler Zwilling

- Entwicklung und Bewertung von Betriebsstrategien
- Szenarienanalyse (Last, Erzeugung, Dunkelflaute)
- Skalierungs- und Auslegungsstudien
- Untersuchung von Extrem- und Zukunftsszenarien



Methodik: Nachbildung der Prozesskette

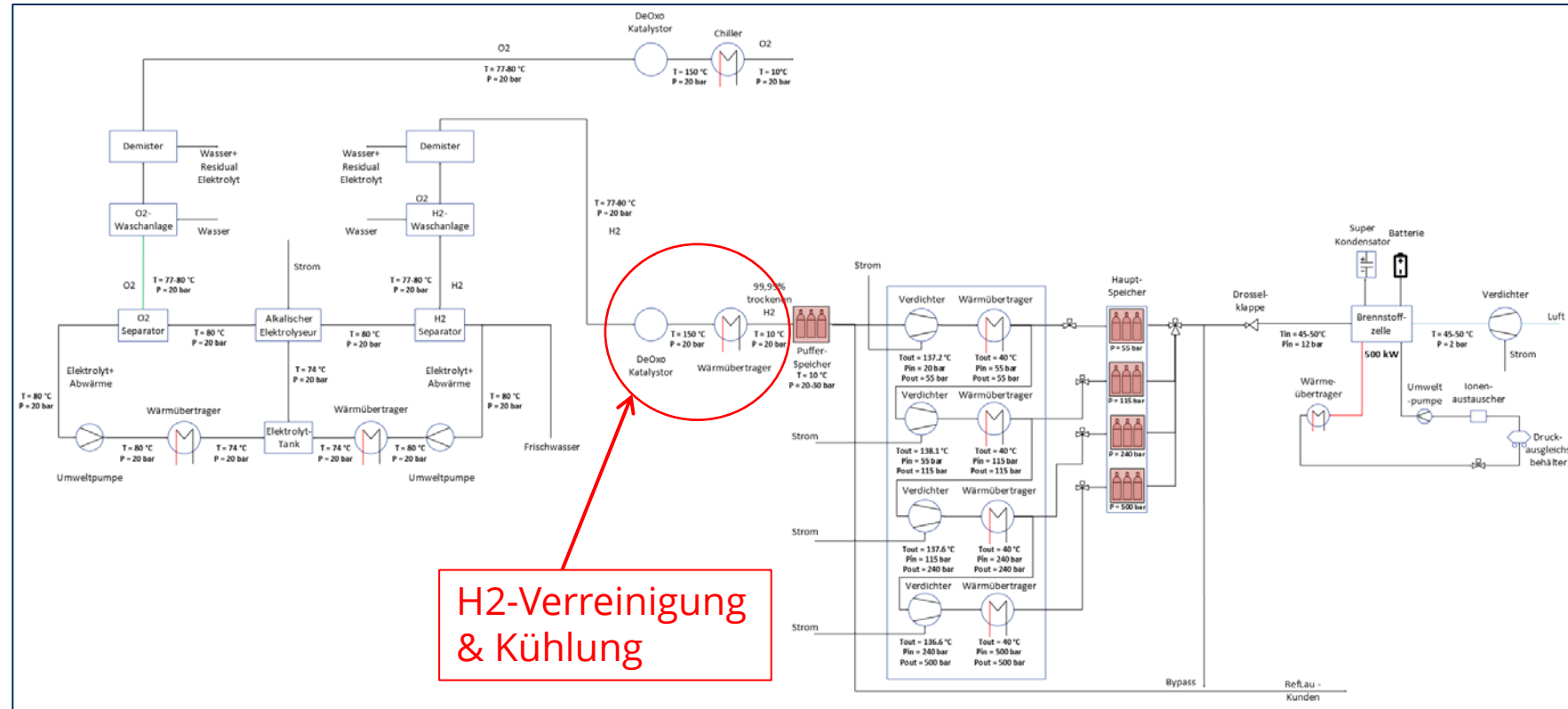
- Durchgängige Abbildung:
 - Strom → Wasserstoff + Wärme → Strom + Wärme
- Kopplung elektrischer, thermischer, und stofflicher Prozesse
- Digitaler Zwilling als virtuelles Abbild der Anlage



Prozesskette

Methodik: Nachbildung der Prozesskette

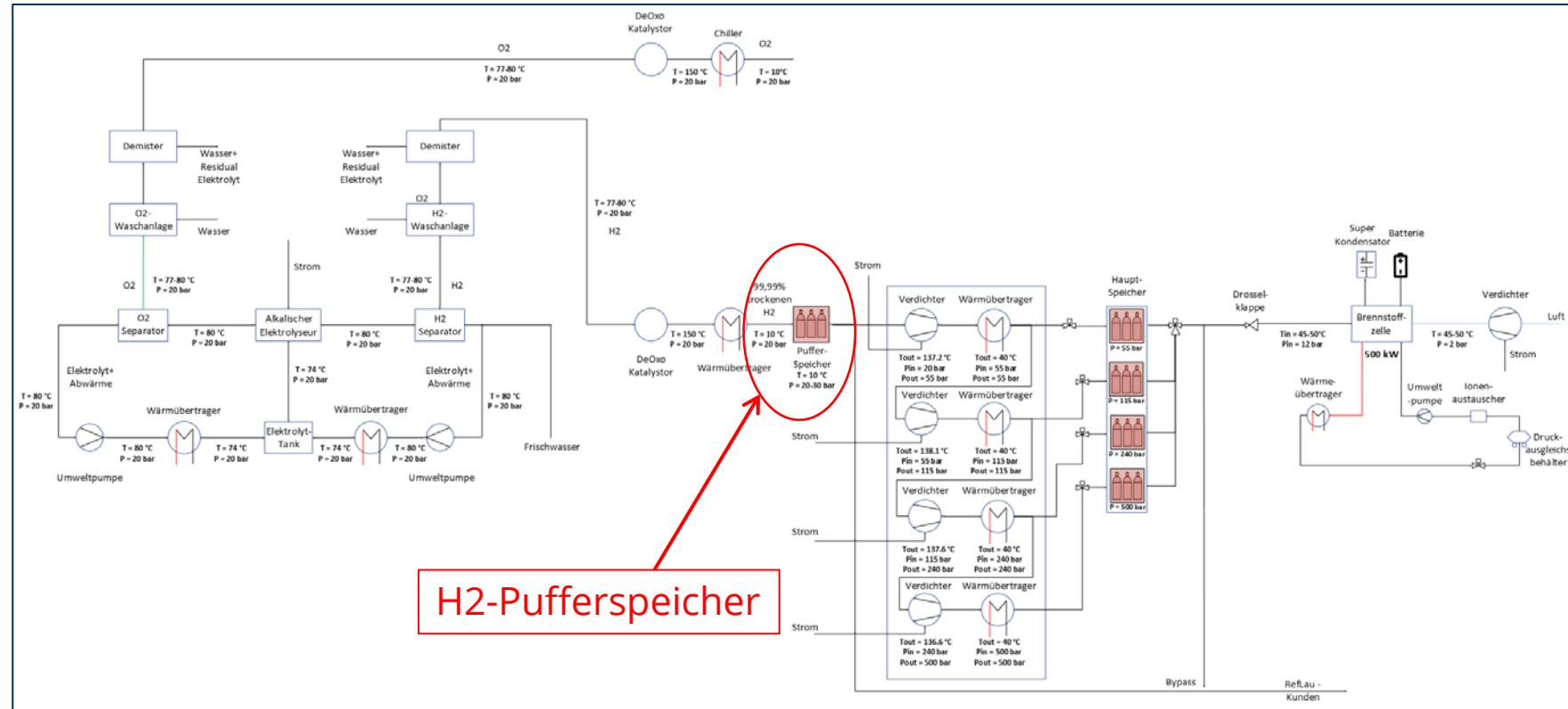
- Durchgängige Abbildung:
 - Strom → Wasserstoff + Wärme → Strom + Wärme
- Kopplung elektrischer, thermischer, und stofflicher Prozesse
- Digitaler Zwilling als virtuelles Abbild der Anlage



Prozesskette

Methodik: Nachbildung der Prozesskette

- Durchgängige Abbildung:
 - Strom → Wasserstoff + Wärme → Strom + Wärme
- Kopplung elektrischer, thermischer, und stofflicher Prozesse
- Digitaler Zwilling als virtuelles Abbild der Anlage

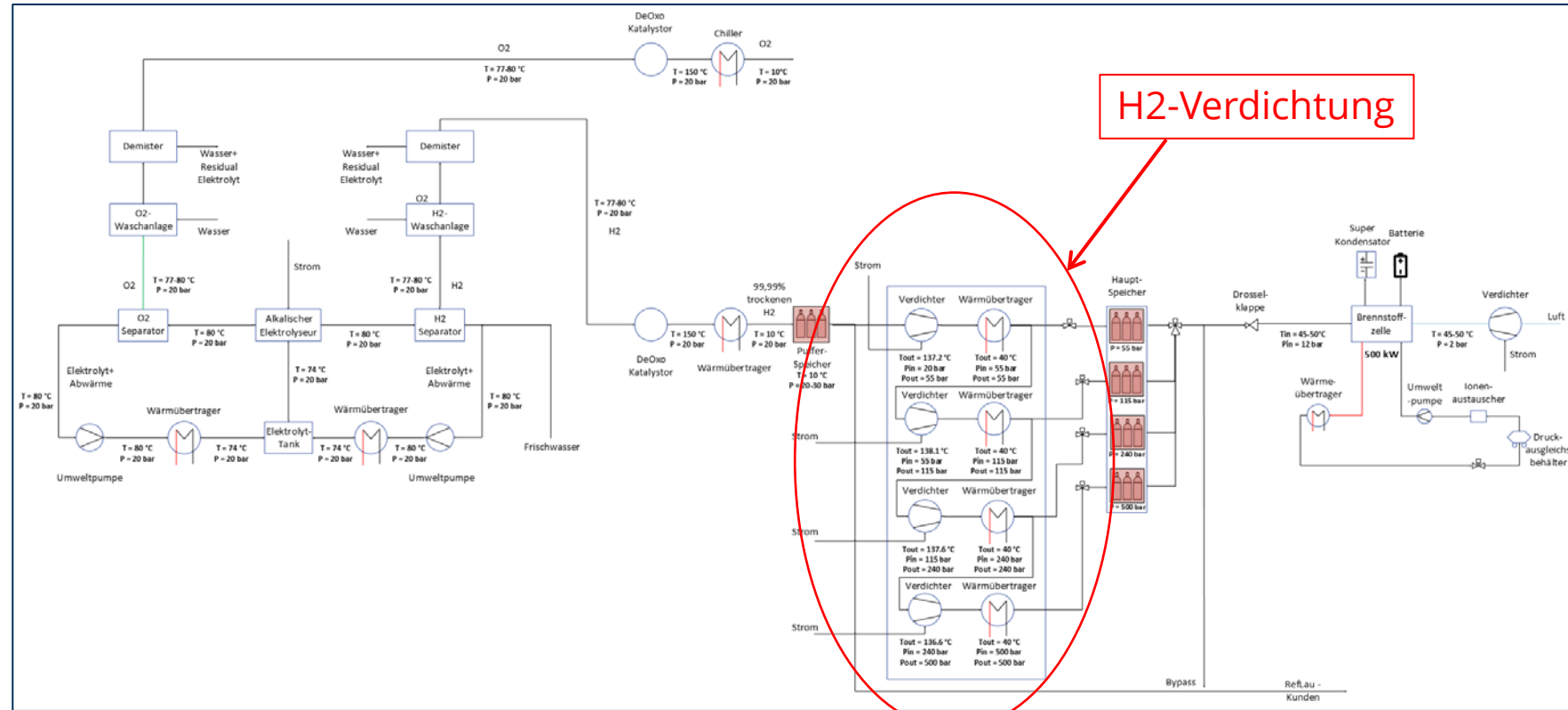


H2-Pufferspeicher

Prozesskette

Methodik: Nachbildung der Prozesskette

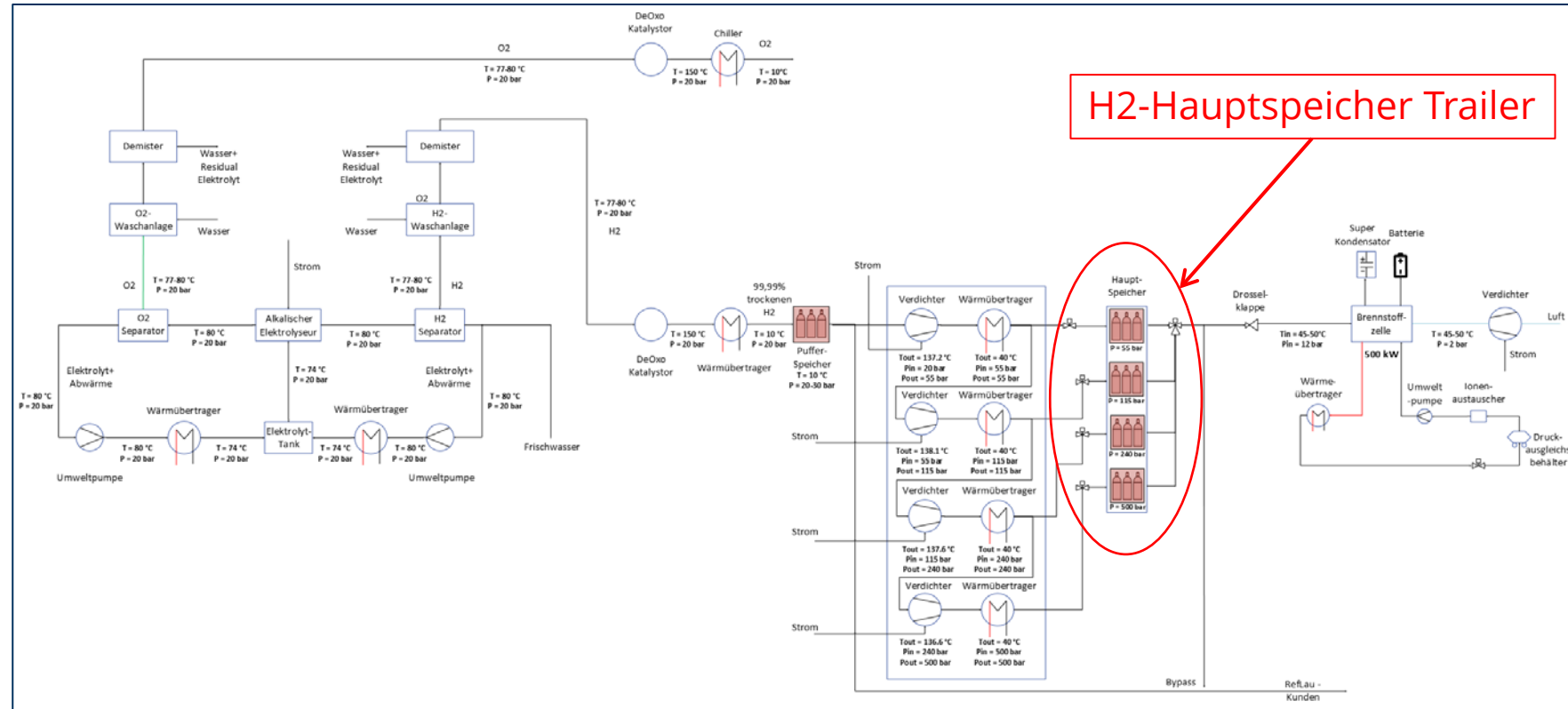
- Durchgängige Abbildung:
 - Strom → Wasserstoff + Wärme → Strom + Wärme
- Kopplung elektrischer, thermischer, und stofflicher Prozesse
- Digitaler Zwilling als virtuelles Abbild der Anlage



Prozesskette

Methodik: Nachbildung der Prozesskette

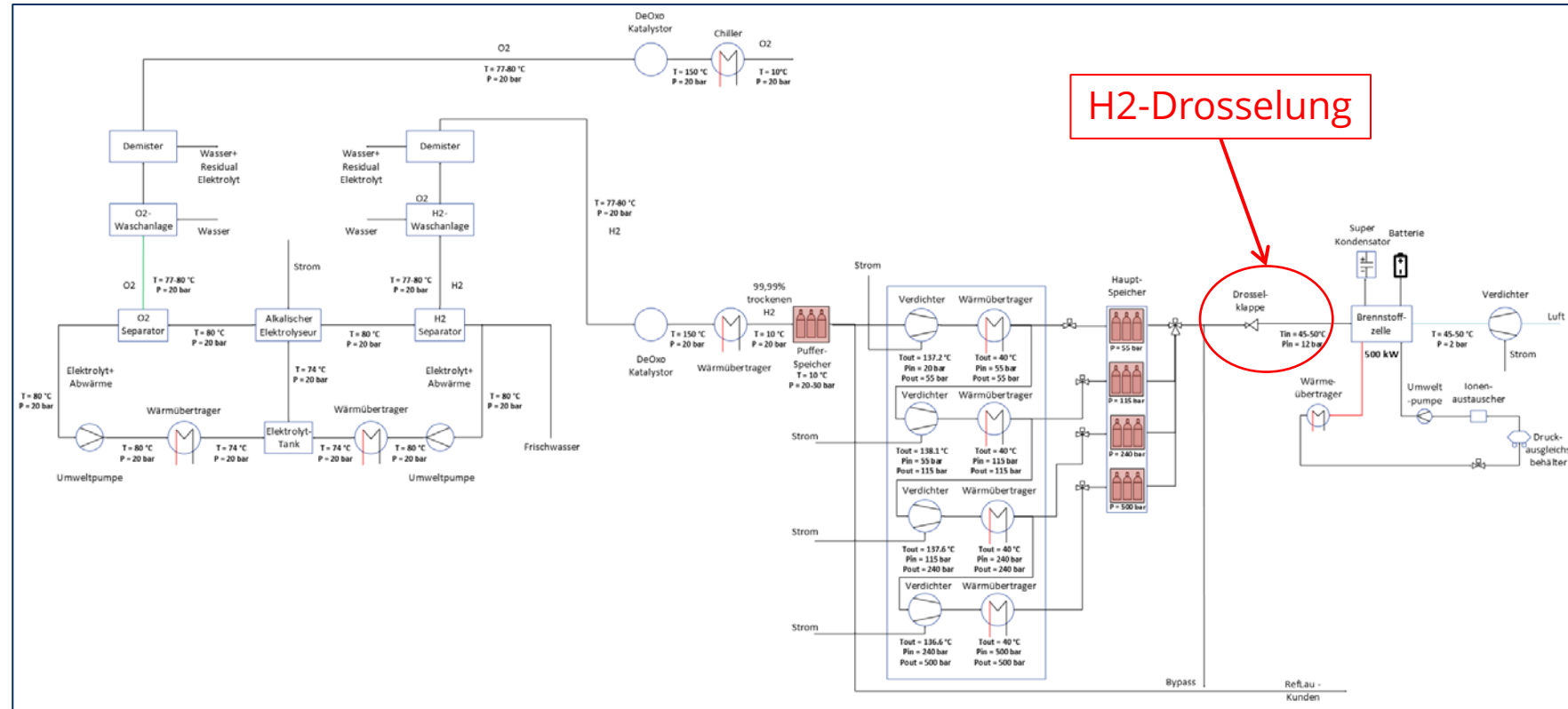
- Durchgängige Abbildung:
 - Strom → Wasserstoff + Wärme → Strom + Wärme
- Kopplung elektrischer, thermischer, und stofflicher Prozesse
- Digitaler Zwilling als virtuelles Abbild der Anlage



Prozesskette

Methodik: Nachbildung der Prozesskette

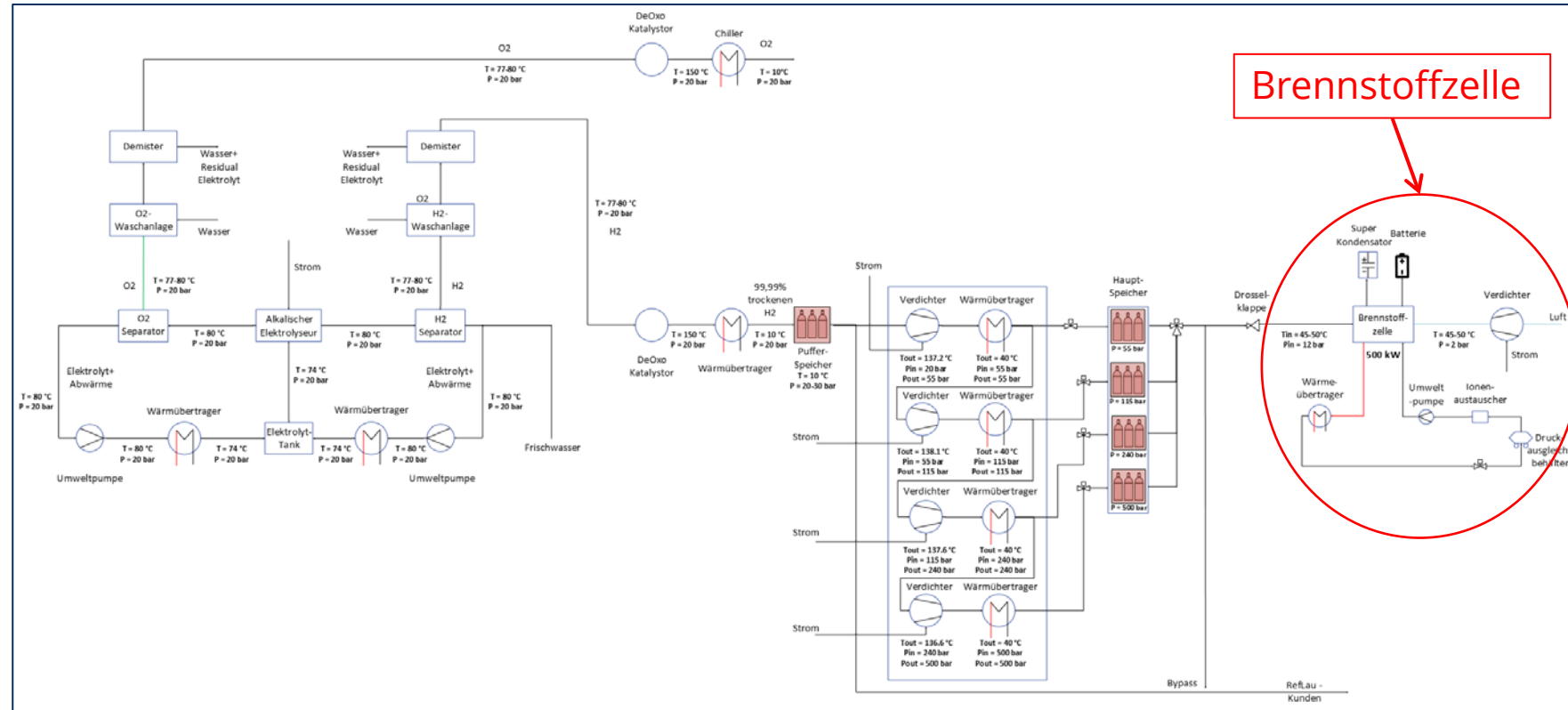
- Durchgängige Abbildung:
 - Strom → Wasserstoff + Wärme → Strom + Wärme
- Kopplung elektrischer, thermischer, und stofflicher Prozesse
- Digitaler Zwilling als virtuelles Abbild der Anlage



Prozesskette

Methodik: Nachbildung der Prozesskette

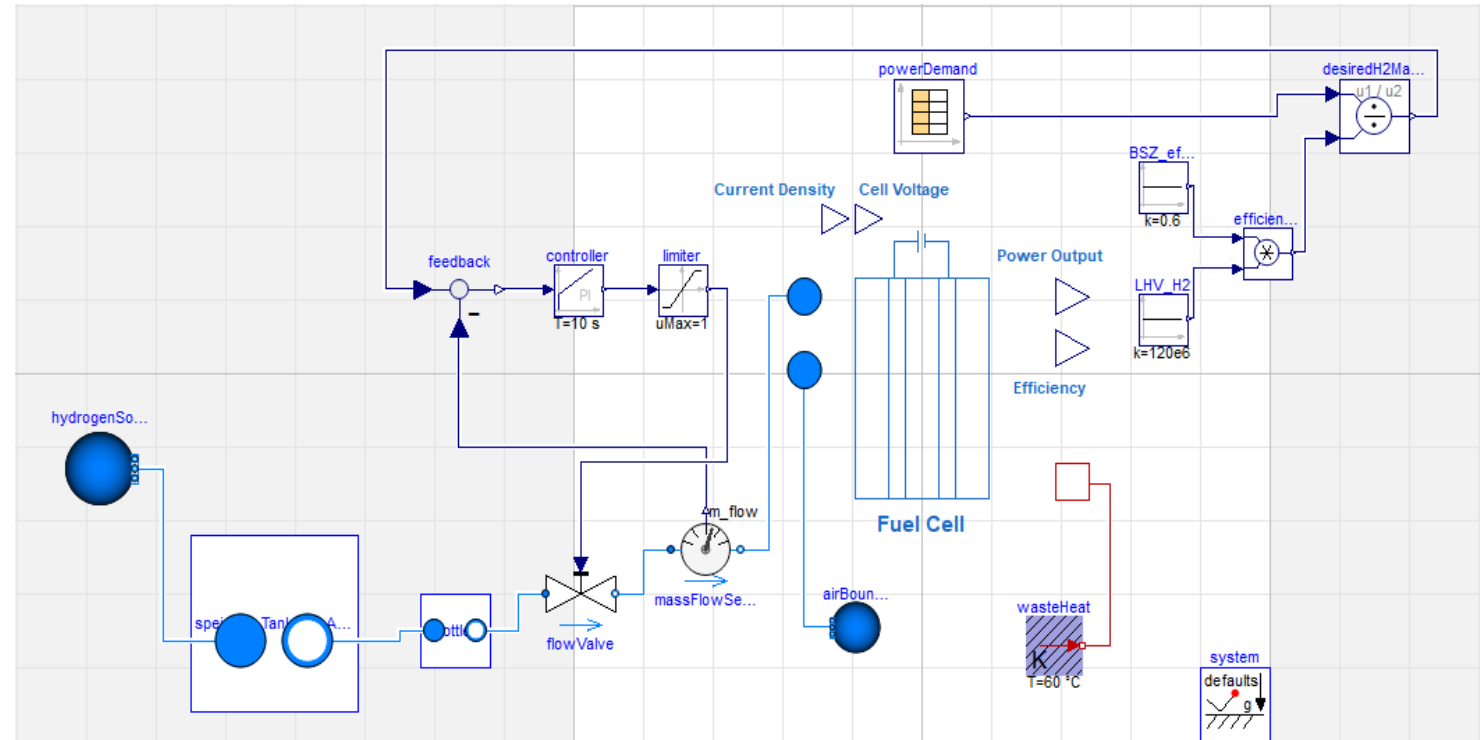
- Durchgängige Abbildung:
 - Strom → Wasserstoff + Wärme → Strom + Wärme
- Kopplung elektrischer, thermischer, und stofflicher Prozesse
- Digitaler Zwilling als virtuelles Abbild der Anlage



Prozesskette

Warum modellbasiert?

- Hohe Systemkomplexität
- Starke dynamische Kopplung der Komponenten
- Reale Tests nur begrenzt möglich
- Modellierung ermöglicht:
 - Hohe Genauigkeit
 - Sensitivitätsanalysen
 - Szenarienvergleich

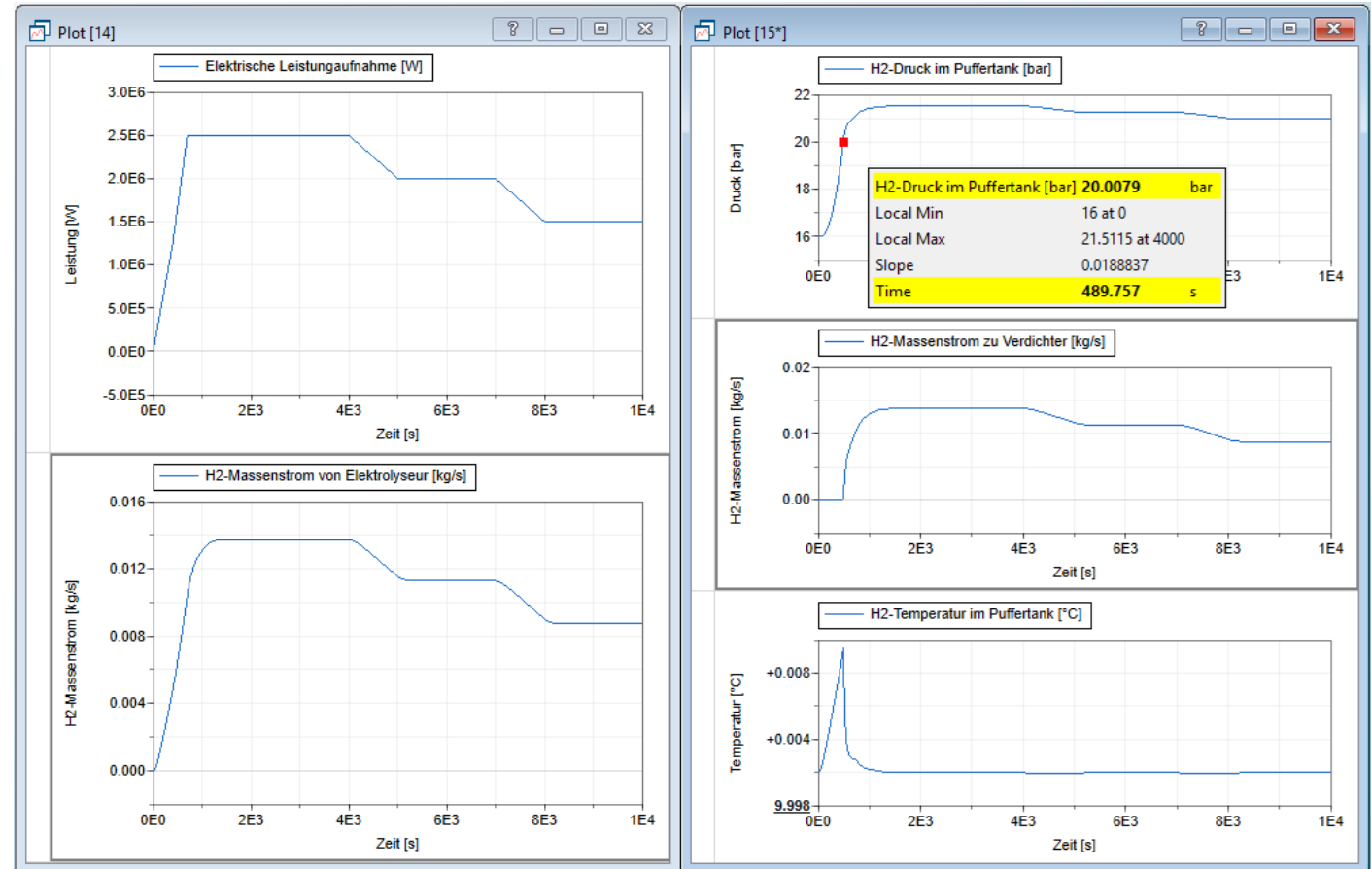


Ausspeicherungssystem

Szenarienanalyse und ausgewählt Ergebnisse

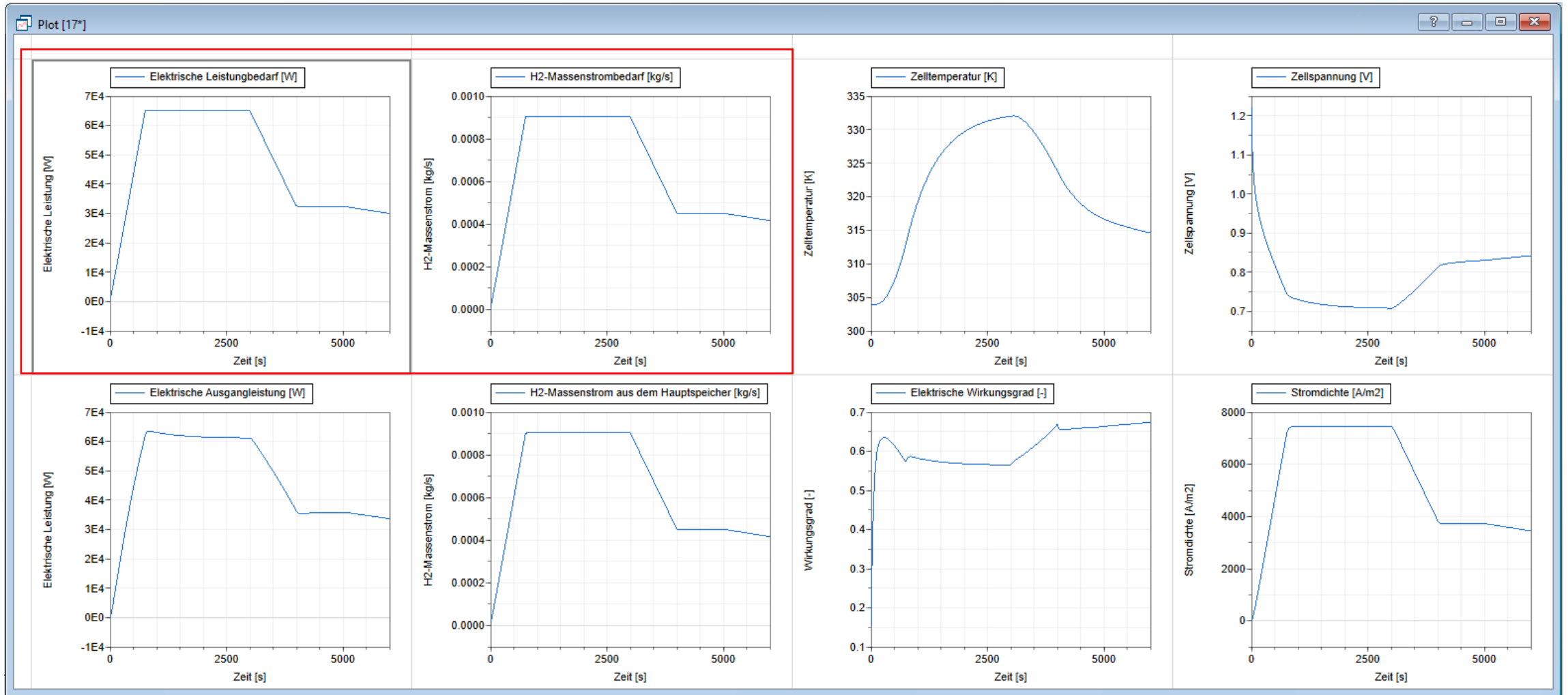
Simulationsergebnisse

- System 1: Elektrolyseurbetrieb
 - Stabiler Betrieb bei stark schwankender elektrischer Einspeisung
 - Dynamische Anspannung des H₂-massenstrom an verfügbare Leistung
 - Berücksichtigung von:
 - Thermischem Verhalten
 - Nebenprozessen (Verdichtung)



Ergebnisse des Einspeicherungssystem

Szenarienanalyse und ausgewählt Ergebnisse



Ergebnisse des Ausspeicherungssystem

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

- Modellierung bildet dynamischen Betrieb beider Systeme realitätsnah ab
- Digitaler Zwilling erlaubt:
 - Analyse komplexer Betriebsstrategien
 - Bewertung von Regelungsansätzen
 - Untersuchung von Skalierungs- und Auslegungsvarianten
- Ausblick:
 - Erweiterung auf gekoppelte Gesamtbetriebsstrategien
 - Einbindung weiterer Systemdienstleistungen
 - Realisierung in Demoanlage – Reallabor
 - Status: Entwurfsplanung Demoanlage
 - Übertragbarkeit auf vergleichbare Standorte und Anlagenkonzepte

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

