

Empfindlichkeit der Auslegung von Hybrid-Elektrischen Flugzeugen gegenüber Verbesserungen in der Brennstoffzellen- und Batterietechnologie

P. Albrecht*, C. Bansch, D. Kopljär

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Technische Thermodynamik, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart

*pascal.albrecht@dlr.de

Motivation

- Auslegung eines hybrid-elektrischen Antriebssystems für ein 70-sitziges Regionalflugzeug
- Energieträger sind elektrische Energie und Wasserstoff
- Ausnutzung der hohen Leistungsdichte von Brennstoffzellensystemen (FCS) in Kombination mit der hohen Energiedichte von Flüssig-Wasserstofftanks
- Batterie flexibel dimensionierbar, hohe Leistungsdichte, hohe Effizienz, geringer Kühlungsbedarf

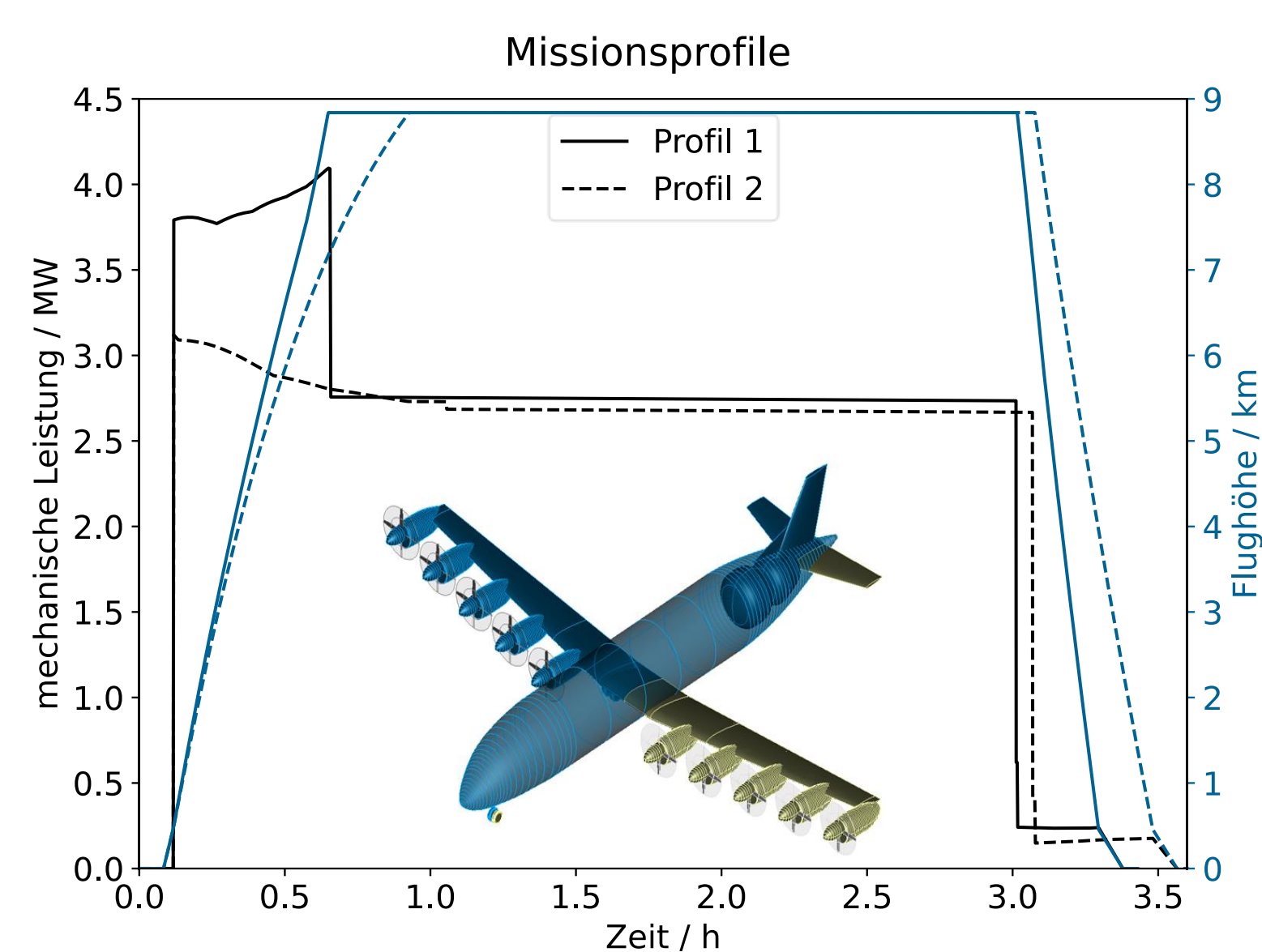
Ziel

- Optimierung der Aufteilung der Leistungsbereitstellung zwischen FCS und Batterie
- Die Batterie kann Off-Design Betriebspunkte des FCS übernehmen und Überdimensionierung vermeiden
- Minimierung des Gesamtgewichts des hybrid-elektrischen Antriebssystems, (Minimierung des Energieverbrauchs)
- Vermeidung von "Schneeballeffekten" (1% Mehrgewicht des Gesamtsystems erfordert etwa 1% mehr Schub, wofür wiederum mehr Antriebsmasse benötigt wird)

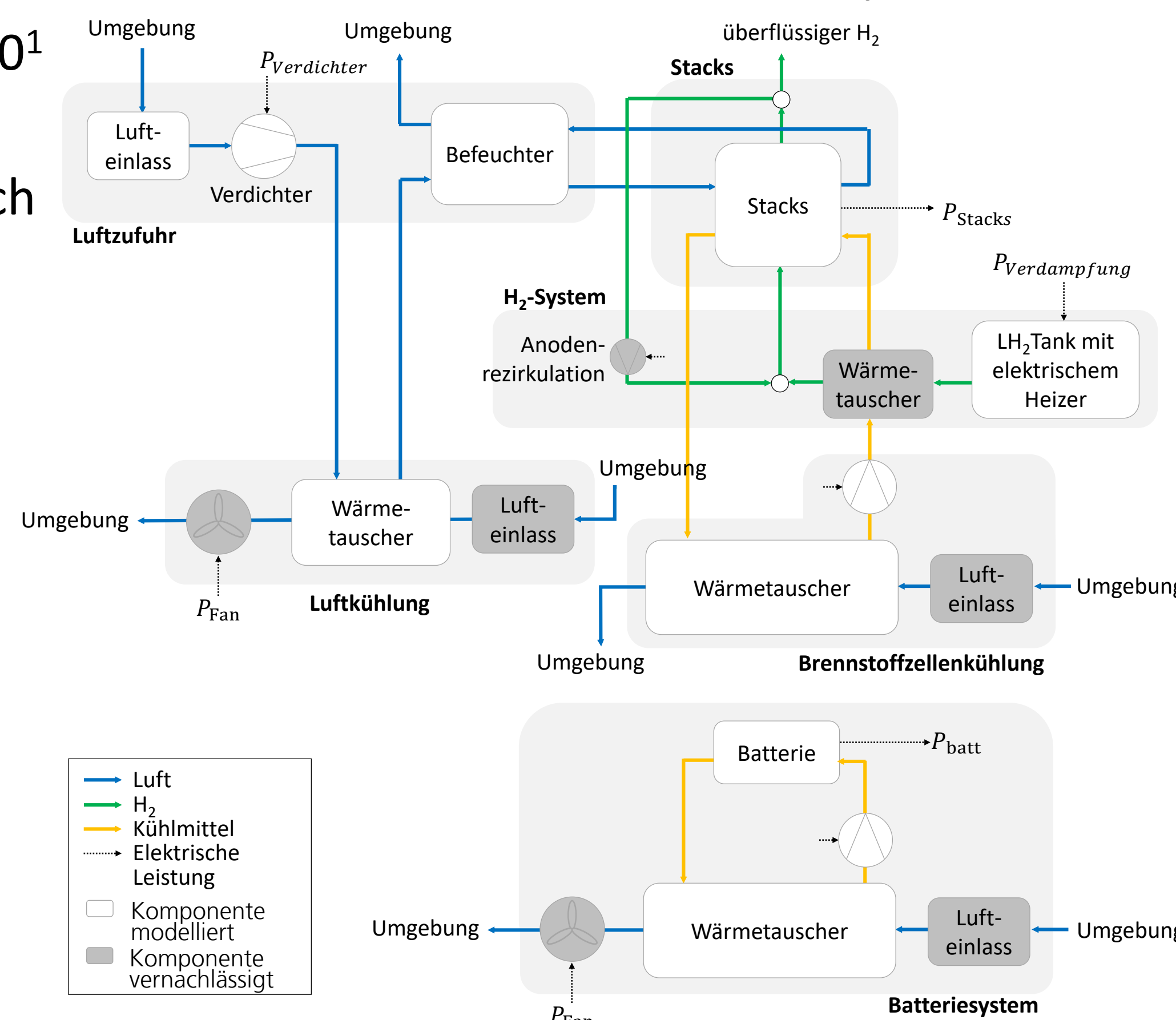
Modellierung

Input:

- Flugzeugentwurf eines Regionalflugzeugs mit vert. Antrieben, Indienststellung 2040¹
- 2 verschiedene Missionsprofile
- Parametrisierung der Komponenten durch Herstellerangaben



Auslegungs- und Simulationsmodell eines Brennstoffzellen-Batterie-Hybrid



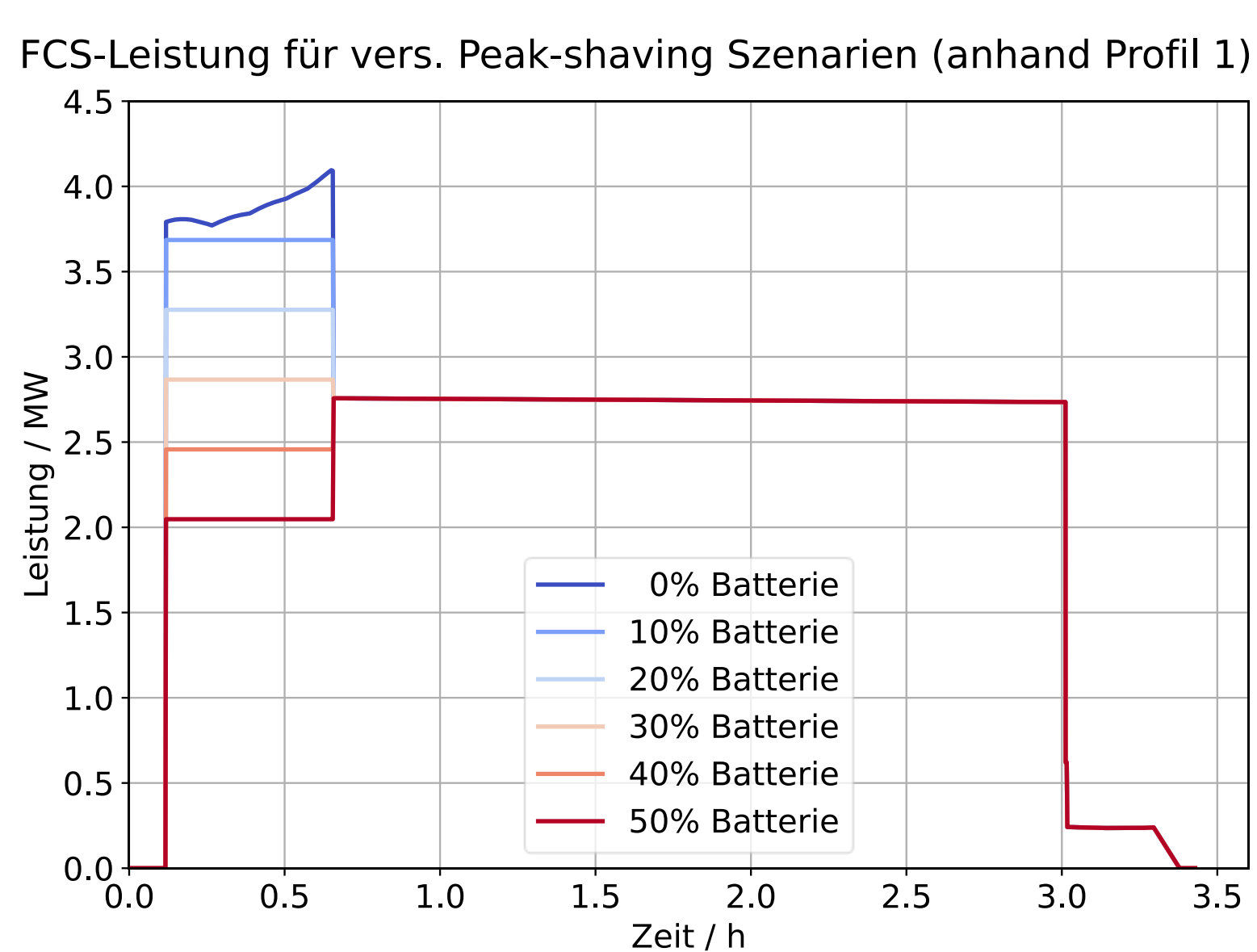
Annahmen:

- stationär, 0-D (1-D)
- Stackperformance abhängig von I , p , RH , Zellzahl, $T_{Stack} = 80\text{ °C}$, $\lambda_{Kath.} = 2$, $\lambda_{Anode} = 1.05$, max. 0.8 A/cm^2
- Batterie 95-5% SoC, neue Zellen
- „Hot day“ Start (ISA+22.8 °C)
- Start mit 1 ausgefallenen Propeller
- $\eta_{Propeller} \approx 0.90$, $\eta_{elektrisch} = 0.975$
- 10% H₂ Reserve

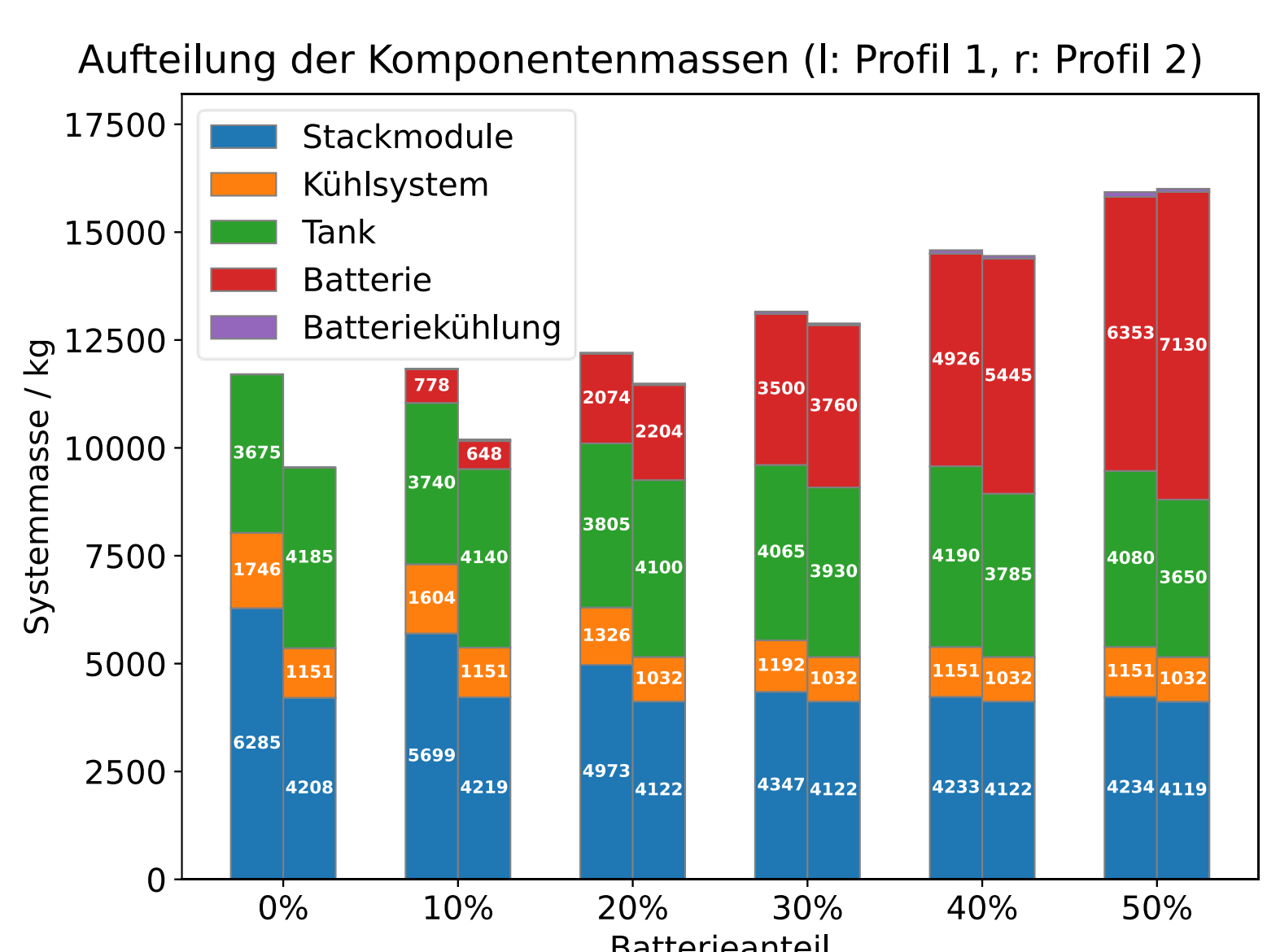
Komponente	Modellierung	Referenz
Stack	1D-Modell gefittet mit Messdaten ²	Powercell PC-S3
Kompressor	Konstanter Wirkungsgrad	Fischer EMTC120k
Befeuchter	Analytisch mit Leistungsgewicht	Fumatech Ecomate
Wärmetauscher	Empirische Korrelation, 1D-Modell	Lamellen-Wärmetaus. ³
Kühlpumpe	Analytisch mit Leistungsgewicht	DS600-24A Type 6902
Tank	Gravimetrische Effizienz	Flüssigtank ⁴
Batterie	Kennfeld basierend auf Messdaten	LG MJ1
Umrichter	nicht berücksichtigt	

Ergebnisse

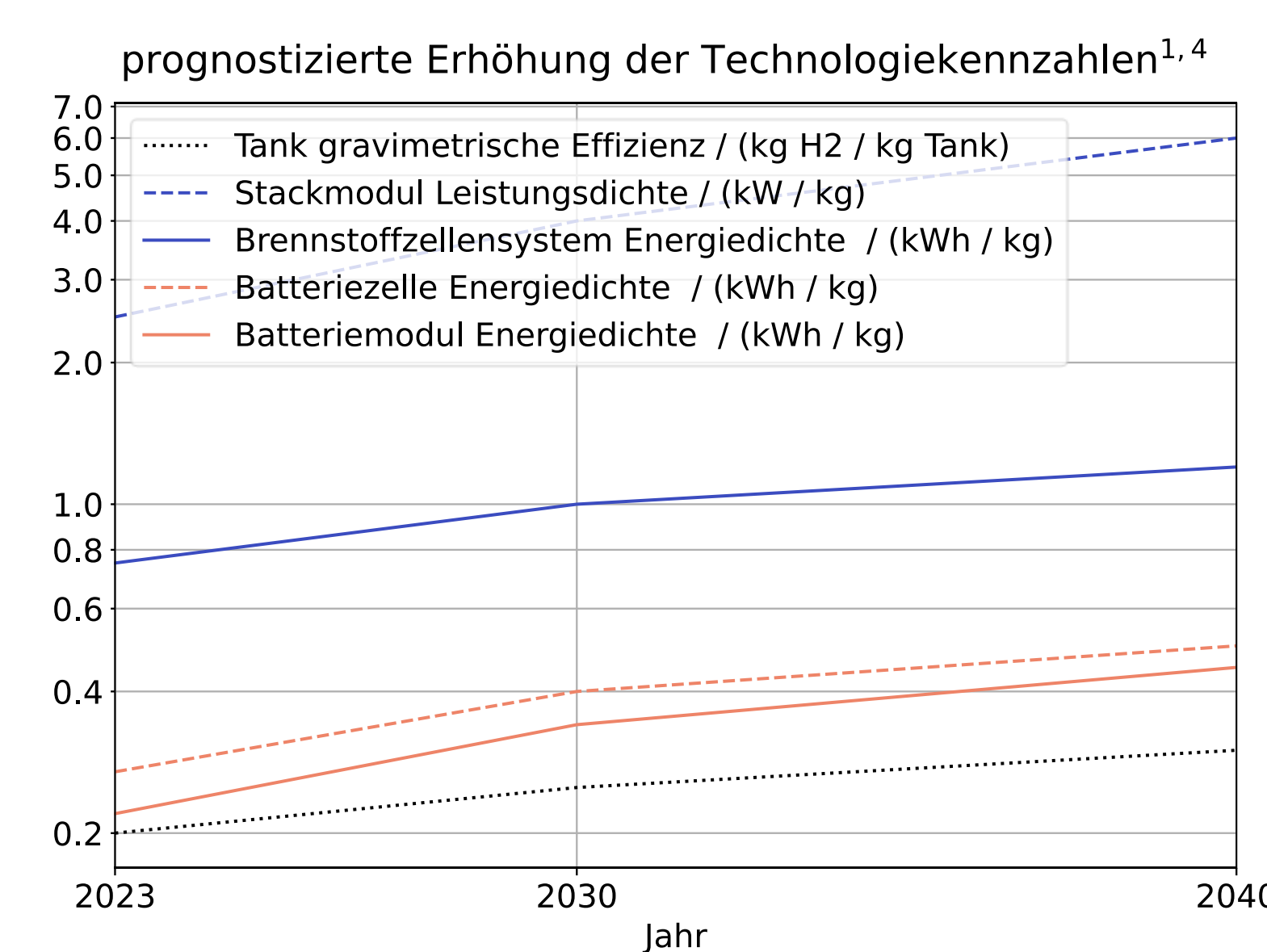
Untersuchung 1: Variation des Batterieanteils im Steigflug bezogen auf den maximalen el. Leistungsbedarf während der Mission:



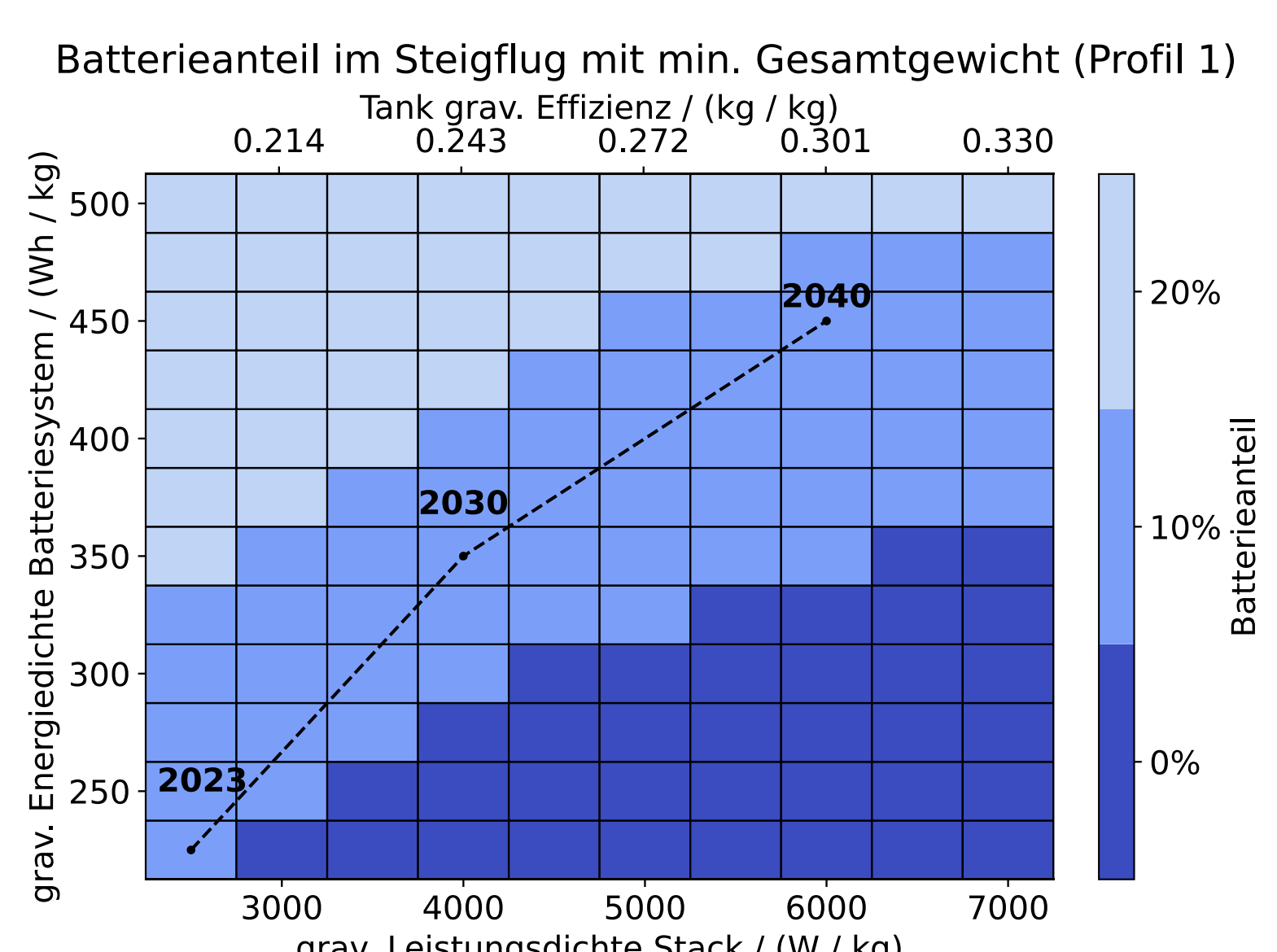
Resultierende Komponentenmassen mit dem Stand der Technik:



Untersuchung 2: Sensitivität des optimalen Batterieanteils auf den technologischen Fortschritt von Brennstoffzellensys./Batterie:



Resultierender optimaler Batterieanteil je nach technologischem Fortschritt:



Zusammenfassung

Hybridisierung des Brennstoffzellensystems mit einer Batterie ist sinnvoll für:

- Profile mit hoher Differenz zwischen Steig- und Reiseflugleistung
- Reduzierung von Stackanzahl und Überdimensionierung (0% : 120 Stacks, 50% : 80 Stacks bei Profil 1, je 80 Stacks bei Profil 2)
- Reduzierung des Kühlungsbedarfs des FCS
- Reduzierung des Wasserstoffverbrauchs (-100 kg zwischen 0% und 50% bei Profil 2, +80 kg bei Profil 1)

Der optimale Hybridisierungsgrad ist abhängig von den relativen Fortschritten beider Technologien, Batterieanteile über 30% sind jedoch wegen der höheren FCS-Energiedichte meist nicht sinnvoll.

Referenzen

1. G. Atanasov: D70-FC10-2040 (2021) EXACT Mid Term Review <https://elib.dlr.de/193115/>
2. M. Schröder et al.: Optimal operating conditions of PEM fuel cells in commercial aircraft (2021) Hydrogen Energy Publication <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.07.099>
3. M. Schröder et al.: Pareto-optimal design of PEM fuel cell systems for regional aircraft [Manuscript submitted for publication] (2023)
4. Fraunhofer ISI: Entwicklungsperspektiven für Zellformate von Lithium-Ionen-Batterien in der Elektromobilität (2017)