

Entwicklung und Validierung einer digitalen Kraftstoffregelung für einen Allison M250 Bodendemonstrator

Nils Jakobs, Martin Henke, Jan Zanger, Andreas Huber

Institut für Verbrennungstechnik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)



1. Hintergrund

- M250 Prüfstand mit Motor-Generator Unit und Lastmaschine am Institut für Verbrennungstechnik des DLR
- Experimentelle Demonstration und Systemanalyse verschiedener Antriebskonzepte möglich
 - Water Enhanced Turbofan (WET) Konzept
 - Hybrid-elektrische Luftfahrtkonzepte mit Gasturbine (HEP)
 - Emulation der Kopplung von Gasturbine mit Brennstoffzelle
- Kreislaufmodifikationen können Instabilitäten bei der integrierten hydromechanischen Regelung der Maschine verursachen
- Entwicklung einer digitalen Kraftstoffregelung für M250 Prüfstand notwendig

2. Ziele

- Zumessung des Brennstoffmassenstroms für konstante Arbeitswellendrehzahl N2 während des above-idle Betriebs bei verschiedenen Laststufen
- Flexibles Umschalten zwischen hydromechanischem und digitalem Regler während des Betriebs möglich
- Parallele Integration der Regelung um Modifikationen an der Mechanik des Triebwerks zu verhindern
- Freie Wahl von Regelalgorithmen und -parametern zur Untersuchung neuartiger Triebwerkskonfigurationen und Regelkonzepten

3. Prüfstand

Gasturbinen-Genset

- M250-C20B Helikoptergasturbine
 - Wellenleistungstriebwerk: 313 kW @ Take-off
 - Gasgenerator: Verdichter: 6x axial/1x radial; Turbine: 2x axial, Lastturbine 2x axial
- Gear box
- Generator-Umrichter-Einheit ($U_{out} = 400 - 800$ VDC)
- Kompakter Aufbau zur Integration in fliegende Versuchsplattform geeignet (2,5 kW/kg @ 122kg)

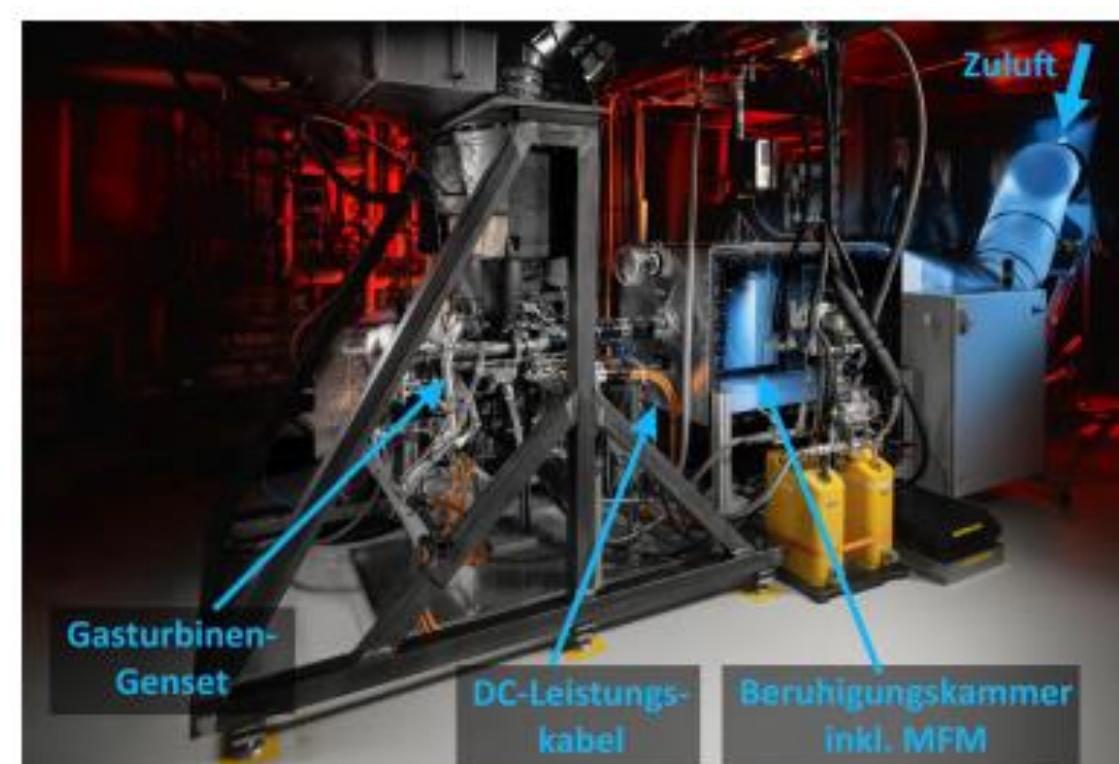


Abb. 1a: Gasturbinen-Genset integriert in Prüfstandsperipherie

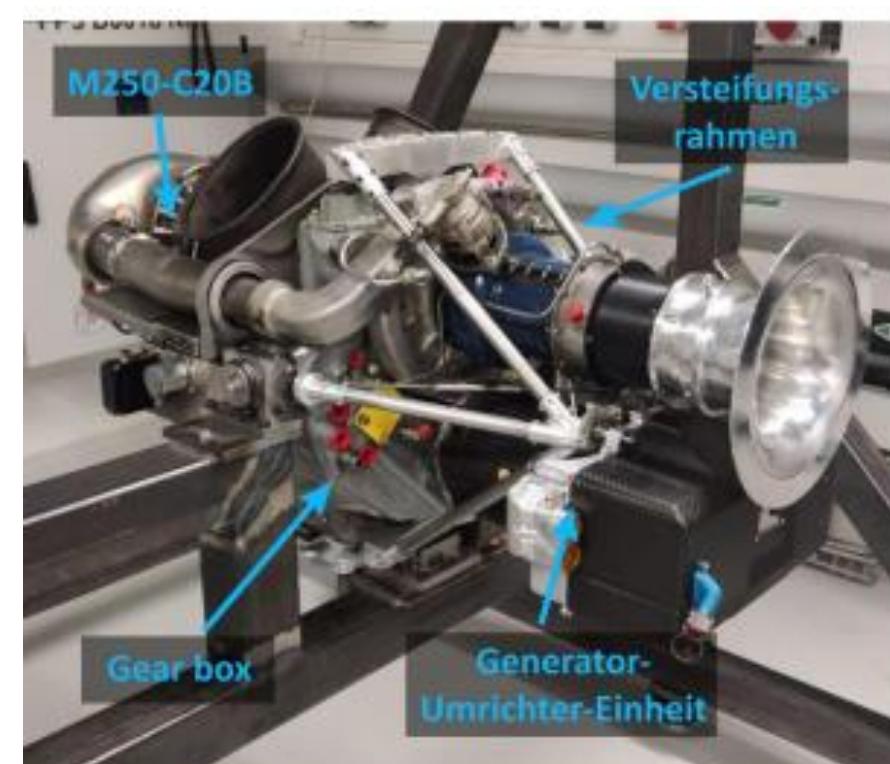
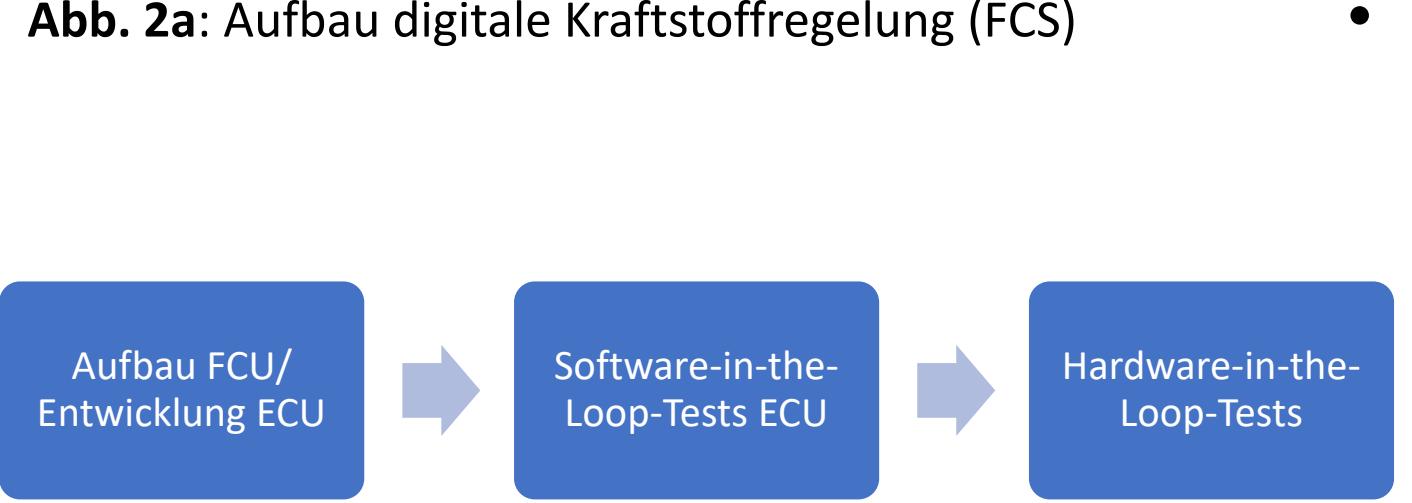
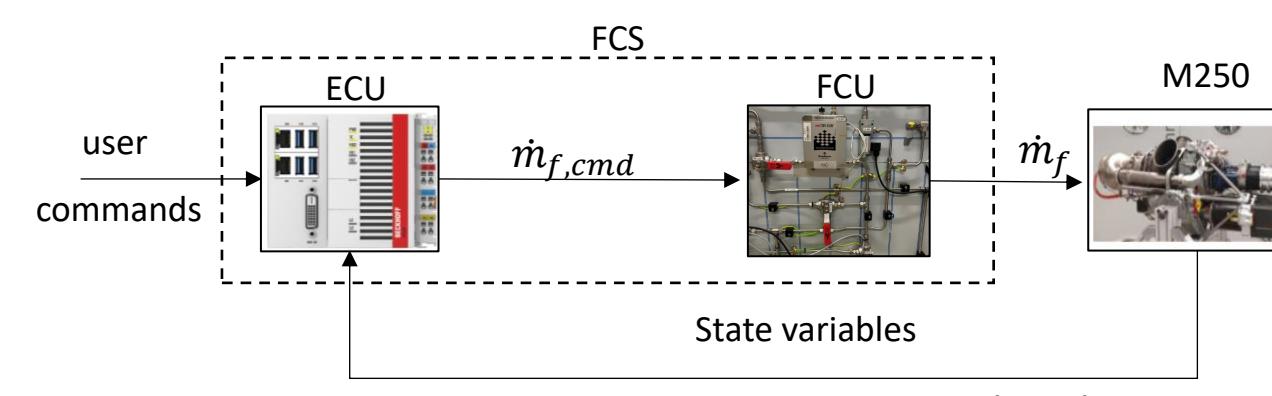


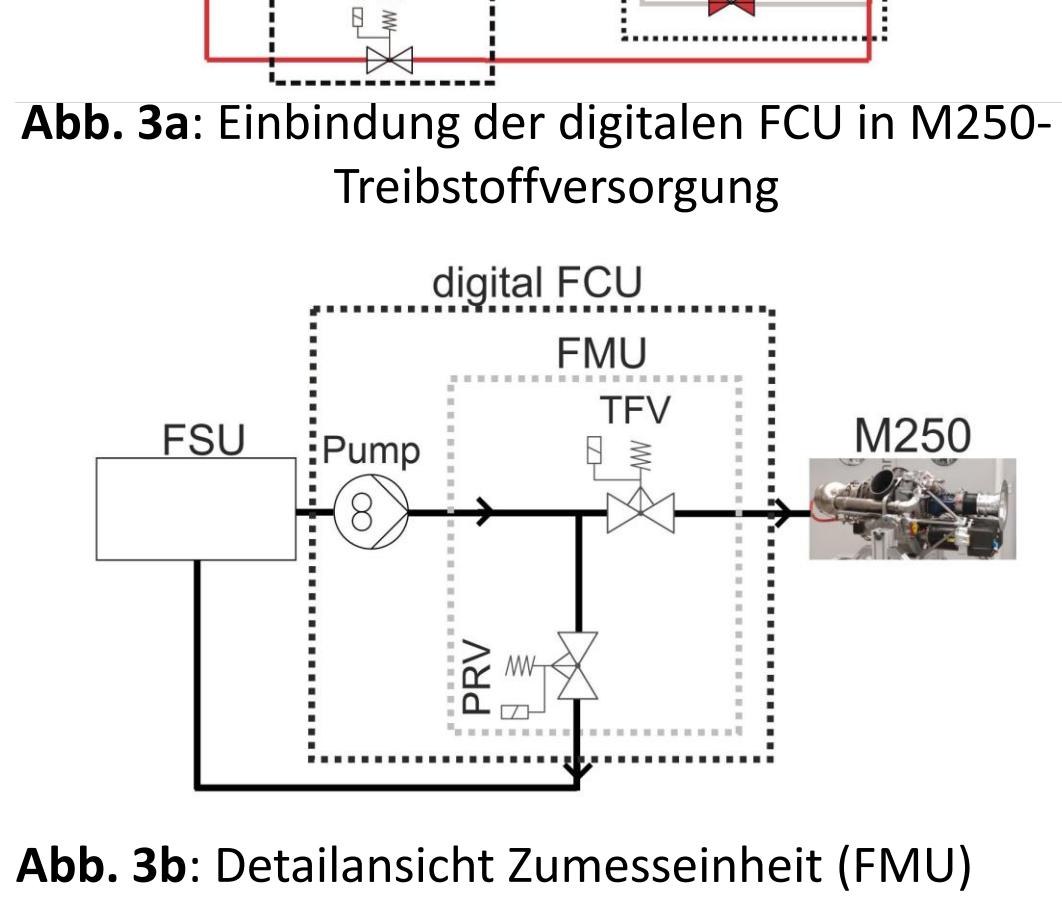
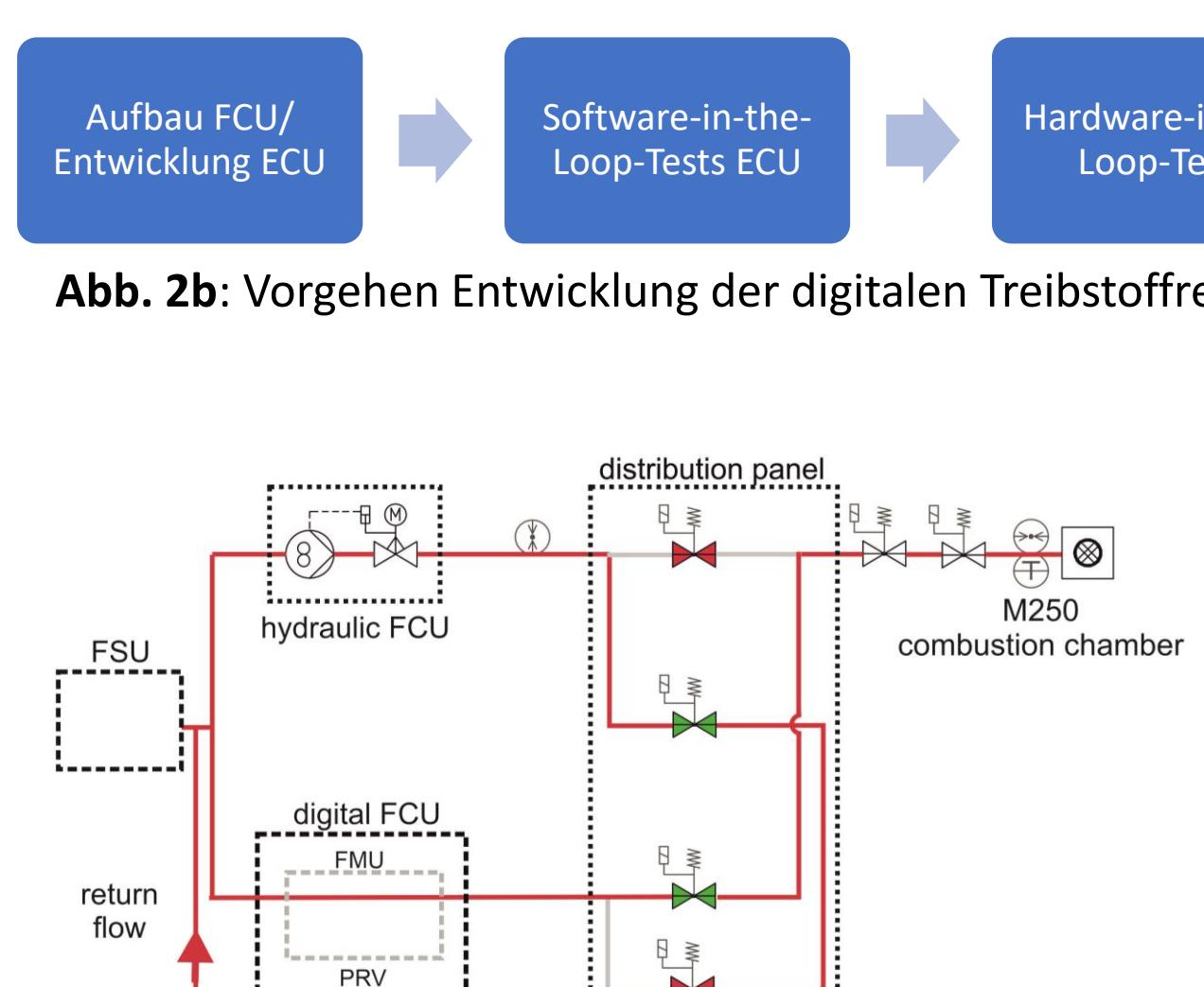
Abb. 1b: Gasturbinen-Genset

4. Entwicklung digitale Kraftstoffregelung (FCS)



FCS besteht aus:

- Electronic Control Unit (ECU): Berechnung des Kraftstoffs
- Fuel Control Unit (FCU): Zumessen des Kraftstoffs zum M250 Triebwerk



- Anbindung an Treibstoffversorgung des Labors (FSU)
- Rezirkulation des nicht benötigten Brennstoffstrangs
- Umschaltung zwischen interner Kraftstoffregelung und digitaler Kraftstoffregelung während des Betriebs durch Distribution Panel und Druckbegrenzungsventil (PRV) in Rücklauf möglich
- Einstellung von Massenstrom und Druck über Drossel (TFV)- und Druckbegrenzungsventil (PRV) in Zumesseinheit (FMU) über Düsencharakteristik

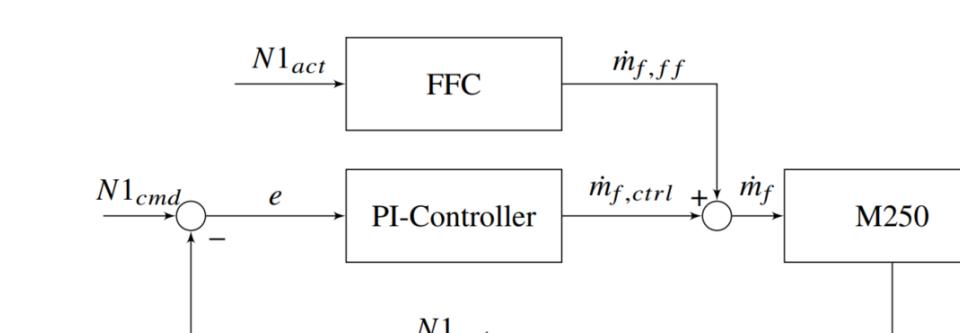


Abb. 4a: Reglerstruktur für sub-idle Betrieb

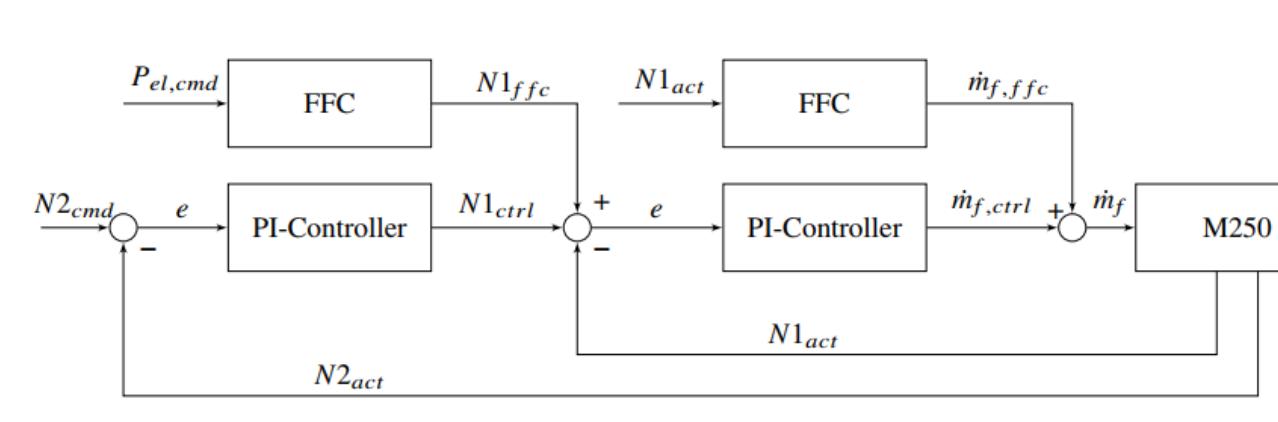


Abb. 4b: Reglerstruktur für above-idle Betrieb

Zweistufige Regelung:

- Arbeitswellendrehzahl $N2 < N2_{thres}$: PI Regler mit Vorsteuerung für Regelung auf Gasgeneratordrehzahl N1 zum Beschleunigen des Triebwerks im sub-idle Bereich
- $N2 > N2_{thres}$: Kaskadenregelung mit zwei PI-Reglern mit Vorsteuerung für Regelung auf konstante N2-Drehzahl im above-idle Bereich

4. Hardware-in-the-Loop Aufbau

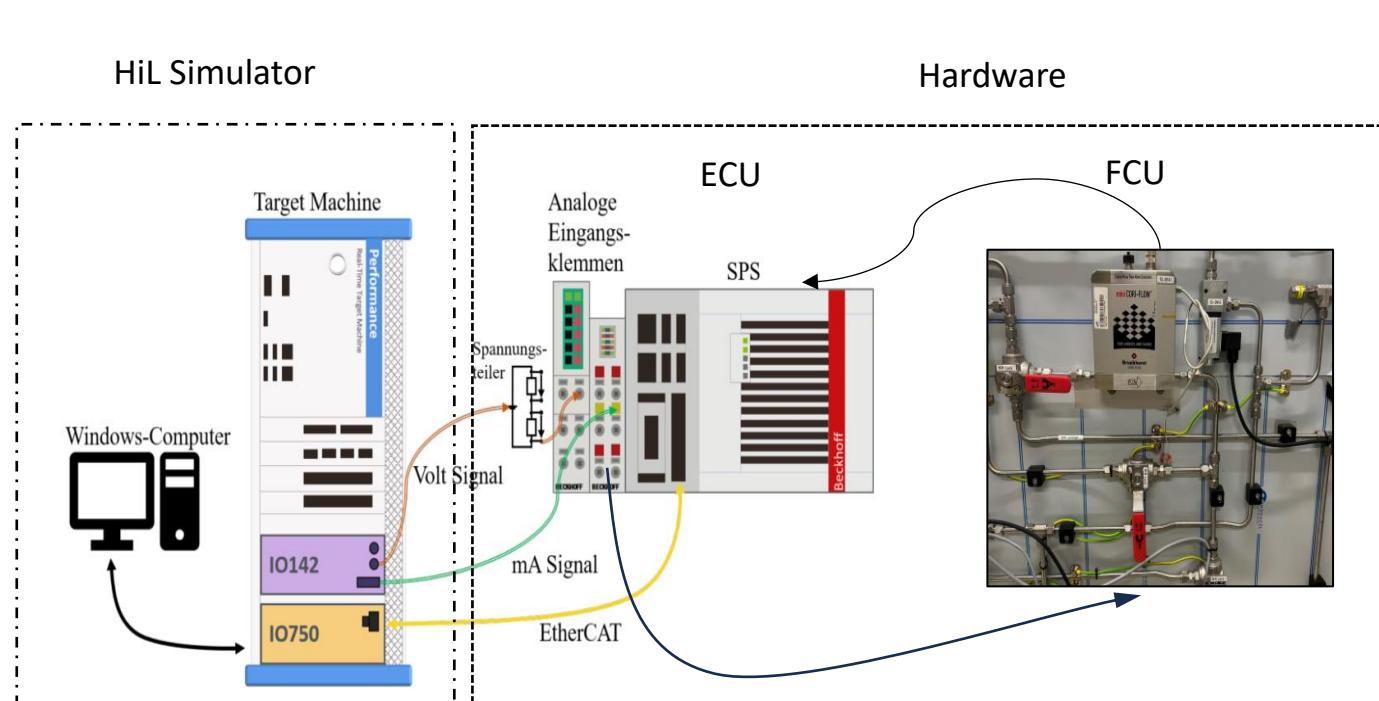


Abb. 5a: Hardware-in-the-Loop (HiL) Aufbau

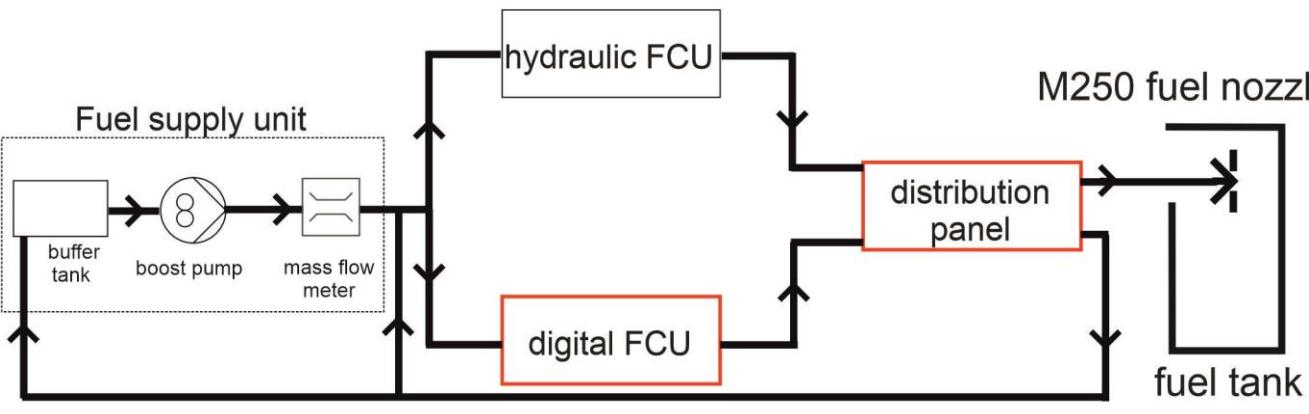


Abb. 5b: vereinfachtes R&I Schema der HiL Versuche

- Hardware-in-the-Loop (HiL) Simulation zum risikoarmen Testen unter Echtzeitbedingungen der Hardware:
 - ECU: Prüfstands-SPS
 - FCU: Hardware aus Abb. 3a
- Simulation eines dynamischen Echtzeitmodells des Triebwerks auf einer Speedgoat Target Machine
- Einbindung der gesamten Kraftstoffregelung (Hydraulik und Steuerungshardware) inklusive der Originaldüse

5. Hardware-in-the-Loop Simulationen

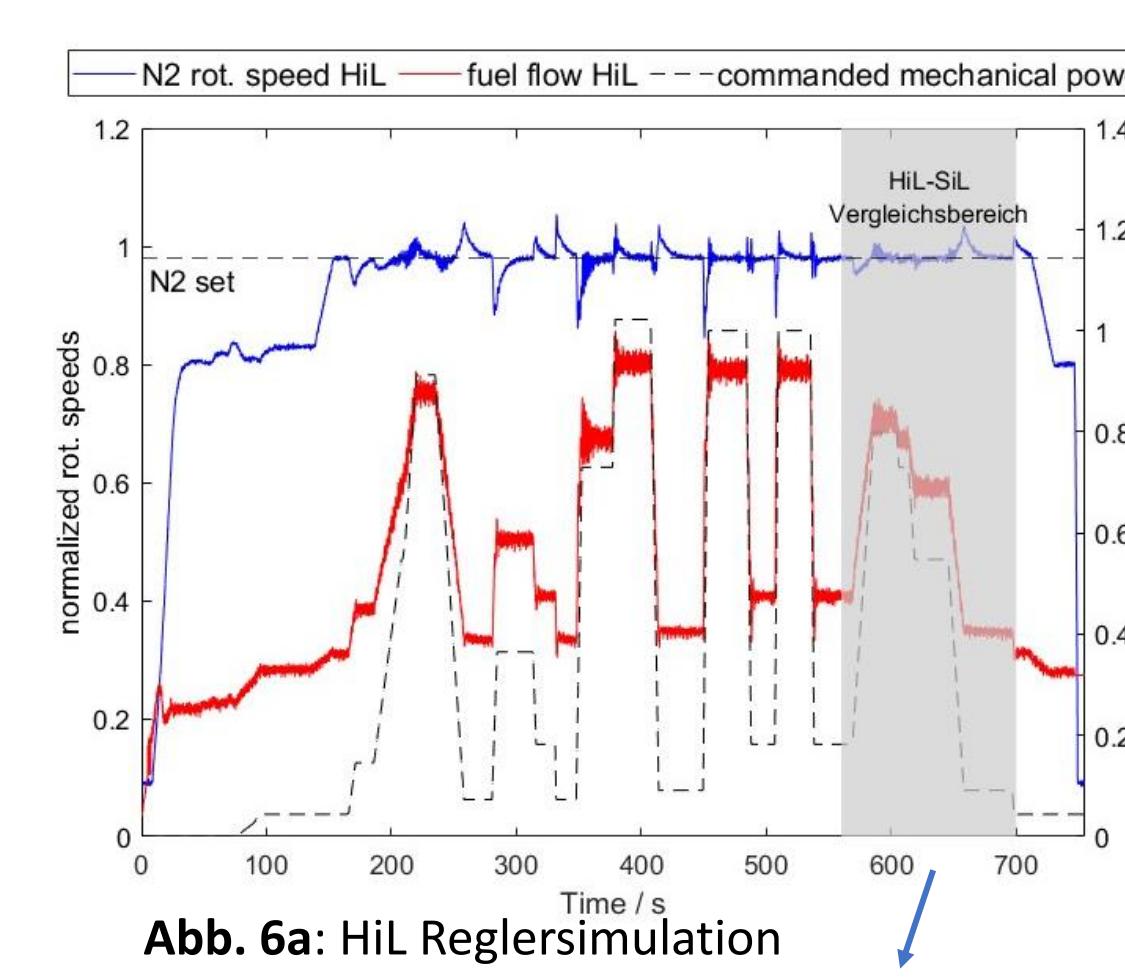


Abb. 6a: HiL Reglersimulation

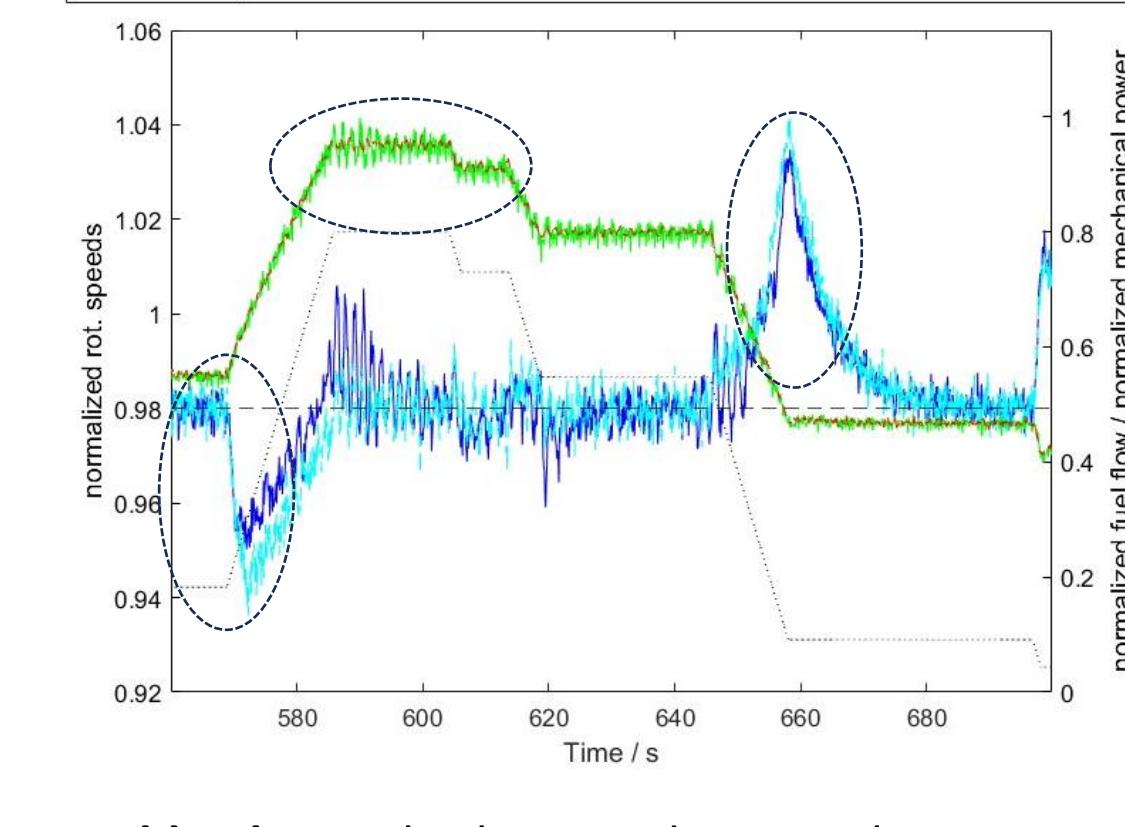


Abb. 6b: Vergleich HiL und SiL Simulationen

6. Domain Randomization

Parameter	Variation	Einheit
$u_{fac,HPT}$	0.85; 1.15	-
$u_{fac,LPT}$	0.85; 1.15	-
$\frac{dp_{mech,cmd}}{dt}$	3; 10; 20	kW s^{-1}

Tab.1: Parameter für Domain Randomization

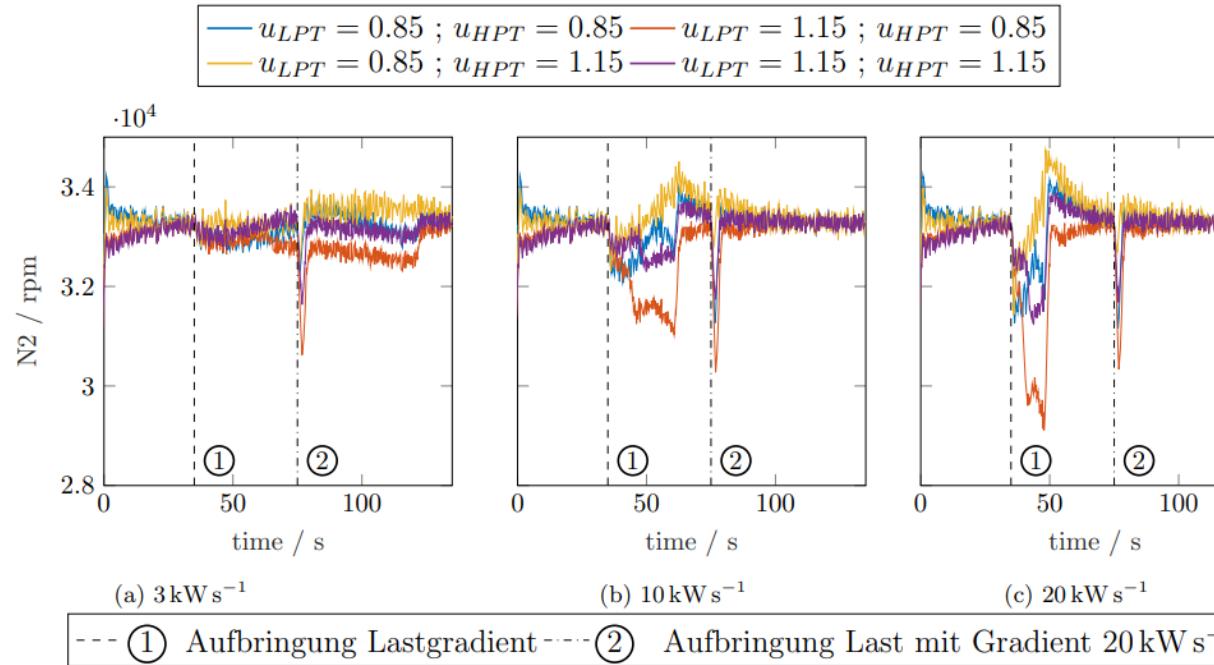


Abb. 7: Domain Randomization Ergebnisse

Berücksichtigung von Modellunsicherheiten mittels Domain Randomization zur Garantie der Reglerstabilität:

- Variation der Lastgradienten
- Berücksichtigung von Unsicherheiten im Wirkungsgrad η von Hoch- und Niederdruckturbine durch Faktor u_{fac}

$$(\eta_{component} = \eta_{map} * u_{fac})$$

7. Ausblick

- Tests der digitalen Kraftstoffregelung auf realer Maschine
- Implementierung von fortgeschrittenen Regelungsstrategien (MPC)
- Integration von Dampf und Wasserstoff in Systemkreislauf

Gefördert durch das BMWK unter der Fördernummer 20M2110B in LuFo VI-2 und zusätzliche Förderung durch das DLR interne Vorhaben Kraftstoffe.