

ENTWURF UND MODELLIERUNG EINES DIREKTEM KRYOGENEM LH₂-TREIBSTOFFSYSTEMS FÜR DEN EINSATZ IN FLUGZEUGEN

Fynn THILKER^{1(*)}, Andreas TRAMPOSCH², Fabrice GIULIANI³

Kurzfassung

Inhalt

Die Entwicklung effizienter und nachhaltiger Treibstoffsysteme für Flugzeugtriebwerke ist zu einem der wichtigsten Aspekte geworden, um das langfristige Ziel der Netto-Null-CO₂-Emissionen aus der Luftfahrt bis 2050 zu erreichen. Dies betrifft nicht nur die Auswahl des Betriebstreibstoffs, sondern auch seine Lagerung und Verarbeitungsbedingungen. Dabei liegt die Modifizierung von herkömmlichem und bereits bestehendem System nahe, da dies nicht nur wirtschaftlicher, sondern auch Zeit und Ressourcen sparender ist. Frühere Studien zeigen, dass die Verwendung von flüssigem Wasserstoff (LH₂) aufgrund seiner hohen spezifischen Wärmekapazität im Vergleich zu Hochdrucksystemen eine längere Ausdauer für Luftfahrzeuge und eine effektive Motorkühlung bieten kann. Diese Arbeit ist Teil des LIQORNE (LIQuid hydrogen for airBORNE application) Projekts, das ein Wasserstoff-Flugzeugtanksystem mit direkter kryogener LH₂-Zufuhr untersucht.

In diesem Zusammenhang wurde ein Systemmodell entwickelt, das sich darauf konzentriert, kontinuierlich LH₂ in den Motor zu speisen und überflüssigen Treibstoff und Motorwärme für die Gasifizierung und Verbesserung der Wasserstoffexpansion zurückzugewinnen. Dieser Ansatz hilft, das Risiko von Vereisung und Abkochen in den Systemkomponenten zu kontrollieren und ermöglicht ein leichteres und kompakteres System. Durch die Implementierung eines kontinuierlichen Treibstoffumlaufs und die Integration eines Durchflussregelventils in der Nähe der Motorinjektion ist es realistisch, kürzere Vollgas-Reaktionszeiten zu überprüfen und zu erreichen. Das Potenzial dieser Architektur liegt in ihrer Effizienz und Flexibilität, da sie LH₂ nicht nur als Verbrennungstreibstoff verwendet, sondern auch den überflüssigen Treibstoff zur Kühlung, Tankdruckregelung und Heizung für optimale Expansion vor der Einspritzung nutzt.

Methodik

Um erste Annäherungen an das Verhalten des Systems zu liefern, beschreibt diese Arbeit ein Simulationsmodell (siehe Abbildung 1), das mit der Simscape Software für ein kleines zweimotoriges Mittelstreckenflugzeug und ein kleines einmotoriges Tourenflugzeug erstellt wurde. Dieses Modell konzentriert sich auf die Abmessungen der Komponenten, einschließlich Tanks, Rohre, Verbraucher und des Wärmeaustauschs zwischen den Systemen, hinsichtlich ihres thermodynamischen Verhaltens. Die Treibstoffeigenschaften basieren auf der thermophysikalischen Datenbank CoolProp, die eine genaue Erfassung von Phasenänderungen, Temperatur- und Druckberechnungen im System ermöglicht. Diese Simulation basiert dabei nicht nur auf numerischen Analysen, sondern wird ebenfalls mit analytischer vereinfachter Berechnung (ideales Gasgesetz) verglichen. Dies ist notwendig, um erste thermodynamische Eigenschaften des Systems zu validieren.

¹ FH Joanneum Graz Luftfahrtinstitut, Alte Poststraße 149 8020 Graz Austria, +49157 34336147, fynn.thilker@edu.fh-joanneum.at

² FH Joanneum Graz Luftfahrtinstitut, Alte Poststraße 149 8020 Graz Austria, +43 316 5453-6445, andreas.tramposch@fh-joanneum.at,

³ Combustion Bay One e.U, Schuetzenhofgasse 22 8010 Graz Austria, +43 316 22 89 80, Fabrice.Giuliani@CBOne.at, <https://www.cbone.at>

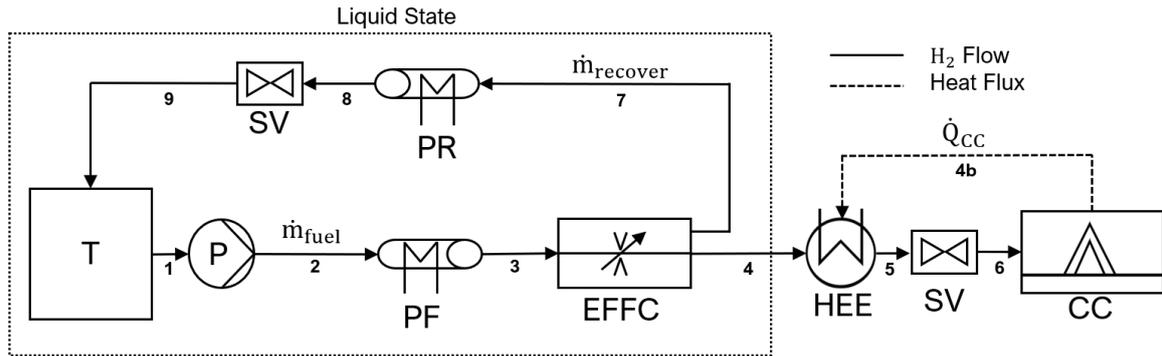


Abbildung 1: Simulationsschaltbild des kryogenem LH₂-Treibstoffsystems mit der Rückführung von überflüssigem Treibstoff

Ergebnisse

Durch Validierung gegen frühere state-of-the-art Studien wird erwartet, dass das Modell erste Dimensionen des Systemvolumens, einen Vergleich des Systemgewichts zwischen flüssigen und druckgetriebenen Architekturen sowie eine potenzielle Effizienzsteigerung liefert. Hinzu sollen erste Eindrücke von Energieänderungen und den dafür benötigten Systemmodifikationen erlangt werden, um die Umsetzbarkeit für flüssige Wasserstoffsysteme in Bezug auf Effizienz und Sicherheit zu garantieren.

Erste Resultate, wie in Abbildung 2 dargestellt, zeigen das erste thermodynamische Verhalten des Systems. In dieser Abbildung werden die Temperatur-, Druck- sowie Phasenänderungen am Ein- und Auslass dargestellt. Dabei ist festzustellen, dass die angewandten Umgebungsbedingungen eine Phasenänderung von flüssig zu gasförmig und ein Gemisch hervorrufen. Dies bedeutet, dass Insulationsmethoden sowie geometrische Eigenschaften der Bauteile angepasst werden müssen, um unter bestehenden Bedingungen eine flüssige Kraftstoffrückführung zu erreichen.

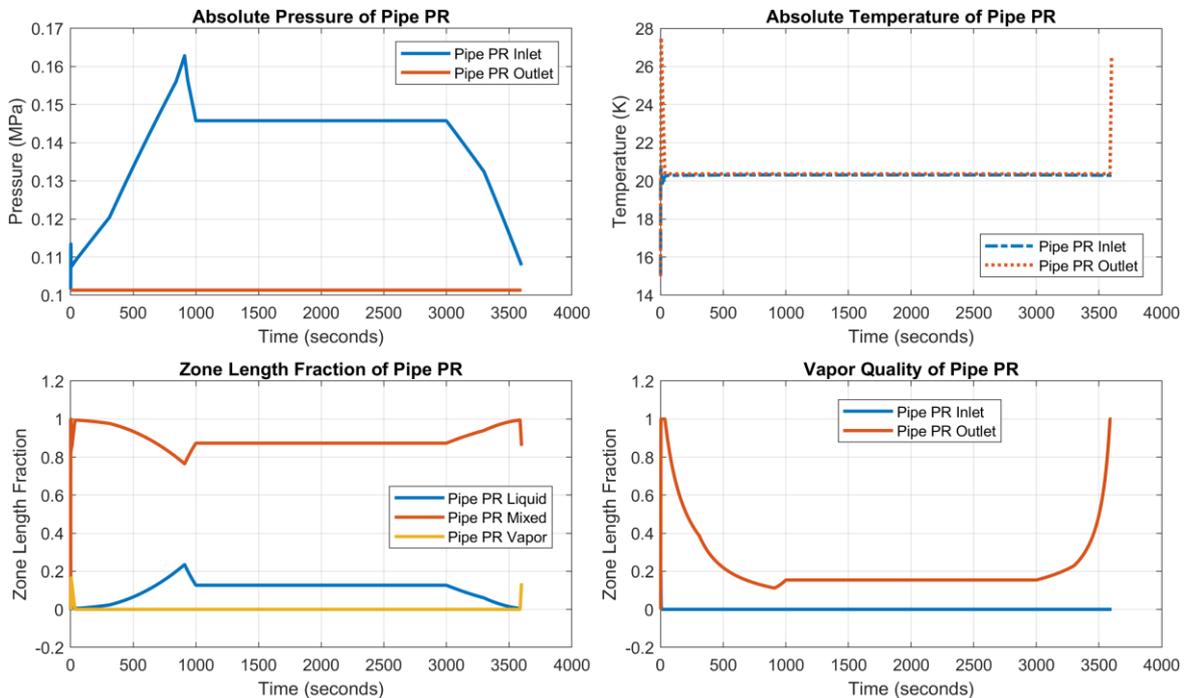


Abbildung 2: Simulationsergebnisse der rückführenden Kraftstoffleitung mit einem dynamischen Flugmanöver

Aufgrund des parametrischen Modellentwurfs können verschiedene Untersuchungsfälle angewendet werden, um den optimalen Betriebspunkt zu finden und sich an verschiedene Anwendungen anzupassen. Dies sorgt für eine flexiblere Anwendung des Systems und dient als Basis für weitere Untersuchungen hinsichtlich numerischer Simulationen und experimenteller Tests.