

SUNRISE

SUstainable depeNdable Rocket propulsion by Intelligent SEnsing

Programm / Ausschreibung	ASAP, ASAP, ASAP 18. Ausschreibung (2021)	Status	abgeschlossen
Projektstart	01.10.2022	Projektende	31.03.2024
Zeitraum	2022 - 2024	Projektlaufzeit	18 Monate
Keywords	Liquid Propellant Rocket Engines; Virtual Sensing; Dependable Sensing; Distributed Data Processing; Artificial Intelligence		

Projektbeschreibung

“Will sich Europa einen unabhängigen und bezahlbaren Zugang zum All sichern, müssen neue Technologien weiterentwickelt und getestet werden. Technologien wie wiederverwendbare Trägersysteme (...) bieten dafür große Chancen. Um die zu ergreifen, müssen auch die Test- und Startanlagen zukunftsfähig ausgerichtet werden. Sie sind integraler Bestandteil einer nachhaltigen und wirtschaftlichen europäischen Trägerstrategie”[*]. In Bezug auf diese Zusammenfassung der 8. Industrial Days am 2. und 3. März 2020 beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Lampoldshausen umriss die damalige Vorsitzende des DLR-Vorstands, Prof. Pascale Ehrenfreund, die Anforderungen an die Entwicklung zukünftiger Trägersysteme folgendermaßen: “Für die immer anspruchsvoller werdenden Testszenarien benötigen wir Anlagen, die flexibler werden und dabei die gewonnenen Daten der Antriebe schneller, effizienter und kostengünstiger erfassen”[*]. Um sich erfolgreich im internationalen Umfeld behaupten zu können wird Europa diese Herausforderungen meistern müssen, auch in Konkurrenz zu privat finanzierten Projekten wie SpaceX’ Falcon 9.

In SUNRISE sprechen wir genau diese Herausforderungen an die Europäische Trägerstrategie an und sondieren Möglichkeiten zur Anwendung von Künstlicher Intelligenz (KI) in der intelligenten Regelung von Raketentriebwerken. Intelligente Regelungen stellen dabei eine Schlüsseltechnologie für die Entwicklung wiederverwendbarer – und damit ökonomisch und ökologisch effizienter – Träger dar. Einerseits erlauben sie die dynamische Optimierung des Betriebs und der Abnutzung, andererseits bilden sie die Grundlage für verlässliche, sichere und wiederverwendbare Triebwerke. Für die erste Phase eines intelligenten „sense and control“-Prozesses liegt unser Fokus in SUNRISE auf einem intelligenten Sensing-Konzept das (a) die zur effizienten Regelung benötigten Überwachungsdaten verlässlich zur Verfügung stellt und (b) die Entwicklung einer entsprechenden Lern- und Evaluierungsplattform für den Prüfstand ermöglicht. AI-Technologien wie machine learning und Modell-basierte Ansätze werden die Grundlage für eine effiziente und effektive Verarbeitung und Analyse von Triebwerksdaten bilden. Daten-Gateways werden diese unter Verwendung von Technologien zur Fehlerbehebung wie Virtual Sensing in verlässlicher Weise zur Verfügung stellen. Über Off-line-Analysen werden wir die für eine optimale und verlässliche Regelung des Triebwerks relevanten Größen identifizieren. Das Regelungskonzept selbst wird basierend auf den SUNRISE Sondierungsergebnissen dabei in einem zukünftigen Projekt im Fokus stehen. Die Relevanz der Daten analysierend werden wir ein Konzept zur effizienten Beobachtung und Regelung für das Triebwerk und den Prüfstand erarbeiten, um AI-basierte Regelung während ihrer Entwicklung zu Lern- und Testzwecken in den Prüfstand einbetten zu

können. Zusammenfassend entwickelnd wir in SUNRISE ein intelligentes und verlässliches Sensing-Konzept wie es für die notwendige Entwicklung von wiederverwendbaren Raketentriebwerken und deren Entwicklungs- und Testumgebungen essenziell ist.

[*] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, "8th Industrial Days at the DLR site in Lampoldshausen," 2 März 2020. [Online]. Available: https://www.dlr.de/content/en/articles/news/2020/01/20200302_la-industrial-days.html. [Accessed 29 November 2021].

Abstract

"If Europe wants to secure independent and affordable access to space, new technologies must be developed and tested. Technologies such as reusable carrier systems (...) offer great opportunities for this. In order to seize these opportunities, test and launch facilities must also be equipped for the future. They are an integral part of a sustainable and economic European launch strategy"[*]. In the context of this summary from the 8th Industrial Days at DLR in Lampoldshausen in March 2020, Pascale Ehrenfreund, at that time chairwoman of the DLR Executive Board, outlined the challenges in developing future launcher systems as follows: "Increasingly demanding test scenarios require facilities that are more flexible and capable of acquiring the data obtained from propulsion systems more quickly, efficiently and cost-effectively"[*]. Europe will have to master these challenges to successfully contend on the international market, also in comparison to private projects like SpaceX' Falcon 9.

In SUNRISE, we are targeting exactly these challenges for the European launch vehicle development and explore opportunities for applying smart sensing concepts and artificial intelligence (AI) in the context of intelligent control of rocket engines. Such intelligent control solutions are a key enabling technology for the development of reusable and hence economically and ecologically efficient launch vehicles. On the one hand they will allow an efficient operation and optimization of wear-levels, on the other hand they serve as a prerequisite for a reliable, safe and reusable rocket engine. For the first step of an intelligent control approach for sustainable and dependable rocket engines, in SUNRISE our focus will be on an intelligent sensing concept that shall (a) provide dependable and trustworthy data as input for the control system, and (b) allow us to develop a corresponding learning and validation setup at DLR's testbenches. AI techniques like machine learning and model-based reasoning concepts will provide the necessary means to process and analyze actual engine data efficiently off- and on-line. Data acquisition gateways will provide data in a more dependable way by using, e.g., virtual sensing to replace faulty sensors and missing measurements. An off-line analysis will then allow us to isolate those data needed for an efficient and dependable control concept, subject of a follow-up project defined by the results of SUNRISE. By exploring the relevance aspect in the data, we will furthermore develop an on-line concept for both rocket engines and testbenches to be able to embed the AI-based controller under development in a live setup for learning, evaluation and testing purposes. Summarizing, SUNRISE will provide the intelligent and dependable sensing concept essential for the required development of reusable rocket engines and the corresponding development and test facilities.

[*] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, "8th Industrial Days at the DLR site in Lampoldshausen," March 2nd, 2020. [Online]. Available: https://www.dlr.de/content/en/articles/news/2020/01/20200302_la-industrial-days.html. [Accessed November 29th, 2021].

Endberichtkurzfassung

The SUNRISE project aimed to advance intelligent sensor concepts for liquid

propellant rocket engines (LPREs), focusing on AI-driven solutions for both in-flight and test bench scenarios. Significant progress has been made towards achieving these objectives in two areas:

A key achievement of the project was developing a robust fault detection system using Signal Temporal Logic (STL) and Genetic Programming. This system demonstrated high precision, identifying anomalies in LPRE operations. The explainable nature of this fault detection approach bridges the gap between automated systems and practical engineering applications, ensuring that outputs are understandable and adoptable in real-world implementations.

The project also made substantial strides in virtual sensing. We successfully implemented AI-driven models to estimate propellant mixture ratios accurately.

These models showed high simulation precision and robustness under noisy conditions, closely replicating real-world operational environments. This achievement is particularly significant as it addresses the challenge of measuring mixture ratios in spacecraft operations, where traditional mass flow sensors are impractical due to their weight and size.

The integration of fault detection and virtual sensing systems establishes a robust foundation for future AI-based control concepts for LPREs, marking a

significant step forward in the field.

Projektkoordinator

- Silicon Austria Labs GmbH

Projektpartner

- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Institut für Raumfahrtantriebe