

## SEASON-Twin

Smart Environmental Adaptive Simulation for Optimal Navigation in Digital Twins

|                                 |   |                        |            |
|---------------------------------|---|------------------------|------------|
| <b>Programm / Ausschreibung</b> | DST 24/26, DST 24/26, Virtuelle Welten und digitale Lösungen für die Gesundheit | <b>Status</b>          | laufend    |
| <b>Projektstart</b>             | 01.01.2026  | <b>Projektende</b>     | 31.12.2028 |
| <b>Zeitraum</b>                 | 2026 - 2028   | <b>Projektlaufzeit</b> | 36 Monate  |
| <b>Projektförderung</b>         | € 595.714   |                        |            |
| <b>Keywords</b>                 | Digital Twin, Uncertainty Modeling, Navigation, Outdoor Robotics                |                        |            |

### Projektbeschreibung

Die autonome Navigation von mobilen Robotern in Outdoor-Umgebungen ist für viele Anwendungsdomänen von wachsender Bedeutung und stellt eine Schlüsseltechnologie für die digitale und nachhaltige Zukunft Europas dar. Die Navigation im Freien ist aufgrund dynamischer Umweltbedingungen wie Jahreszeit-bedingten Veränderungen, wechselnden Boden- und Lichtverhältnissen eine besondere Herausforderung. Diese Bedingungen führen zu Diskrepanzen zwischen Echtzeitdaten und vorhandenen Karten, was zu Fehllokalisierung und ineffizienter Nutzung von mobilen Robotern führt. Die Integration von Umweltbedingungen in die Navigationsdaten ist aufgrund ihres nicht-deterministischen Verhaltens schwierig. Darüber hinaus können satellitengestützte Navigationssysteme keine ausreichenden Lösungen bieten, da sie nicht für die Berücksichtigung lokaler Umwelt- und saisonaler Faktoren ausgelegt sind. In modernen robotergestützten Anwendungen werden häufig digitale Zwillinge eingesetzt, um umfangreiche virtuelle Abbilder zu erstellen, welche Datenintegration, Simulation, Analyse und Vorhersage in Echtzeit ermöglichen, um die Entscheidungsfindung und Leistung zu verbessern. Die Zuverlässigkeit eines digitalen Zwillings hängt in hohem Maße von der Genauigkeit der Daten ab, was jedoch im Widerspruch zur nicht-deterministischen Natur von Outdoor-Umgebungen und den damit verbundenen Unsicherheiten in den erfassten Daten steht. Im Rahmen des SEASON-Twin-Projekts wollen wir einen umfassenden Digitalen Zwilling erstellen, der die wichtigsten Merkmale, die räumliche Anordnung und die zeitliche Dynamik realer Szenarien in Outdoor-Umgebungen widerspiegelt. Darüber hinaus wollen wir prädiktive Erkenntnisse aus dem digitalen Zwilling in einen bestehenden autonomen Navigationsstack einbinden, um die Navigation durch ein verbessertes Kontextbewusstsein und eine proaktive Entscheidungsfindung zu optimieren. In unserem Lösungsansatz kombinieren wir Unsicherheitsmodellierung, prädiktive Umgebungserkenntnisse und automatische Navigationsoptimierung zu einem vereinheitlichten Framework. Dies ermöglicht proaktive Navigationsentscheidungen und die Reduzierung von Lokalisierungsfehlern. Aus technologischer Sicht werden wir generative KI und prozedurale 3D-Techniken einsetzen, um eine realistische Synthese und adaptive Modifikation von Geländemodellen zu ermöglichen. Dies ermöglicht die Erstellung realistischerer Simulations- und Testumgebungen und reduziert die Abhängigkeit von kostspieligen Feldexperimenten. SEASON-Twin demonstriert seinen Ansatz im Weinbau, wo mobile Roboter entlang vordefinierter Pfade durch Weinberge navigieren müssen, jedoch mit variierenden Bedingungen durch Wachstumszyklen, saisonale Schwankungen und dynamische Untergrundbedingungen konfrontiert sind. Langfristig ermöglichen die angestrebten

Projektergebnisse breitere Anwendungen in der Land- und Forstwirtschaft sowie bei der Umweltüberwachung. Durch die Verbesserung der prädiktiven Modellierungsfähigkeiten digitaler Zwillinge werden angestrebte Forschungsergebnisse zur Verbesserung der autonomen Roboternavigation unter dynamischen realen Bedingungen beitragen.

## **Abstract**

The autonomous navigation of mobile robots in outdoor environments exhibits an emerging relevance in plenty of applications and represents a key technology for Europe's digital and sustainable future. Outdoor navigation is in particular challenging due to dynamic environmental conditions like seasonal changes, ground variations, and fluctuating lighting. These conditions cause discrepancies between real-time data and pre-existing maps, leading to mislocalization and underperformance of mobile robots. Integrating environmental conditions into navigation data is difficult due to their non-deterministic behaviour. Furthermore, satellite-based navigation systems cannot deliver sufficient solutions since they are not meant to consider local environmental and seasonal factors. In modern robot-based applications, Digital Twin technology is widely used to create extensive virtual representations, enabling real-time data integration, simulation, analysis and prediction to enhance decision-making and performance. In fact, the reliability of a Digital Twin highly depends on data accuracy, but the non-deterministic nature of outdoor environments and the uncertainties attached to captured data stand in opposition to this requirement. In the SEASON-Twin project we aim for creating a comprehensive Digital Twin which mirrors key characteristics, spatial layouts and temporal dynamics of real-world scenarios in outdoor environments. Further, we want to incorporate predictive insights from the Digital Twin into an existing autonomous navigation stack in order to optimize navigation through enhanced context awareness and proactive decision making. In our approached solution we combine uncertainty modeling, predictive environmental insights, and automated navigation optimization into a unified framework. This enables proactive navigation decisions, and reduction of localization errors. From the technological perspective we will apply generative AI and procedural 3D techniques in order to enable realistic synthesis and adaptive modification of environmental models. This enables the creation of more realistic simulation and test environments and reduces the reliance on costly field experiments. SEASON-Twin demonstrates its approach in viticulture, where robots follow predefined vineyard rows but face varying conditions across growth cycles, seasonal variations and dynamic underground conditions. In the long run, the aimed project results enable wider applications in agriculture, forestry and environmental monitoring. By advancing the predictive modelling capabilities of digital twins, this research will contribute to improving autonomous robotic navigation in dynamic real-world conditions.

## **Projektkoordinator**

- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

## **Projektpartner**

- ARTI - Autonomous Robot Technology GmbH
- Alpenspirit GmbH