AIDFORHERi

AI Driven Forest Health Risk Indicator

Programm / Ausschreibung	ASAP, ASAP, ASAP 18. Ausschreibung (2021, KP)	**Status**	abgeschlossen
Projektstart	01.08.2022	**Projektende**	31.12.2023
Zeitraum	2022 - 2023	**Projektlaufzeit**	17 Monate
Keywords	climate change; AI; Modelling; Digital Twin; Copernicus; Risk Prediction;Sentinel; Forest		

Projektbeschreibung

Das Projekt AIDForHeRi zielt darauf ab, das Potenzial von KI-basierten Prognoseinstrumenten zur Vorhersage von Borkenkäferbefall in Wäldern auf der Grundlage von EO-, Meteorologie- und Klimadaten zu untersuchen. Außerdem untersuchen wir, wie KI-Netzwerke eingesetzt werden können, um die Widerstandsfähigkeit von Wäldern gegenüber biotischen und abiotischen Schäden unter verschiedenen Klimaszenarien vorherzusagen. Die technologischen Entwicklungen werden zu einer klimaresilienteren Waldbewirtschaftung beitragen, wie sie in der vorgeschlagenen EU-Forststrategie für 2030 als Teil des europäischen Green Deals gefordert ist. Das Projekt passt zum thematischen Schwerpunkt von ASAP 18 „Klimaschutz“ und entwickelt Technologien zur Eindämmung des Klimawandels. Es passt auch zum Schwerpunkt der Unterausschreibung 4.1.2 zum Thema AI-Technologien und Digitale Zwillinge.

Wälder sind komplexe Ökosysteme, die stark vom Klimawandel betroffen sind, sei es durch steigende Temperaturen, veränderte Niederschlagsmuster oder die Häufigkeit von Stürmen. Das rasche Tempo des Klimawandels kann die natürliche Fähigkeit der Waldökosysteme, sich an den Klimawandel anzupassen, übersteigen und z.B. zu den massiven Borkenkäferausbrüchen in Mittel- und Osteuropa führen. Borkenkäferbefall ist derzeit die wichtigste Ursache für die Waldschäden in Österreich und für 37,3 % aller gemeldeten Waldschäden verantwortlich.

Das Borkenkäfer-Monitoring mit Erdbeobachtung wird bald auf nationaler Ebene einsatzbereit sein und in Near Real-Time Informationen über den Ort und die Größe eines neuen Befalls liefern. Joanneum Research entwickelt solche Dienste auf der Grundlage von Sentinel-2-Daten im Rahmen der Projekte BEAT IT! (ASAP 16) und FNEWs (nationales Roll-Out in Deutschland). Derzeit wird der Befall meist im „red attack“ Befallsstadium kartiert, wenn die Käfer den Wirtsbaum oftmals bereits verlassen und sich in der Umgebung ausgebreitet haben. Solche Kartierungen helfen dabei, frühzeitig Gegenmaßnahmen einzuleiten und tote Bäume aus dem Wald zu entfernen. Da jedoch das Timing bei der Bekämpfung von Borkenkäferausbrüchen von entscheidender Bedeutung ist, verlangen Forstbehörden und -besitzer nach zusätzlichen Instrumenten, die eine kontinuierliche Risikoabschätzung für Waldbestände unter Berücksichtigung der meteorologischen Bedingungen ermöglichen, um vorbeugende Maßnahmen zu ergreifen und die kostenintensiven Begehungen auf Hochrisikogebiete zu konzentrieren. Darüber hinaus können langfristige Risikovorhersagemodelle, die Daten aus Klimaszenarien einbeziehen, den Förstern helfen, klimaresilientere Waldbewirtschaftungsstrategien anzuwenden. Dies gilt

insbesondere für Aufforstungsmaßnahmen nach Waldschäden.

Jüngste Studien zum Borkenkäferbefall zeigen, dass die Anzahl der befallenen Bäume in der Umgebung der wichtigste lokale Faktor für den Borkenkäferbefall ist. Das NRT-Monitoring von Borkenkäferbefall kann diese Informationen in Zukunft liefern, und wir können NRT-Befallskarten in KI-Modelle zur Borkenkäferrisikovorhersage integrieren. Zusätzlich zu den NRT-Befallskarten können EO-Bilder, zusätzliche Bestandes- und Standortparameter (Baumarten, Dichte der Baumbedeckung) und hochauflösende, gerasterte tägliche Wetterdaten in KI-basierte Vorhersagen einbezogen werden. Die Kombination dieser verschiedenen Geodatensätze in einem ganzheitlichen Risikomodellierungsansatz ist ein innovativer Ansatz mit niedrigem TRL und einem hohen Entwicklungsrisiko, was ein Sondierungsprojekt rechtfertigt.

Die beiden Hauptziele des AIDForHeRi-Projekts sind zu untersuchen, inwieweit KI-Ansätze in der Lage sind, a) kurzfristigen Borkenkäferbefall und b) die Widerstandsfähigkeit von Wäldern gegenüber biotischen und abiotischen Schäden in verschiedenen Klimaszenarien, vorherzusagen. Die Entwicklungen werden sich auf die Erforschung und Entwicklung geeigneter KI-Netzwerke konzentrieren, die mit zeitlichen Sequenzen arbeiten können (z. B. RNNs, LSTM) und EO-Daten, GIS-Daten und gerasterte tägliche Meteorologie- oder Klimaszenariodaten kombinieren können. Die Forschungsarbeiten umfassen ein Downscaling von Klimadatensätzen, die Entwicklung einer Annotated Training Database, eine Optimierung der Netzwerkarchitektur und der Hyperparameter, eine Optimierung des Modelltrainings und das Deployment auf einer CPU/GPU-Architektur.

Die Modellergebnisse werden als Heat Maps im Rasterformat ausgegeben. Wir werden diese Risikokarten mit bekanntem Borkenkäferbefall (Referenzdaten von Waldnutzern und VHR-Daten) und mit Befall, der mittels Sentinel-2-Monitoring kartiert wurde, validieren und auch die Übertragung von Test- auf Validierungsgebiete analysieren. Die Leistung des Modells wird anhand von Standardmaßen (Accuracy, Precision, Recall, F1 Score, Conditional Kappa, IoU) bestimmt. Anschließend werden wir die Modellergebnisse mit Nutzern*innen und Forscher*innen aus der Forstwirtschaft diskutiert. Die Vorhersagegenauigkeiten und die Rückmeldungen der Nutzer*innen werden uns bei der Entscheidung helfen, ob wir in Folgeprojekten mit dem Prototyping von Diensten fortfahren.

Wir glauben, dass die Modellierung eines Borkenkäferbefallsrisikos die wirtschaftlichen Verluste in der Forstwirtschaft erheblich verringern kann und somit auch dazu beiträgt die sozioökonomischen Funktionen der europäischen Wälder zu erhalten, wie z.B. Schutzfunktionen (z. B. Schutzwälder), Kohlenstoffspeicherung und Wasserqualität. Die Modellierung von biophysikalischen Prozessen und die Simulation von Klimaauswirkungen sind Themen, die im Green Deal, in Horizon Europe und bei der Entwicklung von Digitalen Zwillingen (z. B. DestinE der EC) eine wichtige Rolle spielen. Wir sehen hier viele zukünftige Fördermöglichkeiten für Forschung & Entwicklung im Bereich Modellierung und Simulation.

Abstract

Project AIDForHeRi aims to explore the capabilities and potentials of AI-based forecasting tools to predict bark beetle infestation in forests based on EO and meteorology & climatology data. We also investigate how to use AI networks to predict forest resilience to biotic/abiotic damages under different climate scenarios. The technological developments will contribute to a more climate change resilient forest management, as demanded by the proposed EU Forest Strategy for 2030, which is part of the European Green Deal. The project perfectly fits the thematic focus of ASAP 18 on climate protection and technologies for climate change mitigation. It also matches the focus of sub tender 4.1.2 on AI technologies

and digital twin developments.

Forests are complex ecosystems strongly impacted by climate change, whether it is rising temperatures, changes in precipitation patterns, or the frequency of storms. The rapid rate of climate change may overcome the natural ability of forest ecosystems to adapt to climate change, causing unprecedented events, such as massive bark beetle outbreaks in Central and Eastern Europe. Bark beetle infestation currently is the most important driver of forest degradation in Austria, responsible for 37.3% of all reported forest damages in 2020.

Bark beetle monitoring with EO will soon become operational at national level providing near real-time information on location and size of new infestations. Joanneum Research is developing such services based on Sentinel-2 data in ASAP 16 project BEAT IT! and in project FNEWs (national roll-out in Germany). Currently, infestations are mostly mapped at the red attack stage, when beetles may already have left the host tree and spread to vital trees in the vicinity. Such maps help to initiate countermeasures at an early stage and to remove dead trees from the forest. Nevertheless, since timing is essential when combatting bark beetle outbreaks, forestry users are demanding additional tools that provide a continuous risk estimate for forest stands considering also meteorological conditions in order to take preventive action and focus in-situ surveys to high-risk areas. In addition, long-term risk forecasting models that integrate climate scenario data can help foresters to apply more climate change resilient forest management strategies, especially during restoration activities after disturbance events.

Recent studies on bark beetle infestation report that the number of infested trees in the vicinity is the most important local driver of bark beetle infestation. The near real-time monitoring services can now provide this information, and we can integrate NRT maps of new infestations in AI models for bark beetle risk prediction. In addition to near real-time infestation maps, EO imagery, additional stand and site parameters (tree species, tree cover density), and high-resolution gridded daily meteorological data can be included in AI based forecasting. Combining these different geospatial datasets in a holistic risk modelling approach is an innovative approach at low TRL and comes with a high development risk, thus warranting an explorative project (“Sondierung”).

The two main goals of the AIDForHeRi project are therefore to explore in how far AI methodological frameworks are capable of predicting a) short-term bark beetle infestation, and b) forest resilience to biotic and abiotic damages in different climate scenarios. Developments will focus on exploring and developing suitable AI frameworks that can work with temporal sequences (e.g. RNNs, LSTM) and can combine near real-time EO data, GIS data and gridded daily meteorology or climate scenario data. Research will include a downscaling of climate datasets, the design of an annotated training database, an optimization of network architecture and hyper-parameters, model training optimization and model deployment on CPU/GPU architecture.

Model outputs will be risk heat maps in raster format. We will validate these risk maps with known bark beetle infestation (reference from forest users and VHR data) and with infestations mapped by the Sentinel-2 monitoring workflow. We also analyze model transferability from test areas to validation areas. Model performance will be determined with standard measures (Accuracy, Precision, Recall, F1 Score, Conditional Kappa, IoU). We will then discuss model results with forestry users and the research community. The accuracy measures and the user feedback will help us decide if we proceed towards prototyping of services in follow-up projects.

We believe, modelling bark beetle infestation risk can significantly reduce economic losses in forestry and halt the degradation of the socio-economic functions of European forests, such as public safety (e.g. protection forests), carbon storage and water quality. Biophysical modelling and climate change simulation of forest resilience are topics that feature prominently in the Green Deal, in Horizon Europe and in European digital twin developments (e.g. EC’s DestinE) and we see many funding options for additional research and roll-out scenarios in the domain of EO-data based modelling and simulation.

Endberichtkurzfassung

Climate change is exacerbating bark beetle infestations, causing significant ecological and economic damage in European forests. The AIDForHeRI initiative, a collaborative effort by Joanneum Research, Beetle ForTech, and Geopshere Austria, investigated the applicability of artificial intelligence (AI) techniques for predicting current risks of new infestations at both pixel and stand levels. By combining Sentinel-2 time series data, monthly infestation maps from Sentinel-2 data, forest data, terrain parameters, and daily available meteorological datasets - SPARTACUS and WINFORE - the project derived rule-based risk assessments and developed several AI models for risk prediction. These models, based on UNet and more complex UNet-3D implementations, were trained on multitemporal rule-based risk maps for bark beetle infestations.

The AI models were tested in Mölltal and Drautal, regions in Austria currently most affected by bark beetle infestations. Adequate training and validation datasets were compiled through aerial and satellite imagery, as well as on-site inspections. Despite remaining challenges in creating pixel-accurate risk predictions, the models significantly aligned with reference risk classes. The advantage of AI models over solely rule-based systems lies in their need for fewer input parameters. However, their application in highly mountainous terrain currently precludes a national model accuracy estimate. It is expected that regionally trained AI models will be necessary for national deployment. Challenges, particularly related to temporal dependencies in UNet-3D and associated model complexity and computation time, highlight the ongoing need to refine model training and data processing methods.

A key focus of the AIDForHeRI project was the early inclusion of a broad user base to integrate a comprehensive spectrum of perspectives and needs from the start. This approach led to the development of AI models closely aligned with the actual challenges and needs of users, ensuring that the project not only advances technological innovations but also delivers practical solutions tailored to the real needs of target groups.

The successful integration of modern AI technologies and environmental data in AIDForHeRI has made significant contributions to ecological modeling. These outcomes provide a solid foundation for future research focused on predicting and managing bark beetle infestations and similar climate-related forest damages, emphasizing the growing importance of this challenge in the context of climate change. Models based on ecological site parameters, satellite imagery, weather, and climate data will form the basis for numerous Digital Twin applications in Earth Observation. AIDForHeRI has offered initial insights into how these data can be effectively combined in a Digital Twin and the potential of AI-based ecological models.

Projektkoordinator

- Beetle ForTech GmbH

Projektpartner

- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH
- GeoSphere Austria - Bundesanstalt für Geologie, Geophysik, Klimatologie und Meteorologie