

## KlimZug

Klimawandelanpassung im Zugverkehr durch Prognose von Extremwetter & klimawandelbedingter Änderungen im Energiedargebot

|                                 |  |                       |               |
|---------------------------------|--|-----------------------|---------------|
| <b>Programm / Ausschreibung</b> | Mobilität der Zukunft, Mobilität der Zukunft, MdZ - VIF 2020   | <b>Status</b>         | abgeschlossen |
| <b>Projektstart</b>             | 01.07.2021   | <b>Projektende</b>    | 30.06.2024    |
| <b>Zeitraum</b>                 | 2021 - 2024  | <b>Projektaufzeit</b> | 36 Monate     |
| <b>Keywords</b>                 | klimatologische Risikobetrachtung, GNSS ZDT Assimilation, drohnengetragenes Radar für Schneehöhenmessung, KI-basierte Prognose von Starkniederschlägen, Klimawandelstudie zur Primärenergieerzeugung aus |                       |               |

### Projektbeschreibung

Der Klimawandel schreitet stetig voran und bringt neben der mittlerweile allseits bekannten Steigerung der Temperaturen auch eine Veränderung der Wetterbedingungen und Extremwetterereignisse mit sich. Infrastrukturunternehmen wie die ÖBB besitzen gegenüber solchen Veränderungen eine besondere Risikoexposition, insbesondere weil sich viele relevante Teile des ÖBB-Schienennetzes im Alpenraum befinden. Dieser ist von den Auswirkungen des Klimawandels besonders betroffen, jedoch in Bezug auf die Gefahr für die dort bestehende Infrastruktur durch Klimaveränderungen noch nicht ausreichend erforscht. Eine durch den Klimawandel hervorgerufene Veränderung der Extremwetterereignisse in Art, Häufigkeit und Intensität in Österreich, insbesondere im alpinen Raum, ist für die ÖBB demnach von höchster Relevanz. Darüber hinaus muss das ÖBB-Wetterwarnsystem durch Einbindung intelligenter Sensorik erweitert werden, um für zukünftige durch den Klimawandel hervorgerufene Wetterereignisse gerüstet zu sein. Zusätzlich beziehen die ÖBB ihren Bahnstrom zu 100% aus Erneuerbaren Energien und erzeugen 1/3 des benötigten Strom selber aus Wasserkraft. Klimabedingte Änderungen der Wetterverhältnisse können das Dargebot dieser Energiequellen signifikant beeinflussen.

UBIMET leistet seit 2005 einen wesentlichen Beitrag zu einem verlässlich sicheren Schienenbetrieb durch die Aufbereitung relevanter Wetterinformationen. UBIMET ist Markt- und Technologieführer im Bahnsegment im DACH-Raum und hat herausragende Expertise im sehr speziellen Anforderungskatalog eines Schieneninfrastrukturbetreibers im hochkomplexen Gelände wie dem alpinen Raum. Im Projekt „KlimZug“ ist daher geplant, auf dem seit über 15 Jahren für die ÖBB maßgeschneiderten und bewährten System aufzusetzen, es mittels innovativer Algorithmen und individuell angepasster Sensorik auf ein neues Niveau an Vorhersagequalität und Informationsgehalt zu heben und damit die langjährige erfolgreiche Partnerschaft um ein weiteres Kapitel zu ergänzen. Die benötigte Expertise im Bereich Hydrologie und Klimafolgenforschung in Zusammenhang mit Änderungen im Dargebot an Primärenergie und Wasserkraft deckt das Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft (HyWa) der BOKU im Projekt ab. BOKU-HyWa hat eine langjährige Erfahrung und Expertise in der kleinräumigen hydrologischen Modellierung von alpinen Einzugsgebieten mit komplexer Topographie.

KlimZug verfolgt drei übergeordnete Ziele:

Ziel 1: Szenarien der durch den Klimawandel verursachten Änderungen der Häufigkeit und Intensitäten von Extremwetterereignissen im Bereich der Schieneninfrastruktur der ÖBB

Ziel 2: Weiterentwicklung des ÖBB-Wetterwansystems durch Anpassung und Verdichtung des meteorologischen Messnetzes entlang der Schieneninfrastruktur, Verbesserung der Prognose von konvektiven Niederschlägen, sowie Entwicklung zusätzlicher Prognosen für Waldbrand- und Wildbachgefahr

Ziel 3: Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserkraftproduktion und das Primärenergiedargebot

Ziel 1 wird erreicht durch eine Aufarbeitung historischer Extremwetterereignisse anhand der ÖBB-Ereignisdokumentation und unter Berücksichtigung der Klimaindizes des Vorgängerprojektes clim\_ect. Insbesondere werden großräumige Druck- und Strömungsmuster auf wieder erkennbare Muster hin untersucht und analytisch geclustert. Anhand der Analyse des zeitlichen Auftretens dieser geclusterten Großwetterlagen in den vergangenen 50 Jahren werden verschiedene Extremwetterszenarien definiert, die zu Behinderungen des Bahnverkehrs führen können. Diese kundenorientierte Sichtweise auf Extremwetterereignisse in Verbindung mit AI Clusteralgorithmen stellt einen bahnbrechend neuen Ansatz in der Bestimmung der klimabedingten Risikoexposition von Infrastruktur dar. Als Ergebnis dieser Untersuchungen wird ein Ensemble an Extremwetterszenarien sowohl auf globaler als auch regionaler Ebene erstellt werden. Diese Aufbereitung wird den ÖBB als Entscheidungsgrundlage zur besseren Vorbereitung auf Extremwetterereignisse dienen.

Für die Erreichung von Ziel 2 erfolgt die Ausarbeitung eines Messkonzeptes für eine an den Klimawandel und das bestehende Messnetz angepasste und verdichtete Sensorik zur Verbesserung der Prognose von Extremwetterereignissen. Hier werden sowohl Fernerkundungsmethoden (GNSS ZTD Daten, drohnengetragenes Bodenradar) als auch in-situ Messsysteme unter Realbedingungen getestet und einer Kosten/Nutzen-Analyse unterzogen. Für die Verbesserung der Prognose von konvektiven Niederschlagsereignissen werden im Gegensatz zu bislang weit verbreiteten Ansätzen in der Regionalwettervorhersage ein KI-basierter Ansatz verwendet, um anhand von trainierten Situationen einen Zusammenhang zwischen charakteristischer Verlagerung und Entwicklung und der herrschenden Regionalwetterlage abzuleiten. Damit kann die Prognosedauer für Zugbahn/Entwicklung konvektiver Zellen auf über 1h und auf ein damit bislang noch unerreichtes Niveau gehoben werden. Für die Prognose von Waldbrand- und Wildbachgefahren greift UBIMET auf bereits existierende Modelle zurück und verifiziert sie mit Daten aus der ÖBB-Ereignisdatenbank.

Für Ziel 3 werden Klimaszenarien verschiedener Emissionsszenarien und Modellkombinationen (ÖKS15, EURO-CORDEX, Vorgängerprojekt clim\_ect) analysiert, um Änderungssignale des Primärenergiedargebots für die nahe Zukunft bis 2050 zu berechnen. Weiters wird eine (Weiter-)Entwicklung und Validierung von Niederschlags-Abfluss-Modellen für die Einzugsgebiete der ÖBB-Laufwasserkraftwerke vorgenommen. Erstmals werden die Überprägung von Speicherseen und der anthropogene Einfluss in den Modellen für das Primärenergiedargebot berücksichtigt. Weiters wird nicht nur die Veränderung der Abschmelzdynamik von Gletschern, sondern auch die umgebende Landbedeckung in die hydrologischen Modelle eingebunden. Die Ergebnisse werden in Form eines Syntheseberichts zusammengefasst und so dargestellt, dass sie als Entscheidungsgrundlage für Handlungsempfehlungen geeignet sind.

Um die 3 hauptsächlichen Projektziele zu erreichen bauen wir auf dem bestehenden Wetterinformationssystem, bestehender Messsensorik, aktuellen Klimaszenarien, bereits bei UBIMET entwickelten Algorithmen zur Simulation der Schneedecke, des Oberflächenabflusses und der Waldbrandgefahr sowie bereits durchgeführten Sondierungen oder Studien zu erwarteten

Trends der Klimaparameter auf. Wir erweitern und erneuern diese Ansätze auf ein bisher unerreichtes Niveau. Es kommen neue Verfahren der Abflussmodellierung sowohl zur Abschätzung des zukünftigen Primärenergiedargebots als auch zur frühzeitigen Warnung vor Murgängen aus Wildbacheinzugsgebieten zum Einsatz. Erstmals werden wir GNSS Daten sowohl zur verdichteten Analyse der Aktuellen Niederschlagssituation als auch via Assimilation zur Kurzfristprognose verwenden.

## Abstract

Climate change is progressing steadily and, in addition to the now well-known increase in temperatures, is also bringing about a change in weather conditions and extreme weather events. Infrastructure companies such as ÖBB are particularly exposed to such changes, especially because many relevant parts of the ÖBB rail network are located in the Alpine region. This area is particularly affected by the impacts of climate change, but has not yet been sufficiently researched with regard to the risk to the existing infrastructure there due to climate change. A change in type, frequency and intensity of extreme weather events in Austria caused by climate change, especially in the Alpine region, is therefore highly relevant for the ÖBB. Therefore, the ÖBB weather warning system is to be demonstratively expanded by integrating intelligent sensor technology in order to be prepared for future weather events caused by climate change. In addition, ÖBB generates a significant part of its energy itself from renewable sources (mainly hydropower, photovoltaics and wind under expansion). Climate-related changes in weather conditions can significantly influence the supply of these energy sources.

Since 2005, UBIMET has been making a significant contribution to reliable and safe rail operations for ÖBB by processing relevant weather information. UBIMET is the market and technology leader in the rail segment in the DACH region and has outstanding expertise in the very special catalogue of requirements of a rail infrastructure operator in a highly complex terrain such as the Alpine region. In the "KlimZug" project, it is therefore planned to upgrade the system that has been tailored and proven for ÖBB for more than 15 years, to raise it to an unparalleled level of forecast quality and information content by means of innovative algorithms and individually adapted sensor technology. Thus, "KlimZug" will add another chapter to this long-term successful partnership. The required expertise in hydrology and climate impact research in connection with changes in the supply of primary energy and hydropower is covered by the BOKU Institute for Hydrology and Water Management (HyWa) in the project. BOKU-HyWa has many years of experience and expertise in the small-scale hydrological modeling of alpine catchment areas with complex topography.

"KlimZug" pursues three overarching goals:

Goal 1: Scenarios of climate change-induced shifts in frequency and intensities of extreme weather events in the area of ÖBB's rail infrastructure.

Goal 2: Further development of the ÖBB weather warning system by adapting and densifying the meteorological measurement network along the rail infrastructure, improving the forecast of convective precipitation, and developing additional forecasts for forest fire and torrent risk

Goal 3: Analysis of the effects of climate change on the hydroelectric power production and the primary energy supply.

Goal 1 will be achieved by processing historical extreme weather events using ÖBB event documentation and taking into account the climate indices of the predecessor project clim\_ect. In particular, large-scale pressure and flow patterns are examined for recognizable features and analytically clustered. Based on the analysis of the temporal occurrence of these large-scale weather patterns over the past 50 years different extreme weather scenarios are defined. This client-centric view of extreme weather events combined with AI cluster algorithms represents a ground-breaking new approach in determining

climate-related risk exposure of infrastructure. The result will be an ensemble of extreme weather scenarios on both a global and regional level. This preparation of extreme weather scenarios will serve ÖBB as a decision-making basis for better preparation for extreme weather events.

For the achievement of Goal 2, a measurement concept for a condensed sensor system adapted to climate change and the existing measurement network will be elaborated. This new concept will serve the purpose to improve the forecast of extreme weather events. Both remote sensing methods (GNSS ZTD data, drone-borne ground penetrating radar) and in-situ measurement systems will be tested under real conditions and subjected to a cost/benefit analysis. In contrast to previously widely used approaches in regional weather forecasting, to improve the forecast of convective precipitation events an AI-based approach is used to derive a correlation between characteristic displacement and development and the prevailing regional weather situation based on trained situations. Thus, the forecast duration for the trajectory/development of convective cells can be increased to more than 1h and thus to a level that has not been reached so far. For the forecast of forest fire and torrent hazards, UBIMET uses already existing models and verifies them with data from the ÖBB event database.

For Goal 3, climate scenarios of different emission scenarios and model combinations (ÖKS15, EURO-CORDEX, predecessor project clim\_ect) are analyzed to calculate change signals of the primary energy supply for the near future until 2050. Furthermore, a (further) development and validation of precipitation-runoff models for the catchment areas of the ÖBB run-of-river power plants will be performed. For the first time, the overprinting of reservoirs and the anthropogenic influence are considered in the models for the primary energy supply. In addition, not only the change in melting dynamics of glaciers, but also the surrounding land cover is integrated into the hydrological models. The results will be summarized in the form of a synthesis report and presented in such a way that they are suitable as a basis for decision making recommendations for action.

In order to achieve these 3 main project goals, we build our approach on existing weather information system, existing measurement sensors, current climate scenarios, algorithms already developed at UBIMETT for the simulation of snow cover, surface runoff and forest fire risk, as well as soundings already carried out or studies on expected trends of climate parameters. All these state-of-the-art approaches will be extended and renewed to reach unparalleled levels of forecasting quality. New runoff modeling techniques will be used both to estimate future primary energy supply and to provide early warning of debris flows from wind creek catchments. For the first time, we will use GNSS data both for condensed analysis of the Current Precipitation Situation and via assimilation for short-term forecasting.

## **Endberichtkurzfassung**

Ein Ziel von KlimZug war es historische Schadensereignisse aus der ÖBB-Ereignisdokumentation in Zusammenhang mit Großwetterlagen zu analysieren, welche inklusive der Auslösung von Naturgefahren-Prozessen zu Behinderungen im Bahnverkehr führen können.

Zusätzlich wurden neue Messkonzepte getestet darunter die Assimilation von GNSS ZTD Daten, der Einsatz eines dronengehaltenen Bodenradars für die Bestimmung der Schneehöhe sowie In-Situ-Messungen entlang von ausgewählten Streckenabschnitten im ÖBB Kernnetz.

Prognoseseitig war es das Ziel einen KI-basierten Shortrange-Forecast für konvektive Niederschläge zu entwickeln, einen Feuerrisikoindex für das ÖBB Warnsystem zu testen und ein Abflussmodell für die Prognose von Wildbachgefahren zu optimieren.

Bezüglich des Primärenergiedargebots wurden mittels hydrologischen Modells die Prognose der klimatisch bedingten Zuflussänderungen zu den ÖBB eigenen Speicherseen optimiert sowie eine Prognose der Zuflussänderungen zu den Bahnstromlaufwasserkraftwerken abgebildet. Auch die Änderungen an PV und Windkraftstromerzeugung im Zuge des Klimawandels an den Standorten der ÖBB- Kraftwerke wurden bewertet.

### **Projektkoordinator**

- UBIMET GmbH

### **Projektpartner**

- Universität für Bodenkultur Wien