

PRE4IMPACT-AT

Impacts of Landslides, Flash Floods & Hail in Austria: National Data & Explainable AI for Early Warning & Trend Analysis

Programm / Ausschreibung	Austrian Climate Research Programme 2024	Status	laufend
Projektstart	01.01.2026	Projektende	31.12.2028
Zeitraum	2026 - 2028	Projektlaufzeit	36 Monate
Keywords	impact based early warning; national scale; multi-hazard; explainable machine learning; trend analysis		

Projektbeschreibung

Die extremen Niederschlagsereignisse im Herbst 2024 in Europa haben erneut die Notwendigkeit unterstrichen, proaktive Maßnahmen und Frühwarnsysteme zu verbessern, um den Auswirkungen niederschlagsbedingter Naturgefahren vorzubeugen bzw. diese zu mildern. In Österreich verursachen Naturgefahren wie Hangrutschungen, Sturzfluten und Hagel regelmäßig Schäden an Menschen, deren Eigentum und Infrastruktur. Die bereits heute sichtbaren Auswirkungen des Klima- und Umweltwandels betonen zusätzlich die Notwendigkeit, Präventions- und Anpassungsstrategien voranzutreiben, um die Sicherheit und die Resilienz der Bevölkerung zu stärken.

Das Verständnis und die Vorhersage der Auswirkungen niederschlagsbedingter Gefahrenprozesse stellen insbesondere auf nationaler Skala aufgrund der komplexen Beziehungen zwischen meteorologischen Treibern, den damit verbundenen biophysikalischen und geomorphologischen Prozessen sowie sozioökonomischen Faktoren nach wie vor eine Herausforderung dar. Europäische nationale Wetterdienste, einschließlich GeoSphere Austria, orientieren sich an Initiativen der Vereinten Nationen wie Early Warning for All und der UN-Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung, indem sie einen Paradigmenwechsel in ihren Warnstrategien vorantreiben. Dieser Wechsel bewegt sich von traditionellen Wetterwarnungen hin zu auswirkungsbasierten Warnungen (Impact-based Warnings, IbW), die sich auf die Folgen von Wetterereignissen konzentrieren („Was wird das Wetter bewirken?“), anstatt ausschließlich das Wetter selbst vorherzusagen („Wie wird das Wetter sein?“). Neben methodischen und datenbezogenen Herausforderungen sind jedoch auch Vorbehalte potenzieller Endnutzer:innen hinsichtlich der Umsetzung von IbW bekannt, da diese häufig als zu komplex und undurchsichtig wahrgenommen werden, was deren Akzeptanz einschränkt.

Aus technischer Perspektive hat sich maschinelles Lernen (ML) bereits als vielversprechend erwiesen, um Vorhersagen komplexer Phänomene über große Gebiete zu ermöglichen, indem es die Integration vielfältiger Datensätze über Raum und Zeit hinweg erlaubt. Dennoch behindern der Mangel an Transparenz vieler ML-Anwendungen und deren fehlende physikalische Plausibilität oft deren Nutzung in operationellen Anwendungen, da Endnutzer:innen interpretierbare, plausible und vertrauenswürdige Werkzeuge benötigen.

PRE4IMPACT-AT verfolgt einen risikoorientierten Ansatz und konzeptualisiert die Auswirkungen von Hangrutschungen, Sturzfluten und Hagel als Ergebnis des Zusammenspiels von atmosphärischen, biophysikalischen und sozioökonomischen Treibern. Ziel des Projekts ist es, erklärbare und physikalisch plausible auswirkungsbasierte Modelle auf nationaler Ebene für

Österreich zu entwickeln, wobei im Verlauf auch eine Multi-Gefahren-Perspektive angewandt wird. Diese Modelle werden sowohl für Anwendungen mit Kurzfristsperspektive wie IbW als auch zur Bewertung von Trends und langfristigen Mustern evaluiert, um die Entwicklung kritischer Bedingungen und die Auswirkungen des Klimawandels besser zu verstehen. Der methodische Rahmen von PRE4IMPACT-AT umfasst die Formalisierung und Priorisierung der vielfältigen Einflussfaktoren durch konzeptionelle Modelle, sogenannte Wirkungsketten (Impact Chains). Basierend darauf werden Einflussfaktoren mithilfe meteorologischer, biophysikalischer/geomorphologischer und sozioökonomischer Daten parametrisiert und harmonisiert. Zahlreiche interne sowie externe Ressourcen, einschließlich meteorologischer Daten, Nowcasting-Systeme, Reanalysedaten, nationaler Schadensdatenbanken, Hagelversicherungsdaten und weiterer Quellen, die Umweltbedingungen sowie Exposition/Vulnerabilität abbilden, werden hierbei genutzt. Anschließend wird erklärbares ML angewendet, um raumzeitliche Vorhersageregeln für die jeweiligen Auswirkungen zu generieren. Überwachte Klassifikationsverfahren (supervised classifiers) und verschiedene statistische Lernverfahren werden eingesetzt, um Beziehungen zwischen inventarisierten Auswirkungen und statischen sowie dynamischen Treibern herzustellen um beispielsweise Wahrscheinlichkeiten oder Intensitäten von Auswirkungen unter bestimmten Bedingungen vorherzusagen. Diese Modelle werden durch quantitative Verfahren und Endnutzer:innenfeedback, das in wiederholten Modellbewertungs-Workshops eingeholt wird, iterativ verbessert. Die entwickelten Modelle werden in Hindcast- und Nowcast-Kontexten getestet, während modellbasierte Trendanalysen sich entwickelnde raumzeitliche Muster kritischer Bedingungen aufzeigen werden. Schließlich werden einzelne Modelle in eine Multi-Gefahren-Analyse integriert, um die Bewertung von Multi-Hazard-Impact zu ermöglichen.

In allen Projektphasen wird großer Wert auf die Einbindung potenzieller Nutzer:innen, wie beispielsweise Abteilungen mit Warnmandat, durch Co-Design-Aktivitäten gelegt. Dieser partizipative Ansatz soll sicherstellen, dass die entwickelten Modelle iterativ verbessert werden können, Skepsis entgegengewirkt wird und sie sich an reale Bedarfe orientieren. Dadurch wird ein gemeinsames Verständnis zwischen Wissenschaftler:innen und Endnutzer:innen aufgebaut. Zusammenfassend wird das Projekt wissenschaftlich fundierte und transparente Modelle generieren, die eine Grundlage für den Übergang zu IbW in Österreich bilden sollen. Zudem wird eine langfristige Perspektive eingenommen, um Einblicke in langfristige raumzeitliche Trends kritischer Bedingungen zu gewinnen.

Dieses ambitionierte Vorhaben wird durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen GeoSphere Austria, der Technischen Universität Wien, der ETH Zürich und der Universität Graz ermöglicht. Die Zusammenarbeit von Universitäten mit GeoSphere Austria in ihrer vielfältigen Rolle als Forschungseinrichtung, Datenanbieter und nationale Behörde mit Warnmandat gewährleistet, dass die Forschung sowohl in wissenschaftlicher als auch in operationeller Expertise verankert ist.

Abstract

The extreme precipitation events of autumn 2024 across Europe have once more underscored the urgent need to improve proactive measures and early warning to prevent and mitigate the impacts of precipitation-related natural hazards. In Austria, hazards such as landslides, flash floods, and hailstorms frequently cause harm to people, their belongings and infrastructure. The ongoing effects of climate and environmental change further emphasize the necessity of advancing prevention and adaptation strategies to enhance safety and community resilience.

However, understanding and predicting the impacts of precipitation-related hazards at the national scale remains complex due to the complex relationships between meteorological drivers, associated biophysical and geomorphological processes, and socioeconomic factors. European national meteorological services, including GeoSphere Austria, are aligning with the United Nations Early Warnings for All initiative and the UN 2030 Agenda for Sustainable Development by undertaking a

paradigm shift in their warning strategies. This shift moves from traditional weather warnings to impact-based warnings (IbW), which focus on the consequences of weather events ("what the weather will do") rather than merely forecasting the weather itself ("what the weather will be"). However, beyond methodological and data challenges, skepticism among potential end-users regarding the implementation of IbW is also recognized, as they often perceive it as overly complex and opaque, which limits its adoption. From a technical perspective, machine learning (ML) has already demonstrated significant potential for improving predictions of complex phenomena over large areas by enabling the integration of diverse datasets across space and time. Yet, the lack of transparency in many ML applications, or their missing physical plausibility, often hinders their uptake in real-world decision-making, as end-users require interpretable, plausible, and trustworthy tools. PRE4IMPACT-AT adopts a risk-oriented perspective and conceptualizes the impacts of landslides, flash floods and hail as a function of the interplay between atmospheric conditions, biophysical factors, and socioeconomic drivers. The project aims to create explainable and physically plausible spatiotemporal predictive models at the national scale for Austria, while also adopting a multi-hazard perspective. These impact-based predictive models will be evaluated for short-term applications, such as IbW, as well as for assessing trends and long-term patterns to better understand the evolution of critical conditions and the effects of climate change.

The methodological framework of PRE4IMPACT-AT comprises an initial formalization and prioritization of the manifold impact drivers through conceptual models, titled impact chains. Based on this, impact drivers are parameterized and harmonized using meteorological, biophysical/geomorphological and socioeconomic data. Numerous in-house as well as external resources, including meteorological data, nowcasting systems, reanalysis data, national damage databases, hail insurance data, and additional sources representing environmental conditions and exposure/vulnerability, will be utilized. Then, explainable ML will be applied to create spatiotemporal predictive rules for the respective impacts. Supervised classifiers and statistical learning will establish relationships between impacts and key static and dynamic drivers to predict, for example, impact probabilities or magnitudes under specific conditions. These models will undergo iterative improvements through quantitative procedures and end-user feedback obtained during repeated model evaluation workshops. The developed models will be tested in hindcast and nowcast contexts, while model-based trend analyses will reveal evolving spatiotemporal patterns in critical conditions. Finally, individual impact models will be integrated into a multi-hazard framework to advance multi-hazard impact assessment. Throughout all project phases, strong emphasis is placed on user engagement through co-design activities that also involve potential end-users holding warning mandates. This participatory approach ensures the developed models are iteratively improved to address skepticism and align with real-world needs, thus building a shared understanding between scientists and end-users.

Ultimately, the project will deliver scientifically robust and transparent models that provide a foundation for the transition toward IbW in Austria. It will also adopt a long-term perspective, offering valuable insights into long-term spatio-temporal trends in critical conditions. This effort is underpinned by an interdisciplinary collaboration involving GeoSphere Austria, the Technical University of Vienna, ETH Zürich, and the University of Graz. The collaboration of universities with GeoSphere Austria in its multifaceted role as a research institution, data provider, and national authority with a warning mandate ensures the research is firmly grounded in scientific and operational expertise.

Projektkoordinator

- GeoSphere Austria - Bundesanstalt für Geologie, Geophysik, Klimatologie und Meteorologie

Projektpartner

- ETH Zürich

- Technische Universität Wien
- Universität Graz