



# Klimawandel und Extremereignisse in Alpenraum: Wie man sich vorbe- reiten kann

TRANS-ALP Erweiterte Kurzdarstellung



Co-funded by  
the European Union





# Klimawandel und Extremereignisse in Alpenraum: Wie man sich vorbereiten kann

TRANS-ALP Erweiterte Kurzdarstellung

## Danksagung

*Diese Veröffentlichung ist eine Initiative im Rahmen des Projekts TRANS-ALP - Transboundary Storm Risk and Impact Assessment in Alpine region.*

*Dieses Projekt wurde vom Katastrophenschutzmechanismus der Europäischen Union (Generaldirektion für Katastrophenschutz und humanitäre Hilfe) unter der Vertragsnummer 101004843 finanziert.*

*Die Texte wurden unter Mitwirkung von Massimiliano Pittore, Piero Campalani, Kathrin Renner, Alice Crespi, Andrea Vianello, Miriam Reicchi von Eurac Research, Francesca Borga, Mauro Borin, Enrico Marin und Manuela Massi von EPC srl, Sebastian Lehner, Katharina Enigl und Klaus Haslinger von ZAMG (jetzt Geosphere Austria), Fabrizio Tagliavini, Roberta Dainese und Gianni Marigo von ARPA Veneto, Matthias Plörer und Michaela Teich vom BFW erstellt.*

*Die Gesamtaufsicht wurde von Massimiliano Pittore (EURAC Research) gewährleistet.*

*Das Manuskript wurde im Dezember 2022 fertiggestellt.*

*Diese Publikation und alle Projektleistungen und -materialien können heruntergeladen werden unter*

<https://project-transalp.eu>

## Haftungsausschlüsse

*Diese Veröffentlichung wurde mit finanzieller Unterstützung der Europäischen Union erstellt. Der Inhalt dieser Publikation gibt ausschließlich die Meinung der Autoren wieder. Die Europäische Union kann nicht für die Verwendung der darin enthaltenen Informationen verantwortlich gemacht werden.*

<b>Diese Publikation in aller Kürze</b>	<b>5</b>
<b>Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>TEIL 1 - Grenzüberschreitende risikobewertung</b>	<b>8</b>
<b>Relevante vergangene ereignisse und deren eigenschaften und auswirkungen</b>	<b>8</b>
Daten und Methoden	9
Ergebnisse - Liste der Extremereignisse	9
Beschreibung der Ereignisse - Fokus auf Vaia, Analyse der Wiederkehrperioden	10
Wettertypen, die mit vergangenen Extremereignissen in Verbindung gebracht werden	11
Hazard Trigger Patterns – charakteristische Niederschlagsmuster	12
Zusammenfassung und Empfehlungen	14
<b>Future Climate Changes for High-Impact Weather in The Alpine Cross-Border Region</b>	<b>15</b>
Daten und Methoden	15
Änderungen von Wettertypen unter verschiedenen Klimaszenarien	16
Änderungen der Häufigkeit	16
Änderungen der Intensität	17
Synthese und Empfehlungen	17
<b>Expositions- und Anfälligkeitsanalyse mit vorhandenen daten und anwendungen in pilotregionen</b>	<b>18</b>
Synthese und Empfehlungen	20
<b>Grenzüberschreitende kaskaden von gefährdungen und risiken</b>	<b>21</b>
Kaskadeneffekte bei Alpenstürmen	21
Synthese und Empfehlungen	21
<b>Methodische leitlinien für die kommunikation von wirkungsprognosen</b>	<b>23</b>
Synthese und Empfehlungen	26
<b>Eine TRANS-ALP-praxisanwendung: neubewertung des lawinenrisikos nach dem sturm vaia</b>	<b>27</b>
Vergleich zwischen den beiden Testgebieten	32
Ermittlung neuer potenzieller Lawinenauslösegebiete, Auslaufsimulationen zur Expositionsabschätzung & Bewertung neu exponierter Objekte aufgrund der Lawinengefahr nach einem Sturm (Schritte 4 & 5)	33
Synthese und Empfehlungen	36
Harmonisierung der Erkundung mehrerer Gefahrenquellen nach einem Ereignis	36
Harmonisierung der Methoden zur Bewertung von Bodeneffekten und möglichen Kaskadeneffekten	37
Passive Minderungsmaßnahmen	37
<b>Teil 2 - Instrumente für den Daten- und Informationsaustauschs</b>	<b>38</b>
<b>Erhebung von daten über die auswirkungen von unwettern und kartierungsmethoden</b>	<b>38</b>
Erhebung von Daten über Sturmschäden in Europa: Warum müssen Auswirkungen, Schäden und Verluste erfasst werden und was ist der aktuelle Stand?	38
Welche Institutionen sind für die Erhebung von Unwetterdaten im Alpenraum zuständig und in der Regel prädestiniert?	39
Synthese und Empfehlungen	41
<b>Collection of impact data in the TRANS-ALP cross-border study areas</b>	<b>44</b>
Italienische Schad- und Ereignisdaten	44
Hydrologische Ereignisdatenbank ED30	44
IFFI	44
Österreichische Schad- und Ereignisdaten	44
WLK	44
GEORIOS	45
VIOLA	45
Harmonisierungsverfahren	46
Synthese und Empfehlungen	46
<b>Die TRANS-ALP Web-GIS kartierungsplattform</b>	<b>47</b>
Beschreibung der Plattform	47
Diskussion	50
Synthese und Empfehlungen	50
<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>51</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>52</b>
<b>Kontakdaten der TRANS-ALP-PARTNERSCHAFT</b>	<b>54</b>

## Vorwort

Das Vaia-Ereignis von 2018 war ein Weckruf für Katastrophenschutzbehörden, Entscheidungsträger sowie die wissenschaftliche Gemeinschaft. Obwohl derartige Extremereignisse als extrem selten gelten, erhöht sich mit dem Klimawandel die Wahrscheinlichkeit, dass solche Ereignisse in Zukunft zu beobachten sind. Die Schwere der damit verbundenen Risiken für die betroffenen sozio-ökologischen Systeme steigert sich damit erheblich. Aus diesem Grund sind die Aktivitäten des TRANS-ALP-Projekts von großem Interesse.

## Diese Publikation in aller Kürze

Das Konsortium des TRANS-ALP-Projekts hat in 24 Monaten eine große Spannbreite von Aktivitäten durchgeführt. Es ging um das Thema der Risikobewertung im Falle von Extremereignissen so wie großen Stürmen in den Alpenregionen. Ziel war es ein besseres Verständnis des komplexen Zusammenspiels zwischen Gefahr, Exposition und Vulnerabilität, auch im Zusammenhang mit Kaskadeneffekten, in den verschiedenen alpinen Gebieten an der Grenze zwischen Italien und Österreich zu ermöglichen. Mit Hilfe von statistischen Methoden wurden vergangene Extremereignissen im Untersuchungsgebiet untersucht. Das Ergebnis war eine Auswahl von Ereignissen zwischen 1980 und 2020, die durch starke hydrometeorologische Anomalien gekennzeichnet waren und für die negative Auswirkungen auf die betroffenen Gebiete beobachtet wurden.

Eine empirische Analyse dieser Ereignisse zeigte einen deutlichen Trend der Zunahme in der Häufigkeit und Intensität solcher Ereignisse im letzten Jahrzehnt. Diese Beobachtung wurde durch eine Analyse von Klimaszenarien untermauert, die auf eine mögliche Zunahme von Extremereignissen in der nahen Zukunft aufgrund des Klimawandels hinweisen. Das Projekt befasste sich auch mit der Herausforderung, die Auswirkungen von Extremereignissen auf die betroffenen sozio-ökonomischen sowie ökologischen Systeme angemessen zu dokumentieren, und machte einen Vorschlag für ein standardisiertes Erhebungs- und Dokumentationsverfahren. Für die Exposition und Vulnerabilität wurde ein innovatives aggregiertes Expositionsmodell entwickelt und beispielhaft angewendet, um einen konsistenten Rahmen für die quantitative Vorhersage der Auswirkungen mehrerer Gefahren und die Risikobewertung für Anwendungen zur Risikominderung und -warnung zu schaffen. Darüber hinaus befasste sich TRANS-ALP mit der wahrscheinlichen Veränderung der Risikobedingungen durch kaskadenartige Auswirkungen auf die bewaldeten Gebiete nach einem starken Sturm, wie im Fall von VAIA beobachtet.

Ein systematisches Protokoll zur Neubewertung des Lawinenrisikos wurde vorgeschlagen und im Testgebiet des Cordevole-Tals beispielhaft erprobt. Es umfasst innovative Analyseverfahren und Empfehlungen zur dynamischen Anpassung der Lawinenrisikobewertung, die von den lokalen Katastrophenschutzbehörden erfolgreich eingesetzt wurden. Schließlich wurden alle im Rahmen des TRANS-ALP-Projekts gesammelten, zusammengestellten sowie generierten Daten gesammelt, gespeichert und den Konsortialpartnern und Projektbeteiligten in einer interaktiven webbasierten GIS- und Datenvisualisierungsplattform zugänglich gemacht, die eine konsistente Datenverwaltung und -weitergabe für die weitere Integration der verfügbaren Informationen und der vorgeschlagenen Methoden in die aktuellen und zukünftigen Katastrophenschutzaktivitäten ermöglicht.

# Einleitung

Massimiliano Pittore (EURAC Research), Francesca Borga and Mauro Borin (EPC)

Die zunehmende Intensität und Häufigkeit extremer Wetterereignisse im Mittelmeerraum, die mit dem Klimawandel zusammenhängen, stellen eine konkrete Bedrohung dar, insbesondere für die empfindlichsten ökologischen und sozioökonomischen Systeme eines Gebietes.

Ein Beispiel ist der Sturm Vaia (als Orkan eingestuft), der zwischen Ende Oktober und Anfang November 2018 die gesamte Alpenregion heimsuchte, rund 42 Millionen Bäume fällte und die Geomorphologie ganzer Täler in Nordostitalien und in einigen Gebieten in Österreich und der Schweiz veränderte. Die Untersuchung von Vaia und ähnlichen meteorologischen Extremereignissen führte zum Konzept des europäischen Projekts TRANS-ALP, "Transboundary Storm Risk and Impact Assessment in Alpine regions" (Grenzüberschreitende Sturmrisiko- und Folgenabschätzung in alpinen Regionen), das darauf abzielt, die Kapazitäten für das Verständnis und das Management des Risikos von extremen Wetterphänomenen in den Alpen zu verbessern.

Vaia war in der Tat ein Ereignis von großem Interesse für die Forscher im Bereich der Katastrophenvorsorge und -vermeidung. Leider war es weder isoliert noch unwiederholbar. Im Gegenteil: Eine Analyse der als "extrem" einzustufenden Ereignisse, die den Alpenraum zwischen Italien und Österreich in den letzten fünfzig Jahren heimgesucht haben, ergab, dass solche Ereignisse - wie zum Beispiel die großen Schneefälle im Jahr 1985 - in den letzten Jahren immer intensiver und häufiger geworden sind. So wurden allein im Dreijahreszeitraum 2018-2020 sechs Fälle von Stürmen registriert, die hinsichtlich der Niederschlagsmenge als "außergewöhnlich" eingestuft werden können.

Leider gibt uns die besondere Intensität des Sturms Vaia ein realistisches Bild von den Herausforderungen, denen sich der Katastrophenschutz in der nächsten Zeit stellen wird. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit und die Bereitschaft, zur Entwicklung und Annahme von Lösungen beizutragen, die dazu beitragen können, diesen Phänomenen vorzubeugen und, falls erforderlich, schnell zu reagieren, um die Risiken, vor allem für Menschen und Gebiete, so weit wie möglich zu verringern.

TRANS-ALP ist ein zweijähriges Projekt, das im Januar 2021 begann und von der Europäischen Union im Rahmen des Programms für Prävention und Vorsorge im Bereich des Katastrophenschutzes und der Meeresverschmutzung kofinanziert wird. Das Projekt wird vom Institut für Erdbeobachtung bei Eurac Research in Bozen, Italien, koordiniert. Die anderen Institutionen, die die italienisch-österreichische grenzüberschreitende Partnerschaft vervollständigen, sind: ARPAV, die regionale Agentur für Umweltvorsorge und -schutz in Venetien; GEOSPHERE Austria (ehemals ZAMG), die österreichische Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik; BFW, die österreichische Forstliche Versuchsanstalt; und EPC srl, ein Unternehmen mit Erfahrung im Management und in der Kommunikation komplexer europäischer Projekte mit Sitz in Vicenza.

Das Hauptmerkmal des TRANS-ALP-Projekts bestand darin, meteorologische Extremereignisse aus einer Multi-Hazard- und grenzüberschreitenden Perspektive zu betrachten, d.h. sich nicht nur auf ein einzelnes Phänomen zu konzentrieren, sondern die vielfältigen Gefahren zu berücksichtigen, die bei Extremereignissen oft zusammenkommen und das Gebiet und die Bevölkerung verschiedenen Bedrohungen aussetzen. Am Beispiel von Vaia hat das Zusammenwirken von Regen und starkem Wind in kürzester Zeit mehrere Hauptrisiken hervorgerufen: umstürzende Bäume auf Straßen und Gebäude, Überschwemmungen von Bächen und Flüssen sowie Erdbeben und Murgänge. Darüber hinaus wirkten sich eine Reihe von Folgeprozessen und -phänomenen mit einem "Kaskadeneffekt" auch noch Jahre nach dem Ereignis auf das Gebiet aus. So besteht in dem betroffenen Gebiet ein erhöhtes Abfluss-, Erosions- und Lawinenrisiko durch den Verlust von Waldflächen sowie ein erhöhtes Risiko von Bränden und Parasitenproblemen (z. B. der *Ips typographus*, der bereits viele Gebiete in Nordostitalien und im österreichischen Tirol befallen hat), begünstigt durch die ausgedehnten Windwürfe der außergewöhnlichen starken Windböen von Vaia. Risikobewertung ist ein Kernbestandteil des Risikomanagementkreislaufs (Abbildung 1).

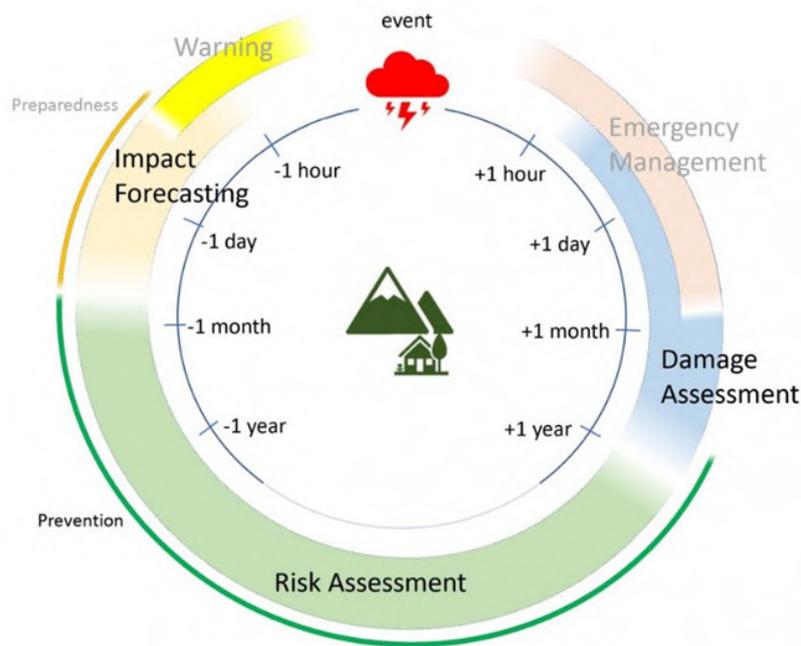


Abbildung 1: Schematische Visualisierung des Risikomanagementkreislaufs

Ausgehend von diesen Überlegungen hat das TRANS-ALP-Projektconsortium zunächst eine Analyse der Extremereignisse durchgeführt, die in den letzten Jahren im Alpenraum aufgetreten sind. Parallel dazu wurden die wichtigsten Methoden und Ansätze der Risiko- und Schadensbewertung im Zusammenhang mit diesen Ereignissen analysiert und die Verfügbarkeit von Daten und Informationen zu diesen Themen auf lokaler und transnationaler Ebene bewertet. Auf der Grundlage dieser Informationen wurde dann eine Reihe spezifischer Themen im Zusammenhang mit der Risikobewertung untersucht, wobei drei Pilotgebiete besonders berücksichtigt wurden: das Cordevole-Tal in der Region Venetien, die Provinz Südtirol in Italien und der Bezirk Osttirol in Österreich. Darüber hinaus wurde eine Web-GIS-Plattform eingerichtet und mit den im Rahmen des Projekts gesammelten Daten bestückt. Sie kann über die Website (<http://www.project-transalp.eu>) aufgerufen werden.

In dieser Veröffentlichung werden die wichtigsten Projektergebnisse beschrieben, die durch eine fruchtbare und effektive transnationale Zusammenarbeit erzielt wurden.



## TEIL 1 - Grenzüberschreitende risikobewertung

### Relevante vergangene Ereignisse und deren Eigenschaften und Auswirkungen

*Sebastian Lehner, Katharina Enigl and Klaus Haslinger (Geosphere Austria), Alice Crespi (EURAC Research)*

Wir hören oft, dass extreme Ereignisse aufgrund des Klimawandels immer häufiger auftreten, aber wann ist ein Ereignis "extrem" und wie können wir es beschreiben? Intuitiv beziehen wir uns bei „Extremereignissen“ auf Ereignisse von besonders hoher Intensität, die sich erheblich auf ein großes Gebiet auswirken. Relevante bedeutende hydrometeorologische Ereignisse der Vergangenheit können jedoch durch eine Vielzahl von Ansätzen und aus unterschiedlichen Blickwinkeln charakterisiert werden. In diesem Abschnitt werden einige unterschiedliche Methoden beschrieben um extreme Niederschlagsereignisse zu identifizieren und zu charakterisieren, ihre Ergebnisse gegenübergestellt und diskutiert. Zunächst haben wir getestet, wie Extremereignisse in mehrdekadischen Beobachtungen mit Hilfe sogenannter "Perzentil-Methoden" identifiziert werden können. Hierbei wurden Extremereignisse anhand der beobachteten Anomalien in den Perzentilen der Niederschlagsstatistik bestimmt. Diese Ereignisse können anschließend durch einen Vergleich mit beobachteten Schadensaufzeichnungen kombiniert und analysiert werden. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Beschreibung und Analyse des Sturms Vaia. Als zweiten Schritt werden großräumige Wettertypen (d.h. Wettermuster auf der synoptischen Skala) bestimmt und mit den identifizierten Extremereignissen verknüpft. Dadurch ergeben sich kritische Wettertypen, die zu gefährlichen Wetterereignissen in der grenzüberschreitenden Region Österreich-Italien führen. Schließlich werden so genannte "Hazard Trigger Patterns" abgeleitet, die lokale zeitliche Niederschlagsverläufe in den Tagen vor registrierten schadenverursachenden Wetterereignissen beschreiben. Insgesamt erlauben die verschiedenen angewandten Methoden sowohl einen großräumigen als auch einen lokal begrenzten Blick auf die Charakteristika von gefährlichen Wetterereignissen in der grenzüberschreitenden Region Österreich-Italien.

### Daten und Methoden

Für die Identifizierung von Extremereignissen wurden zwei verschiedene gegitterte Datensätze verwendet: der SPARTACUS-Datensatz von GeoSphere Austria (Hiebl und Frei, 2017) für die österreichische Zielregion

(Osttirol und Kärnten) und der Datensatz von Eurac Research (Crespi et al, 2021) für die italienische Zielregion (Trentino-Südtirol). Beide Datensätze enthalten tägliche Niederschlagssummen auf einem 1 km-Gitter für den Zeitraum von 1980 bis 2020. Für die Ermittlung von Extremereignissen, die beide Zielregionen in der Vergangenheit betroffen haben, haben wir zwei sich ergänzende Perzentil-Methoden angewandt. Diese widersprechen sich nicht, sondern ergänzen sich. Die erste Methode zielt darauf ab, Extremereignisse mit den höchsten Niederschlagsmengen auf regionaler Ebene zu ermitteln, d. h. großräumige Phänomene, welche einen großen Teil des untersuchten Gebiets betroffen haben. Im Gegensatz dazu konzentriert sich die zweite Methode auf die Ermittlung von kleinräumigen Ereignissen mit hohen lokalen Niederschlagsmengen. Weitere Einzelheiten zur Methodik finden sich im Projektbericht D2.2. Die resultierenden Extremereignisse, die durch die Kombination beider Methoden ermittelt wurden, sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Als Eingangsdaten für die Ableitung von Wettermustern dienen gegitterte Bodendruckfelder über Europa und dem Atlantik aus ERA5 Reanalysedaten (Hersbach, 2020). Die COST733-Wettertypen-Klassifikationssoftware (Philipp et al., 2014) wird angewandt, um die sogenannte "Gross-Wetter-Typen"-Klasse (GWT) für jeden Tag von 1961 bis 2020 zu bestimmen. Anschließend wird die Liste ausgewählter Extremereignisse mit abgeleiteten GWT-Wettertypen verschnitten, um eine Verteilung potenziell kritischer Wettertypen zu ermitteln, die mit Extremereignissen verbunden sind.

Sogenannte "Hazard Trigger Patterns" (HTP) zielen darauf ab, die meteorologische Entwicklung vor einem Schadereignis zu beschreiben. Für ihre Ableitung sind zwei Hauptschritte erforderlich: die Zusammenstellung und Harmonisierung verfügbarer Schadensdaten und anschließend deren Verschneidung mit meteorologischen Daten.

In einem ersten Schritt haben wir in beiden Zielregionen Auswirkungsdaten aus verschiedenen Datenquellen gesammelt. Eine Voraussetzung für ihre Verwendbarkeit in dieser Analyse ist, dass für die registrierten Ereignisse eine Punktverortung sowie ein taggenaues Datum vorliegt. Für Italien verwenden wir den IFFI- (Triglia et al., 2008) sowie den ED30- (Macconi und Sperling, 2008) Datensatz. Diese umfassen Auswirkungen, die durch Massenbewegungen bzw. Überschwemmungen induziert wurden. Der GEORIOS-Datensatz (Tilch et al., 2011) und die WLK-Datenbank (BMNT, 2018; WLW, 2017) enthalten Auswirkungsdaten für die gleichen Prozesse in Österreich. Italienische und österreichische Daten werden durch Harmonisierungsprozesse zu einem Datensatz zusammengeführt.

Auswirkungsdaten für Hochwasserereignisse sind vor allem in der grenzüberschreitenden Region in Osttirol konzentriert, während für Massenbewegungen in der Regel mehr registrierte Auswirkungsdaten auf italienischer Seite vorhanden sind. Der österreichische (Osttirol und Kärnten) Teilsatz der Daten für den Zeitraum enthält etwa gleich viele Hochwasser- und Massenbewegungseignisse mit einem Maximum an erfassten Einträgen im Sommer. In Südtirol sind die Daten nicht gleichmäßig auf die Kategorien verteilt. Die Hochwasserereignisse weisen ihr Maximum im Herbst auf, während die meisten Massenbewegungseignisse im Sommer registriert werden. Außerdem werden in der gesamten Zielregion etwa 3,5 Mal mehr Massenbewegungen als Hochwasserereignisse registriert.

Als zweiter Schritt bei der Ableitung von HTPs werden die kompilierten Auswirkungsdaten mit meteorologischen Daten verschnitten. Durch eine sogenannte EOF-Analyse (Empirische orthogonale Funktionen) können Auswirkungsauslösende Wettersequenzen ermittelt werden (Enigl et al., 2019). Technische Einzelheiten finden sich in den Berichten zu den Ergebnissen D2.1 und D2.4.

## Ergebnisse - Liste der Extremereignisse

Auf der Grundlage der beiden oben beschriebenen Perzentilmethoden wurden 15 Extremereignisse zwischen 1980 und 2020 ermittelt, die sowohl die österreichischen als auch die italienischen Zielregionen betrafen: Osttirol-Kärnten (ET-C), und Südtirol (ST). Das Ereignisdatum sowie das lokale Maximum (in mm) für beide Zielregionen sind in Tabelle 1 angeführt. Die in einer Region ermittelten wichtigsten Ereignisse stimmen mit denen in der anderen Region überein, was die Kohärenz der Daten und der angewandten Methoden in der gesamten grenzüberschreitenden Region bestätigt.

Ereignisdatum	Lokales Maximum (ET-C) [mm]	Lokales Maximum (ST) [mm]
18.07.1981	157,7	128,5
31.01.1986	166,6	162,9
25.11.1990	93,60	173,4
02.10.1993	151,0	144,3
20.09.1999	157,2	144,6
01.11.2003	158,7	127,3
29.10.2008	92,0	148,0
27.05.2011	91,5	150,6
05.11.2014	248,1	195,7
25.08.2018	72,7	119,7
29.10.2018	212,0	184,6
01.02.2019	103,2	240,5
15.11.2019	118,6	166,3
29.08.2020	115,30	107,4
05.12.2020	251,5	274,4

*Tabelle. 1: Ereignisse, die nach beiden Ansätzen der Perzentilmethode als signifikant ausgewählt wurden. Die österreichische Region enthält Osttirol und Kärnten (ET-C), die italienische Region Südtirol (ST).*

## Beschreibung der Ereignisse - Fokus auf Vaia, Analyse der Wiederkehrperiodn

Für alle identifizierten Extremereignisse wurden die meteorologische Entwicklung sowie die registrierten Impacts in Deliverable D2.2 beschrieben. Als Beispiel konzentrieren wir uns im Folgenden auf den Sturm VAIA, der die Zielregion Ende Oktober 2018 stark getroffen hat.

Abbildung 2 zeigt die registrierten Auswirkungsereignisse für Vaia vom 27. bis 31. Oktober 2018 in den Zielregionen Südtirol (ST) sowie Osttirol und Kärnten (ET-C). Graue Punkte stellen Auswirkungen aus der italienischen IFFI- und ED30-Datenbank dar, welche Auswirkungen durch Erdbeben bzw. Überschwemmungen umfassen. Die grau gepunkteten Polygone zeigen den österreichischen VIOLA-Datensatz, der Bezirke oder Gemeinden darstellt, in denen Auswirkungen registriert wurden (die oben genannten Datensätze WLK und GEORIOS waren zum Zeitpunkt der Analyse nicht für das Jahr 2018 vorliegend). Das Gitter im Hintergrund zeigt die Niederschlagssummen für VAIA aus dem SPARTACUS-Datensatz. Die 6-Tage-Niederschlagssumme lag in weiten Teilen der Zielregionen über 200 mm, mit Spitzenwerten von bis zu 475 mm in den südlichen Teilen Kärntens. Die meisten Auswirkungen in der Zielregion wurden in den Gebieten mit den höchsten Niederschlagssummen registriert.

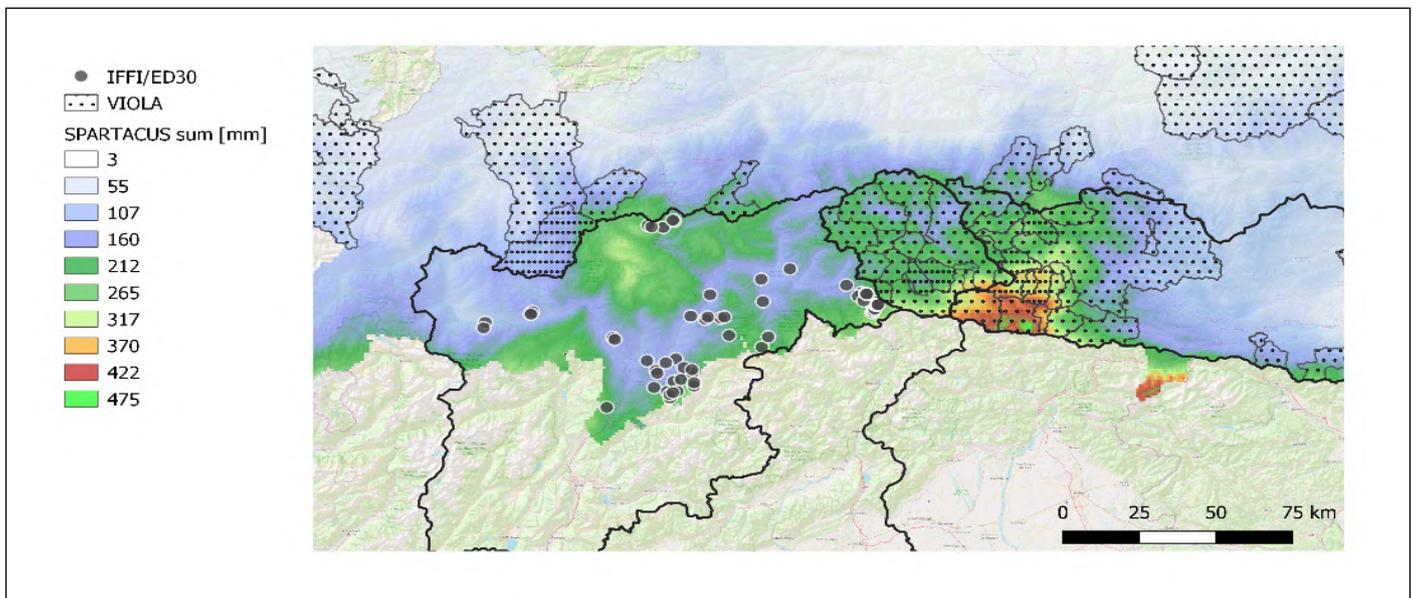


Abbildung 1: Registrierte Auswirkungereignisse und Niederschlagssummen während des VAIA-Sturms (GeoSphere Austria)

## Wettertypen, die mit vergangenen Extremereignissen in Verbindung gebracht werden

Die GWT-Wettertypen ('Gross-Wetter-Typen') beschreiben 9 zyklonale (Nr. 1 bis 9) und 9 antizyklonale Wettertypen (Nr. 10 bis 18). Erstere stehen im Zusammenhang mit Tiefdruckgebieten, die Mitteleuropa beeinflussen, während letztere durch Hochdruckgebiete gekennzeichnet sind. In Abbildung 3 sind die GWT-Wettertypen für die ausgewählten Extremereignisse auf der Grundlage der zuvor erläuterten Methodik (siehe Tabelle 1) dargestellt. Alle spezifischen Extremereignisse sind demnach mit zyklonalen Wettertypen verbunden und insbesondere mit den GWTs 2, 7 und 8. Diese beschreiben Wettermuster mit ähnlichen Eigenschaften. Der Sturm VAIA fällt ebenfalls in diese Untergruppe der GWT-Wettertypen. Abbildung 4 zeigt den mittleren Bereich der Anomalien des Meeresspiegeldrucks für die Tage mit GWT 8. Mitteleuropa wird von einem Tiefdrucksystem über den Britischen Inseln, welches bis nach Frankreich reicht, und einem blockierenden Hochdrucksystem über Nordosteuropa beherrscht. Die daraus resultierende Strömungsrichtung kann zu starken Niederschlägen in den Südalpen führen und ist daher ein wichtiges Merkmal für die grenzüberschreitende Analyse von gefährlichen Wetterereignissen zwischen Österreich und Italien. GWT 2 und 7 (nicht gezeigt) sind ähnliche Wetterlagen, mit kleinen Unterschieden in der Lage und Ausdehnung der Tief- und Hochdrucksysteme, aber mit vergleichbaren resultierenden Strömungsstrukturen für die Zielregion. Daher sind diese drei GWT-Wettertypen von besonderer Bedeutung für extreme Wetterereignisse im Zusammenhang mit der grenzüberschreitenden Region Österreich-Italien.

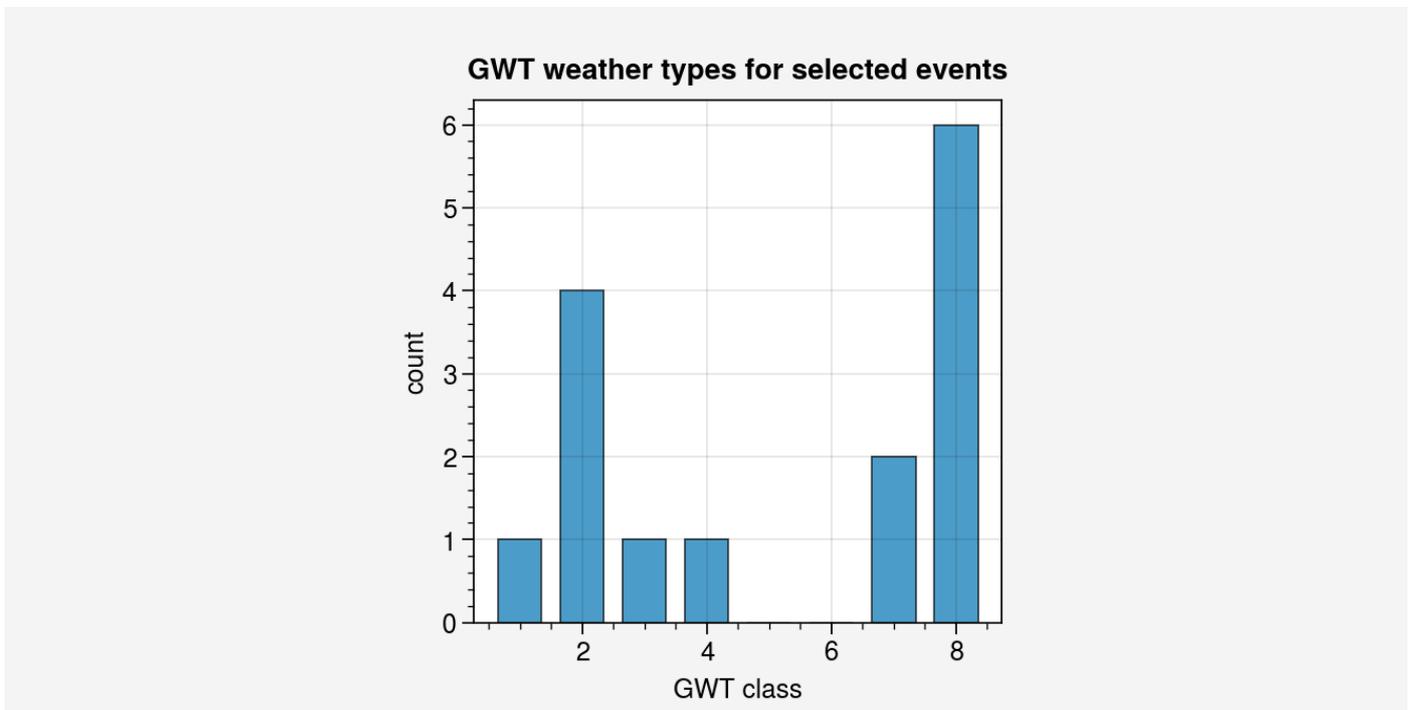


Abbildung 2: Histogramm der GWT-Wettertypen für die ausgewählten Extremwetterereignisse aus Tabelle 1

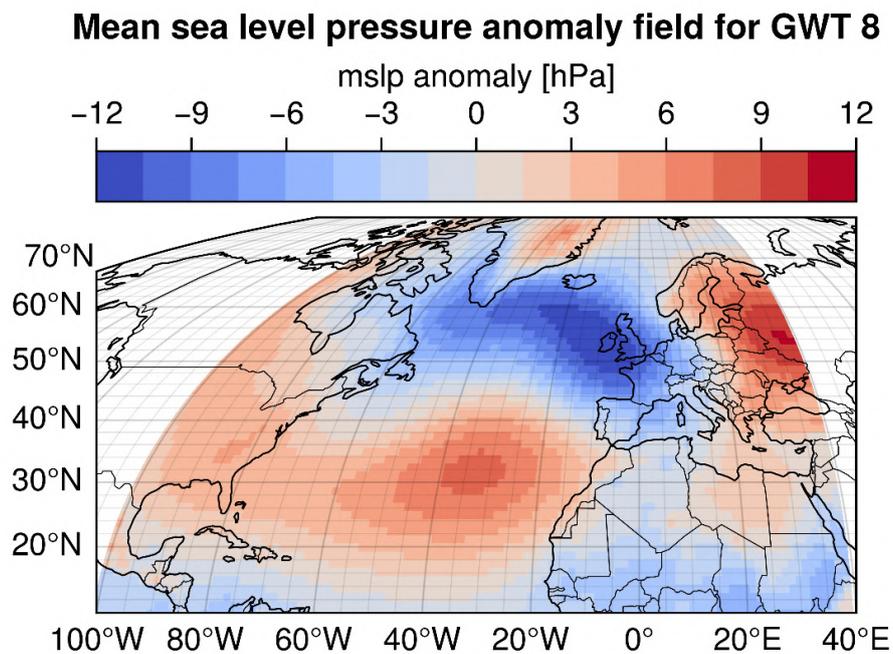


Abbildung 3: Mittleres Feld der Bodenluftdruckanomalie für Tage mit GWT 8 in den ERA5-Daten

## Hazard Trigger Patterns – charakteristische Niederschlagsmuster

Die abgeleiteten HTPs beschreiben die Niederschlagsentwicklung im Vorfeld von Unwetterereignissen auf Basis von Beobachtungsdaten. In Abbildung 4 (Feld c) ist das HTP für Hochwasserereignisse in der Sommersaison für Osttirol und Kärnten dargestellt. Die erste empirische orthogonale Funktion (EOF), die eine erklärte Varianz von 24% aufweist, ist durch eine Wettersequenz mit beträchtlichen Niederschlagsmengen eine Woche vor dem Ereignis sowie besonders konzentrierten Niederschlägen am Tag des Ereignisses und an den zwei Tagen davor gekennzeichnet. Die zweite EOF, mit einer erklärten Varianz von 20 %, hebt die zwischenzeitliche und kurzfristige Vorbefeuchtung hervor (1-3 und 5-6 Tage vorher). Die dritte EOF, mit einer erklärten Varianz von 15,5 %, zeigt hauptsächlich eine mittlere Vorbefeuchtung, 5 bis 6 Tage vor einem Ereignis, und ein kleineres, aber sichtbares unmittelbares Niederschlagssignal. Die Anwendbarkeit der resultierenden

HTPs wurde mit Hilfe einer Kreuzvalidierung bewertet, bei der die Niederschlagstrends für jedes Schadenereignis aus der Stichprobe extrahiert, mit Hilfe von EOFs rekonstruiert und mit den beobachteten Trends verglichen wurden. Die Validierungsergebnisse zeigten, dass die EOFs ein konsistentes Signal enthalten und für die Untersuchung der zeitlichen Entwicklung des Niederschlags vor Schadensereignissen nützlich sind. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass HTPs die Bedeutung von Niederschlagsbeiträgen auf kurze Sicht und bis zu einer Woche im Voraus für die Auslösung gefährlicher Wetterereignisse hervorheben.

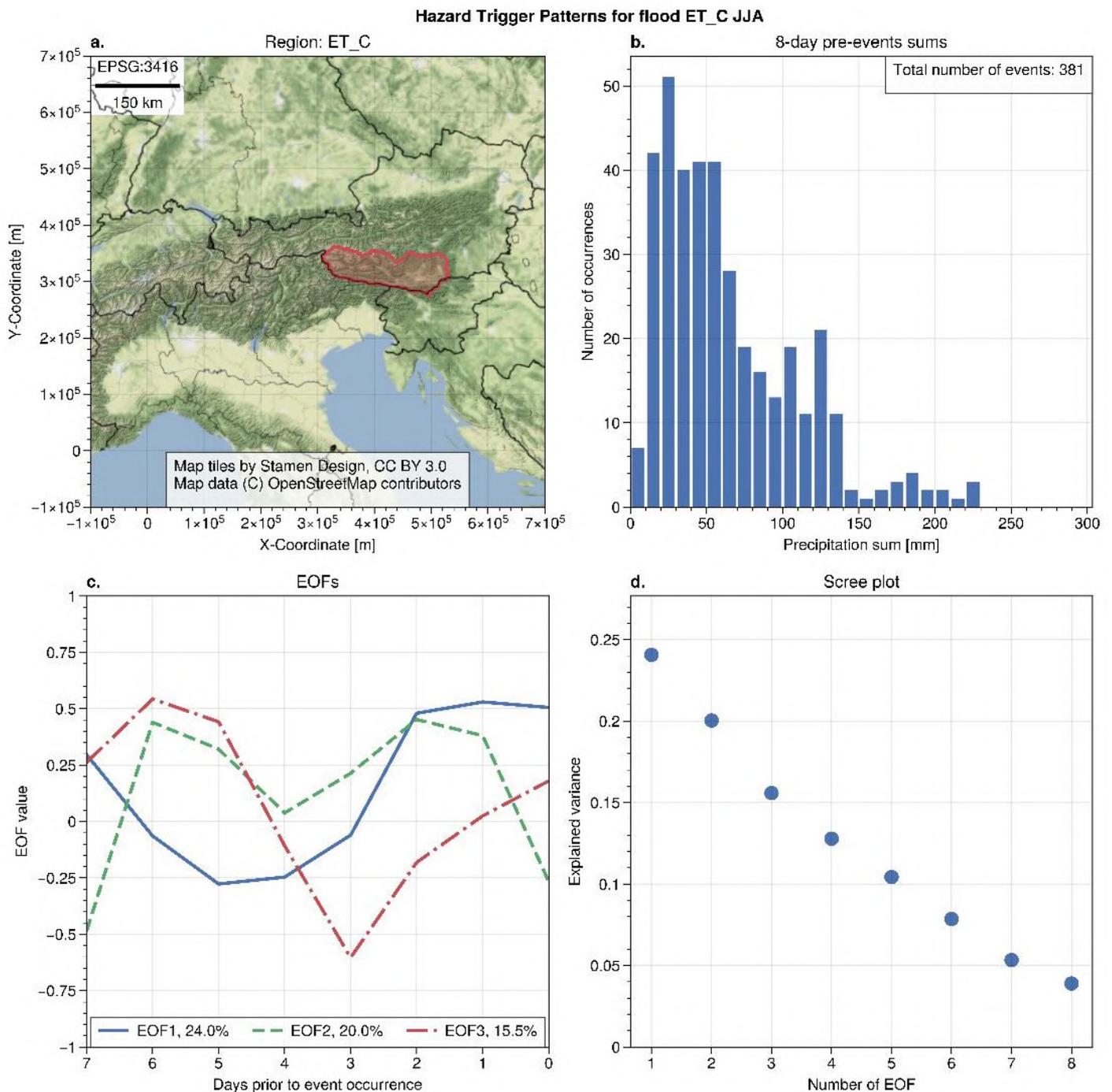


Abbildung 4: Hazard Trigger Patterns für die Gefahrenkategorie "Hochwasser" in der Zielregion "Osttirol - Kärnten". a) zeigt die Zielregion, b) ein Histogramm, das die Niederschlagssumme der acht Tage vor einem Ereignis zeigt, c) die drei führenden EOFs, die die vorausgehende Wettersequenz darstellen, und d) den Scree Plot, der die erklärten Varianzen der EOFs zeigt.

## Zusammenfassung und Empfehlung

Die Studie hat gezeigt, dass statistische Methoden, die auf Perzentilen basieren, einfach und konsistent bei der Identifizierung von Extremereignissen in der grenzüberschreitenden Region sind, Ergebnisse liefern, die mit den aufgezeichneten Schadensdaten übereinstimmen, und daher geeignet sind, die Analyse von Klimaauswirkungen zu unterstützen. Als Beispiel haben wir uns auf die meteorologischen Bedingungen und

Impactereignisse konzentriert, die während des VAIA-Sturms registriert wurden. Außerdem haben wir auf der Grundlage der GWT-Wettertypen-Klassifizierung kritische Wettertypen identifiziert, die für die Zielregion besonders relevant sind. Diese Wettertypen können für groß angelegte Analysen des Klimawandels verwendet werden und wurden bereits zur Bestimmung der zu erwartenden Veränderungen unter verschiedenen Klimawandelszenarien eingesetzt (siehe folgendes Kapitel sowie D2.3). Schließlich wurden Hazard Trigger Patterns abgeleitet, um die zeitlichen Abfolgen von Niederschlägen auf lokaler Ebene zu beschreiben, die die Wetterbedingungen vor Schadensereignissen am besten identifizieren. Die Validierung der HTPs bestätigte ihre Eignung für die Untersuchung des Zeitsignals der Niederschläge in den Tagen vor Schadensereignissen und für die Integration in Klimafolgenmodelle.

# Future climate changes for high-impact weather in the Alpine cross-border region

Sebastian Lehner, Katharina Enigl, Klaus Hasslinger (Geosphere Austria)

Extremwetterereignisse und zugehörige Naturgefahren stellen eine wesentliche Bedrohung für Menschen dar. Mittlerweile ist es wissenschaftlicher Konsens, dass der Klimawandel die Intensität und Häufigkeit von Extremwetterereignissen erhöht (IPCC, 2021; Feyen, 2012). Dementsprechend werden auch Naturgefahren als Folge von Extremwetterereignissen zunehmen (EEA, 2016). Dies stellt eine große Herausforderung für Entscheidungsträger im Zivilschutzbereich dar, welche auf eine entsprechende zugeschnittene Naturgefahren-übergreifende Unwetterrisikobewertung und Auswirkungsvorhersage angewiesen sind.

Im klimatologischen Kontext gilt es Extremwetterereignisse in einer Art zu klassifizieren, die eine robuste statistische Bewertung über die Zeit hinweg ermöglicht. Dafür müssen entsprechende Informationen aus der Vergangenheit abgeleitet und unter verschiedenen Klimaszenarien in die Zukunft projiziert werden, damit eine Klimawandelbewertung machbar ist. Wetterlagen beinhalten großräumige Informationen, welche relevant für eine regionale Wettersituation ist und erlauben damit eine meteorologische und statistische Einschätzung der großräumigen Prozesse, welche zu regionalen Extremwetterereignissen führen können. In dieser Analyse bestimmen wir sowohl für historische, als auch für Daten aus Klimaszenarien für zukünftige Projektionen für jeden Tag den vorherrschenden Wettertyp, wodurch eine Bewertung der Änderungen unter verschiedenen Klimaszenarien möglich wird. Hierbei wird die Änderung der Häufigkeit von Wetterlagentypen und die Änderung der Intensität in Form von regionalen Niederschlagsmittelwerten für die Grenzregion von Österreich und Italien untersucht.

## Daten und Methoden

Um potentielle zukünftige Änderungen abschätzen zu können, ist eine historische Referenz notwendig. Wir verwenden historische Klimamodelldaten (Global Circulation Model; GCM) aus dem CMIP6-Archiv (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6), um die Referenzhäufigkeit und die damit verbundene Niederschlagsintensität in der Zielregion für alle berechneten Wettertypen zu bestimmen, von welchen aus potentiellen Änderungen bestimmt werden können. Gegitterte Daten des Luftdrucks auf Meeresebene stellen dabei die Ausgangsvariable dar, welche über Europa und dem Atlantischen Ozean verwendet wird. Diese werden anschließend herangezogen, um mit der Software COST733 (Philipp et al., 2014) die sogenannte Wetterklassifikation ‚Gross-Wetter-Typen‘ (GWT) zu berechnen. Diese teilt jedem Tag eine von 18 großräumigen Wettertypen zu. Für die Intensitätsbetrachtungen werden Niederschlagsdaten von runterskalierten globalen Klimamodellen als Gebietsmittel über die Grenzregion benutzt. Die 30-Jahresperiode 1961 bis 1990 stellt dabei die historische Referenz dar, ausgehend welcher die Änderungen bestimmt werden.

Daten zu globalen Klimamodellen unter verschiedenen Szenarien wurden von CMIP6 verwendet und folgen der Einteilung in SSP-Szenarien in vier Hauptszenarien (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5). Für diese Analysen verwenden wir das klimafreundliche SSP1-2.6 sowie das kohlenstoffintensive SSP3-7.0. Die erste Zahl der Szenarienkürzel beschreibt sozioökonomische Details: SSP1 für ‚Nachhaltigkeit‘, SSP2 für einen ‚mittleren Weg‘, SSP3 für ‚regionale Rivalitäten‘ und SSP5 für ‚fossile Entwicklung‘. Der zweite Teil beschreibt das betrachtete ‚RCP‘ (‚Representative Concentration Pathway‘), welches den zusätzlichen Strahlungsantrieb in  $W/m^2$  darstellt. Ein Vergleich zwischen den SSP- und reinen RCP-Szenarien, die in CMIP5 verwendet wurden, kann in Deliverable 2.4 gefunden werden und verweist auf Riahi et al. (2016).

Für die Bestimmung der Wettertypen wird die Variable Luftdruck im mittleren Meeresebene benötigt, welche von einem qualitätskontrollierten Teil der globalen Klimamodelle verwendet wird. Eine detaillierte Liste von den 13 verwendeten Modellen kann in Deliverable D2.3 in Tabelle 1 gefunden werden. Für die Intensität des zugehörigen Niederschlages werden Flächenmittel über die Grenzregion von Österreich und Italien gebildet, welche von den runterskalierten globalen Klimamodellen verwendet werden.

Um Änderungen in der Häufigkeit zu bestimmen, wird das Auftreten von Wettertypen in zwei unterschiedlichen zukünftigen Perioden und unter den zwei genannten Szenarien SSP1-2.6 und SSP5-8.5 analysiert. Die erste Zeitperiode stellt die ‚nahe Zukunft‘ dar und reicht von 2036 bis 2065. Die zweite Periode, ‚ferne Zukunft‘ reicht von 2071 bis 2100. Änderungen der Häufigkeit werden als prozentuale Änderung relativ zu der historischen Referenzperiode der globalen Klimamodelle von 1961 bis 1990 dargestellt.

Um Änderungen der Intensität zu bestimmen, werden verschiedene Metriken für Niederschlagssummen je Wettertyp berechnet. Die Referenzperiode und die verwendeten Szenarien, Zukunftsperioden und Modelle, bleiben dabei gleich.

Intensitätsänderungen je Wettertyp werden konkret bestimmt, indem Niederschlagssummen je Tag und Wettertyp verwendet werden. Statistische Aggregate über Zeit und Raum stellen dann eine Ausgangsbasis für die Bewertung von Änderungen dar. Diese Änderungen sind erneut basierend auf die beiden zukünftigen Perioden je Wettertyp dargestellt.

## Änderungen von Wettertypen unter verschiedenen Klimaszenarien

### Änderungen der Häufigkeit

Abbildung 6 zeigt die Änderung der Häufigkeit für beide Szenarien in der ‚fernen Zukunft‘ (2071 bis 2100). In dem ‚klimafreundlichen‘ Szenario SSP1-2.6 zeigt sich, dass etwa die Hälfte der 18 GWT Wettertypen im Vergleich mit der Variabilität des Modellensembles keine signifikanten Änderungen aufweist. Während die Tendenzen der Änderungen in beiden Szenarien übereinstimmen, sind die konkreten Änderungen in dem ‚kohlenstoffintensiven‘ Szenario SSP3-7.0 stärker ausgeprägt.

Vor allem der mit Vaia assoziierte Wettertyp GWT 7 zeigt substantielle Zunahmen in Häufigkeit in der ‚fernen Zukunft‘ von etwa 10 und 20% für den Ensemblemittelwert von SSP1-2.6 bzw. SSP3-7.0. Generell stimmen die Klimamodelle nicht nur in der Richtung der Änderung überein, sondern auch in den signifikanten Zunahmen. Dies gilt vor allem für die drei kritischen Wettertypen GWT 2, 7, 8 (siehe D2.3 für mehr Details), in unterschiedlichen Magnituden. Die projizierten Änderungen für alle GWTs zeigen generell hohe Übereinstimmung des Modellensembles auf, was für die Robustheit und Konfidenz der gezeigten Änderungen spricht.

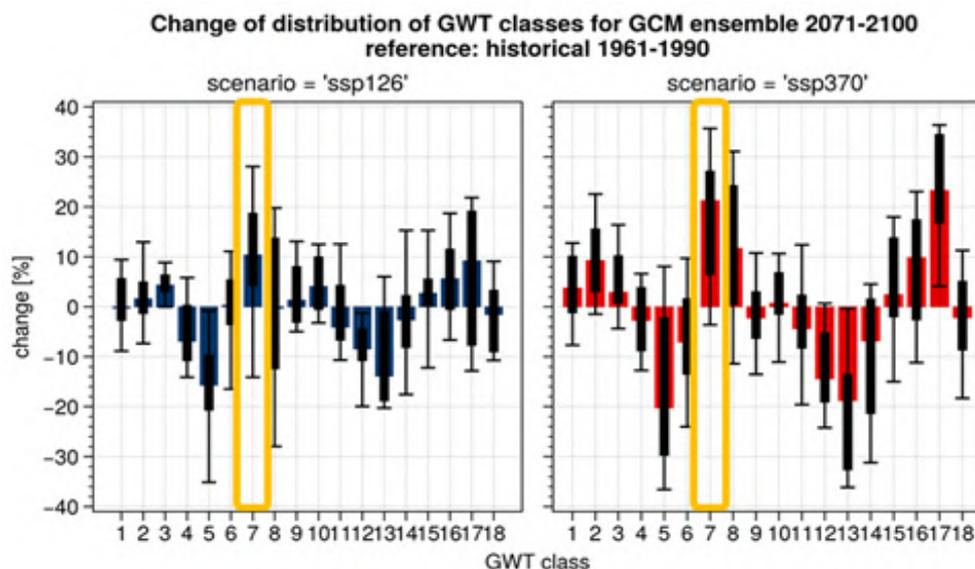


Abbildung 1: Änderungen der Häufigkeit für alle 18 GWT Wettertypen in der ‚fernen Zukunft‘ - 2071 – 2100. Die linke Seite bildet das ‚klimafreundliche‘ Szenario SSP1-2.6 ab, die rechte Seite das ‚kohlenstoff-intensive‘ Szenario SSP3-7.0. Die gelben Boxen weisen auf den mit Vaia assoziierten Wettertyp GWT 7 hin.

## Änderungen der Intensität

Die Ergebnisse für die ‚nahe Zukunft‘ (siehe D2.3) zeigen, dass die kritischen Wettertypen (GWT 2, 7, 8) geringe Zunahmen der Niederschlagsintensität im Ausmaß von etwa 2 bis 10% des Ensemblemittels über beide Szenarien aufweisen. Abbildung 7 stellt die Intensitätsänderung aller 18 Wettertypen für die ‚ferne Zukunft‘ und den mittleren räumlichen Niederschlag dar. Die Änderungen sind abhängig vom Wettertyp. Während GWT 2 und 7 nicht ganz eindeutige Änderungen aufweisen, fallen diese für GWT 7 mit 4 und 11% für das Ensemblemittel und SSP1-2.6 bzw. SSP3-7.0 deutlicher aus. Des Weiteren zeigt sich vor allem für GWT 7 eine hohe Übereinstimmung über das Modellensemble, was Robustheit und Konfidenz in der Abschätzung der Änderung bedeutet. Dies gilt vor allem für die Richtung der Änderung.

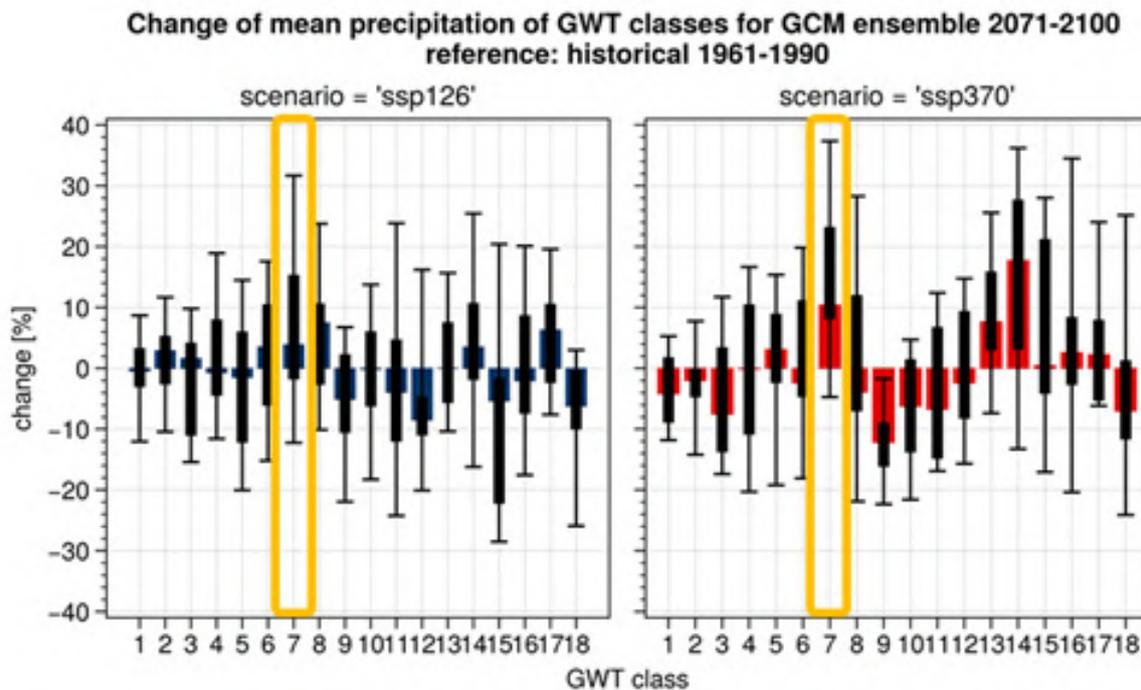


Abbildung 2: Änderungen der Intensität für alle 18 GWT Wettertypen in der ‚fernen Zukunft‘ - 2071 – 2100. Die linke Seite bildet das ‚klimafreundliche‘ Szenario SSP1-2.6 ab, die rechte Seite das ‚kohlenstoff-intensive‘ Szenario SSP3-7.0. Die gelben Boxen weisen auf den mit VAIA assoziierten Wettertyp GWT 7 hin.

## Synthese und Empfehlungen

Die projizierten Änderungen sind sowohl für die Häufigkeit als auch für die Intensität heterogen über die Szenarien und Wettertypen hinweg. Jedoch zeigt ein Teil der Wettertypen eine substantielle Erhöhung in Häufigkeit und Intensität auf. Zu dieser Teilmenge gehört auch die mit Vaia assoziierte Wetterlagenklasse GWT 7, welche signifikante Zunahmen in Häufigkeit und Intensität aufweist und zugleich ebenso eine hohe Übereinstimmung über das gesamte Modellensemble aufweist, was für hohe Konfidenz spricht. Ein potenzielles Risiko von der zunehmenden Anzahl, oder den stärker werdenden Unwettern muss jedenfalls im Risikomanagement und Zivilschutz berücksichtigt werden. Außerdem fallen die Änderungen umso stärker aus, je stärker die globale Erwärmung voranschreitet, was die Wichtigkeit von Klimaschutz-Maßnahmen unterstreicht.

# Expositions- und Anfälligkeitsanalyse mit vorhandenen Daten und Anwendungen in Pilotregionen

Piero Campalani, Kathrin Renner, Massimiliano Pittore (EURAC Research), Fabrizio Tagliavini, Roberta Dainese, Gianni Marigo (ARPA Veneto)

Exposition und Anfälligkeit sind zwei grundlegende Komponenten bei der Risikobewertung. Die Exposition bezieht sich auf alle Menschen, Vermögenswerte (z. B. Gebäude), Systeme (z. B. die Verkehrsinfrastruktur) und Funktionen, die einer oder mehreren Gefahren ausgesetzt sind. Die Anfälligkeit bezieht sich auf den Grad der Schadensanfälligkeit der exponierten Vermögenswerte und im Allgemeinen auf andere institutionelle oder umweltbedingte Bedingungen, die den Schweregrad des Gesamtrisikos noch verstärken können. Ein breites Spektrum an Expositionsinformationen aus den Regionen Südtirol, Cordevole-Tal (IT) und Osttirol (AT) wurde gesammelt und in einem gemeinsamen räumlichen Rahmen aggregiert, der durch ein regelmäßiges Mosaik von Sechsecken mit einer Auflösung von 250 m dargestellt wird. Diese Auflösung wurde als kleinster gemeinsamer räumlicher Nenner gewählt, um die verschiedenen Datensätze in einem harmonisierten gemeinsamen Bezugssystem zusammenzuführen. Eine räumliche Auflösung von 250 m ermöglicht es, die hohe Komplexität einer Analyse auf regionaler Ebene zu verringern und gleichzeitig eine ausreichend große Aggregation zu erhalten, so dass Bedenken hinsichtlich des Schutzes der Privatsphäre bei sensiblen Daten wie dem Standort der Bevölkerung vermieden werden können. Sechsecke, im Gegensatz zu den üblicherweise verwendeten Quadraten, ermöglichen eine umfassendere Erklärung der Konnektivität zwischen den Standorten (oder "Zellen") aufgrund der höheren Anzahl benachbarter Nachbarn (6 statt 4). Das in TRANS-ALP entwickelte Expositionsmodell ermöglicht es, nicht nur greifbare Expositionswerte, sondern auch Ströme (z.B. von Personen oder Fahrzeugen) sowie deren räumliche Verteilung in einem einfachen und konsistenten räumlichen Bezugssystem zu visualisieren, was eine realistischere Risikobewertung auf regionaler Ebene unterstützt. Tabelle 2 enthält die vollständige und detaillierte Liste der Vermögenswerte, die im Expositionsmodell berücksichtigt wurden. Zusätzlich zu den Gebäuden, der Bevölkerung und der Straßeninfrastruktur wurden mehrere zusätzliche Datensätze erhoben: z. B. Gesundheitseinrichtungen, Bildungseinrichtungen, Touristenunterkünfte, Schutzwald, versiegelte Flächen und Waldgebiete (Abbildung 8 zeigt zwei Beispielkarten). Der Prozess der Harmonisierung der Daten über regionale und nationale Grenzen hinweg war einfach zu bewerkstelligen. Bestandsdaten, die nicht aus offiziellen Quellen stammten, wurden aus globalen Datensätzen zusammengetragen. Für die Darstellung der Bevölkerung in hoher räumlicher Auflösung für Osttirol und Cordevole war eine Vorverarbeitung der Daten erforderlich. Sehr hoch aufgelöste Daten über die Wohnbevölkerung waren auf Adressebene von den Behörden der Autonomen Provinz Bozen ohne weiteres verfügbar. Für Cordevole und Osttirol wurden gerasterte Bevölkerungsverteilungen erstellt, indem die aktuellsten Bevölkerungszahlen pro Gemeinde mit dem frei verfügbaren GHS-POP2G-Tool auf Gebäudeebene disaggregiert wurden. Für die Autonome Provinz Bozen standen Daten über die Bewegungen von Personen zwischen Wohn- und Arbeitsort - in der Tabelle "Pendlerströme" genannt - zur Verfügung, die insgesamt etwa 260.000 Punkt-zu-Punkt-Bewegungen umfassen, was etwa der Hälfte der Wohnbevölkerung Südtirols (512.000 Personen) entspricht.

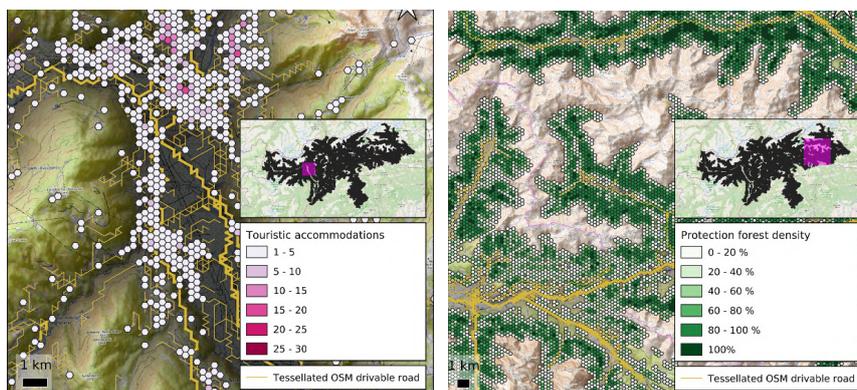


Abbildung 1: Zwei Beispiele für grenzüberschreitende Expositionsdaten nach der Aggregation auf dem sechseckigen Mosaik mit einer Auflösung von 250 m: Anzahl der touristischen Unterkünfte links und Dichte des Schutzwaldes rechts.

#	Name	Beschreibung	Unit	Quelle
01	<b>Gebäude</b>	Anzahl der Gebäude	-	OpenStreetMap, 2021; Landesverwaltung Venetien, 2022; Landesverwaltung Tirol, 2003
02	<b>Gebäude</b>	Von Gebäuden bedeckte Fläche	m <sup>2</sup>	OpenStreetMap, 2021; Regionalverwaltung Venetien, 2022; Landesverwaltung Tirol, 2003
03	<b>Bevölkerung</b>	Zahl der Einwohner	-	Autonome Provinz Bozen, 2022, Italienisches Statistisches Landesamt, 2021; Österreichisches Statistisches Landesamt, 2019
04	<b>Krankenhäuser</b>	Anzahl der Gesundheitseinrichtungen	-	Autonome Provinz Bozen, 2022; OpenStreetMap; 2022
05	<b>Schulen</b>	Anzahl der Bildungseinrichtungen	-	Autonome Provinz Bozen, 2022; OpenStreetMap, 2022; Landesverwaltung Tirol, 2021
06	<b>Touristische Unterkünfte</b>	Anzahl der Hotels und Pensionen	-	Autonome Provinz Bozen, 2022; OpenStreetMap, 2022
07	<b>Schutzwald</b>	Anteil der von Schutzwald bedeckten Fläche der Zelle	%	Autonome Provinz Bozen, 2013; Landesverwaltung Venetien, 2009; Landesverwaltung Tirol, 2021
08	<b>Künstliche Flächendichte</b>	[0,1] Flächendichte von	1	CORINE Landbedeckung 2018
09	<b>Dichte der Waldfläche</b>	künstlichen Flächen	1	CORINE Landbedeckung 2018
10	<b>Hauptstraßen</b>	[0,1] Flächendichte von	m	OpenStreetMap, 2022
11	<b>Andere Straßen</b>	Wald- und naturnahen Flächen	m	OpenStreetMap, 2022
12	<b>Pendlerverkehr</b>	Länge der Hauptverkehrsstraßen	-	Autonome Provinz Bozen, 2019

*Tabelle 1: Liste der Expositionsdatensätze, die auf dem gemeinsamen hexagonalen Mosaik mit einer Auflösung von 250 m über das grenzüberschreitende Untersuchungsgebiet, das Südtirol (IT), Cordevole (Venetien, IT) und Osttirol (AU) umfasst, aggregiert wurden.*

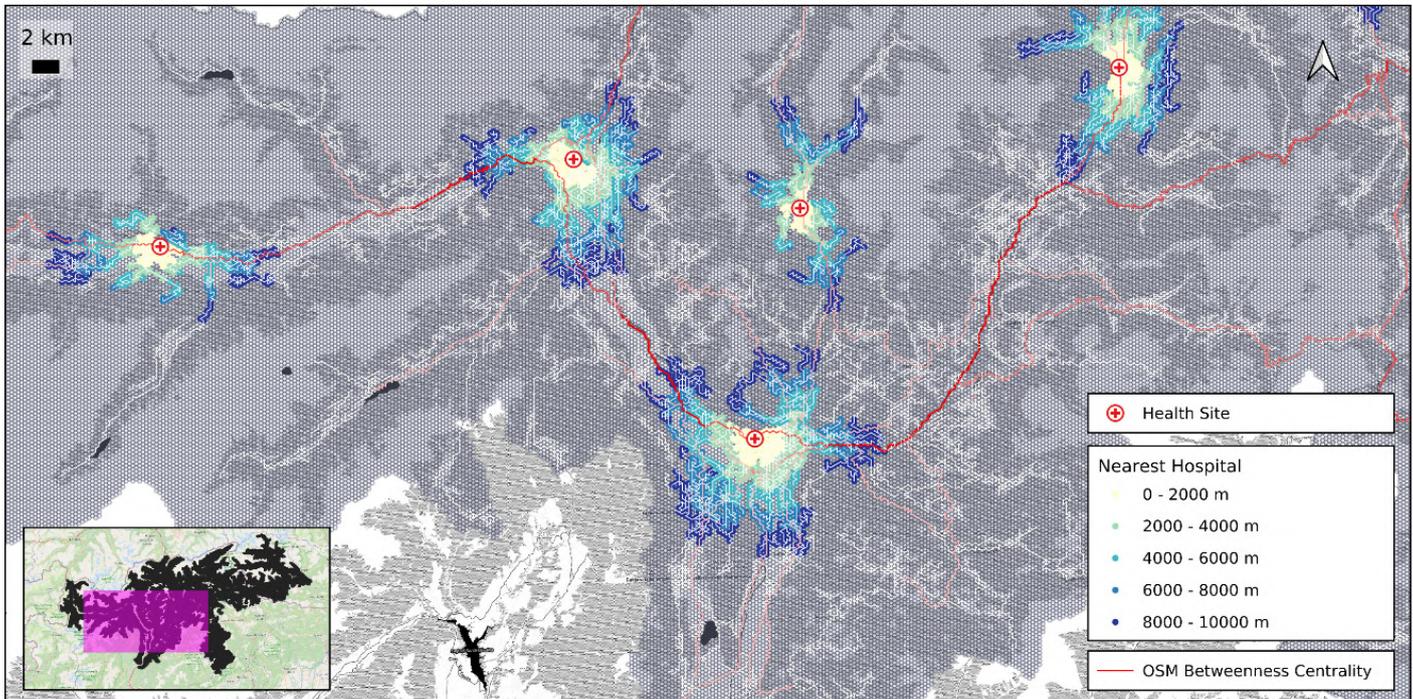


Abbildung 2: Von der Exposition zur Anfälligkeit: Visualisierung der Entfernung zur nächsten Gesundheitseinrichtung (bis zu 10 km) und der topologischen Kritikalität der Straßen - "Verflechtungszentralität" - auf dem hexagonalen Mosaik mit einer Auflösung von 250 m. Je dunkler rot ein Straßenabschnitt ist, desto kritischer, d.h. wichtiger für die Erreichbarkeit des nächstgelegenen Krankenhauses ist er.

## Synthese und Empfehlungen

Im Rahmen von TRANS-ALP wurde ein innovatives aggregiertes Expositionsmodell entwickelt und in einer grenzüberschreitenden Region zwischen Italien und Österreich getestet. Das Modell ist speziell für Anwendungen der Multi-Hazard-Risikoanalyse konzipiert und kann verschiedene Informationsquellen in einem konsistenten gemeinsamen Bezugssystem (entweder den Hexagon-Zellen oder dem dualen Netz der Zentroiden-Verbindungen zugeordnet) effektiv kombinieren, wodurch es über einen statischen Datencontainer hinausgeht und zu einem dynamischen und interaktiven Risiko- und Verwundbarkeitswerkzeug wird. Abbildung 9 veranschaulicht, wie die Visualisierung der Entfernung zum nächstgelegenen Krankenhaus zusammen mit den kritischen Hotspots des Straßennetzes dazu beitragen kann, Gebiete mit hoher potenzieller Gefährdung der Bevölkerung zu ermitteln: Gebiete in der Nähe von dunkelroten Straßen in der Abbildung bieten im Falle einer Unterbrechung weniger Ausweichmöglichkeiten, und in Kombination mit großen Entfernungen zu Gesundheitseinrichtungen lassen sie gefährdete Bereiche des Gebiets erkennen. Solche Modelle werden voraussichtlich nicht die hochauflösenden Informationen (z. B. Gebäude für Gebäude) ersetzen, die für lokalisierte Katastrophenschutzanwendungen nach wie vor sehr wichtig sind. Andererseits kann die Verwendung effizienter, aggregierter und harmonisierter Modelle, die über ein regelmäßiges oder unregelmäßiges Mosaik definiert sind, einen effizienten Rahmen für die Durchführung quantitativer Risikoanalysen und die Vorhersage von Auswirkungen auf der Grundlage spezifischer Szenarien oder simulierter Bedingungen bieten und somit eine nützliche Unterstützung für die Entwicklung und Verbesserung von Risikobewertungs- und Warnanwendungen darstellen.

# Grenzüberschreitende Kaskaden von Gefährdungen und Risiken

Fabrizio Tagliavini, Roberta Dainese (ARPA Veneto), Matthias Plörer, Michaela Teich (BFW)

## Kaskadeneffekte bei Alpenstürmen

Unwetter bedingte Beeinträchtigungen der natürlichen Landbedeckung (insbesondere Schutzwald) können die Anfälligkeit für Gefahrenprozesse erhöhen (Kaltenböck et al. 2019). Kaskadeneffekte können zu einer Gefahrenintensivierung über mehrere Stufen führen (Pöpl & Sass 2019). Zum einen in Form von gekoppelten Ereignissen, d.h. gleichzeitig auftretenden Prozesskombinationen wie Steinschlagauslösung durch umstürzende Bäume bei Stürmen und zum anderen in Form von Prozessketten, bei denen ein Ereignis die Prädisposition für nachfolgende Gefahren verändert (z.B. höhere Wahrscheinlichkeit der Bildung von Schwachschichten und Auslösung von Lawinen nach großflächigem Verlust der Waldbedeckung (Abbildung 1).



Abbildung 1: Bedeutendste Unwetter-bedingte Kaskadeneffekte.

## Synthese und Empfehlungen

6 Schritte zur Verbesserung einer harmonisierten und grenzüberschreitenden Identifikation bzw. Kartierung potenzieller Kaskadeneffekte infolge Unwetter-bedingter Schädigung von Waldbeständen (Abbildung 1).

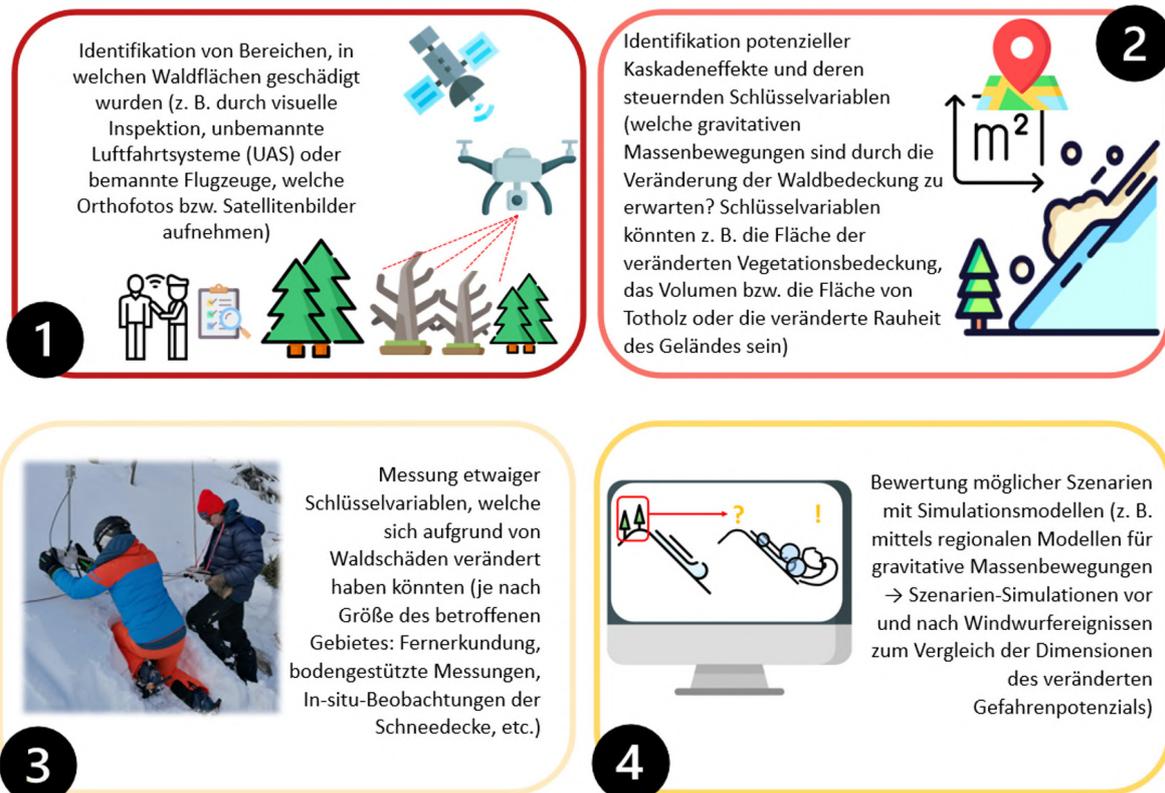




Abbildung 2: 6 Schritte zur Identifikation, Kartierung und Bewertung der Auswirkungen von Unwetter-bedingten Kaskadeneffekten

Im Rahmen des Projektes TRANS-ALP wurde der Fokus auf einen optimalen Arbeitsablauf im Katastrophenschutz zur Beurteilung der Lawinengefahr und Bestimmung des damit verbundenen Risikos gelegt. Um den optimalen Arbeitsablauf zu definieren, muss man zunächst die Gründe und Ursachen ermitteln, warum eine bestimmte Studie ausgearbeitet werden soll. An den beiden Pilotstandorten des TRANS-ALP-Projektes (Osttirol und das Cordevole-Tal in der Provinz Belluno, Italien) wurden unter anderem die Auswirkungen großflächiger Schutzwald-Zerstörung durch starke Unwetter (u.a. Sturm VAIA 2018) auf das Lawinenrisiko untersucht. Die beiden Pilotstandorte wurden aufgrund gewisser Ähnlichkeiten ausgewählt, sowohl in Bezug auf die Morphologie als auch auf das Ausmaß der durch den Sturm VAIA verursachten Schäden am Waldbestand. Die Ziele, die an den beiden Teststandorten erreicht werden sollten, waren jedoch unterschiedlich. Während im Falle Osttirols das Ziel darin bestand, die Schlüsselvariablen zu ermitteln, die in den Windwurf-flächen zu analysieren sind, um die Entwicklung der Schneedeckenschichtung besser zu verstehen, wurde im Cordevole-Tal eine Methodik untersucht und eine Reihe von GIS-Tools entwickelt, um die Umsetzung von Zivilschutzplänen zur Eindämmung des Lawinenrisikos zu beschleunigen. Obwohl die zu erreichenden Ziele unterschiedlich definiert sind, beginnt das korrekte Vorgehen in beiden Beispielen mit der Beurteilung der Lawinengefahr und des Risikos und weicht erst dann bei den Schlussfolgerungen ab. Es sollte auch berücksichtigt werden, dass die verschiedenen Ziele unterschiedliche Zeitanforderungen voraussetzen: Während das Verstehen der Schlüsselvariablen, die der Schneedeckenstabilität in Windwurfgebieten zugrunde liegen, zeitaufwändig ist und im Sinne der Forschung auch Jahre in Anspruch nehmen kann, ist es für den Katastrophenschutz unerlässlich, Methoden anzuwenden, die es ermöglichen, rechtzeitig vor der Wintersaison Pläne zur Schadensprävention zu erstellen bzw. zu aktualisieren. In den folgenden Abschnitten werden die im Cordevole-Tal und in Osttirol angewandten Methoden in einer Vergleichstabelle vorgestellt, um die Ähnlichkeiten und Unterschiede hervorzuheben. Vor allem soll diese Gegenüberstellung als Ausgangspunkt für weitere Verbesserungen dienen, indem man sich von beiden Pilotregionen für eine Integration und Harmonisierung bei künftigen Anwendungen inspirieren lässt.

# Methodische Leitlinien für die Kommunikation von Wirkungsprognosen

Roberta Dainese, Fabrizio Tagliavini (ARPA Veneto)

Die Risikominderung im Zusammenhang mit intensiven Wetterereignissen - und den möglichen Folgen von Bodeneffekten - erfolgt durch Maßnahmen, die darauf abzielen, Verluste und Schäden zu mildern oder zu reduzieren, wie z. B. langfristige Prozesse der genauen Raumplanung, die Schaffung geeigneter Bauprojekte und die Entwicklung von Zivilschutzplänen, die auf die Verringerung der Anfälligkeit unter gefährlichen Bedingungen abzielen. Eine vorbereitende und grundlegende Phase all dieser Maßnahmen ist die geografische Lokalisierung und somit die Kartierung der Gefahrenverteilung und der gefährdeten Elemente. Karten werden von Fachleuten erstellt, um die Merkmale der definierten Gefahren schnell und effizient zu vermitteln. Die Verwendung von Karten ermöglicht es, die Gefahr auf einem ganzen Gebiet zu visualisieren, sie vermittelt eine Botschaft oft schneller und effizienter als bloße Text- oder numerische Daten und hilft dem Benutzer, sein Bezugsgebiet sofort zu erkennen. Multi-Risiko- und Multi-Gefährdungskarten können zur Unterstützung der Planung verwendet werden - um die Anfälligkeit zu minimieren und den Einsatz von Investitionen und Ressourcen zu optimieren (wie im Fall des von der Weltbank erstellten Berichts, in Abbildung 12 a - oder um Informationen über aktuelle Phänomene zu sammeln und eine Datenbank von Ereignissen zu erstellen, die als Ausgangspunkt für eine nachfolgende Risikoanalyse verwendet werden kann - wie im Fall der globalen Plattformen GDACS oder Disaster Alert (Abbildung 12 b) - oder um Gefahrenprognosen darzustellen und der Bevölkerung gefährliche Situationen und deren Entwicklung mitzuteilen.

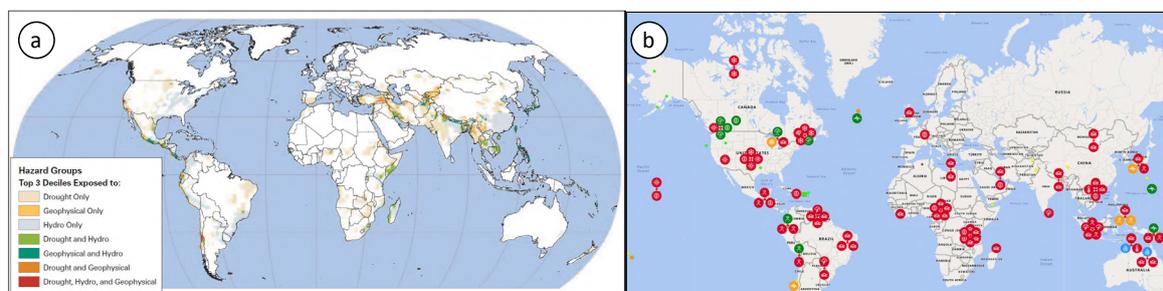


Abbildung 1: a) Natural Disaster Hotspots, a report by the World Bank: Global distribution of areas exposed to one or more hazards, by hazard type. b) Active Hazards page, extract from Disaster Alert

Diese letzte Gruppe von Karten hat folgende Ziele: i) Information über Regionen und Infrastrukturen, die von einem Risiko betroffen sein könnten, über die Schwere des Ereignisses und die möglichen Auswirkungen auf den Boden; ii) Empfehlung oder Vorgabe von ortsspezifischen Verhaltens- oder Sicherheitsregeln; iii) Hinweis auf mögliche institutionelle Hilfen und Dienste, die der Bevölkerung in dem Gebiet zur Verfügung stehen. Die Gefahrenprognose erfordert häufige Aktualisierungen der Situation und eine Vorhersage für die kommenden Stunden. Produkte, die sich auf den Katastrophenschutz beziehen, geben in der Regel ein tägliches Bulletin heraus, mit weiteren Aktualisierungen in Zeiten der Alarmbereitschaft. Die Vorhersagekarten sind in der Regel landesweit, da sie in der Regel von nationalen Ämtern herausgegeben werden, aber sie können auch größere Gebiete abdecken oder sich auf kleinere Regionen konzentrieren. Tabelle 1 enthält eine Auswahl von Karten zur Kommunikation von Gefahrenprognosen mit Angaben zur Art der berücksichtigten Gefahr sowie zum räumlichen und zeitlichen Maßstab.

Um wirksam zu sein, müssen die Karten so gestaltet sein, dass sie die Gefahrenverteilung schnell und klar vermitteln: Die Wahl des Designs spielt daher eine wesentliche Rolle bei der Bewertung der Wirksamkeit einer Karte. Forscher haben eine Reihe von Empfehlungen ausgesprochen, um das Verständnis von Karten zu verbessern, insbesondere für Gefahrenkarten im Zusammenhang mit dem Katastrophenschutz, wobei sie verschiedene visuelle Elemente und deren Wirksamkeit analysiert haben. Zunächst einmal wird allgemein empfohlen, eine Basiskarte zu verwenden, die den Nutzern hilft, gefährdete Gebiete eindeutig zu identifizieren, indem sie möglicherweise klare Verwaltungsgrenzen oder relevante Elemente wie Flüsse nachzeichnet und die wichtigsten Orientierungspunkte darstellt; die Basiskarte sollte jedoch nie von der Hauptaussage ablenken und die hervorgehobenen Elemente immer nur ergänzen. Eine Übersichtskarte, die alle aktuellen Gefahren mit einer klaren Priorisierung der Darstellung nach Schweregrad enthält, wird von den Nutzern in

der Regel bevorzugt und kann den Zugang zu weiteren Einzelgefahrenkarten ermöglichen. Die visuelle Hervorhebung lenkt die Aufmerksamkeit des Betrachters auf die wichtigsten Merkmale: Bei Karten mit mehreren Gefahren wird dies häufig durch eine gut abgestimmte Farbskala in Abhängigkeit vom Schweregrad erreicht. Die Verwendung selbsterklärender ikonischer Symbole, die keiner Legende bedürfen, sollte bevorzugt werden, da sie von den Nutzern schneller und genauer verstanden werden können. Die Verwendung einer begrenzten Farbpalette von 4-5 Gefahrenklassen ist ratsam, die möglicherweise den Schweregrad der Gefahr widerspiegelt und für die verschiedenen Gefahren harmonisiert ist. Dies ist bei fast allen in Tabelle 3 aufgeführten Karten der Fall, die im Allgemeinen eine Gefahrenskala von 4-5 Klassen, von grün bis rot, verwenden.

Ein zusätzliches Element, das sich erheblich auf das Verständnis einer Karte durch die Nutzer auswirken kann, ist das Vorhandensein zusätzlicher Informationen in vereinfachter Textform als ergänzendes Element zur Hauptkarte. Die bereitgestellten Informationen sollten Warnungen und weitere Informationen über die aktuelle Gefahr enthalten, und sie sollten möglicherweise Handlungsempfehlungen enthalten, die in klarer und prägnanter Weise dargestellt werden.

Plattform	Land	Gefahrenotyp	Zeitspanne	Maßstab	Harmonisierte Gefahrenkategorie	Gefahrenklassen (inkl. grün – kein Risiko)	Übersichtskarte	Warnungen	Handlungsempfehlungen
<b>NINA</b>	Deutschland	Natürlich, anthropogen und sozionatürlich	kurzfristig & in Echtzeit	National und lokal	Ja	4	Ja	Ja	Ja
<b>Naturgefahrenportal-Schweiz</b>	Schweiz	Natürlich	kurzfristig & in Echtzeit	National und lokal	Ja	5	Ja	Ja	Ja
<b>Meteo Schweiz</b>	Schweiz	Primäres Wetter	kurzfristig & in Echtzeit	National und lokal	Ja	5	Ja	Ja	Ja
<b>Naturgefahren Bayern</b>	Deutschland	Primäres Wetter	kurzfristig & in Echtzeit	Lokal	Ja	5	Ja	Ja	Ja
<b>GDACS</b>	International	Natürlich	kurzfristig & in Echtzeit	Global, national & lokal	Ja	3	Ja	Nein	Nein
<b>Unwetter Zentrale</b>	Deutschland	Wetter	kurzfristig & in Echtzeit	National und lokal	Ja	6	Ja	Ja	Nein
<b>KATWARN</b>	Deutschland	Anthropogenes & sozionatürliches	kurzfristig & in Echtzeit	National und lokal	Ja	2	Ja	Ja	Nein
<b>Met UK weather warnings</b>	UK	Wetter	kurzfristig & in Echtzeit	National und lokal	Ja	4	Ja	Ja	Ja
<b>Vigilance Metèo France</b>	Frankreich	Wetter	kurzfristig & in Echtzeit	National und lokal	Ja	4	Ja	Ja	Ja
<b>Iceland SafeTravel</b>	Island	Natürliches und Wetter	kurzfristig & in Echtzeit	National	Ja	4	Ja	Ja	Ja
<b>ARPA Piemonte</b>	Piemonte, Italien	Natürlich	Langfristig & kurzfristig	Lokal	Ja	4	Ja	Ja	Nein
<b>Protezione Civile- Warning Bulletin</b>	Italien	Natürlich, anthropogen & sozionatürlich	Langfristig & kurzfristig	National	Ja	4	Nein	Ja	Ja
<b>Provinz Bozen -Warnungsbulletin</b>	Prov. Bozen, Italien	Wetter & Natur	kurzfristig & in Echtzeit	Lokal	Ja	4	Ja	Ja	Nein
<b>GEOSPHERE (ZAMG) Warnsystem</b>	Österreich	Wetter & Natur	kurzfristig & in Echtzeit	National	Ja	4	Ja	Ja	Ja

Tabelle 1: Liste der Plattformen, die Gefahrenkarten für Katastrophenschutzanwendungen unterstützen.

Eine nach den oben beschriebenen Gestaltungsprinzipien konzipierte Plattform ist das in Abbildung 13 dargestellte Naturgefahrenportal - Schweiz. Es wurde entwickelt, um der Bevölkerung aktuelle und prognostizierte Gefahrensituationen zu vermitteln und Verhaltensempfehlungen zu geben. Die Standardkarte ist eine Übersichtskarte der aktuellen Situation, auf der alle Gefahren dargestellt sind, wobei - im Falle mehrerer Gefahren für denselben Ort - die Visualisierung der schwerwiegendsten Gefahr Vorrang hat. Die Legende ist gut sichtbar und gilt für alle Gefahren, die in der Leiste oberhalb der Hauptkarte durch ihre höchste aktuelle Gefahrenstufe gekennzeichnet sind. Unmittelbar unter der Karte (rechte Seite von Abbildung 13) werden die für das Gebiet ausgegebenen Warnungen angezeigt: Sie sind nach abnehmender Schwere geordnet, mit einer Textmeldung und einem beschreibenden Symbol, das die Gefahrenart beschreibt und entsprechend der Gefahrenstufe farblich gekennzeichnet ist. Es besteht die Möglichkeit, zusätzliche Informationen über die Gefahrenstufe und das empfohlene Verhalten (durch Text und Piktogramme) abzurufen.

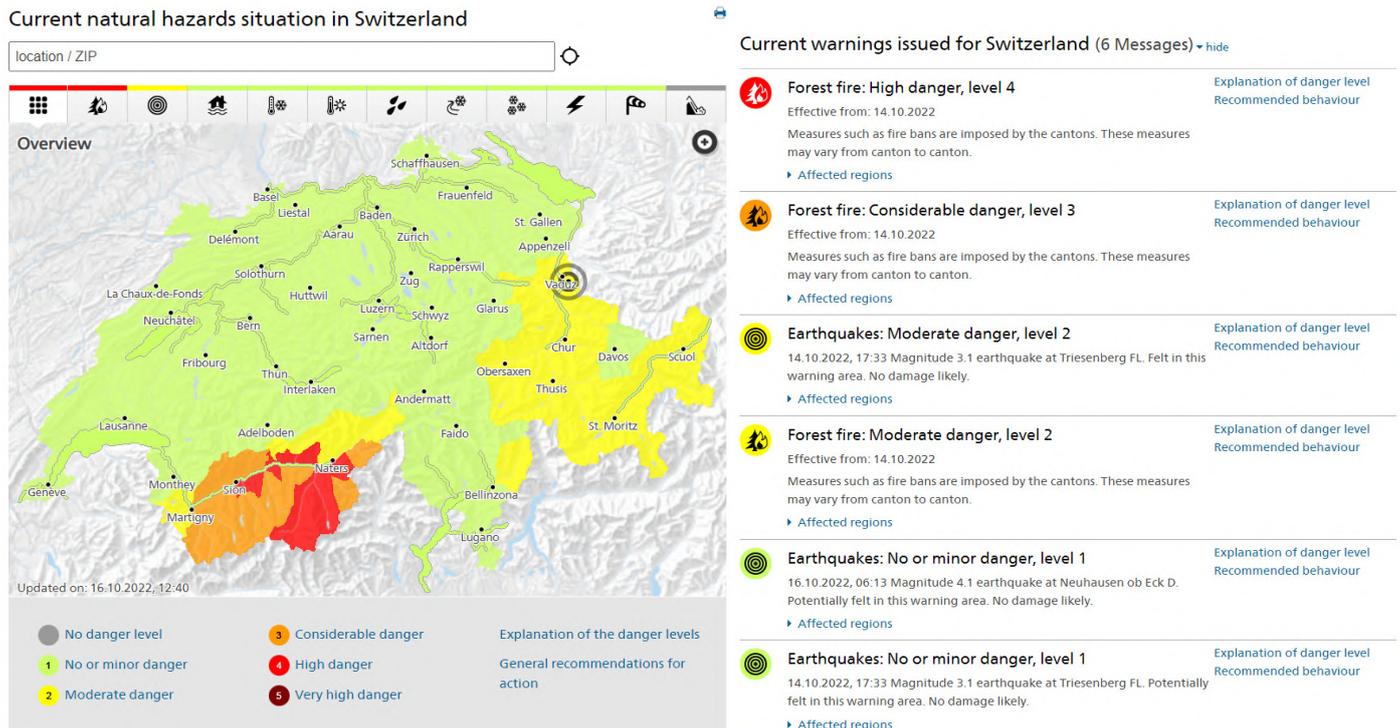


Abbildung 2: Aktuelle Naturgefahren und aktuelle Warnungen für die Schweiz (Natural Hazard Portal)

Wie aus Tabelle 3 hervorgeht, gibt es weltweit und europaweit mehrere Karten zur Beschreibung der Gefahrenverteilung, die jeweils ein eigenes Format, Design und eine eigene Auswahl an Informationen für die Nutzer aufweisen. Im Falle intensiver Wetterereignisse wäre es jedoch nützlich, die Möglichkeit zu haben, das Ereignis und die damit verbundene Gefahr grenzüberschreitend zu überwachen: In diesem Fall wäre die Homogenisierung der Praktiken ein wichtiger Punkt. In der Hypothese der Entwicklung einer grenzüberschreitenden Multi-Hazard-Plattform wäre es ratsam, von erfolgreichen bestehenden Karten zu lernen, sowohl auf breiterer als auch auf nationaler Ebene. Wie in Abbildung 12 b dargestellt, meldet die Plattform Disaster Alert die jüngsten Ereignisse auf der ganzen Welt: Die Ereignisse werden auf einheitliche Weise als farbcodierte Symbole dargestellt, die die Art des Ereignisses und seinen Schweregrad von grün bis rot repräsentieren. Die detaillierte Darstellung der Gefahren kann sich an der Schweizer Plattform oder an einer ähnlichen, von der Provinz Bozen entwickelten Plattform orientieren (Provinz Bozen - Warnbulletin).

## Synthese und Empfehlungen

Auf der Grundlage der Überprüfung aktueller Ansätze und der Analyse spezifischer Anwendungen in den TRANS-ALP-Schwerpunktregionen können einige Empfehlungen zur Verbesserung der Multi-Hazard-Auswirkungsprognose und Kommunikation skizziert werden.

Grenzüberschreitende Multi-Hazard-Plattformen sollten die folgenden Punkte berücksichtigen:

- Gemeinsame Kriterien zur Identifizierung von Gebieten mit homogenen Merkmalen in Bezug auf die Gefährdung
- Eine einheitliche Gefahrenskala für die verschiedenen Gefahren, die von grün bis rot reicht. Diese Skala sollte von allen Ländern, die an der Plattform mitarbeiten, übernommen werden.
- Gemeinsame Kriterien für die Bewertung der Gefahrenstufe eines vorhergesagten Ereignisses haben
- Einfache Beschreibungen der potenziellen negativen Auswirkungen und Folgen auf der Grundlage der geschätzten Intensität der Gefahren und der spezifischen Expositions- und Anfälligkeitsbedingungen in den verschiedenen Regionen liefern.
- Die Bereitstellung von Verhaltensempfehlungen (was unter den zu erwartenden Umweltbedingungen zu tun und zu lassen ist) kann sehr hilfreich sein, um das Risikobewusstsein der Menschen zu schärfen und ein risikoaverses Selbstschutzverhalten zu fördern.
- Festlegung eines einheitlichen Regelwerks für die Ausgabe von Warnungen, deren Inhalt und die Verhaltensempfehlungen.
- Anwendung der oben beschriebenen bewährten Verfahren für die Kartengestaltung: Verwendung einer einfachen, aber ergänzenden Basiskarte, Verwendung einer Übersichtskarte, Verwendung einer gut konsolidierten Farbskala mit 4-5 Klassen je nach Schweregrad und - wenn möglich - selbsterklärende Symbole.
- Meldung der zuständigen Stellen und der möglichen Unterstützung für jedes betroffene Land/jede Region

# Eine TRANS-ALP-Praxisanwendung: Neubewertung des Lawinenrisikos nach dem Sturm Vaia

Fabrizio Tagliavini, Roberta Dainese (ARPA Veneto)

Es wird erwartet, dass der Klimawandel nachteilige Auswirkungen und Folgen für eine Reihe von Mensch-Umwelt-Systemen haben wird. Es gibt zahlreiche Belege dafür, dass der Klimawandel in weiten Teilen der Welt nachteilige Auswirkungen haben wird, darunter höhere Temperaturen, ein Anstieg des Meeresspiegels, vermehrte Starkregenfälle und damit verbundene Schäden durch Hitzestress und Überschwemmungen. Obwohl Umfang und Ausmaß der Auswirkungen noch nicht genau bekannt sind, deuten empirische Beispiele darauf hin, dass sich die Folgen und Auswirkungen des Klimawandels als Kaskaden über physikalische und menschliche Systeme ausbreiten werden. So wird zum Beispiel die kombinierte Wirkung der zunehmenden Häufigkeit von Stürmen hoher Intensität die Fähigkeit von Einzelpersonen, Regierungen und des Privatsektors beeinträchtigen, sich rechtzeitig anzupassen, bevor Verluste und Schäden auftreten. Im Rahmen des Projekts "TRANS-ALP" wurden die Kaskadeneffekte bei Sturmereignissen untersucht, wobei der Schwerpunkt auf Veränderungen der Bodenbedeckung und deren Auswirkungen auf die alpinen Naturgefahren Schneelawinen und Erdbeben lag.

Katastrophenschutzpläne sind ein wesentliches Instrument zur Abschwächung der Kaskadeneffekte, die sich aus dem Klimawandel ergeben. Dank Katastrophenschutzplänen ist es möglich, den Verlust von Leben und Eigentum zu verringern, indem die Auswirkungen von Katastrophen minimiert werden. Obwohl Katastrophenschutzpläne in der Regel das Ergebnis einer sorgfältigen Planung sind, kann es vorkommen, dass aufgrund plötzlicher Veränderungen der natürlichen Gegebenheiten, z. B. nach schweren Stürmen, die das Waldlayout des Gebiets stören, innerhalb eines kurzen Zeitrahmens spezifische Pläne zur Risikominderung entwickelt werden müssen. Im Rahmen des TRANS-ALP-Projekts wurden daher spezifische Instrumente entwickelt, um den Entscheidungsprozess bei der Erstellung solcher Pläne zu beschleunigen. Auf den folgenden Seiten wird ein Beispiel dafür gegeben, wie diese Werkzeuge zur Erstellung oder Integration bestehender Pläne genutzt werden können. Das Beispiel bezieht sich auf die Lawinenrisikominderung im Cordevole-Tal (BL) in Italien, einem Testgebiet des TRANS-ALP-Projekts.

Eine korrekte Analyse des Lawinenrisikos muss mehrere Aspekte berücksichtigen:

- 1) Das potenzielle Auslösegebiet (PRA) muss bestimmt werden;
- 2) der Lawinenabgang muss bewertet werden;
- 3) alle gefährdeten Elemente, die von der Lawinenbahn betroffen sein könnten, müssen ermittelt werden.

Das Lawinenauslösegebiet ist ein wichtiger Parameter, der für die Lawinengefahrenkartierung geschätzt werden muss. Während Parameter wie die Auslaufstrecke oder die Ablagerungshöhe in der Regel leicht zu messen sind, ist die PRA aufgrund der Unzugänglichkeit des Geländes und/oder ungünstiger Wetterbedingungen in den oberen Bereichen einer Lawinenbahn oft schwer zu bestimmen. Durch die Verwendung spezieller Algorithmen in einer GIS-Umgebung identifiziert das im Rahmen des TRANS-ALP-Projekts entwickelte Tool automatisch alle potenziellen Auslösebereiche in einem sehr großen Gebiet.

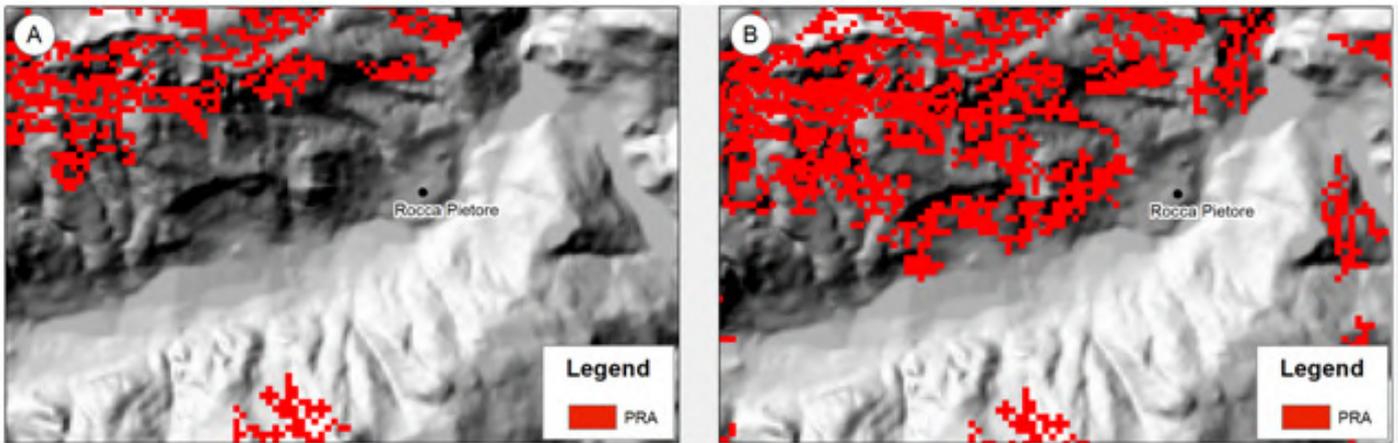


Abbildung 1: Die potentiellen Freisetzungsbereiche, die mit dem im Rahmen des TRANS-ALP-Projekts entwickelten Tool bewertet wurden. A) mit dem Zustand des Vaia-Waldes vor dem Sturm; B) mit dem Zustand des Vaia-Waldes nach dem Sturm.

Sobald die PRAs identifiziert sind (Abbildung 14), ist das entwickelte GIS-Tool außerdem in der Lage, auf der Grundlage einer morphologischen Analyse Hunderte von Lawinen gleichzeitig zu simulieren (Abbildung 1)

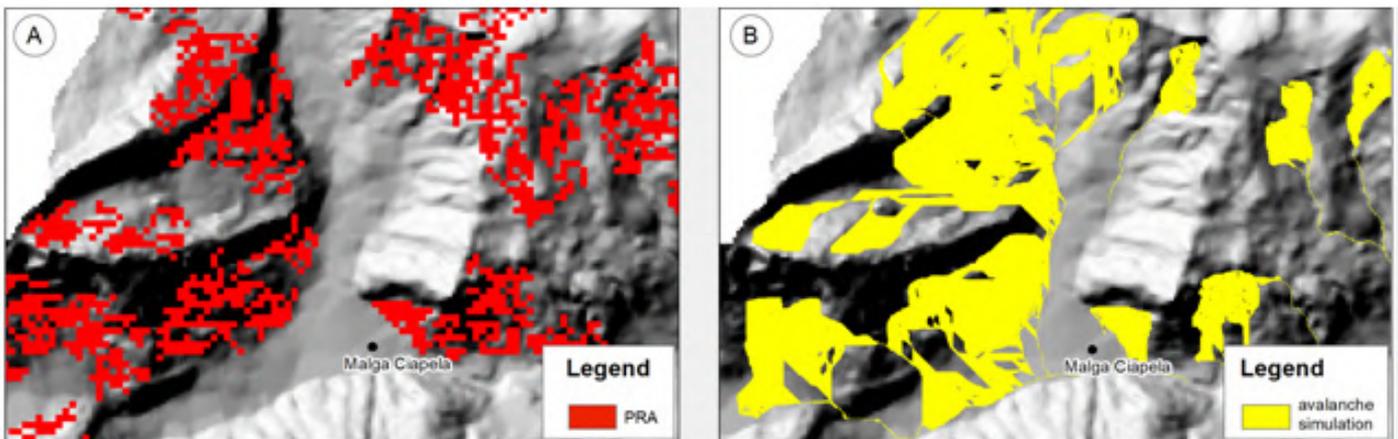


Abbildung 2: Beispiel für die Funktionsweise des vom Lawinenzentrum Arabba (ARPAV) entwickelten Tools: Nachdem die PRA identifiziert wurden (A), wird der Ablauf aller potentiellen Lawinen im Untersuchungsgebiet gleichzeitig simuliert (B).

Eine zusätzliche Erweiterung des für das TRANS-ALP-Projekt entwickelten GIS-Tools ermöglicht es, die gefährdeten Elemente zu identifizieren, die von Lawinen betroffen sein können (Abbildung 16). Gefährdete Elemente ist ein Oberbegriff für alles, was einer Gefahr ausgesetzt sein könnte, von Gebäuden bis zur Wirtschaft und von einzelnen Personen bis zu Gemeinden. Bei den gefährdeten Elementen geht es um die Exposition durch die Gefahr: Was kann beschädigt oder zerstört, verletzt oder getötet, behindert oder unterbrochen werden. Das Ausmaß, in dem dies geschieht, hängt von der Intensität der Lawine und der Anfälligkeit der einzelnen exponierten Elemente ab, durch diese bestimmte Gefahr mit dieser bestimmten Intensität Schaden zu erleiden. Die im Rahmen des TRANS-ALP-Projekts entwickelten Werkzeuge ermöglichen daher auf der Grundlage der Lawinenabgangskarte eine automatische Extrapolation der betroffenen exponierten Elemente. Anhand der exponierten Elemente, die von Lawinen betroffen sein könnten, kann dann eine Prioritätenliste erstellt werden, auf die sich die dynamische Lawinenberechnung und die Katastrophenschutzmaßnahmen stützen können.

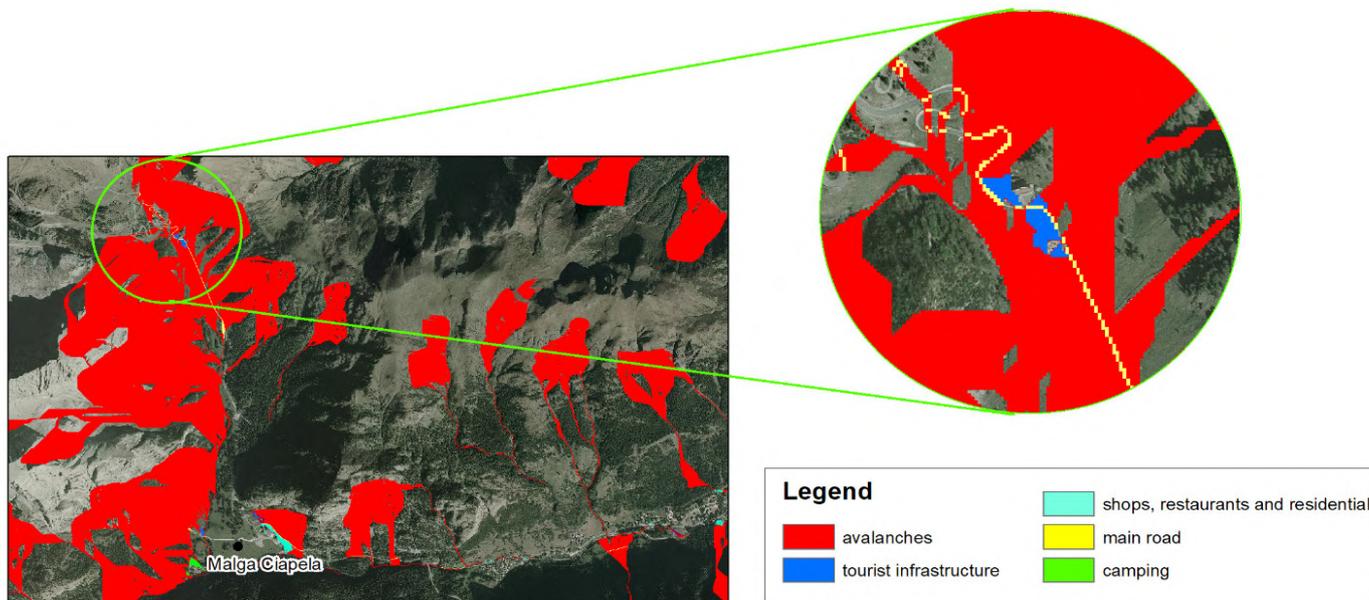


Abbildung 3: die Karte der gefährdeten Elemente, die von der vom Lawinenzentrum Arabba entwickelten Anwendung berechnet wurde, überlagert mit der Lawinenkarte.

Nach der Identifizierung der besonders gefährdeten Gebiete kann eine Reihe von dynamischen Modellierungen durchgeführt werden, um entlang der Lawinenbahn die maximalen Fließhöhen, den Aufpralldruck und den Umfang der Lawine selbst zu bestimmen. Die Ergebnisse dieser endgültigen Modellierung können für die Umsetzung spezieller Zivilschutzpläne verwendet werden (Abbildung 17).

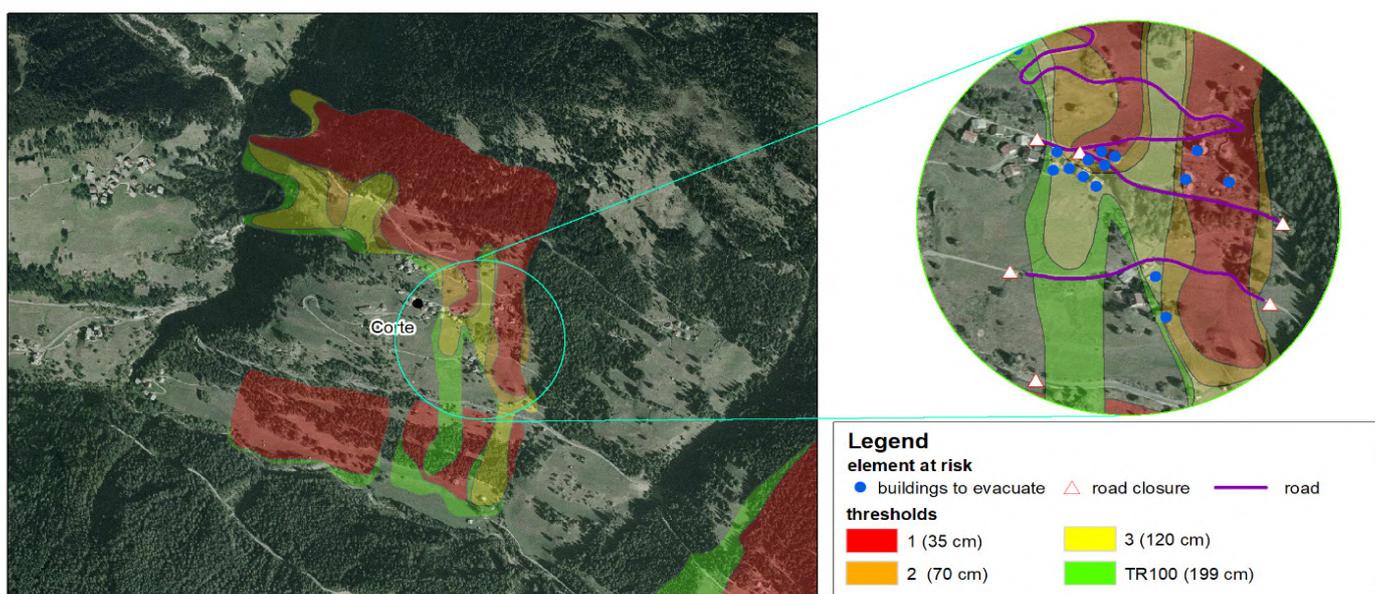


Abbildung 4: Die Risikoklassifizierung im Gebiet Lasta Sief in Abhängigkeit von den festgestellten Bodenschneeswellen. Im Kasten ist dargestellt, welche Häuser in Abhängigkeit von der erreichten DH3gg-Schwelle evakuiert werden müssen und wo die Straße für den Verkehr gesperrt werden sollte.

Die Katastrophenschutzpläne, die im Cordevole-Tal umgesetzt wurden, um die Auswirkungen des Vaia-Sturms abzumildern, sehen die Evakuierung von Häusern und Straßensperrungen in Abhängigkeit von bestimmten Schwellenwerten für die Schneedeckenhöhe vor, die für jeden Ort festgelegt wurden. Diese Schwellenwerte berücksichtigen jedoch nicht die stabilisierende Wirkung von umgestürzten Bäumen, die auf dem Boden liegen bleiben. Daher muss ein Schwellenwert, die so genannte "Schwelle 0", gefunden werden, ab dem die oben genannten Überlegungen angestellt werden können. Dieser Schwellenwert muss mit der durchschnittlichen Höhe der gefällten Vegetation verknüpft sein. Im Rahmen des TRANS-ALP-Projekts wurde eine Methodik entwickelt, mit der der Lawinenfreiplatz ermittelt werden kann.

Bei Hochwasserrisiken ist der Freibord definiert als der Raum zwischen dem Wasserstand und dem Niveau, bei dem der Fluss beginnt, über die Ufer zu treten. Der Begriff "Lawinenanrissfreibord" beschreibt die maximale Höhe der Schneedecke, die akzeptiert wird, bevor eine Lawine ausgelöst werden kann, d. h. die Schneehöhe, die erforderlich ist, damit die am Boden liegende Vegetation nicht vollständig verschüttet wird.

In den letzten Jahrzehnten hat die Fernerkundung für Überwachungsanwendungen in der Präzisionslandwirtschaft und für die Bewertung der topografischen Oberflächenrauigkeit an Bedeutung gewonnen. Es ist möglich, das Digitale Geländemodell (DGM) zur Ermittlung der Rauheit der topografischen Oberfläche und das Digitale Oberflächenmodell (DSM) zur Bewertung verschiedener Parameter im Zusammenhang mit der Vegetation zu verwenden. Es ist auch möglich, beide Modelle zu kombinieren, um wichtige Informationen über die Höhe der Vegetation zu erhalten, indem man das so genannte Canopy Height Model (CHM) ermittelt.

Das Kronendachhöhenmodell ist eine Messung der Höhe der Vegetation über der Bodentopographie. Dieses Produkt wird in einer Vielzahl von forstwirtschaftlichen Anwendungen verwendet, darunter die Verfolgung der Vegetation und der Bäume in einem Wald im Laufe der Zeit, die Berechnung der Biomasse und die Schätzung des Blattflächenindex.

Zur Umwandlung der aus dem CHM abgeleiteten Rauigkeit in die Freibordkarte wurden im Rahmen des TRANS-ALP-Projekts zahlreiche Algorithmen geprüft und getestet, von denen jedoch keiner das Ziel vollständig erfüllte. Daraufhin wurde ein neuer Algorithmus entwickelt, um eine spezielle fokale Analyse des Kronenhöhenmodells durchzuführen. Die fokale Analyse führt für jedes Pixel in der Karte 8 verschiedene Subtraktionen durch, eine für jedes benachbarte Pixel. Die Ausgabekarte stellt für jedes Pixel den Maximalwert dieser Differenz dar (Abbildung 18).

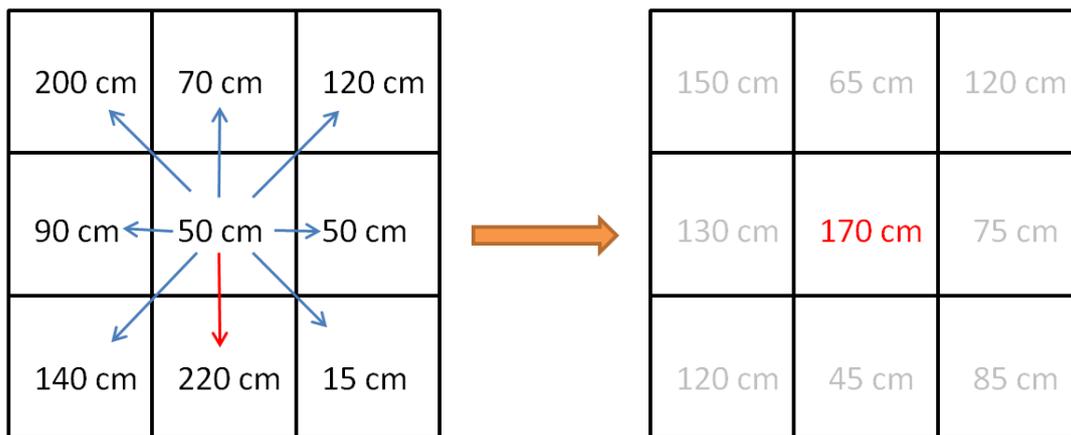


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Funktionsweise des Algorithmus: Nach der Berechnung des Kronendachhöhenmodells führt jeder Pixel der Karte eine Subtraktion mit den acht benachbarten Pixeln durch. Die Ausgabekarte stellt die Maximalwerte dieser Subtraktion dar.

Das Ergebnis ist eine Rasterkarte, die zwar nicht die Realität abbildet, aber durchaus aussagekräftig ist, um für jedes Windwurfgebiet die Durchschnittswerte des Lawinenanrissfreibords zu ermitteln.

Die Karte zeigt, dass in den 311 untersuchten Gebieten des Testgeländes die durchschnittlichen Höhen der Lawinenanrissfreiborde voneinander abweichen. Dieses Ergebnis ist nicht völlig unerwartet, da der Wert des Freibordes sowohl von der Dichte des geschädigten Waldes als auch vom Hang, auf dem er liegt, beeinflusst wird. Abbildung 19 zeigt die beiden Extremwerte des erhaltenen Ergebnisses und Abbildung 20 ist ein Auszug aus dem GIS-Projekt, in dem für jedes entnommene Gebiet der entsprechende Lawinenfreibord dargestellt ist.

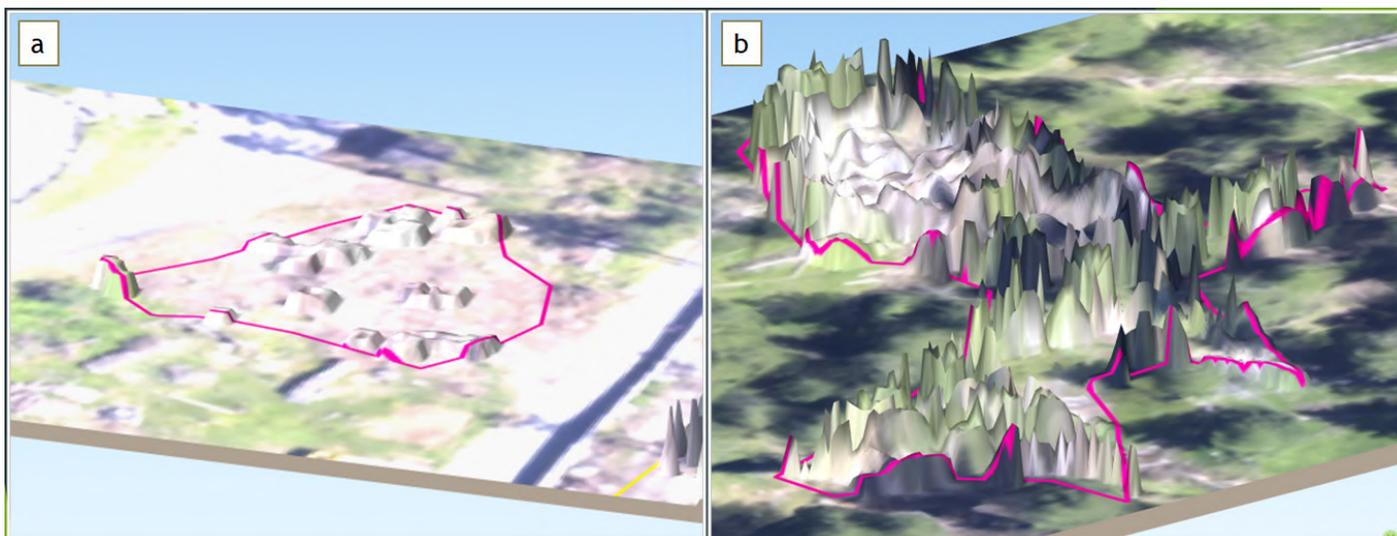


Abbildung 6: zwei Beispiele für den Lawenauslösefreibord a) Rückzugsgebiet in der Nähe des Dorfes Alleghe mit einem durchschnittlichen Freibord von etwa 80 cm; b) Rückzugsgebiet in der Nähe des Dorfes Livinè mit einem durchschnittlichen Freibord von etwa 2,3 Metern

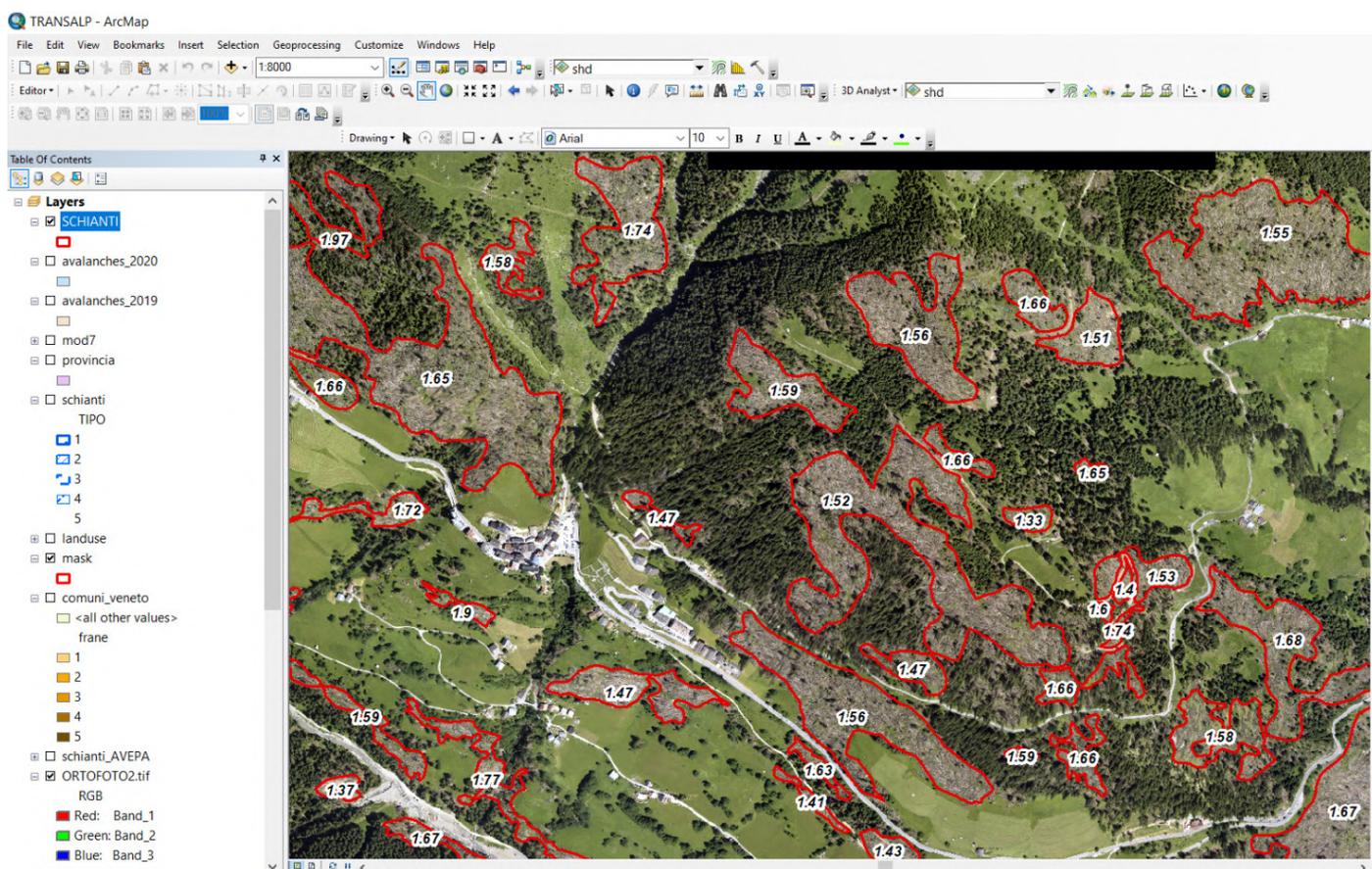


Abbildung 7: die Beschriftung innerhalb jedes Windwurfgebiet-Polygons stellt den Lawenauslöse-Freibord dar, der als "Schwellenwert 0" angesehen werden kann, der in Katastrophenschutzplänen zu berücksichtigen ist

Wie in der Einleitung zu dieser Arbeit erwähnt, zielen die im Rahmen des TRANS-ALP-Projekts entwickelten Instrumente zur Bewertung der Lawengefahr und des Lawinenrisikos darauf ab, die Entscheidungsprozesse zu beschleunigen, die der Umsetzung von Katastrophenschutzplänen zugrunde liegen. Insbesondere die Ermittlung des Lawenauslösefreibords wird es ermöglichen, die genannten Pläne erst dann zu aktivieren, wenn die Schneedeckenhöhe Werte erreicht, die zu einer Gefahr für die Bevölkerung werden könnten.

## Vergleich zwischen den beiden Testgebieten

Tabelle 4 verdeutlicht die Ähnlichkeiten in den Ansätzen, die zur Bestimmung der verschiedenen Ziele gewählt wurden. Tabelle 4 zeigt insbesondere die Arten von Daten, die zur Bestimmung der Schlüsselvariablen der verschiedenen Testgebiete benötigt werden im Hinblick auf die Schritte 1-3.

Osttirol	Cordevole-Tal
<b>Datenerfassung / Datenbereitstellung (von räumlich explizit geschädigten Waldflächen)</b>	
Land Tirol (Amt der Tiroler Landesregierung)	Arabba-Lawinenzentrum der ARPAV
<b>Verfahren der Datenerhebung</b>	
Orthophotos aus bemannten Flugzeugen; Laserscan-Messungen aus der Luft	A) A) Manuelle Kartierung B) B) aus Satellitenbildern zusammengestellte Vegetationssindizes C) C) Lidarbefliegung für DEM & DSM
<b>Identifizierung der Stellen, an denen signifikante Veränderungen der Vegetation aufgetreten sind</b>	
Differentielle digitale Oberflächenmodelle vor und nach dem Sturm ("NDSM")	für jeden Index wurde die Differenz (Index nach dem Ereignis) - (Index vor dem Ereignis) berechnet; differentielle digitale Oberflächenmodelle vor und nach dem Sturm ("NDSM")
<b>Bestimmung der Fläche der geschädigten Waldbestände</b>	
über GIS-Operationen	über GIS-Operationen
<b>Gesamt-Windwurfflächen [Hektar]</b>	
2.155 (1,1 % der Gesamtfläche Osttirols)	100 (0,5 % des Cordevole-Tals)
<b>Verwendete Techniken zur Bestimmung von Schlüsselvariablen</b>	
Zur Quantifizierung der Auswirkung von umgestürzten Bäumen auf die Anfälligkeit für Lawinenauslösungen wurde die Bestimmung der Geländerauigkeit in Richtung der Falllinie des Hanges entwickelt; als Grundlage für die Verbesserung der Bestimmung von Lawinenauslösegebieten;	Lidar-Daten wurden für die Definition des Lawinenauslösefreiheitsbords durch die Analyse des Kronendachhöhenmodells und die Entwicklung eines spezifischen Algorithmus verwendet
<b>Verwendete Techniken zur Bestimmung von Schlüsselvariablen</b>	
Schnee-Mikropenetrometer, Schneeschächte, Drohnenflüge (photogrammetrische Analysen); übergeordnetes Ziel der Studie ist es, zu quantifizieren, wie sich die Rauheit auf die Schneedecke auswirkt, einschließlich der Stratigraphie der Schneedecke, die mit der Möglichkeit einer Lawinenauslösung zusammenhängt	GIS-Techniken

Tabelle 1: unterschiedliche Ansätze für die Schritte 1-3 in den Pilotregionen.

## Ermittlung neuer potenzieller Lawinenauslösegebiete, Auslaufsimulationen zur Expositionsabschätzung & Bewertung neu exponierter Objekte aufgrund der Lawinengefahr nach einem Sturm (Schritte 4 & 5).

Die Identifizierung von potenziellen Freisetzungsbereichen (PRAs) und die Simulation des Lawinenabgangs sind für beide Studienzwecke von wesentlicher Bedeutung. Die Notwendigkeit, eine Priorität für die Umsetzung von Katastrophenschutzplänen in der Fallstudie des Cordevole-Tals zu bestimmen, erfordert jedoch eine genauere Definition der PRAs durch die Verwendung einer größeren Anzahl von Parametern.

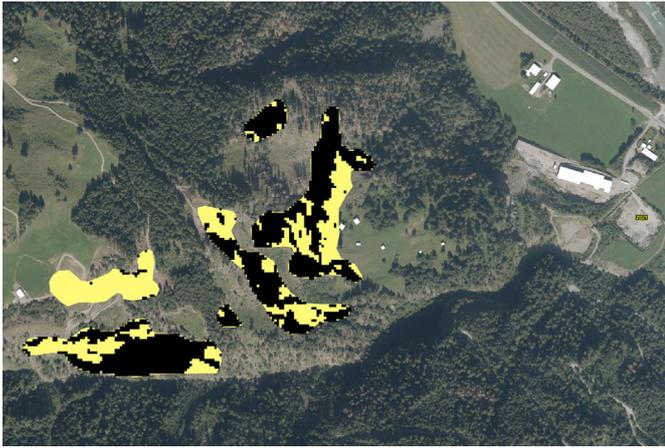
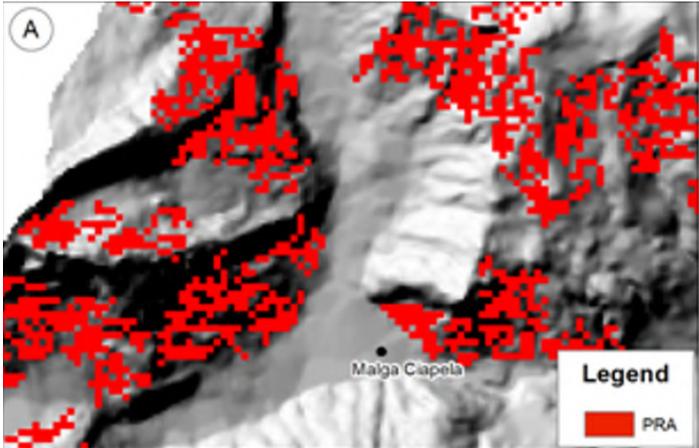
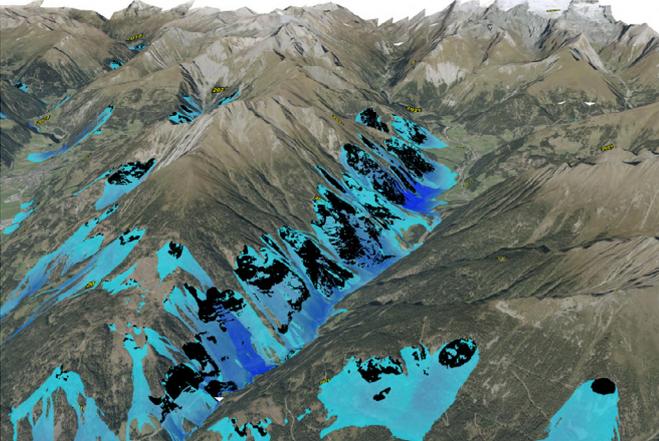
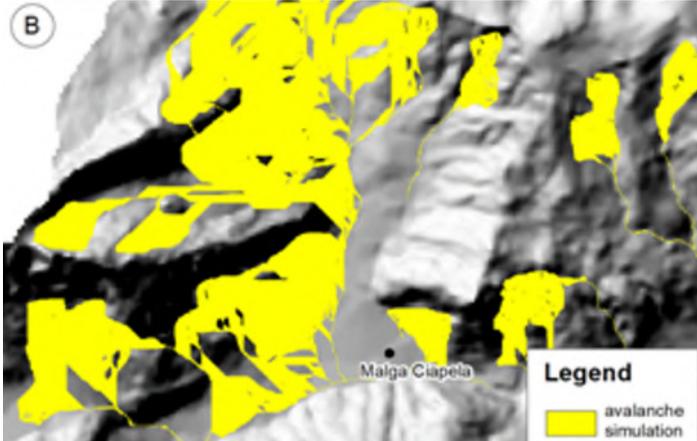
Osttirol	Valle del Cordevole
<ul style="list-style-type: none"> <li>Hänge mit 34°-55° Hangneigung werden als PRA's betrachtet (basierend auf Perzl &amp; Kleemayr 2020)</li> <li>morphologisch kohärente Geländekammern oder Geländekrümmungen werden nicht berücksichtigt</li> <li>Mappa del pendio generata tramite analisi raster tramite il software QGIS</li> <li>Hangneigung generiert in QGIS über Rasteranalyse</li> <li>Hangpixel mit einer Neigung von 34°-55° wurden mit abgeholzten Waldbeständen verschnitten</li> <li>insgesamt neue PRA's: 1077 Hektar (50 % der gesamten VAIA-Sturmflächen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>großräumige topografische Parameter werden aus dem DEM abgeleitet, um automatisch PRAs zu definieren</li> <li>Hangneigung 30°- 60° wurden verwendet.</li> <li>werden Hauptkämme als Trennungsmerkmal für die PRA verwendet; diese werden automatisch aus dem DEM abgeleitet</li> <li>Rauheit und Krümmung des Geländes wurden bei der Berechnung der PRA berücksichtigt</li> <li>Die Zerstörung der Waldvegetation führt zu einer deutlichen Erhöhung der Anzahl potenzieller Lawinenstandorte (75 % der VAIA-Windwurfflächen)</li> </ul>
 <p>Ermittelte PRAs in der Pilotregion Osttirol</p>	 <p>Identifizierte PRAs in der Pilotregion des Cordevole-Tals</p>

Tabelle 2: Bestimmung neuer potenzieller Lawinenauslösegebiete (Schritt 4)

Was den Lawinenabgang anbelangt, so wurden bei beiden Ansätzen Berechnungsmodelle verwendet, die nicht auf physikalischen, sondern auf morphologischen Grundlagen beruhen. Im Fall des Cordevole-Tals war es jedoch notwendig, ein Modell zu verwenden, das in der Lage ist, Tausende von Lawinen gleichzeitig zu simulieren, um die Umsetzung der Zivilschutzpläne zu beschleunigen.

Osttirol	Cordevole-Tal
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Nutzung des datengetriebenen empirisch basierten Auslaufmodells für gravitative Massenbewegungen auf regionaler Skala: <b>"Flow-Py"</b></li> <li>● Erstellung von Eingangs- und Ausgangsdaten in QGIS (Rasterformate: ASCII oder TIFF)</li> <li>● Primär benötigte Eingabedaten: "DEM-Layer" (Geländemodell) &amp; "Release-Layer" (Raster, das potentielle Release-Zellen definiert)</li> <li>● Prozesspfade basierend auf "Stopping Routine" und "Routing Routine"; 4 Parameter müssen definiert werden</li> <li>● Auslauf nach Alphawinkel: Linie, die von der Oberkante der Auslösung bis zur am weitesten entfernten Auslaufmasse gebildet wird; der verwendete Alphawinkel von 25° repräsentiert nach Kobal et al. (2019) Lawinen mit einer 100-jährigen Wiederkehrperiode (Huber et al. 2017)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Die hydrologische Geländeanalysesoftware tauDEM (Tarboton 1997) wurde angepasst, um die aus dem DEM ermittelten Lawinenbahnen abzuleiten</li> <li>● Erkennung aller hangabwärts gelegenen Orte einer gegebenen Startzelle, bis ein vordefinierter Alpha-Winkel (von der Startzelle aus) erreicht ist</li> <li>● Der Alphawinkel basiert auf Untersuchungen der Wiederkehrperioden im Untersuchungsgebiet; Winkel zwischen 20° und 23° reichen aus, um die meisten Lawinen aufzuhalten</li> <li>● Vorteil: gleichzeitige Analyse über große Gebiete zur Identifizierung potenzieller Gefahrenggebiete in kurzer Zeit</li> </ul>
 <p data-bbox="108 1122 592 1151"><b>Neue potentielle Lawinenabgänge in Osttirol.</b></p>	 <p data-bbox="790 1122 1358 1151"><b>Neue potentielle Lawinenabgänge im Cordevole-Tal.</b></p>

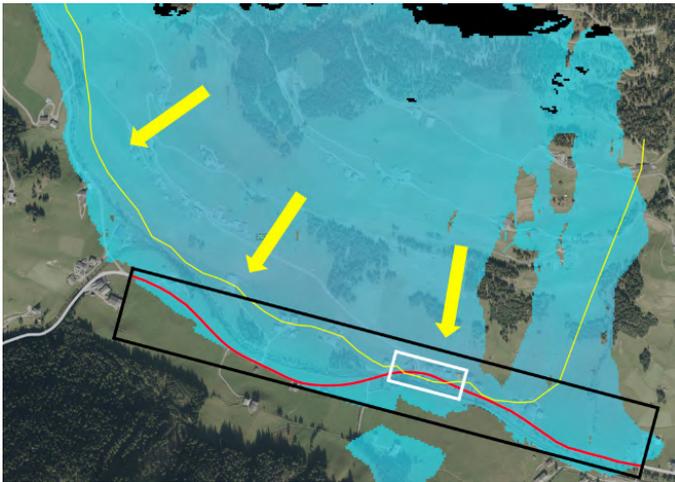
Tab. 3: Simulation der neuen Auslauf- und Ablagerungszonen (Schritt 4)

Die wichtigsten Unterschiede zwischen den beiden Pilotstandorten betreffen die Identifizierung der neu freiliegenden Vermögenswerte bezüglich der Windwurfllächen. Auch hier sind die Unterschiede in den verwendeten Ansätzen eng mit den unterschiedlichen Zielen verbunden. Im Osttiroler Pilotprojekt wird das gesamte Verfahren zusätzlich zur Ermittlung der in Tabelle 4 angegebenen Schlüsselvariablen als Referenz für einen ersten Schritt zur Neuklassifizierung der nationalen Lawinengefahrenkarte nach VAIA vorgeschlagen. Für die Zwecke im Cordevole-Tal ist ein anderer Ansatz erforderlich. Wie bereits erwähnt, ist das vom Lawinenzentrum Arabba der ARPAV entwickelte Modell in der Lage, Tausende von Lawinen gleichzeitig zu simulieren, aber es ist notwendig, für den Katastrophenschutz Prioritäten zu setzen. Aus diesem Grund wurde ein weiteres Modell implementiert, das eine Analyse der gefährdeten Elemente, die von Lawinen betroffen sind, und somit eine Unterscheidung des potenziellen Risikos ermöglicht. Diese Analyse wird dann verwendet, um deterministische und physikalisch basierte Modelle zu implementieren, um Katastrophenschutzpläne im Detail zu strukturieren.

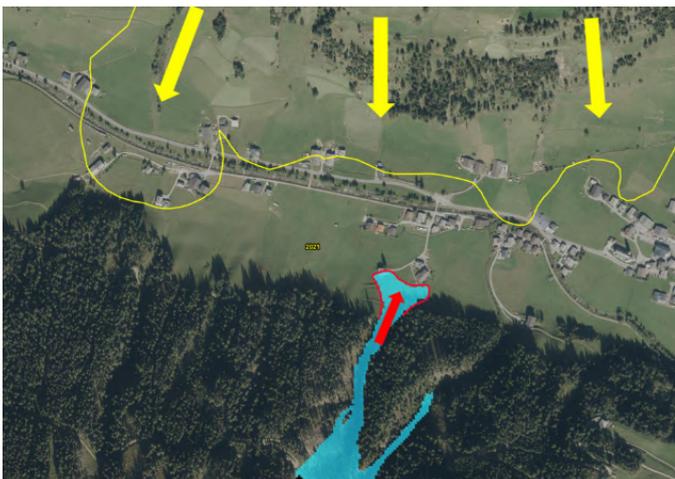
Neu exponierte Objekte aufgrund der Lawinengefahr nach einem Sturm am Beispiel von Osttirol & Cordevole Tal:

### Osttirol, Kals (Österreich)

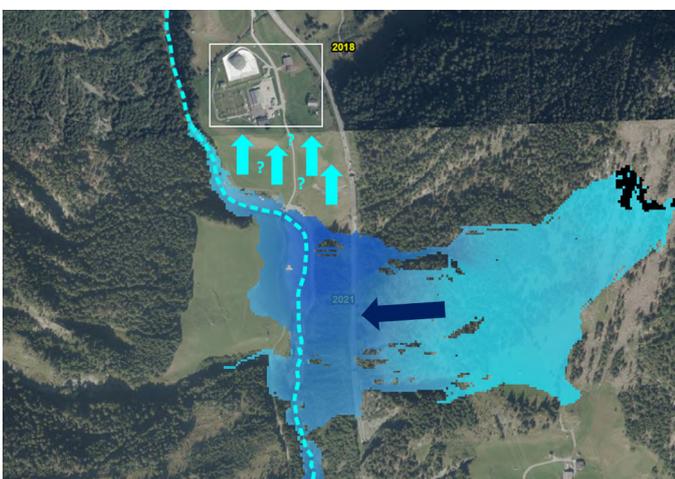
- Verschärfung der Gefahrensituation durch erhöhte Lawinenausläuflängen über die von regionalen Experten und Behörden definierten roten und gelben Gefahrenzonen hinaus



- Neue Lawinenabflussbahnen und Ablagerungszonen im Siedlungsgebiet, die in der amtlichen Gefahrenzonenplanung noch nicht berücksichtigt werden konnten

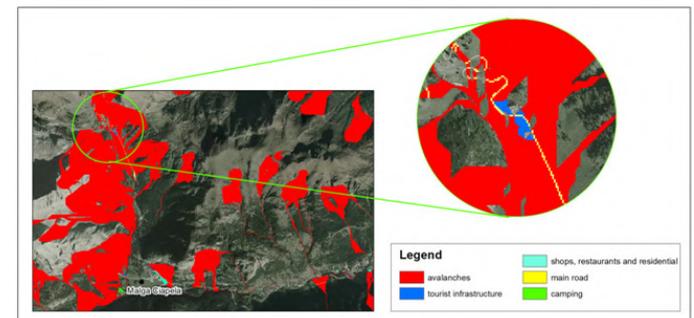


- nuovi elementi a rischio possono subire quindi danni diretti e indiretti dal verificarsi di valanghe anche di grandi dimensioni.



### Cordevole-Tal (Italien)

- Ein vom Lawinenzentrum Arabba entwickeltes Tool, das es ermöglicht, auf der Grundlage der Lawinenabgangskarte automatisch die gefährdeten Elemente zu extrapolieren
- Prioritätenliste, auf die sich die dynamische Lawinenberechnung und die Katastrophenschutzmaßnahmen stützen können; es ist wichtig, eine Karte als Eingabedaten zu erstellen, in der die gefährdeten Elemente nach ihrer Wichtigkeit geordnet sind; um die Priorität der Maßnahmen im Cordevole-Tal zu verstehen, wurden zwei verschiedene Analysemaßstäbe verwendet, vom nationalen Maßstab bis zu einem detaillierten Maßstab.
- Das Endergebnis ist eine Rasterkarte, in der jedes gefährdete Element indiziert wurde; eine solche Indizierung ermöglicht die Festlegung einer Priorität für Maßnahmen zur Risikominderung.



- Nach der Identifikation von Gebieten mit erhöhter Gefährdung wurde eine Reihe von dynamischen Modellierungen durchgeführt, um die Fließhöhen und den Aufpralldruck zu modellieren (mittels "RAMMS", entwickelt vom WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (Christen et al., 2010)); diese Ergebnisse wurden für die Umsetzung neuer spezieller Zivilschutzpläne verwendet.

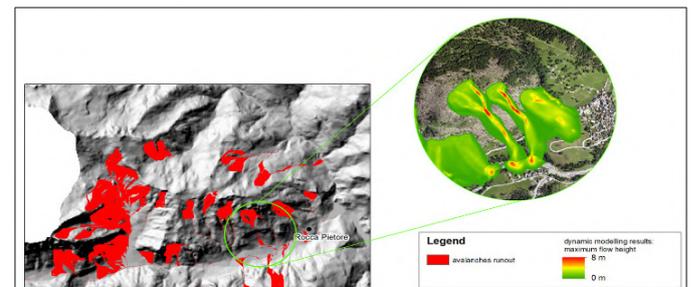


Tabelle 4: Neu exponierte Schutzgüter aufgrund der Lawinengefahr nach einem Sturm (Schritte 4 und 5)

## Synthese und Empfehlungen

Wie in den vorangegangenen Tabellen veranschaulicht, führt eine an die Auswirkungen des Klimawandels angepasste Analyse der Exposition und Anfälligkeit unter Berücksichtigung mehrerer Naturgefahren und Kaskadeneffekte zu einem entsprechenden Naturgefahren- und Risikomanagement. Immer dann, wenn Unwetterereignisse große Gebiete betreffen, erscheint es vorteilhaft, ein harmonisiertes grenzüberschreitendes Management zu entwickeln, damit sich die Akteure im gesamten Alpenraum gegenseitig unterstützen und das Ereignis in seinem ursprünglichen Ausmaß beschreiben können. Die Umsetzung eines harmonisierten Ansatzes basiert auf den folgenden drei grundlegenden Handlungsempfehlungen (Abbildung 21):

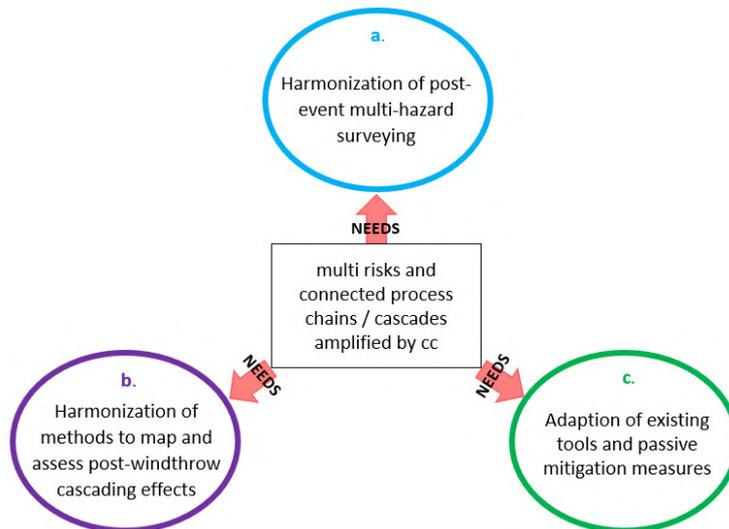


Abbildung 5: Übersicht der drei grundlegenden Handlungsempfehlungen

### Harmonisierung der Erkundung mehrerer Gefahrenquellen nach einem Ereignis

Der Sturm Vaia hat das Gebiet durch eine Reihe von Kaskadeneffekten beeinträchtigt, die von Überschwemmungen, geologischen Instabilitäten und der Entstehung von Windwurfgebieten - auf kurze Sicht - bis hin zu Folgeeffekten - wie der Entstehung neuer Lawinengebiete und der Ausbreitung des Borkenkäfers - in den kommenden Monaten reichen. Die nach dem Ereignis durchgeführten Erhebungen haben gezeigt, dass ein strukturiertes Verfahren für die Datenerfassung vor Ort erforderlich ist, um einerseits die Schäden zu bewerten und andererseits die Restrisiken und mögliche Kaskadeneffekte zu beurteilen, damit geeignete Strategien zur Schadensbegrenzung entwickelt werden können. Der Zeitdruck im Zusammenhang mit dem letztgenannten Aspekt hat gezeigt, dass eine effiziente und möglicherweise risikoübergreifende Datenerhebung erforderlich ist. Zu diesem Zweck wurde im Rahmen des TRANS-ALP-Projekts eine Reihe von Erhebungsbögen für die Zeit nach dem Ereignis erstellt, die Informationen über Datum und Ort, Art des Ereignisses und Auswirkungen, eine erste Bewertung der Schäden und die Angabe aller relevanten Eingriffe in ein Gewässer enthalten. Die Unterblätter sind in zwei Hauptteile gegliedert, einen für die Erhebung des Ereignisses (gegenwärtige Situation) und einen für die Folgenabschätzung (Zukunftsszenario). Ziel der Erhebungsblätter, die für eine spezifische Phänomenbeurteilung (z.B. mit Schwerpunkt Lawinen) verwendet werden, ist es, in den oft hektischen Phasen nach dem Ereignis andere potenziell allgemein relevante Prozesse (wie z.B. drohende Steinschläge) frühzeitig und strukturiert zu erfassen. Die Datenerhebung erfolgt möglichst in Zusammenarbeit mit verschiedenen Stellen, die die lokale Situation im ganzen Gebiet beurteilen. Spezifische Fälle können von den zuständigen Stellen in einem zweiten Schritt eingehend bewertet werden. Die Verwendung von Standard-Erhebungsbögen in grenzüberschreitenden Regionen könnte den Austausch zwischen den Behörden und die Erfassung aller relevanten Daten fördern, die bei der Analyse von grenzüberschreitenden Ereignissen verwendet werden können, um die Bereitschaft, die Reaktion und die Erholung von solchen Ereignissen in Zukunft zu verbessern. Der allgemeine Erhebungsbogen und die 4 Unterbögen sind dem ausführlichen "Bericht über die Kaskadeneffekte von sturmbedingten Landbedeckungsänderungen auf alpine Naturgefahren" (D.3.3) beigelegt.

## **Harmonisierung der Methoden zur Bewertung von Bodeneffekten und möglichen Kaskadeneffekten**

Nach den Erhebungen zur Sammlung von Daten über Bodeneffekte zielt der folgende Schritt darauf ab, die zuvor ermittelten potenziellen Kaskadeneffekte qualitativ zu charakterisieren. Ziel ist es, die Gefahr und die möglicherweise noch vorhandene Schutzwirkung zu bewerten und Bereiche zu ermitteln, in denen Abhilfemaßnahmen ergriffen werden sollten. Die Bewertung der Gefahrenverteilung nach dem Ereignis kann eine zeitaufwändige Aufgabe sein, die jedoch innerhalb eines mit den Anforderungen des Katastrophenschutzes zu vereinbarenden Zeitrahmens erledigt werden sollte.

Im Rahmen des TRANS-ALP-Projekts wurde ein vereinfachtes Verfahren für den speziellen Fall von Windwurfflächen und der anschließenden Schaffung neuer Lawinengebiete entwickelt. Die Anwendung ähnlicher Methoden auf die Fallstudien in Osttirol und im Cordevole-Tal wurde in den Tabellen 1-4 beschrieben. Sie basiert auf der Bewertung des Verlusts der Schutzwirkung des Waldes durch die Identifizierung neuer potenzieller Auslösungsgebiete in den Windwurfbeständen und der späteren Anwendung von Algorithmen zur Bewertung des Lawinenauslaufs und der möglichen Identifizierung der gefährlichen Elemente. Die Wahl der verschiedenen Parameter war bei den beiden Fallstudien unterschiedlich. Solche Parametereinstellungen - wie auch die Eingabedaten für die Risikoanalyse - sollten in Zukunft harmonisiert werden, oder es sollten weitere Studien durchgeführt werden, um die Notwendigkeit unterschiedlicher Werte für verschiedene geografische Gebiete zu bewerten (z. B. aufgrund unterschiedlicher klimatischer Bedingungen), um grenzüberschreitende Vergleiche und einheitliche Strategien zur Risikominderung zu gewährleisten.

Die Identifizierung und Kartierung von Windwurfflächen, insbesondere in steilem Gelände, in Verbindung mit Ortsbesichtigungen zur weiteren Quantifizierung der verbleibenden Schutzwirkung gegen Naturgefahren oder von Gebieten, in denen sofort andere Maßnahmen ergriffen werden müssen, ist eine wichtige Aufgabe nach großflächigen schweren Waldstörungen.

### **Passive Minderungsmaßnahmen**

Sobald die aktuelle Situation bewertet und das Restrisiko für die gefährdeten Elemente beschrieben ist, zielt der nächste Schritt auf die Festlegung geeigneter Gegenmaßnahmen zur Minderung dieses Risikos ab. In einem Zeitraum von wenigen Jahren wurden mehrere der von VAIA geschaffenen Windwurfgebiete durch den Bau von Lawinenschutzanlagen gesichert, während die wichtigste langfristige Lösung darin besteht, die natürliche Regeneration des Waldes zuzulassen, um seine Schutzfunktionen wiederherzustellen.

Kurzfristig sind solche Lösungen jedoch nicht realisierbar. Um das Risiko zu mindern, können spezielle Zivilschutzpläne eingesetzt werden. Im Hinblick auf die Lawinengefahr im Cordevole-Tal wurden außerordentliche Katastrophenschutzpläne erstellt, um angemessene Sicherheitsbedingungen zu gewährleisten, da präventive Lawinenschutzmaßnahmen wie die künstliche Lawinenauslösung aufgrund der vorhandenen Gebäude, die potenziell beschädigt werden könnten, nicht in Betracht kommen. Solche Pläne wurden auf der Grundlage von einfachen Schneehöhenmessungen und dem Vergleich der gemessenen Daten mit vordefinierten Alarmschwellen entwickelt, die auf der Grundlage von Lawinensimulationen festgelegt wurden und zu Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen und/oder zu Todesfällen führen können. Die im Rahmen des TRANS-ALP-Projekts entwickelten Instrumente ermöglichen den Vergleich des Lawinenverlaufs mit der Verteilung der gefährdeten Elemente im Gebiet, um die Gebäude/Infrastrukturen usw. zu identifizieren, die in die Katastrophenschutzpläne aufgenommen werden müssen.

Die Erstellung eines Katastrophenschutzplans ist eine zeitlich begrenzte Maßnahme, die darauf abzielt, die Auswirkungen bestimmter Phänomene zu verringern, indem verschiedene Szenarien und die anschließend durchzuführenden Maßnahmen festgelegt werden. Solche Pläne sollten als vorübergehende und kurzfristige Lösung dienen und überarbeitet werden, wenn relevante Veränderungen der Situation eintreten, die das

Risiko verringern (z. B. Waldverjüngung) oder erhöhen (z. B. Biomasseabbau der gefallenen Bäume).



## TEIL 2 - Instrumente für den Daten- und Informationsaustauschs

### Erhebung von Daten über die Auswirkungen von Unwettern und Kartierungsmethoden

Matthias Plörer, Michaela Teich (BFW), Katharina Enigl (Geosphere Austria), Kathrin Renner, Piero Campalani (EURAC Research)

### Erhebung von Daten über Sturmschäden in Europa: Warum müssen Auswirkungen, Schäden und Verluste erfasst werden und was ist der aktuelle Stand?

Die so genannten "außertropischen Wirbelstürme" (auch "XTC" oder europäische Wirbelstürme), mesoskalige konvektive Systeme („MCS“) und auch Gewittertypen auf lokaler Ebene wie die selten auftretenden, aber meist intensiven Superzellen verursachen hohe Schäden und können äußerst folgenreich sein. Da die Wirkungs-Reichweite dieser großskaligen, mittelskaligen und lokalen Ereignisse Hunderte von Kilometern betragen kann, sollte eine harmonisierte Erfassung der Auswirkungen, Schäden und Verluste unbedingt angestrebt werden. Es wurde ein Screening von Techniken und Datenquellen auf europäischer, nationaler und subnationaler Ebene mit besonderem Fokus auf Österreich und Italien durchgeführt. Die Sturmschäden und -verluste werden im Allgemeinen mit den folgenden meteorologischen Ursachen in Verbindung gebracht (Abbildung 22):



Abbildung 1: Schadbringende meteorologische Phänomene im Fokus der Datenerhebung zu den allgemeinen Unwetterfolgen.

Schadensbilanzierung, Katastrophenforensik und Risikomodellierung sind mindestens drei Anwendungsbereiche, welche zunehmende Bemühungen im Zusammenhang mit der Erfassung von Auswirkungen und Schäden rechtfertigen (Abbildung 23):



Abbildung 2: Jedes Anwendungsnetzwerk hat unterschiedliche Ziele und es sind unterschiedliche Nutzer und Interessengruppen beteiligt (auf lokaler, nationaler oder globaler Ebene) (JRC, 2013).

Die verfügbaren Dokumentationsansätze und Datenquellen wurden hinsichtlich ihres räumlichen Umfangs (lokal, national, global), ihrer Klassifizierungssysteme (z. B. Grad der Standardisierung der Auswirkungen und des Schweregrades), des Standards der Geokodierung, der Relevanz/Einhaltung von PDNA- und DA-LA-Richtlinien (welche von nationalen und transnationalen Gremien wie EU-Kommission, UN, Weltbank, WMO usw. herausgegeben wurden) und von Referenzinitiativen (z. B. GRADE/GFDRR, NWS/NOAA) bewertet.

Im letzten Jahrzehnt wurde der Erfassung von Schäden und Werteverlusten immer mehr Aufmerksamkeit gewidmet. In Europa wurde dies insbesondere vom JRC (Joint Research Centre) mit mehreren Berichten, Veröffentlichungen und Aktivitäten seit 2012 unterstützt und gefördert:

- JRC (2013) – Recording disaster losses (Recommendation for a European Approach)
- JRC (2014) – Current status and best practices for Disaster Loss Data Recording in EU
- JRC (2018) – Disaster damage and loss data for policy

Darüber hinaus ist im DRMKC (Disaster Risk Management Knowledge Centre) der Europäischen Kommission seit 2013 eine spezielle Arbeitsgruppe zu Katastrophenschäden aktiv. Trotz offensichtlich gut ausgearbeiteter Berichte und etablierter Empfehlungen, z. B. zur Erfassung von Katastrophenschäden, gibt es in den Alpenländern eine große Vielfalt an Methoden und Techniken der Datenerfassung. Daher wurden bestehende Systeme zur Klassifizierung von Schäden und Auswirkungen verglichen und bewertet, und es wird eine Empfehlung für ein harmonisiertes grenzüberschreitendes Klassifizierungssystem vorgeschlagen..

## Welche Institutionen sind für die Erhebung von Unwetterdaten im Alpenraum zuständig und in der Regel prädestiniert?

Folgende Abbildung zeigt, dass die Erfassung und Dokumentation von Unwetterschäden bei weitem nicht nur einem Zuständigkeitsbereich zugeordnet werden kann, sondern vielmehr Aufgabe eines Konsortiums von Institutionen, Interessengruppen und auch privaten Unternehmen ist (Abbildung 24):

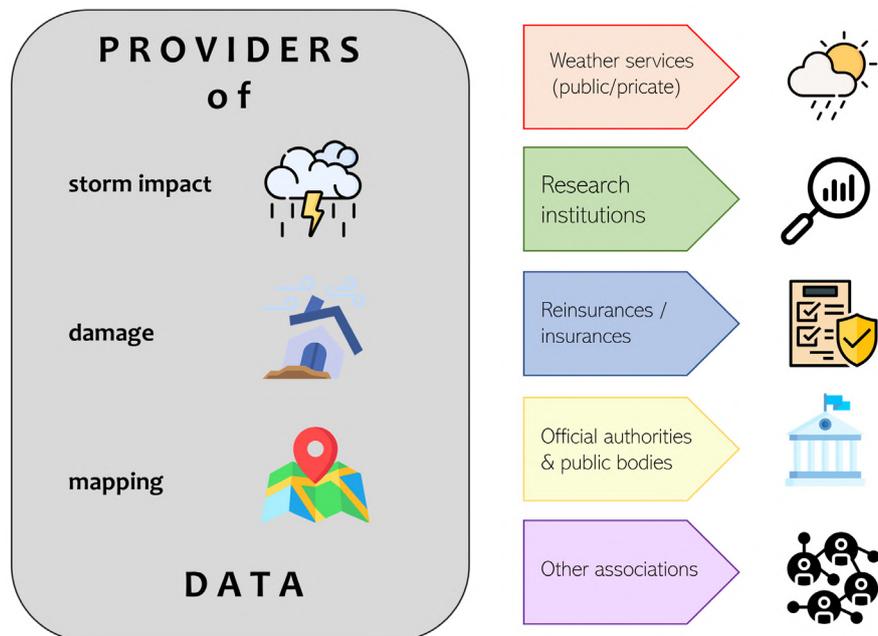


Abbildung 3: Unterschiedliche Anbieter von Daten zu Unwettereinwirkungen, Schäden und Kartengrundlagen

Die folgende Tabelle gibt einen detaillierteren Überblick, welche Institutionen, Unternehmen etc. im projektrelevanten Rahmen sturmschadenbezogene Daten sammeln bzw. anbieten (Tabelle 8):

Private & public weather services (selection)		
short name	official name	geographical scope of operation
GEOSPHERE (ZAMG)	Geosphere Austria	Österreich
ARPA	Regionale Behörden für den Umweltschutz	Italien, regional
Meteo Aeronautica	Wetterdienst des italienischen Militärs	Italien, regional
MeteoNetwork	Vereinigung MeteoNetwork OdV	Italien
Forschungseinrichtungen (Auswahl)		
Kurzname	offizieller Name	geographischer Wirkungsbereich
EFI	European Forest Institute	EU
GEOSPHERE (ehemals GBA)	Geosphere Austria	Österreich
WSL	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft	Schweiz
JRC / DRKMC - RDH	Joint Research Centre of the European Commission / Disaster Risk Management Knowledge Centre – Risk Data Hub	EU
Rückversicherungen und Versicherungen (Auswahl)		
Kurzname	offizieller Name	geographischer Wirkungsbereich
Deutsche Rück	Deutsche Rückversicherung	Europe
Munich RE	Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft	weltweit
Swiss Re	Swiss Re Group	weltweit
ANIA	Nationaler Verband der italienischen Versicherer	Italien
Behörden & öffentliche Körperschaften (Auswahl aus der „cross border region“)		
Kurzname	offizieller Name	geographischer Wirkungsbereich
WLV	Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung	Österreich
BML	Federal Ministry for Agriculture, Regions and Water Management	Österreich

<b>LWD</b>	Gruppe Tiroler Zentrum für Krisen- und Katastrophenmanagement – Abteilung für Krisen und Gefahrenmanagement - Lawinenwarndienst	Bundesland Tirol, Österreich
<b>Land Tirol</b>	Gruppe Bau und Technik – Abteilung Wasserwirtschaft – Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie	Bundesland Tirol, Österreich
<b>BWV</b>	Bundeswasserbauverwaltung	Bundesland Tirol, Österreich
<b>ARPA</b>	Regionale Agentur für Prävention und Umweltschutz	Regional in mehreren Regionen Italiens (z.B. Venetien, Ligurien)
<b>Autorità Bacini Montani</b>	Behörde für Gebirgsregionen	regional (z. B. in Trentino / Südtirol, Venetien, Lombardei, Aostatal)
<b>Dipartimento di Protezione Civile</b>	Abteilung für Katastrophenschutz	Regional und national
<b>Provincia Autonoma</b>	Autonome Provinz	Im Trentino und in Südtirol verleiht der autonomere Status der Provinzen den lokalen Behörden unterschiedliche Befugnisse
<b>Direzione Difesa del Suolo – Regione Veneto</b>	Amt für Bodenschutz der Region Venetien	Regional, Venetien
<b>Andere Institutionen, Vereine, Verbände (Auswahl)</b>		
<b>Kurzname</b>	<b>offizieller Name</b>	<b>geographischer Wirkungsbereich</b>
<b>ESSL</b>	European Severe Storms Laboratory.	Europe
<b>MeteoNetwork</b>	Vereinigung MeteoNetwork OdV	Italien
<b>TornadoListe</b>	TornadoListe (Deutschland)	Deutschland, Luxemburg
<b>LFV</b>	Landesfeuerwehrverband	Bundesland Tirol, Österreich

Table 1: Overview of storm impact data collecting institutions in the Italian, Austrian, German and EU space.

## Synthese und Empfehlungen

Im Rahmen des Projektes Trans-ALP wurden alle aufgelisteten Institutionen, Unternehmen, Behörden, etc. und deren derzeitige Verfahren zur die Unwetterfolgen bezogenen Datenerfassung, Kartierung und Datenweitergabe durchsichtet. Die Ergebnisse und Bewertung der verfügbaren Daten sind sehr unterschiedlich, was auf die verschiedenen Arten, Ziele und Zwecke all dieser Akteure zurückzuführen ist. Im Folgenden wird eine Zusammenfassung gegeben:

### Datenverfügbarkeit & Art der Datenformate/Dokumentation

- Daten werden meist in digitaler Form angeboten. 80 % der Datenquellen sind online verfügbar (Open-Source). Details (z. B. Metadaten, Shapefiles usw.) sind bei 80 % der Datenanbieter auf Anfrage bzw. nach Unterzeichnung einer Nutzungsvereinbarung verfügbar.
- Daten werden in 70 % der Fälle als Webanwendung visualisiert. 50 % der Anbieter bieten Daten auch in Form von GIS-kompatiblen Dateien oder Tabellen an. 30 % der Datenquellen liegen in Form von PDF-Dateien vor (welche nur erschwert nutzbar sind).

### Ereignisdokumentation

- Mehr als 50 % der Datensätze sind – wenn auch teilweise ungenau - räumlich explizit verortet und zeitliche Zuordnungen (Datum/Uhrzeit) sind für 80 % aller Ereignisdaten gegeben. Die Dauer der Ereignisse wird oft nicht eindeutig angeführt.
- 6 der 11 Ereignisdatenbanken beziehen sich auf die nationale Ebene, 3 decken den EU-Raum ab, eine Kollektion beschreibt Ereignisse auf globaler Ebene.

## **Datenbeschaffung**

- Die Möglichkeiten der Datenakquirierung sind vielfältig! 3 Datensammlungen wurden aus Medienberichten gewonnen. In 6 Fällen wurden dafür Messungen / Feldarbeit durchgeführt. In 3 Fällen wurde auf offizielle Veröffentlichungen verwiesen. In 2 Fällen konnte die Herkunft der Daten / Informationen nicht bestimmt werden.
- In fast allen Fällen wird die Datenerhebung von Experten durchgeführt, jedoch wird nur in einem Fall eine zusätzliche Qualitätskontrolle durchgeführt.
- In wenigen Fällen werden Datenbanken auch von Laien oder Hobbybeobachtern mit Ereignissen befüllt

## **Details zu Gefahrenprozessarten**

- Über 70 % der Datenanbieter unterscheiden klar zwischen den verschiedenen Prozessarten.
- Insgesamt umfassen die Daten Naturraum-Prozesse wie Dauerregen, Starkregen, Dürre, starke Schneefälle, Blitzeis, Hagel, Gewitter, verschiedene Stürme (Tornados, Trichterwolken, Böen, Wirbelstürme usw.), Blitze, verschiedene Arten von Lawinen (Schneebrettlawinen, Lockerschneelawinen, Nassschnee- und Staublawinen), Massenbewegungen (stürzen, kippen, rutschen, fließen), Überflutungen, pluviale Überflutungen, Grundwasser, Hitze- und Kältewellen, Waldbrand, etc.
- Jedoch befasst sich keine Datenbank inhaltlich mit Mehrfachgefährdungen ("multi-hazards") bzw. Kaskadeneffekten (aneinandergereihte Prozessverkettungen). Die Temperatur, Niederschlagssummen oder Windgeschwindigkeiten werden in bestimmten Fällen bekannt gegeben, während die "Intensität" in zumindest irgendeiner Form deskriptiv (z.B. in Bezug auf Skalenwerte) in über 60 % der Datensammlungen genannt wird.
- Schäden werden von 50 % der Dateninhaber angeführt, aber weniger häufig quantifiziert (30 %).

## **Übereinstimmung mit Normen, Richtlinien oder Handlungsempfehlungen**

- Die Einbeziehung international standardisierter Schwellenwerte oder Skalen hinkt generell noch hinterher.
- Immerhin werden aber in einem Drittel der Datensammlungen Fujita-, Torro- oder EAWS-Skalen genannt.
- Nur 3 der 11 analysierten Ereignisdatenbanken bzw. Ereignissammlungen konnten direkt mit der EU-Kommission in Verbindung gebracht werden.

Vorteile & "best practice"-Beispiele	Nachteile, wesentliche Hindernisse & Lücken
<ul style="list-style-type: none"> <li>● es besteht grundsätzlich ein zunehmendes Verständnis für die Notwendigkeit einer systematischen Datenerhebung</li> <li>● dies zeigt sich u. a. deutlich in den Anstrengungen, die das "Joint Research Centre" der EU zu diesem Thema unternimmt</li> <li>● der Begriff "Impakt" (welche Auswirkungen hat ein Ereignis / zu welchen mechanischen Einwirkungen kann es führen?) wird in der Regel als die Gesamtheit der Auswirkungen eines bestimmten "Basisphänomens" (z. B. eines Sturms) verstanden; dazu gehören vor allem kaskadenartige Folgen wie Erdbeben und Murgänge, Sturzfluten sowie Lawinen infolge Sturmschneefall</li> <li>● um diese Auswirkungen besser zu erfassen, werden zunehmend maßgeschneiderte und standardisierte Methoden eingesetzt, die derzeit an Bedeutung gewinnen (z. B. EU-Hochwasserrichtlinie, italienische IFFI-Datenbank für Erdbeben usw.)</li> <li>● Umfang, Detaillierungsgrad, Qualitätskontrolle und operationelle Protokolle sind von Land zu Land sehr unterschiedlich; Best-Practice-Ansätze orientieren sich hauptsächlich an der Schweiz und Slowenien</li> <li>● die meisten Ereignis-Daten werden aus persönlicher Berichterstattung, Zeugenaussagen, Zeitungen und Medien gesammelt; ein gutes Beispiel für einen solchen vielseitigen Ansatz ist das von GEOSPHERE (ehemals ZAMG) in Österreich betriebene VIOLA-System, welches einen guten Überblick zu den beobachteten Ereignis-Auswirkungen bietet.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Die Auswirkungen von Schäden und Werteverlusten werden zwar wahrgenommen, aber in der Regel nicht systematisch erfasst und aufgezeichnet; einige besonders strukturierte Meldeprotokolle ermöglichen die Erfassung von Informationen über Schäden und Verluste, doch sind diese oft nicht detailliert genug, um beispielsweise Vulnerabilitätsmodelle zu erstellen; monetäre Schadendaten von Versicherungsgesellschaften sind aufgrund des Datenschutzes in der Regel nicht verfügbar</li> <li>● Schäden mit sekundären Ursachen werden in der Regel nicht systematisch erfasst, ebenso wenig wie kaskadenartige Folgen (Verkehrsbehinderungen, Betriebsunterbrechungen, Stromausfälle, etc.)</li> <li>● online frei zugängliche Daten sind generell auf dem Vormarsch; jedoch sind Informationen über die Auswirkungen von Unwettern oft nicht frei verfügbar; öffentlich bereitgestellte Basisdaten zu Naturgefahrenereignissen enthalten in der Regel keine Details über Geschädigte bzw. Todesopfer</li> <li>● die Zuordnung von Folgen / Auswirkungen auf Naturprozess-Ereignisse, die nicht direkt auf die damit verbundenen Gefahren zurückzuführen sind, ist schwierig und erschwert die Erfassung indirekter Schäden und Verluste</li> <li>● häufig werden Informationen zu den Auswirkungen von Ereignissen nur in Textform (z.B. PDF) und in einer bestimmten Landessprache veröffentlicht; die zugrunde liegenden Daten sind oft schwer zugänglich, was eine systematische Analyse verhindert.</li> </ul>

*Tabelle 5: Zusammenfassung von Vor- und Nachteilen der Datensammlungen verschiedener Institutionen, Behörden, Vereine & sonstigen Einrichtungen.*

# Collection of impact data in the TRANS-ALP cross-border study areas

Katharina Enigl, Sebastian Lehner and Klaus Haslinger (Geosphere Austria), Kathrin Renner, Piero Campalani (EURAC Research)

In der Zielregion des TRANS-ALP-Projekts wird eine Vielzahl unterschiedlicher Daten erhoben. Im Folgenden werden die Datensätze, die wir im Rahmen des Projekts erhalten und analysiert haben, detailliert beschrieben. Außerdem beschreiben wir Harmonisierungsverfahren, die für die gemeinsame Nutzung aller Datensätze notwendig sind.

## Italienische Schad- und Ereignisdaten

### Hydrologische Ereignisdatenbank ED30

Die "Ereignisdokumentation der 30. Abteilung der Autonomen Provinz Bozen (ED30)" (Macconi und Sperling, 2010) begann 1998. Im Laufe der Jahre wurde das ED30-System, das eine organisierte und standardisierte Erfassung von hydrogeologischen Ereignissen an Fließgewässern (Hochwasser, Murgänge, Erdbeben, Stürze und Lawinen) ermöglicht, kontinuierlich verbessert. Nach der Meldung eines eingetretenen Ereignisses beginnt das Untersuchungsverfahren mit der Entsendung eines Dokumentars und gegebenenfalls mit der Organisation eines Helikopter-Erkundungsfluges. Die Feldarbeit umfasst die Erfassung der wichtigsten Daten des Ereignisses, die Fotodokumentation und die Ausarbeitung von Karten im geeigneten Maßstab (mindestens 1:25.000). All diese Daten werden weiter digitalisiert und in einer modular aufgebauten Datenbank archiviert. Dieser Datensatz ist eine reine Ereignisdatenbank mit über 1700 hydrologischen Ereignissen in Südtirol. Die 14 Attribute enthalten Informationen über den genauen Ort (Punktgeometrie) und die Uhrzeit des Ereignisses auf Tagesbasis, Details zu den vorherrschenden Prozessen sowie zu den betroffenen Gewässern. Informationen über Schäden, die durch diese Gefahren verursacht wurden, sind in dieser Datenbank nicht enthalten. Die hydrologische Ereignisdatenbank ED30 umfasst die folgenden Gefahrenkategorien: "Übersarung", "Erdbeben", "Hochwasser (Überschwemmung)" und "Städtisches Hochwasser".

### IFFI

Der Geologische Dienst Italiens verwaltet das nationale italienische Erdbebenregister ("Inventario dei fenomeni franosi in Italia (IFFI)"). Ziel dieses Verzeichnisses ist die Identifizierung und Kartierung von gravitativen Massenbewegungen auf dem gesamten italienischen Staatsgebiet nach standardisierten Kriterien. Dieser sehr umfassende Datensatz enthält über 11 000 Erdbebenereignisse für Südtirol, die durch 174 Attribute charakterisiert sind. Diese umfassen Informationen über die geografische Lage (Bezirk, Gemeinde, Punktgeometrie), die Art der Gefahr und ihren Aktivitätsstatus sowie - bei etwa einem Fünftel der Einträge - das genaue Datum des Ereignisses. Andere Merkmale befassen sich mit den durch diese Ereignisse verursachten Schäden: Personenschäden (Tote, Evakuierte oder Verletzte), Sachschäden (z. B. an kritischer Infrastruktur) und Schadkosten. Es ist zu erwähnen, dass nicht alle Informationen für jedes Ereignis verfügbar sind. Hinsichtlich der Gefahrenkategorien unterscheidet das IFFI zwischen "Stürzen/Fallen", "Rotations-/Translationsrutschung", "komplex", "schnelles Fließen", "tiefgründige Bewegung", "langsames Fließen", "Gebiet mit diffusen Stürzen/Fallen", "Gebiet mit diffusen flachen Rutschungen", "Absenkung" und "Gebiet mit diffuser Absenkung".

## Österreichische Schad- und Ereignisdaten

### WLK

Il Servizio austriaco per il controllo dei torrenti e delle valanghe ("Wildbach und Lawinenverbauung" (WLV)), fondato nel 1884, è un'agenzia subordinata del Ministero Federale Austriaco dell'Agricoltura, delle Regioni e del Turismo (BMLRT). La WLV si occupa tradizionalmente di torrenti e valanghe, che si verificano prin-

cipalmente nella regione alpina. Tra i compiti del WLV vi sono: la dichiarazione delle zone di pericolo che potrebbero comportare divieti di insediamento, la gestione della protezione civile e la fornitura di capacità di consulenza per l'adattamento ai cambiamenti climatici. Queste (e molte altre) responsabilità richiedono la raccolta diligente di dati a lungo termine sui processi di pericolo, che sono raccolti nel "Wildbach- und Lawinenkataster (WLK)" (WLV, 2017). Il WLK comprende i processi di trasporto dei sedimenti fluviali, ovvero le inondazioni che contengono quantità di materiale solido fino a un quinto del loro volume; i processi simili alle colate detritiche - come in precedenza, ma con una frazione di materiale solido superiore a un quinto; le colate di fango, che trasportano contenuti solidi superiori al 50%; le inondazioni e le acque di superficie. Le frane si distinguono in frane rotazionali, ovvero movimenti che presentano una rotazione attorno a un asse parallelo ai pendii; frane traslazionali, ovvero frane con rotazione trascurabile; colate di terra e di detriti, in cui il materiale che scivola verso il basso è soggetto a una forte deformazione; frane poco profonde; blocchi singoli con dimensioni fino a 1 metro; blocchi di grandi dimensioni con dimensioni superiori a un metro; nonché frane di roccia (Enigl et al., 2019).

## **GEORIOS**

Die 1884 gegründete Österreichische Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) ist eine nachgeordnete Dienststelle des österreichischen Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BML-RT). Die WLV beschäftigt sich traditionell mit Wildbächen und Lawinen, die vor allem im alpinen Raum auftreten. Zu den Aufgaben des WLV gehören die Ausweisung von Gefahrenzonen, aus denen Siedlungsverbote resultieren können, das Katastrophenschutzmanagement und die Bereitstellung von Beratung zur Klimawandelanpassung. Diese (und viele weitere) Aufgaben erfordern sorgfältig gesammelte Langzeitaufzeichnungen von Gefahrenprozessen, die im "Wildbach- und Lawinenkataster (WLK)" (WLV, 2017) zusammengefasst sind. Dieser umfasst fluviale Sedimenttransportprozesse, also Überschwemmungen mit Feststoffanteilen bis zu einem Fünftel des Volumens, murenähnliche Prozesse - wie zuvor, aber mit einem Feststoffanteil von mehr als einem Fünftel, Schlammströme mit Feststoffanteilen von mehr als 50 %, Überschwemmungen und Oberflächengewässer. Erdbeben werden unterschieden in: Rotationsrutschungen (Bewegungen, die eine Rotation um eine hangparallele Achse aufweisen), Translationsrutschungen (Rutschungen mit vernachlässigbarer Rotation); Erd- und Schuttstrom (abrutschendes Material ist einer starken Verformung unterworfen), Hangrutschungen; Blocksturz (Blockgröße von bis zu 1 m), Blockverband (Blockgröße von mehr als einem Meter) sowie Talzusub (Enigl et al., 2019).

## **VIOLA**

Seit 1948 werden Extremwetterereignisse mit beobachteten Schäden und Verlusten von GeoSphere Austria (ehemals ZAMG) auf Basis von Medienberichten erfasst und als jährliche Unwetterchronik in den Jahrbüchern oder auf der Website von GeoSphere Austria veröffentlicht. Die Aufzeichnungen wurden bis Ende 2015 in tabellarischer und textlicher Form geführt, wobei diese Daten nicht in eine Datenbank eingespeist wurden.

Im Rahmen des Projekts "VIOLA" (Violent Observed Local Assessment) findet seit 2014 die Entwicklung einer digitalen Unwetterplattform statt. "VIOLA" ermöglicht es, Informationen über Unwetterereignisse in Österreich bis zu einer untertäglichen Auflösung abzurufen. Angezeigt werden sowohl kurzfristige Ereignisse wie Starkregen, Hagel, Blitzschlag und Winde jeglicher Art, als auch Ereignisse von ausgeprägter Dauer wie Dauerregen, Trockenheit und Hitze- oder Kälteperioden, sowie deren sozioökonomische Schäden. Darüber hinaus werden auch Ereignisse dargestellt, die auf indirekte Auswirkungen extremer Wetterereignisse zurückzuführen sind, z.B. Überschwemmungen durch Dauerregen, Murenabgänge durch Starkregen oder auch Lawinenabgänge durch intensiven Schneefall. Der Webdienst "VIOLA" ist öffentlich zugänglich, enthält aber nur einen Bruchteil des gesamten Datensatzes.

## Harmonisierungsverfahren

In verschiedenen Datenquellen werden unterschiedliche Gefahrenkategorien verwendet. Um diese Datensätze in einen einzigen zu integrieren, ist die Entwicklung und Anwendung eines einheitlichen Vokabulars unerlässlich. Für dieses Projekt wird das Vokabular der Codeliste "Specific Hazard Type", eine Erweiterung des österreichischen INSPIRE-Registers, das im Rahmen des CESARE-Projekts erstellt wurde, verwendet.

Betrachtet man die reinen Ereignisdaten, so ist der Harmonisierungsprozess mit der Harmonisierung der Gefahrenkategorien sowie des Datums und des Ortes abgeschlossen. Werden jedoch Schadensdatenbanken zusammengeführt, müssen weitere Indikatoren wie die Art des betroffenen Elements und der Objekteigentümer harmonisiert werden. Auch für diese wurde im Rahmen des CESARE-Projekts ein kontrolliertes Vokabular geschaffen. Alle Definitionen basieren auf internationalen Standards und Empfehlungen, nationalen Standards und Best Practices. Weitere Einzelheiten zum CESARE-Projekt finden sich in Themessl et al., 2022.

## Synthese und Empfehlungen

- Die Verwendung von standardisierten Methoden für die Datenverwaltung ist sehr wünschenswert. Kompromisslösung: Implementierung von leichtgewichtigen Interoperabilitätsschnittstellen, um eine Teilmenge der verfügbaren Daten in Übereinstimmung mit z. B. europäischen Standards zu extrahieren und öffentlich zu teilen, ohne die bestehenden Arbeitsabläufe zu stören.
- In Fällen, in denen noch keine systematische Erhebung von Impact-Daten erfolgt, könnten einfache operative Lösungen (z. B. auf der Grundlage einer Teilmenge bestehender Vorlagen für Schadensmeldungen) eingesetzt werden, um eine systematische Datenerhebung zu beginnen, ohne die verfügbaren Ressourcen wesentlich zu beeinträchtigen.
- Solange keine sensiblen Daten betroffen sind, sollte ein offener, fairer Ansatz für Daten und Informationen verfolgt werden.
- Im Allgemeinen und insbesondere in grenznahen Regionen sollten Informationen und Berichte über Auswirkungen und Schäden auch auf Englisch oder in der/den Sprache(n) der Nachbarn bereitgestellt werden. Dies würde die Verbreitung und den Austausch relevanter Informationen erleichtern und wäre für beide Seiten von Vorteil.
- Es sollte eine gründliche Analyse der Auswirkungsmechanismen im Zusammenhang mit verschiedenen Gefahren und den sie begünstigenden Faktoren durchgeführt werden, um die kausalen Beziehungen, die zu komplexen Auswirkungen führen, besser zu verstehen (und zu formalisieren) und im Falle komplexer, extremer Ereignisse eine einheitlichere Zuordnung der direkten und indirekten Auswirkungen zu ihren Ursachen zu ermöglichen. Dies würde es auch ermöglichen, indirekte Auswirkungen über längere Zeiträume und weit über das Ausmaß der verursachenden Gefahren hinaus zu verfolgen (z. B. könnte die Zunahme der Häufigkeit von Lawinen in einem bestimmten Gebiet auf einen früheren Sturm zurückgeführt werden, der Bäume zum Umstürzen brachte).

# Die TRANS-ALP Web-GIS Kartierungsplattform

Piero Campalani, Andrea Vianello (EURAC Research)

Die Möglichkeit, Geodaten zu den verschiedenen Risikokomponenten zu sammeln, zu visualisieren und gemeinsam zu nutzen, ist für Katastrophenschutzbehörden von großer Bedeutung. Obwohl mehrere hochwertige kostenlose und quelloffene Softwarelösungen zur Verfügung stehen, könnte sich die Implementierung einer Plattform, die Daten aus verschiedenen Quellen auf effiziente und nachhaltige Weise harmonisieren kann, noch als Herausforderung erweisen. Das Projekt TRANS-ALP hat erfolgreich eine von EURAC Research bereitgestellte technische Lösung angepasst, um Daten von Projektpartnern und -beteiligten zu sammeln und sie während des Projekts und darüber hinaus verfügbar zu machen. Die entwickelte Plattform hat sich als nützlich erwiesen und könnte ein gutes Beispiel für Stakeholder und Praktiker sein, die technisch solide und nachhaltige Lösungen für die Datenverwaltung benötigen, um das Management von Naturrisiken zu verbessern.

## Beschreibung der Plattform

Das Projekt TRAN-ALP basiert auf dem Webportal Maps, das von Eurac Research verwaltet wird, um räumliche Datensätze und Dokumente zu sammeln, zu analysieren und zu teilen. Das Portal ist eine Komponente der Umweltdatenplattform (Environmental Data Platform, EDP), die Forschern verschiedene Webtools zur Verfügung stellt, um die Forschung und die Zusammenarbeit zwischen Projektpartnern zu vereinfachen. Das Kartenportal wird als GeoNode-Anwendung (geonode.org) eingesetzt, ein Open-Source Geospatial Content Management System (GCMS) der Open-Source Geospatial Foundation (OSGeo). Es ermöglicht den Nutzern, räumlich explizite Datensätze ("Layer"), sowohl vektor- als auch rasterbasierte, Hilfsdokumente hochzuladen und ihre Metadaten auf eine reichhaltige und standardkonforme Weise zu verwalten, was die kollaborative Entwicklung fördert.

Das Portal bietet eine benutzerfreundliche Schnittstelle sowohl für Administratoren als auch für Benutzer für die Verwaltung der Metadaten der Datensätze und umfasst eine fein abgestufte Authentifizierungs- und Autorisierungskontrolle. Die Möglichkeit, Benutzergruppen zu erstellen, ist eine besonders kosteneffiziente Funktion für die Verwaltung und Pflege von Datensätzen und deren Zugangskontrolle: Gruppen werden bestimmten Projekten oder anderen Arbeitsgruppen von Benutzern zugeordnet, z. B. administrativen oder themenbezogenen Gruppen. Derzeit nutzen etwa 10 verschiedene Projekte das Kartenportal erfolgreich, mit insgesamt über 100 aktiven Konten und einem Katalog von über 250 Datensätzen, wie in Abbildung 25 zu sehen ist.

## Environmental Data Platform

EDP is an open source platform for sharing geospatial data and maps. Here you can upload your own datasets by yourself and set permission. The Platform is managed by the **Center for Sensing Solutions** of Eurac Research.

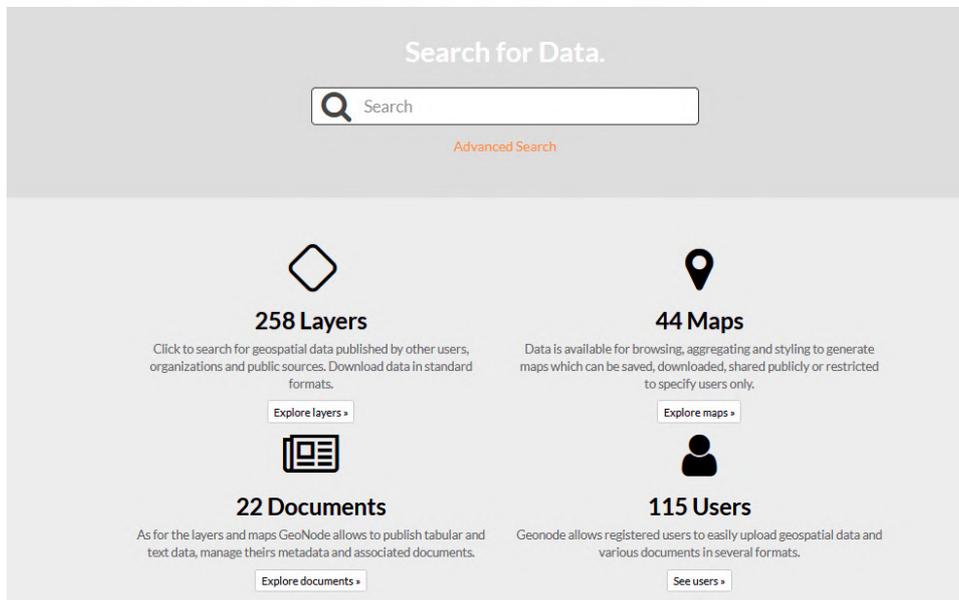


Abbildung 1: Startseite der Komponente "Karten" der Umweltdatenplattform, verfügbar unter <https://maps.eurac.edu>

Die Maps-Plattform basiert auf einer Reihe bekannter robuster Bausteine:

1. PostgreSQL: das relationale Datenbankmanagementsystem;
2. Django: ein hochentwickeltes Python-Web-Framework;
3. Geoserver: ein Open-Source-Server für die gemeinsame Nutzung von Geodaten;
4. Mapstore: modernes Web-Mapping mit OpenLayers, Leaflet und ReactJS;
5. Pycsw: eine in Python geschriebene Implementierung eines OARec- und OGC-CSW-Katalogdienstes.

Beim Hochladen eines neuen Vektor- oder Rasterdatensatzes in Maps kann der Datenverantwortliche den Zugang sowohl für registrierte Benutzer als auch für externe Besucher einstellen und alle Aspekte des Datenzugriffs kontrollieren: von der einfachen Visualisierung bis zum Herunterladen der eigentlichen Daten, des Stylings, des Metadatensatzes usw. Eine solche Ebene wird dann sofort im Online-Katalog über die bekannten W\*S OGC-Webdienste verfügbar, und die URL zu ihrer Landing-Page wird angegeben (in Abbildung 26 ein Beispiel). Anschließend wird der Benutzer schrittweise durch eine assistentenähnliche Zusammenstellung der Metadaten geführt, wobei hervorgehoben wird, welche Felder für eine FAIR-Zugänglichkeit der Ebene unbedingt erforderlich sind.

## SOUTH TYROL: Population flow comparison with traffic counts

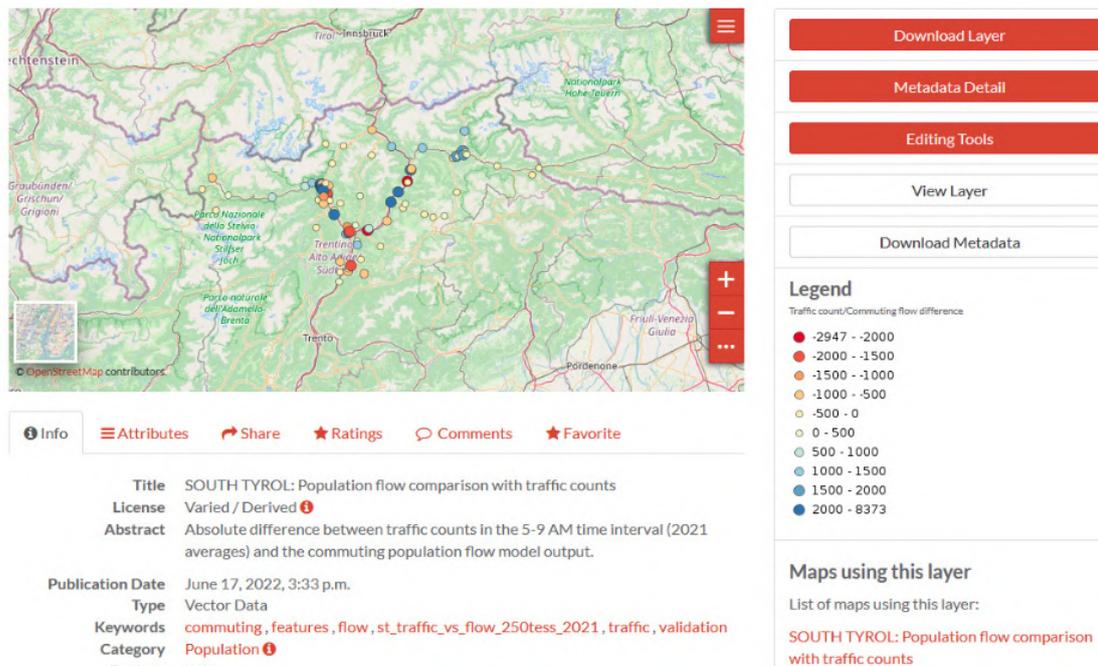


Abbildung 2: Beispiel für die Landing Page eines Georäum-Layers im "Maps"-Portal: interaktive Karte, Visualisierung von Metadaten, Beschreibung von Datenattributen, Optionen für die gemeinsame Nutzung und Bewertung, Links zum Herunterladen von (Meta-)Daten und andere Funktionen werden von der Benutzeroberfläche bereitgestellt.

Darüber hinaus fungiert Maps auch als webbasiertes GIS, das es dem Benutzer ermöglicht, verschiedene Datenquellen - die Ebenen - zu überlagern, um reichhaltigere "Karten" zu erstellen. Bei der Erstellung einer Karte kann der Benutzer die Gestaltung und das Erscheinungsbild vollständig anpassen, die Z-Reihenfolge der Ebenen festlegen oder die Karte mit einer breiten Palette von Widgets ausstatten, um die Möglichkeit zu maximieren, die Ergebnisse an ein externes Publikum zu kommunizieren (Abbildung 27 zeigt ein visuelles Beispiel). Nach dem Speichern kann eine Karte sehr einfach über einen HTTP-Link weitergegeben oder sogar in externe Webseiten eingebettet werden (als HTML-iframe-Objekte).

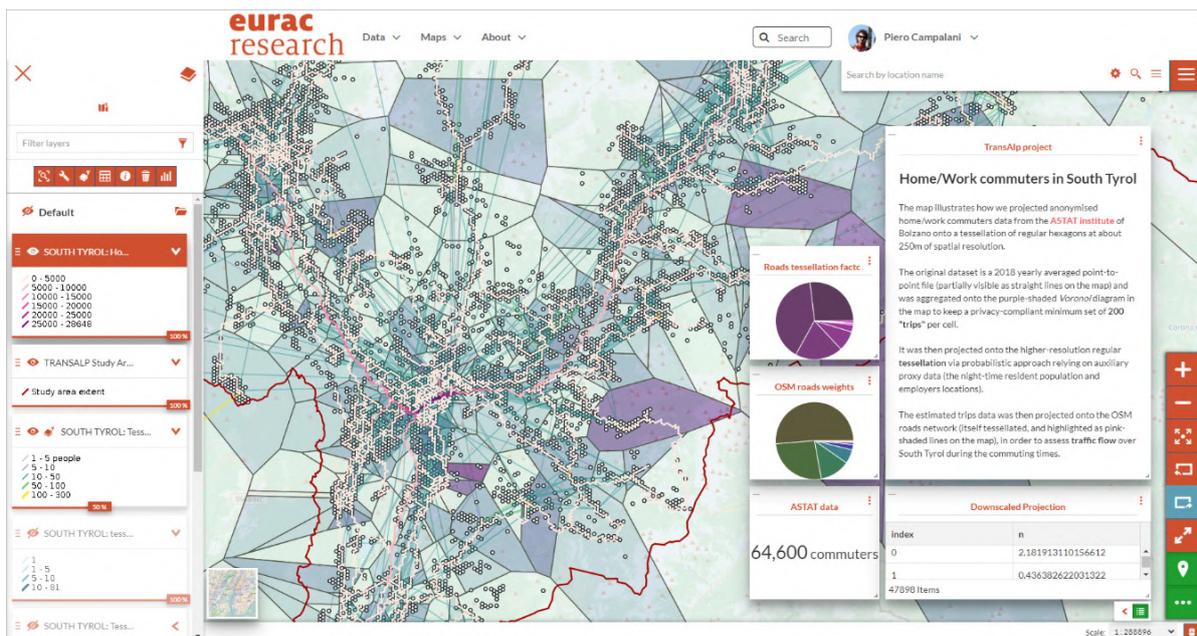


Abbildung 3: Ein Beispiel für eine "Karte", d. h. eine Zusammenstellung mehrerer Datenquellen - "Ebenen" - mit benutzerdefiniertem Styling und informativen Widgets, die darüber gelegt werden, einschließlich Datenzählern, Tortendiagrammen, Attributtabelle oder beschreibendem Text: Karten sind ein leistungsfähiges Mittel für die effektive Kommunikation von Ergebnissen an externe Zielgruppen.

Karten können Datensätze von externen interoperablen Endpunkten importieren - "kaskadieren" -, indem sie OGC-Webdienste nutzen, wodurch das Potenzial des Portals für die Erstellung aussagekräftiger Karten weiter erhöht wird, ohne dass doppelter Aufwand für gebrauchsfertige georäumliche Ressourcen betrieben werden muss.

## Diskussion

Im Rahmen des TRANS-ALP-Projekts haben wir kontinuierlich das Maps-Portal genutzt, das sich als sehr effektives Instrument für den Aufbau eines organisierten Datenkatalogs und die unkomplizierte gemeinsame Nutzung der Ergebnisse erwiesen hat. Ein Beweis für die intensive Nutzung des Kartenportals sind die fast 80 Geodatensätze (die meisten davon öffentlich zugänglich), 14 Karten und 20 Zusatzdokumente, die erstellt und sofort online für registrierte Nutzer und externe Akteure veröffentlicht wurden.

Der offensichtlichste Vorteil des Portals war sicherlich die Zeit- und Arbeitersparnis, die sich aus der browserbasierten Online-Interaktion mit den Ergebnissen ergab: Die interaktive Visualisierung, die schnelle Erkundung der Metadaten sowie einige grundlegende Analysefunktionen hatten einen großen Einfluss auf die Förderung der agilen Zusammenarbeit und den Austausch zwischen den Projektpartnern. Darüber hinaus hat die Möglichkeit, den Online-Katalog von Maps mühelos mit externer, bekannter GIS-Software wie QGIS oder ArcGIS zu verknüpfen, auch die gemeinsame Erstellung der Ergebnisse wesentlich erleichtert.

Es muss jedoch betont werden, dass das Maps-Portal nicht mit einem Online-Überwachungsinstrument für z. B. Frühwarnungen oder die Weitergabe von Informationen über Gefahren und Risiken verwechselt werden darf, obwohl es sicherlich ein grundlegender Baustein für solche Anwendungen wäre. Seine Fähigkeiten sind die eines agnostischen Inhaltsverwaltungssystems, einer interaktiven Bibliothek von Datenquellen mit einigen mäßig fortgeschrittenen GIS-Funktionen.

## Synthese und Empfehlungen

Wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, waren die Erfahrungen mit dem Maps-Portal insgesamt äußerst positiv, und seine Nutzung für die Katastrophenrisikobewertung wird über die Grenzen der Projektlaufzeit hinausgehen, auch angesichts der Tatsache, dass die Entwicklung der Open-Source-Software GeoNode, die Maps einsetzt, kontinuierlich von einer Vielzahl von Nutzern und Entwicklern weltweit unterstützt wird. Dies bedeutet, dass die Verfügbarkeit der Dutzende von Schichten und Karten, die im Rahmen des TRANS-ALP-Projekts erstellt wurden, auch in Zukunft gegeben sein wird, was die Zusammenarbeit mit den Projektbeteiligten weiter unterstützt.

Entscheidungsträger und interessierte Forscher werden ermutigt, den Katalog der Schichten und Karten der Gruppe im Portal zu erkunden und die Mitglieder der Gruppe "TRANS-ALP Project - Public" zu kontaktieren, um ihre Absichten für eine Zusammenarbeit und eine Diskussion in dieser Angelegenheit mitzuteilen.

## Schlussfolgerungen

Die Aktivitäten des TRANS-ALP-Projekts ebneten den Weg zu einem besseren Verständnis des komplexen Zusammenspiels zwischen Gefährdung, Exposition und Anfälligkeit, auch im Zusammenhang mit Kaskadeneffekten in den alpinen Gebieten an der Grenze zwischen Italien und Österreich. Es wurde eine objektivere Definition von Extremereignissen in der Region auf der Grundlage einer einfachen statistischen Analyse erstellt. Dies ermöglichte eine Überprüfung der klimatologischen Daten der Vergangenheit und eine bessere Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Anomalien, z. B. in Bezug auf die Niederschläge, die mit grenzüberschreitenden Schadensereignissen verbunden sind. Diese Informationen könnten vom Katastrophenschutz zur Verfeinerung von Gefahren- und Wirkungsmodellen genutzt werden. Der offensichtliche positive Trend bei der Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen in den letzten zehn Jahren wird durch die Analyse von Klimaszenarien bestätigt, was bedeutet, dass der Klimawandel in der nächsten Zukunft zu einer Intensivierung von Extremereignissen führen könnte. Diese Erkenntnis sollte weitere Anstrengungen zur Harmonisierung von Aktivitäten zur Verringerung des Katastrophenrisikos und zur Anpassung an den Klimawandel fördern, indem eine engere Zusammenarbeit zwischen Katastrophenschutzbehörden und lokalen Entscheidungsträgern angestrebt wird, längere Zeiträume berücksichtigt werden und die potenzielle zeitliche Entwicklung der Gefahren, die direkt (Starkregen, Windböen) und indirekt (Sturzfluten, Erdbeben) mit dem Klima zusammenhängen, ausdrücklich in Betracht gezogen wird. Im Rahmen des Projekts wurde auch festgestellt, dass trotz der vielen laufenden Bemühungen ein konsistenter, systematischer und umfassender Rahmen für die Dokumentation der Auswirkungen von Extremereignissen auf die betroffenen sozio-ökologischen Systeme noch fehlt. Diese Herausforderung sollte angegangen werden, um bessere Daten und Kenntnisse zur Verbesserung der Vorhersage von Auswirkungen und der Warnverfahren bereitzustellen. Was die Risikoanalyse betrifft, so haben die Projektaktivitäten gezeigt, dass ein einheitlicher Rahmen für die quantitative Vorhersage von Auswirkungen mehrerer Gefahren und die Risikobewertung erforderlich ist. Dies könnte die Integration von Methoden und Verfahren erfordern, die derzeit noch nicht routinemäßig von den Katastrophenschutzbehörden angewandt werden, wie z. B. rechnerische Simulationen unter Verwendung aggregierter Modelle für die Exposition und Anfälligkeit gegenüber verschiedenen Gefahren, die auch systemische Komponenten wie z. B. den Straßenverkehr einbeziehen. Im Rahmen des Projekts wurde ein Prototypmodell implementiert, das sowohl Forschern als auch Praktikern für weitere Tests und Integration zur Verfügung steht.

Zur praktischen Veranschaulichung einiger der vorgeschlagenen Methoden im Zusammenhang mit der Risikominderung befasste sich TRANS-ALP mit der Veränderung der Risikobedingungen aufgrund von kaskadenartigen Auswirkungen auf die Waldgebiete nach einem starken Sturm, wie sie im Fall von VAIA beobachtet wurden. Ein systematisches Protokoll zur Neubewertung des Lawinenrisikos wurde vorgeschlagen und im Testgebiet des Cordevole-Tals beispielhaft erprobt. Es umfasst innovative Analyseverfahren und Empfehlungen zur dynamischen Anpassung der Lawinenrisikobewertung, die von den örtlichen Katastrophenschutzbehörden erfolgreich eingesetzt wurden. Dieser Testfall könnte ein nützliches Beispiel für Praktiker und Behörden in den gesamten Alpen sein.

Alle im Rahmen des TRANS-ALP-Projekts gesammelten, zusammengestellten oder generierten Daten wurden gesammelt, gespeichert und den Konsortialpartnern und Projektbeteiligten in einer fortschrittlichen webbasierten GIS- und Datenvisualisierungsplattform zugänglich gemacht, die eine konsistente Datenverwaltung und -weitergabe für die weitere Integration der verfügbaren Informationen und der vorgeschlagenen Methoden in die aktuellen und zukünftigen Katastrophenschutzaktivitäten ermöglicht. Die Ergebnisse des TRANS-ALP-Projekts haben deutlich gezeigt, dass es notwendig ist, die Forschungsaktivitäten im Bereich der Extremereignisse zu vertiefen und die Zusammenarbeit zwischen forschungsorientierten Institutionen und den Katastrophenschutzbehörden und -praktikern, die an Aktivitäten zur Verringerung des Katastrophenrisikos und zur Anpassung an den Klimawandel beteiligt sind, weiter zu stärken.

## Literaturverzeichnis

Beck, C., Jacobeit, J., and Jones, P. (2007). Frequency and within-type variations of large-scale circulation types and their effects on low-frequency climate variability in Central Europe since 1780. *Int. J. Climatology*, 27:473–491.

Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT). (2018): Richtlinie Für Den Wilbach- Und Lawinenkataster (WLK-RL); Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus: Vienna, Austria <https://info.bml.gv.at/dam/jcr:ad84fd20-46ab-4560-9789-ecb861fbc3b4/Richtlinie%20f%C3%BCr%20den%20Wildbach-%20und%20Lawinenkataster.pdf>

Crespi, A., Matiu, M., Bertoldi, G., Petitta, M., and Zebisch, M.: A high-resolution gridded dataset of daily temperature and precipitation records (1980–2018) for Trentino-South Tyrol (north-eastern Italian Alps), *Earth Syst. Sci. Data*, 13, 2801–2818, <https://doi.org/10.5194/essd-13-2801-2021>, 2021.

Enigl, K., Matulla, C., Schlögl, Matthias & Schmid, Franz. (2019). Derivation of canonical total-sequences triggering landslides and floodings in complex terrain. *Advances in Water Resources*. 129.10.1016/j.advwatres.2019.04.018.

European Environment Agency (EEA) (2016): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 – An indicator based record, ISBN: 978-92-9213-835-6.

Feyen, L., Dankers, R., Bódis, K., Salamon, P., and Barredo, J. I. (2012): Fluvial flood risk in Europe in present and future climates. *Climatic Change*, 112, 47–62. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-011-0339-7>.

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., et al. (2020): The ERA5 global reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 146, 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>

Hiebl, J., Frei, C., 2017. Daily precipitation grids for Austria since 1961 – development and evaluation of a spatial dataset for hydroclimatic monitoring and modelling. *Theor. Appl. Climatol.* 132, 327–345. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2093-x>.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896

Macconi, P., and Sperling, M. (2008). Il sistema di documentazione eventi ED30. In IHR- Sistema Informativo sui rischi idrogeologici. Bolzano. (Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige, Ripartizione Opere Idrauliche ed.).

Philipp, A., Bartholy, J., Beck, C., Erpicum, M., Esteban, P., Fettweis, X., Huth, R., James, P., Jourdain, S., Krienkamp, F., Krennert, T., Lykoudis, S., Michalides, S. C., Pianko-Kluczynska, K., Post, P., Alvarez, D. R., Schiemann, R., Spekat, A., Tymvios, F. S. (2010): Cost733cat - a database of weather and circulation type classifications. *Phys. Chem. Earth.*, 35, 360–373. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.12.010>.

Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., Samir, K. C., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humpenöder, F., Da Silva, L. A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Strefler, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J. C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A., and Tavoni, M. (2017): The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Glob. Environ. Change*, 42, 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.05.002>

Themessl, M.; Enigl, K.; Reisenhofer, S.; Köberl, J.; Kortschak, D.; Reichel, S.; Ostermann, M.; Kienberger, S.; Tiede, D.; Bresch, D.N.; Rössli, T.; Lehner, D.; Schubert, C.; Pichler, A.; Leitner, M.; Balas, M. Collection, Standardization and Attribution of Robust Disaster Event Information—A Demonstrator of a National Event-Based Loss and Damage Database in Austria. *Geosciences* 2022, 12, 283. <https://doi.org/10.3390/geosciences12080283>

Tilch, N., Kociu, A., Haberler, A., Melzner, S., Schwarz, L., Lotter, M. (2011): The Data Management System Georios of the Geological Survey of Austria (GBA); Geological Survey of Austria—Department of Engineering Geology: Vienna, Austria

Trigila, Alessandro & Iadanza, Carla & Spizzichino, Daniele. (2008). IFFI Project (Italian Landslide Inventory) and risk assessment. Proceedings of the 1st World Landslide Forum. 603-606.

WLV, 2017. Wildbach- und Lawinenkataster (WLK), Modul Ereigniskataster (EKM), Stand Okt. 2017. <https://naturgefahren.die-wildbach.at>.

## Kontakt Daten der TRANS-ALP-Partnerschaft

**eurac**  
research

**Eurac Research**

Massimiliano.Pittore@eurac.edu

+39 0471 055285

[www.eurac.edu](http://www.eurac.edu)



**EPC – European Project Consulting**

Federico.carollo@epcsrl.eu

+39 0444 169000

[www.epcsrl.eu](http://www.epcsrl.eu)



**BFW - Austrian Research Centre for Forests**

Michaela.teich@bfw.ac.at

+43 664 885 082 87

[www.bfw.ac.at](http://www.bfw.ac.at)



**Arpa Veneto - Agenzia Regionale**

**per la Prevenzione Ambientale del Veneto**

Fabrizio.tagliavini@arpa-veneto.it

[www.arpa.veneto.it](http://www.arpa.veneto.it)



**Geosphere Austria**

Klaus.Haslinger@geosphere.at

+43 664 822 07 98

[www.geosphere.at](http://www.geosphere.at)



Co-funded by  
the European Union