

Klimawandelanpassung und Naturgefahren

Florian Rudolf-Miklau

Abteilung Wildbach- und Lawinenverbauung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft

Klimawandel und Naturgefahren

Anpassung der Schutzsysteme an Extremereignisse



Kärnten, 2023



Pilatuskar (S), 2023

THEMEN

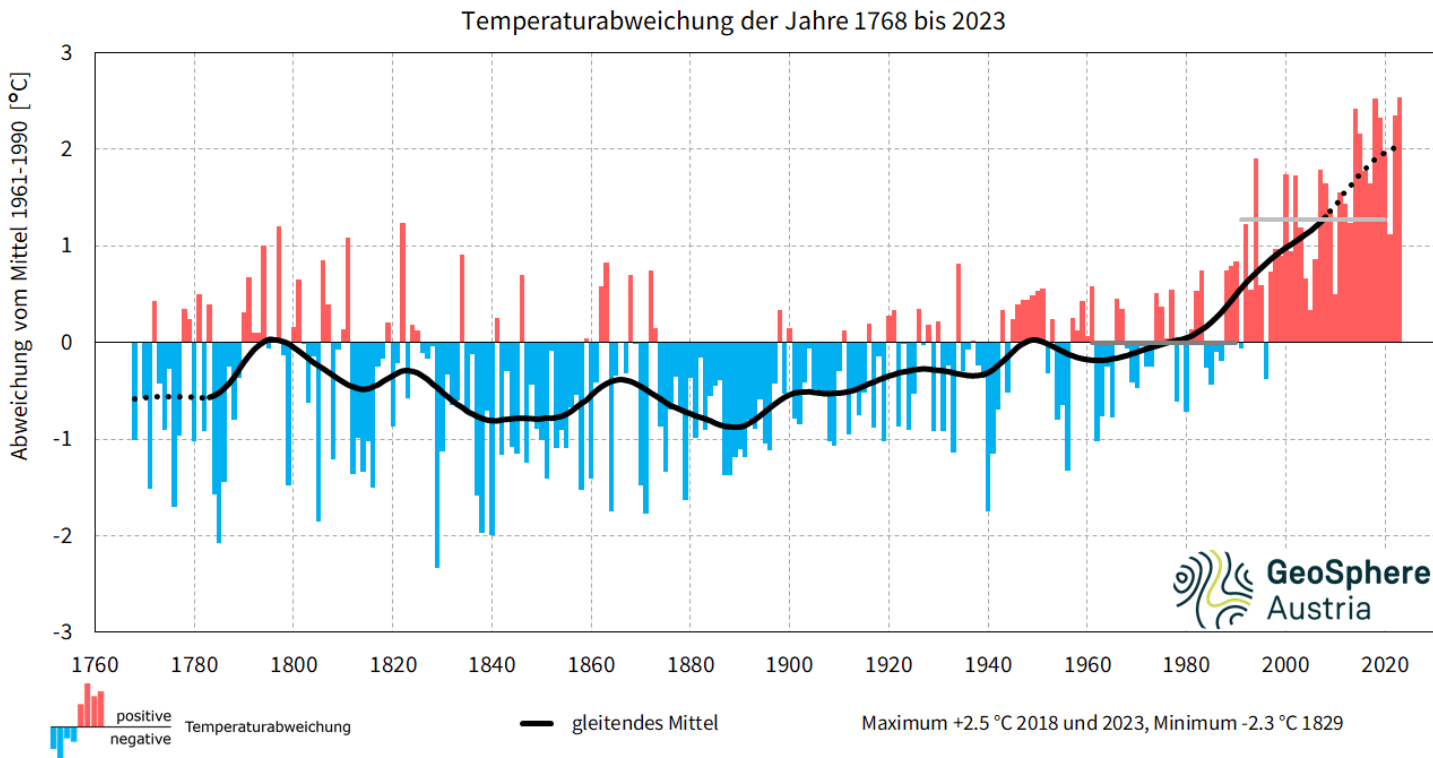
- ✓ **Globaler Wandel und globale Erwärmung – Umgang mit Extremereignissen**
- ✓ **Schutzinfrastruktur – Anpassung und Stärkung der Resilienz**
- ✓ **Vom Schutzbauwerk zum Schutzsystem**

Globaler Wandel und Erderhitzung – Megatrends für die Alpen

- ✓ **Alpen im gesellschaftlichen Wandel:** Disparitäten zwischen städtischen Zentren und ländlichen Randgebieten, demografischer Wandel
- ✓ **Alpen im Klimawandel:** Rückgang der Gletscher und des Permafrosts, Anstieg der Baumgrenze, Veränderung der Niederschläge (Sommer/Winter)
- ✓ **Alpen im Strukturwandel:** Regionen mit Wirtschaftswachstum vs. Regionen mit Bevölkerungsrückgang, Zersiedelung und Bodenverbrauch
- ✓ **Alpen im Wandel der Extremereignisse:** extreme Überschwemmungen, Murgänge und Massenbewegungen; Waldbrände, Stürme, Dürren, Waldschädlinge



Temperaturanstieg in Österreich



Temperaturanstieg: global und Alpenraum

Der österreichische Alpenraum gilt als besonders stark vom Klimawandel und der damit verbundenen Erderwärmung betroffen.

Seit dem Ende des 19. Jahrhunderts (vorindustrielle Zeit 1850-1900) ist die Lufttemperatur im Alpenraum um 2 °C bis 2,5 °C angestiegen, neuere Daten bis 2023 beziffern den Anstieg für ganz Österreich sogar auf 2,9 °C. [1] Damit sind die Temperaturen im Alpenraum in den letzten Jahrzehnten deutlich stärker gestiegen als im globalen Durchschnitt (+ 1,1 °C). („Alpine Amplification“)

Ein Großteil dieser Erwärmung fand in den letzten vier Jahrzehnten (seit 1980) statt, mit einer Rate von fast 0,5 °C pro Dekade.

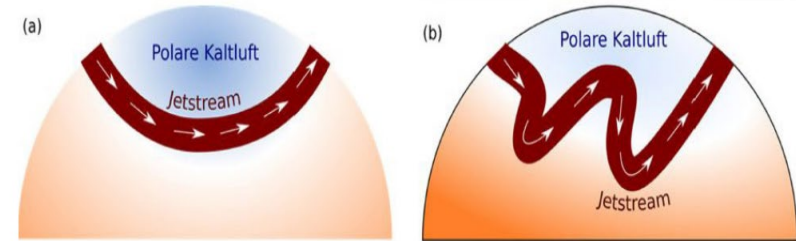
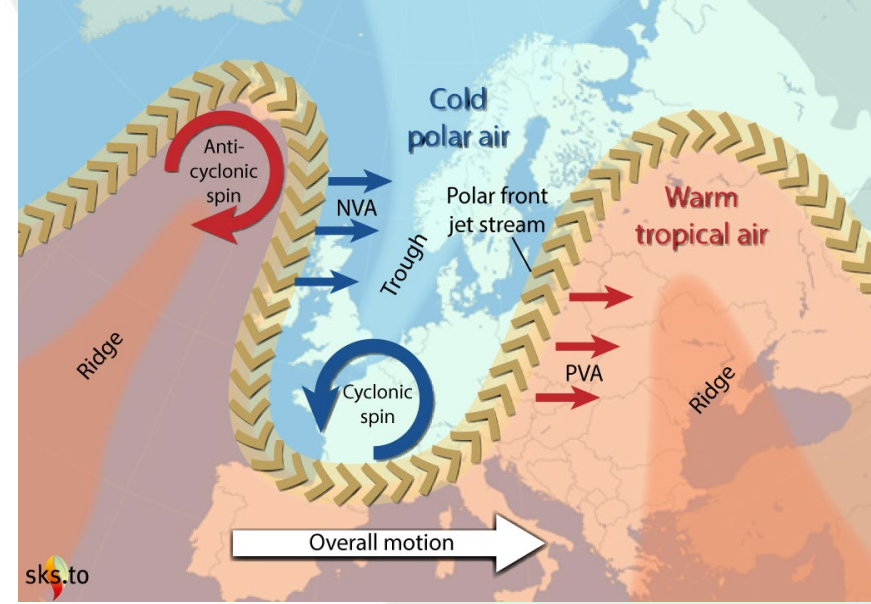
Bis etwa zur Mitte des 21. Jahrhunderts wird im österreichischen Alpenraum mit einem weiteren Temperaturanstieg von 1,0 bis 2,0 °C gerechnet. [2]

Quelle: [1] GSA (2023). Klimawandel in Österreich – Update 2023. Geosphere Austria, Wien.

[2] Olefs, Kerschbaumer, & Chimani (2022). Der Klimawandel in Österreich – aktuelle Entwicklungen und Projektionen. GeoSphere Austria (ehem. ZAMG). Wien.

Klimawandel und Wettersysteme

- ✓ Die treibenden Kräfte hinter Wetter- und Niederschlagsmustern in den mittleren Breiten sind die **Polare Front** und der **Jetstream**.
- ✓ Bildet dieses Windband Wellen in Nord-Süd-Richtung, können sich ausgeprägte Hoch- und Tiefdruckgebiete entwickeln, die auch zum Stillstand kommen können. Die **Wetterbedingungen** bleiben dann für einen längeren Zeitraum **stationär**.
- ✓ Aufgrund des vom Menschen verursachten Klimawandels steigen die Temperaturen in der Arktis deutlich schneller als im globalen Durchschnitt. Wenn der Temperaturunterschied zwischen der Polarregion und den mittleren Breiten abnimmt, steigt die Wahrscheinlichkeit stark mäandernder Jetstreams.

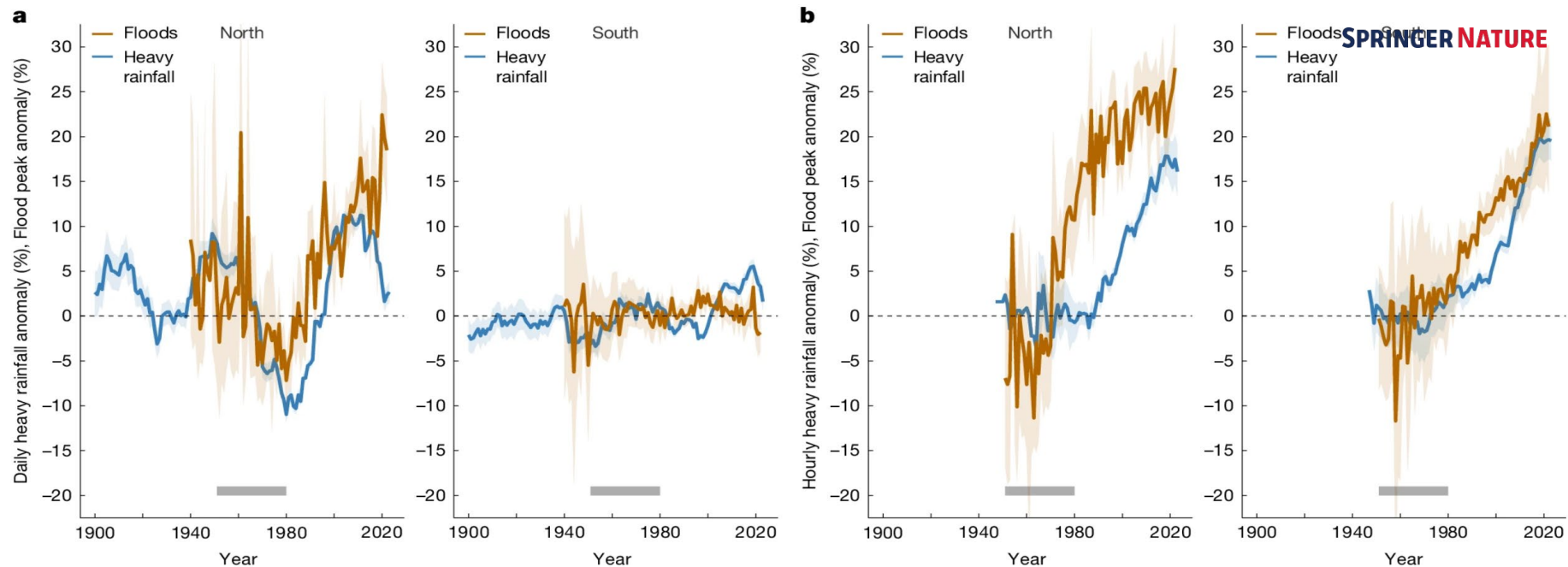


→ Die Wahrscheinlichkeit stationär blockierter Tiefdrucklagen mit langanhaltenden Starkniederschlägen nimmt zu.

Zunahme von Starkniederschlägen infolge des Klimawandels

- ✓ Analysen der Geosphere Austria belegen, dass an über der Hälfte der österreichischen Messstationen seit den 1960er-Jahren ein **signifikanter Anstieg der Tagesniederschläge** über 30 mm registriert wurde [1].
- ✓ Besonders stark betroffen sind alpine und voralpine Regionen im Westen und Süden des Landes, wo konvektive Gewitterlagen häufiger auftreten.
- ✓ Neue Forschungsergebnisse für Österreich zeigen, dass die stündlichen Starkregenereignisse in den letzten 40 Jahren um 15 % zugenommen haben.
- ✓ Die täglichen Veränderungen der Starkniederschläge stimmen bemerkenswert gut mit den **beobachteten Überschwemmungszunahmen** überein, in großen Einzugsgebieten etwa + 8 % , in kleinen Einzugsgebieten + 25 % mehr Hochwasserereignisse (in den letzten 4 Jahrzehnten).

Quelle: [1] GSA (2023). Klimawandel in Österreich – Update 2023. Geosphere Austria, Wien.
[2] Haslinger, K., Breinl, K., Pavlin, L. et al. Increasing hourly heavy rainfall in Austria reflected in flood changes. Nature 639, 667–672 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08647-2>



Quelle: [1] Haslinger, K., Breinl, K., Pavlin, L. et al. Increasing hourly heavy rainfall in Austria reflected in flood changes. Nature 639, 667–672 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08647-2>

a, Tägliche Anomalien der Starkniederschläge und Anomalien der Hochwasserabflussspitzen für große Einzugsgebiete (größer als 500 km²) nördlich (links) und südlich (rechts) des Alpenkamms. b, Stündliche Anomalien der Starkniederschläge und Anomalien der Hochwasserabflussspitzen für kleine Einzugsgebiete (kleiner als 50 km²) nördlich (links) und südlich (rechts) des Alpenkamms. Die Werte für Starkregen entsprechen wie in Abb. 1 dem 99. Perzentil, und die Hochwasserspitzen sind die mittleren jährlichen Hochwasser der warmen Jahreszeit. Die grauen Balken am unteren Rand der Felder geben den Referenzzeitraum an. Die durchgezogenen Linien zeigen den Mittelwert aller Stationen, die schattierten Bänder das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts, geschätzt durch Bootstrapping (n = 1.000). Es zeigt sich eine bemerkenswerte Ähnlichkeit zwischen den täglichen Starkregenereignissen und Hochwassern in großen Einzugsgebieten und zwischen den stündlichen Starkregenereignissen und Hochwassern in kleinen Einzugsgebieten, was mit den Fließzeiten des Wassers innerhalb der Einzugsgebiete zusammenhängt.

EXTREMEREIGNISSE in Österreich



Sattelkar (S), 2022



Treffen (K), 2022



Donau (NÖ), 2013

Auswirkungen auf Extremereignisse im Alpenraum

- ✓ Zu den unmittelbaren Auswirkungen der Erderwärmung zählen neben den intensiveren lokalen Starkregenereignissen eine erhöhte Schneeschmelze (und eine Kombination von beidem) sowie eine veränderte Gletscherschmelze.
- ✓ Das Auftauen des Permafrostes und Gletscherrückgang beschleunigen die Alpenin Massenbewegungen und führen zu vermehrten Hangrutschungen, Felsstürzen und Großmuren.
- ✓ Die Sedimentverfügbarkeit in alpinen Wildbacheinzugsgebieten hat sich in den letzten Jahrzehnten zumindest verdoppelt.
- ✓ Große Waldbrände und Elementarereignisse in den Schutzwäldern (Sturm, Schneebruch, Borkenkäfer) werden zunehmen.

Quelle: [1] Glade, Mergili, Sattler (2019): ExtremA 2019 Aktueller Wissensstand zu Extremereignissen alpiner Naturgefahren in Österreich; 1. Auflage 2020 VCR unipress, 776 S.

In den letzten Jahren sind in Österreich und der Schweiz **Extremereignisse mit starkem Bezug zur Erderhitzung** scheinbar gehäuft aufgetreten. Die Dokumentationen dieser Ereignisse liefern interessante Aufschlüsse über die Charakteristik der auslösenden „atypischen“ Wetterlagen bzw. die auftretenden Prozesskaskaden.

- **Oktober 2018: Sturmtief Vaia extreme Windwürfe im Schutzwald (Kärnten, Osttirol)**
- **Juni 2022: Hochwasserkatastrophe mit Murgängen (Kärntner Gegendtal)**
- **Juli 2023: Murgang im Periglazialen Raum (Rauris/Kolm Saigurn)**
- **September 2024: Hochwasser in Niederösterreich und Wien**
- **Mai 2025: Bergsturz und Gletscherabbruch Blatten (Lötschental/Wallis/Schweiz)**

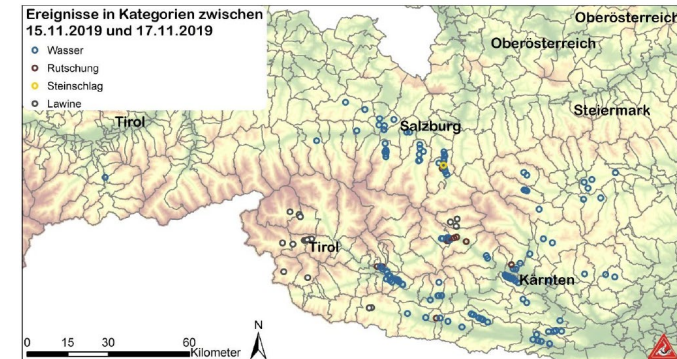


Sturm Vaia (Oktober/November 2018)

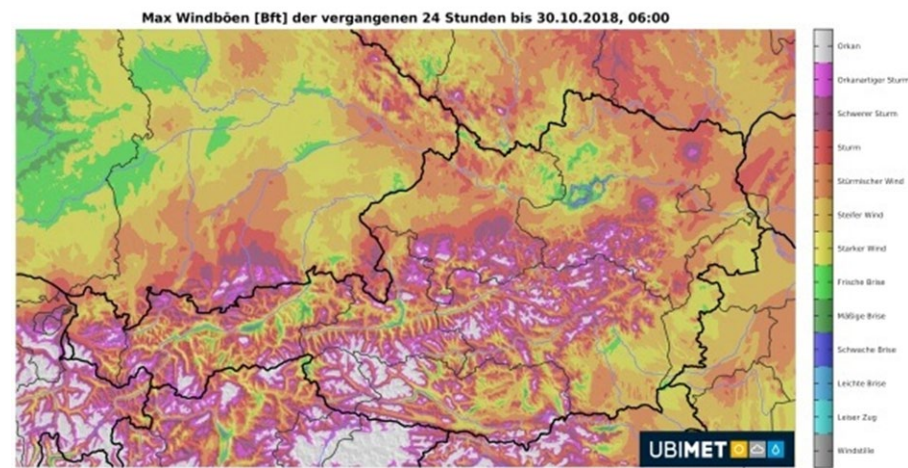


- 29. Oktober – 1. November 2018
- Kärnten und Osttirol
- Südwestströmung mit eingebetteter Kaltfront: Starkregen und Föhnsturm
- Gefahrenprozesse: Murgänge, Hochwasser, extreme Windwürfe im Schutzwald

Quelle: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft BML (2019): Ereignisdokumentationen Wildbach- und Lawinenverbauung 2018, Wien, Eigenverlag.



Sturm Vaia – Lesachtal, Kärnten (29. Oktober 2018)



- Mittelmeertief am 29. Oktober 2018: sehr große Niederschläge von Vorarlberg bis Steiermark
 - 3-Tages-Summe: **150 mm bis 450 mm** (hauptsächlich Regen)
 - Plöckenpass sogar **650 mm** (höchster 3-Tages-Summe Messwert bis dahin 373 mm)
 - Statistisch 75 bis 150 jährliches Ereignis
- Tief erzeugt extreme Druckunterschiede im Alpenraum
 - Fönorkan mit Böen bis **200 km/h** in exponierten Lagen

Hochwasserkatastrophe Gegendtal (Kärnten) Juni 2022

Schäden



Hochwasserkatastrophe Gegendtal (Kärnten) Juni 2022



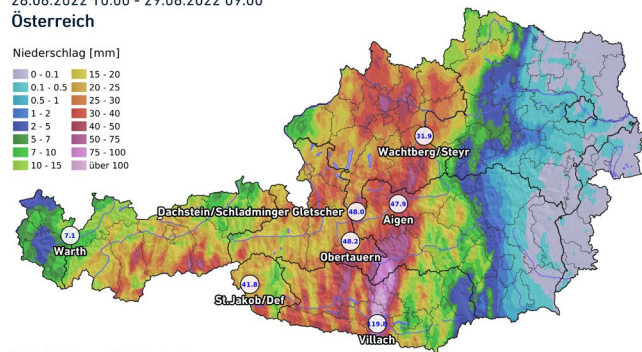
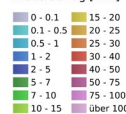
- 28. – 29. Juni 2022
- Kärnten (Gegendtal bei Villach), Lungau
- Italientief mit Starkregenfront; Stationäre Starkregensituation durch Stau effekt an einer Luftmassengrenze
- Gefahrenprozesse: Hochwasser, Muren

24 H NIEDERSCHLAGSSUMME

28.06.2022 10:00 - 29.06.2022 09:00

Österreich

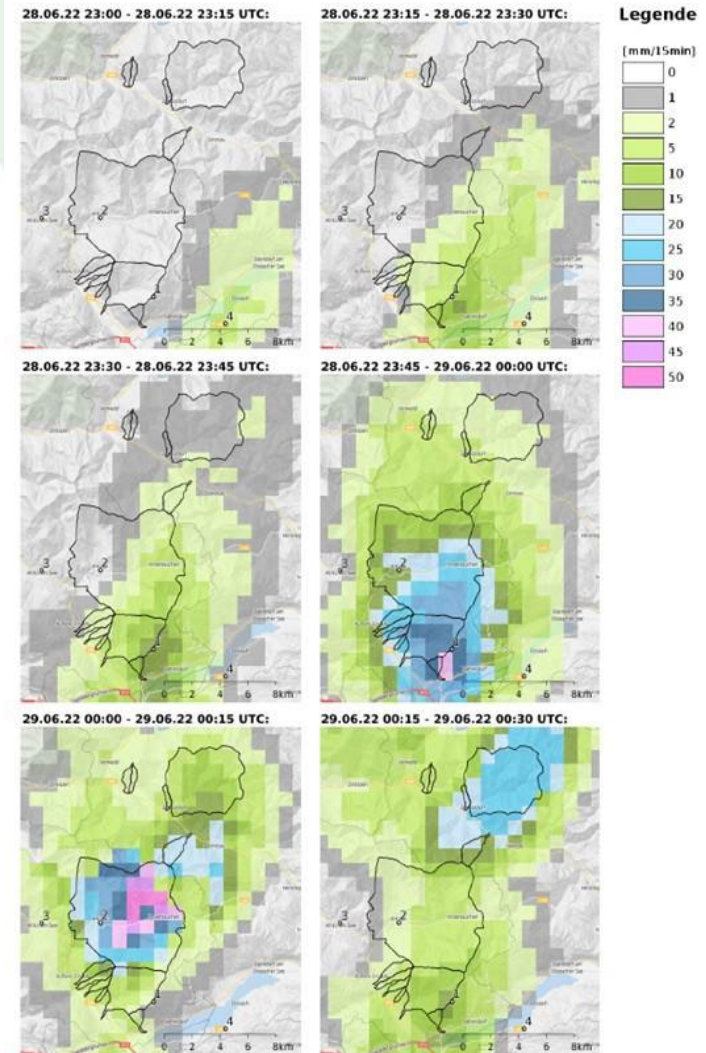
Niederschlag [mm]



Werte: Maximum auf Stationsbasis
aufgeschlüsselt nach Bundesländern

Hochwasserkatastrophe Gegendtal (Kärnten) Juni 2022

- Drei aufeinanderfolgende Niederschlagsereignisse innerhalb von 6 Stunden durch Italtientief:
 - Kumuliertes Gebietsmittel Niederschlagsintensität 99 mm/h zwischen 23:30 Uhr und 0:30 Uhr (INCA)
- Größte Intensitäten und Schäden im Kärntner Gegendtal bei Villach
 - Gebietsniederschlag: bis 180 mm/h, max. Intensitäten: 40 mm/ 15 min
 - Massive Schäden im Siedlungsbereich (Gebäude, Infrastruktur und Menschenleben) durch Überflutung und Murgänge

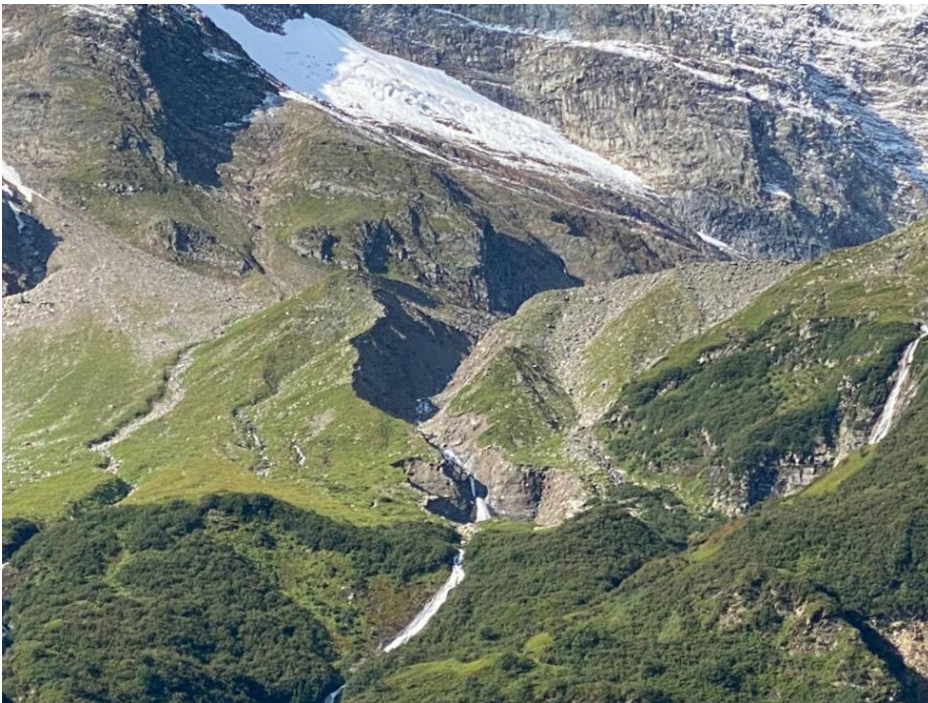


Großer Murgang Pilatuskar (Rauris/Kolm Saigurn) Juli 2023



- 28. Juni 2023
- Pinzgau (Salzburg)
- Lokales Starkregenereignis bis auf 3500 m Seehöhe
- Gefahrenprozesse: Hochwasser, Murgang aus hochalpinem Kar nach Gletscherschmelze: Auslösung eines Murgangs mit ca. 1,5 Mio. m³ → Folgeprozesse: fortschreitende Ausräumung der glazialen Schuttmassen

Murgang Pilatuskar (Rauris/Kolm Saigurn) Juli 2023



Hochwasser 2024 Niederösterreich (12. – 20. September 2024)

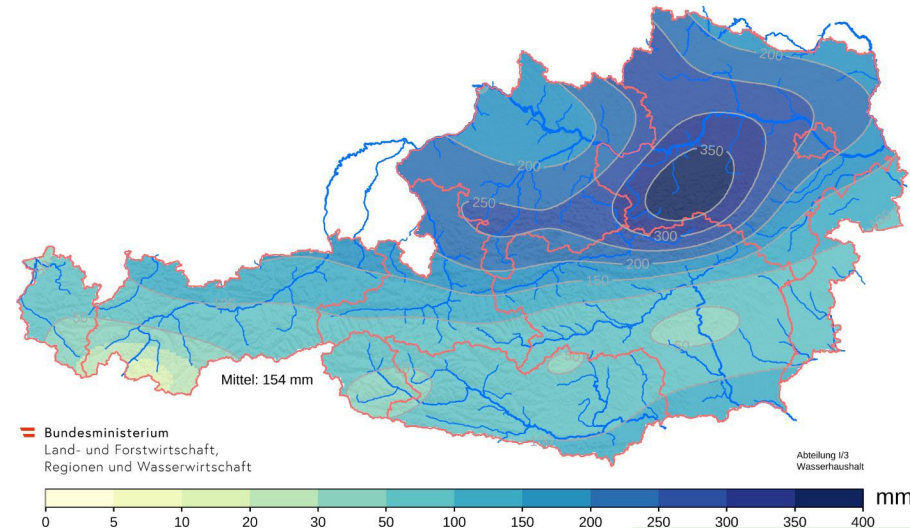


- ✓ Das Hochwasserereignis vom September 2024 wurde durch eine Vb-Wetterlage ausgelöst.
- ✓ Diese Tiefdrucklage führte zu extremen Niederschlägen in Niederösterreich, mit zum Teil über 400 mm Regen innerhalb von fünf Tagen. Dies entspricht mehr als dem 5,5-fachen des langjährigen Mittels für September.
- ✓ Die daraus resultierenden hydrologischen Extrembedingungen verursachten außergewöhnliche Hochwasserspitzen mit Jährlichkeiten über HQ100 in mehreren Flüssen.

Hochwasser 2024 Niederösterreich (12. – 20. September 2024)

- ✓ Abflussmengen erreichten Rekordwerte und führten zu schweren Infrastrukturschäden, darunter Versagen von Hochwasserschutzdämmen und Rückhaltebecken.
- ✓ Die Katastrophe forderte sechs Menschenleben in Österreich und verursachte wirtschaftliche Schäden von über einer Milliarde Euro (ohne ÖBB-bezogene Schäden).

Niederschlagssumme 12.09.2024-16.09.2024



Hochwasser 2024 Niederösterreich (12. – 20. September 2024)

Die Schutzanlagen der ÖBB seien auf ein 100-jährliches Hochwasser ausgelegt. *"Wir hatten allerdings – speziell in Niederösterreich – ein Ereignis, das weit über alle Planungsannahmen hinausgeht. Das übersteigt alles, was wir jemals für möglich gehalten haben"*, sagte Judith Engel (Vorständin ÖBB-Infrastruktur AG).



Bergsturz im Lötschental (Wallis/Schweiz)

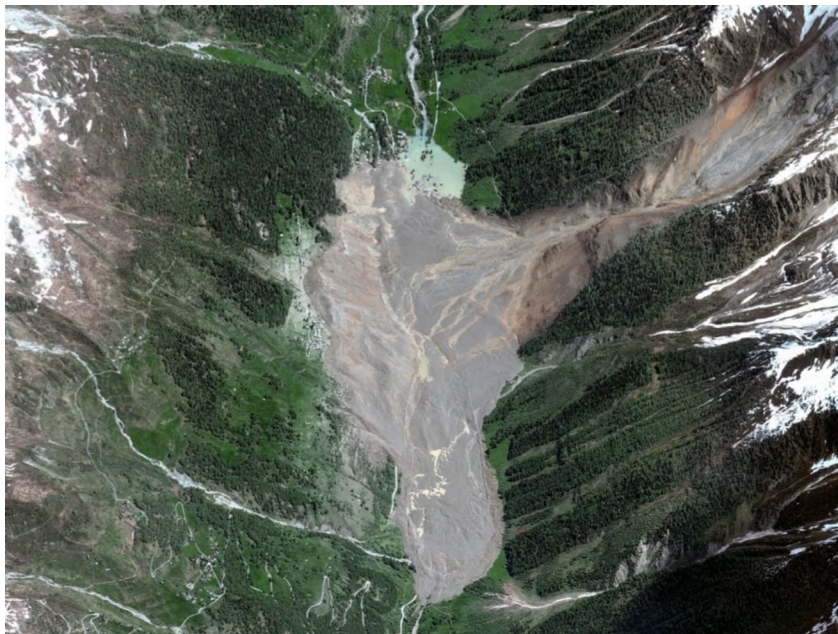


Bergsturz im Lötschental (Wallis/Schweiz)

- ✓ Der Bergsturz entstand durch einen plötzlichen Gletscherabbruch unterhalb des kleinen Netzhorns, wobei große Mengen Eis, Fels und Geröll ins Tal stürzten und das Flussbett der Lonza blockierten.
- ✓ Die Schutt- und Eismassen verschütteten in Blatten 130 Häuser wie auch die Kirche, insgesamt etwa 90 Prozent von Blatten.
- ✓ Die Massen bildeten einen aufgestauten See und führten zu raschen Überschwemmungen und Nachrutschungen, wodurch Siedlungsflächen stark beschädigt wurden.



Bergsturz im Lötschental (Wallis)



Bergsturz und Gletscherabbruch vom Kleinen
Nesthorn in Blatten/Lötschental/Schweiz
(2025) (© SRF)



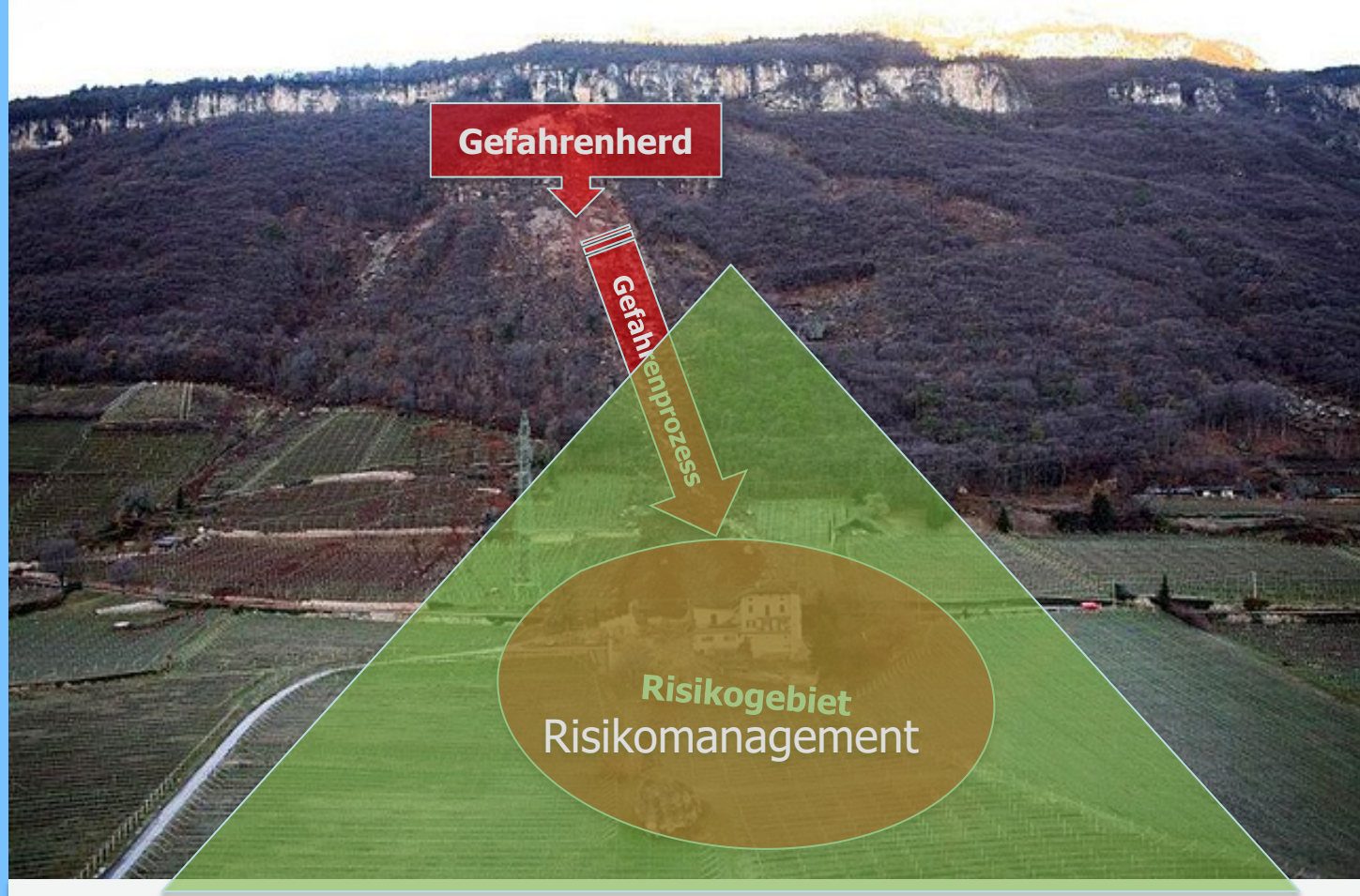
Zukunftsperspektiven



**Klimawandel und
Extremereignisse**

2025
+





Gravitative Naturgefahren

lokal wirksam – kaum prognostizierbar – destruktive Wirkung



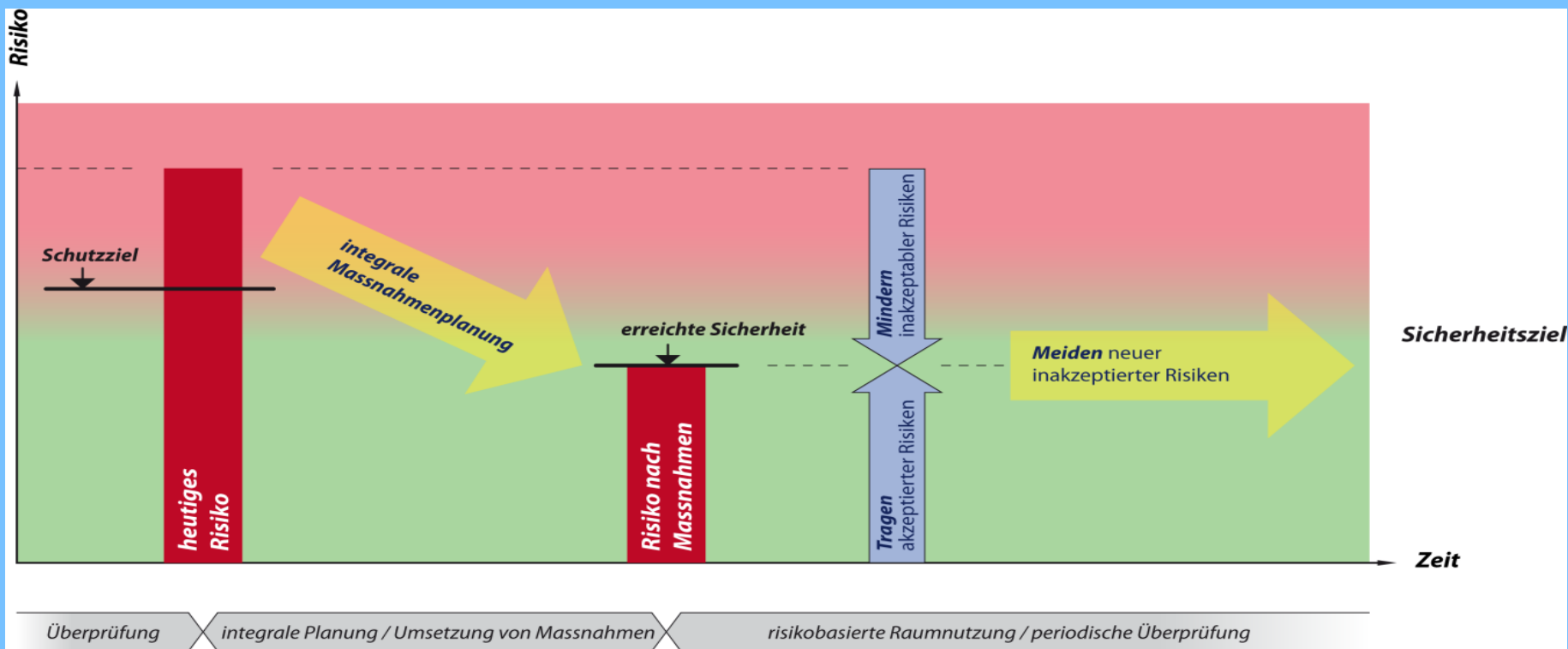
Kernfragen des Risikomanagements:

Was kann passieren?

Was darf passieren?

Was ist zu tun?

Risikomanagement: Schweizer Modell



Beispielhafte Darstellung des Risikomanagements (abgeändert nach PLANAT 2013): inakzeptable Risiken werden durch integrale Maßnahmen auf ein akzeptiertes Niveau gemindert.

Erderwärmung und Extremereignisse: Kompensation durch Schutzmaßnahmen in Österreich

- ✓ Während die Indizes für auslösende Niederschläge und die Anzahl der gefährdeten Gebäude stetig zunahmen, zeigten Häufigkeit, Ausmaß und Saisonalität der schadensverursachenden Sturzfluten keine eindeutigen Trends.
- ✓ Dieser Widerspruch wurde auf einen kompensatorischen Effekt der zunehmenden Anzahl technischer Schutzbauten (ca. 200.000 Wildbachschutzbauwerke in AT) zurückgeführt. Die Erhaltung dieser Schutzinfrastruktur ist von größter Bedeutung, um den zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels auf das Ausmaß und die Häufigkeit von Wildbachereignissen entgegenzuwirken.
- ✓ Vereinfacht ausgedrückt kann gefolgert werden, dass die Zunahme gefährlicher Wildbachereignisse zurzeit durch die realisierten Schutzmaßnahmen der Wildbachverbauung gerade noch kompensiert werden kann.

Quelle: [1] Schlögl, Fuchs, Scheidl, Heiser (2021) Trends in torrential flooding in the Austrian Alps: A combination of climate change, exposure dynamics, and mitigation measures, Climate Risk Management 32.

Schutzbauwerke der Wildbachverbauung



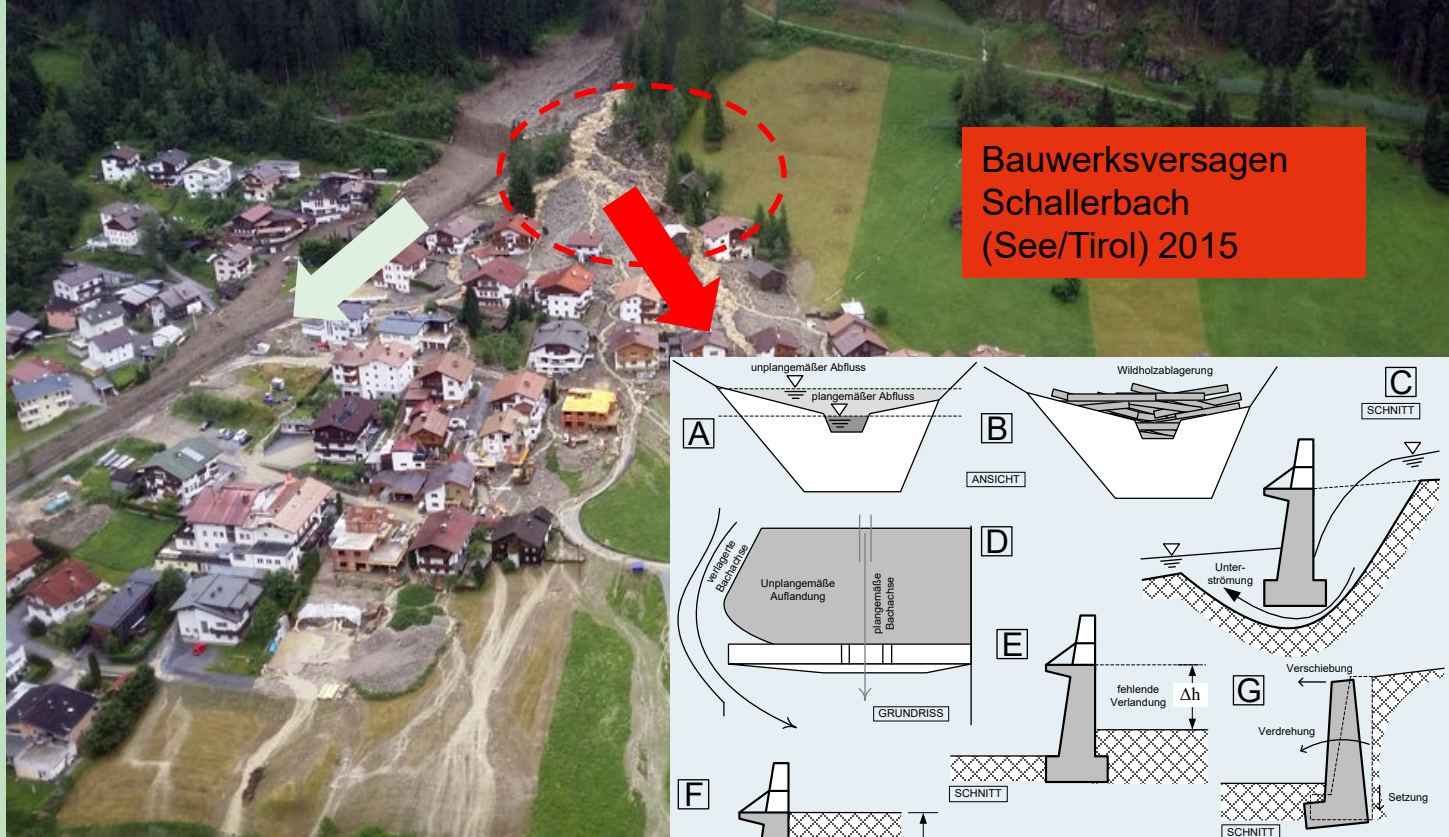


Neue Herausforderungen: Extremereignisse – Bauwerksversagen

Eine systematische Auseinandersetzung mit dem **Teil- oder Vollversagen von Schutzsystemen infolge Extremereignissen** oder kaskadischen Prozessen (z.B. Auftauen des Permafrostes, Auslösung von Massenbewegungen, Erhöhung der Muraktivität) sowie die Berücksichtigung des Versagensfalls (Restrisiko) in der Raum/Sicherheitsplanung ist essentiell.

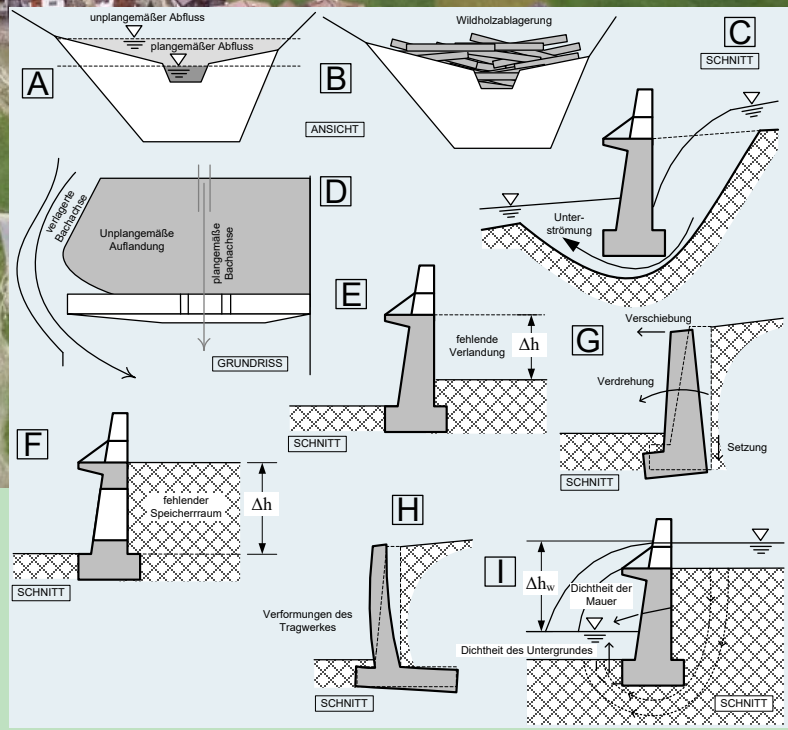
In diesem Zusammenhang werden alternative Konzepte der Sicherheitsplanung zum etablierten Frequenz-Magnituden-Konzept (sprich: Jährlichkeit) benötigt. Vor allem muss nachvollziehbar kommuniziert werden, dass es sich beim Versagen von Anlagen um menschlich verursachte Risiken handelt, die zu völlig konträren Gefahrenszenarien – verglichen mit den natürlichen Gefahrenszenarien in den Gefahrenzonenplänen – handelt.

Handlungsbedarf: Erhöhung der Robustheit von Schutzbauwerken sowie der Herstellung von Sicherheitsredundanzen im Schutzsystem zur Vorbeugung der Folge von Bauwerksversagen.



Bauwerksversagen
Schallerbach
(See/Tirol) 2015

Häufigste Ursachen
(Prozesse) für das
Versagen von
Wildbachsperrn
Suda (2014)



Neue Herausforderungen: Erosionsprozesse - Sedimentmanagement

Herausforderungen

Der Klimawandel führt zunehmend zu starken Niederschlägen, zum Rückgang der Gletscher und zur Auflösung des Permafrostbodens. Infolgedessen nehmen die Verfügbarkeit und Mobilisierung von Sedimenten zu. In den kommenden Jahren wird sich das Sedimentpotenzial in Wildbach-Einzugsgebieten voraussichtlich mindestens verdoppeln.

Handlungsbedarf

Bestehende Konzepte zur Rückhaltung von Geschiebe im Einzugsgebiet müssen überprüft und gegebenenfalls erweitert werden. Darüber hinaus müssen geeignete, kostengünstige Verwertungswege für die Bewirtschaftung und den Abtransport des anfallenden Geschiebes geschaffen und die dafür notwendigen Lagerflächen sichergestellt werden. Langfristige Sedimentüberwachung in den Einzugsgebieten der Hohen Tauern etablieren.



Steissbach (St. Anton) 2024
Sandesbach (Gschnitz) 2025

Neue Herausforderungen: Anpassungsmanagement für Schutzbauwerke - Systemintegration

Techn. Anpassungsmanagement - Systemintegration

Schutzsysteme unterliegen aufgrund der sich ändernden Umweltbedingungen (insbesondere den Klimawandel), der Folgen und Konsequenzen von Extremereignissen, der technologische Entwicklungen und der notwendigen Anpassung an den Stand der Technik sowie geänderter Sicherheitserwartungen (Risikoakzeptanz) einem ständigen Anpassungsbedarf.

Das **Technische Anpassungsmanagement** steuert die Planung, zeitgerechte Umsetzung und Dokumentation dieser Adaptionen am Schutzsystem.

Die **Systemintegration** zielt auf die Neukonfiguration, Erweiterung und Neuausrichtung vorhandener Systeme im Rahmen einer Sanierungskampagne am Ende des ersten Lebenszyklus bzw. nach schweren Schäden infolge Extremereignissen ab. Weiters umfasst sie die Einbindung neuer Komponenten in bestehende Schutzsysteme.



Beispiel Anpassung und Systemintegration von Schutzbauwerken im Trattenbach (Salzburg): Integration eines Rechens an eine bestehende Schlitzsperre und Durchzüge zur Aussteifung der nicht standsicheren Vorfeldscheiben.



GeoMonitorAT
GROSSE MASSENBEWEGUNGEN
IN DEN ALPEN

Neue Herausforderungen: Risikomanagement für Grosse Massenbewegungen

Herausforderungen

Starke Niederschläge sind ein wichtiger Auslöser für gravitative Massenbewegungen. Veränderungen im Klimasystem führen zu regionalen Veränderungen in der Häufigkeit und Stärke dieser Murgänge, Steinschläge und Erdrutsche. Darüber hinaus löst das Auftauen des Permafrostbodens neue Steinschläge und Erdrutsche aus. Dies erhöht die Gefahren für Siedlungen zusätzlich.

Handlungsbedarf

Intensive Überwachungsprogramme sind als Grundlage für die Bewertung des Risikos von gravitativen Massenbewegungen erforderlich. Darauf aufbauend werden Schutzkonzepte entwickelt, die das Risiko effizient und nachhaltig reduzieren.

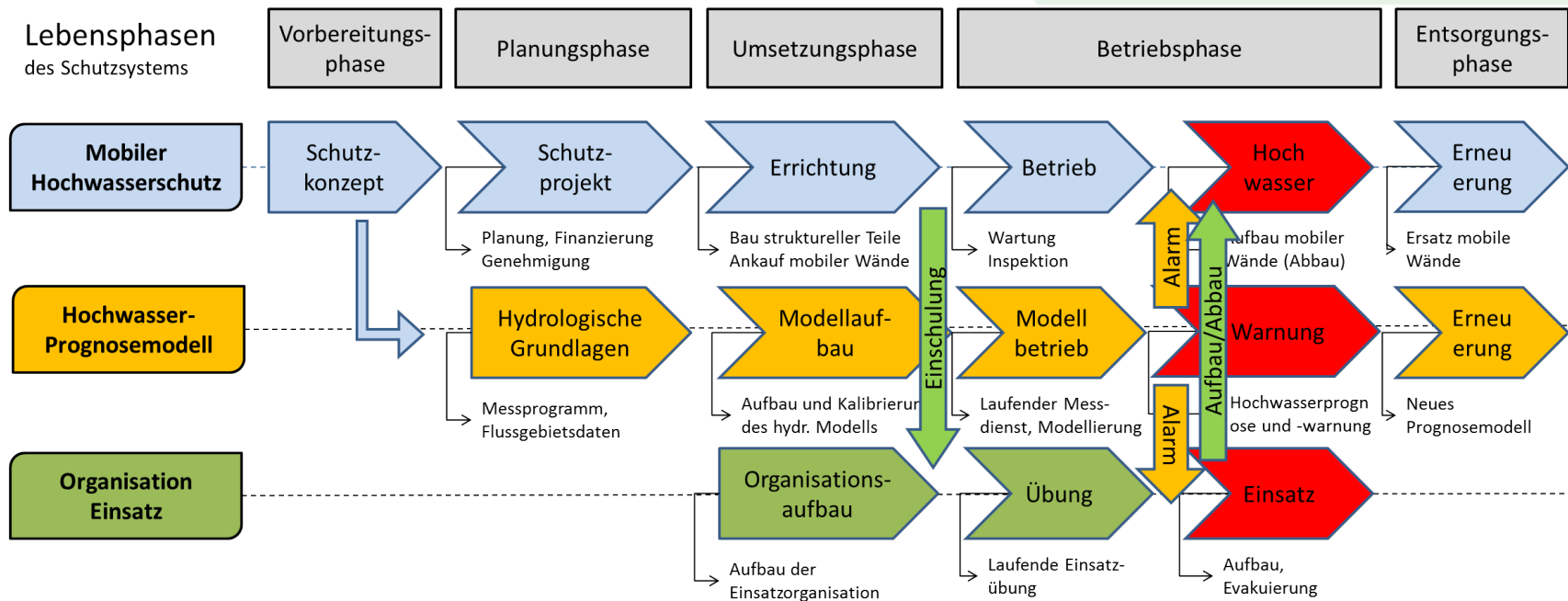
Umsetzung des **Aktionsprogramms „GeoMonitorAT“**



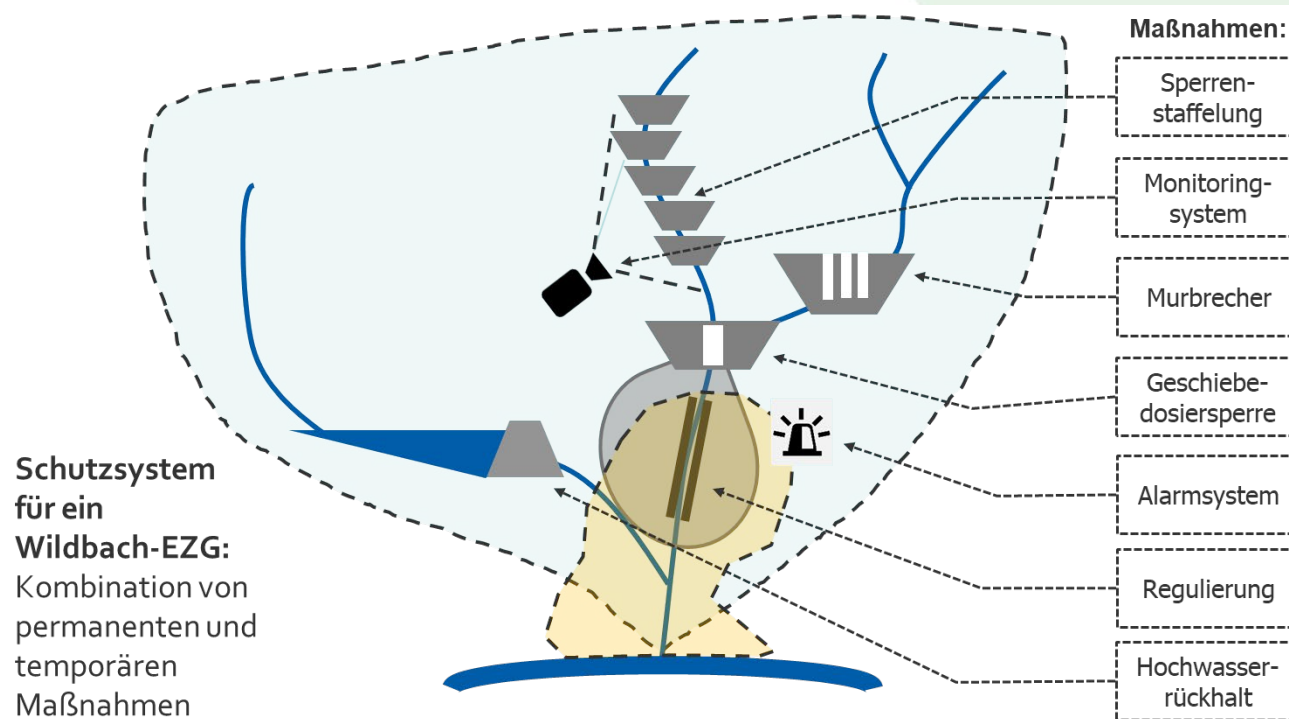
Schutzsystem Mobiler Hochwasserschutz



Beispiel Schutzsystem Mobiler Hochwasserschutz



Schutzsysteme der Wildbachverbauung

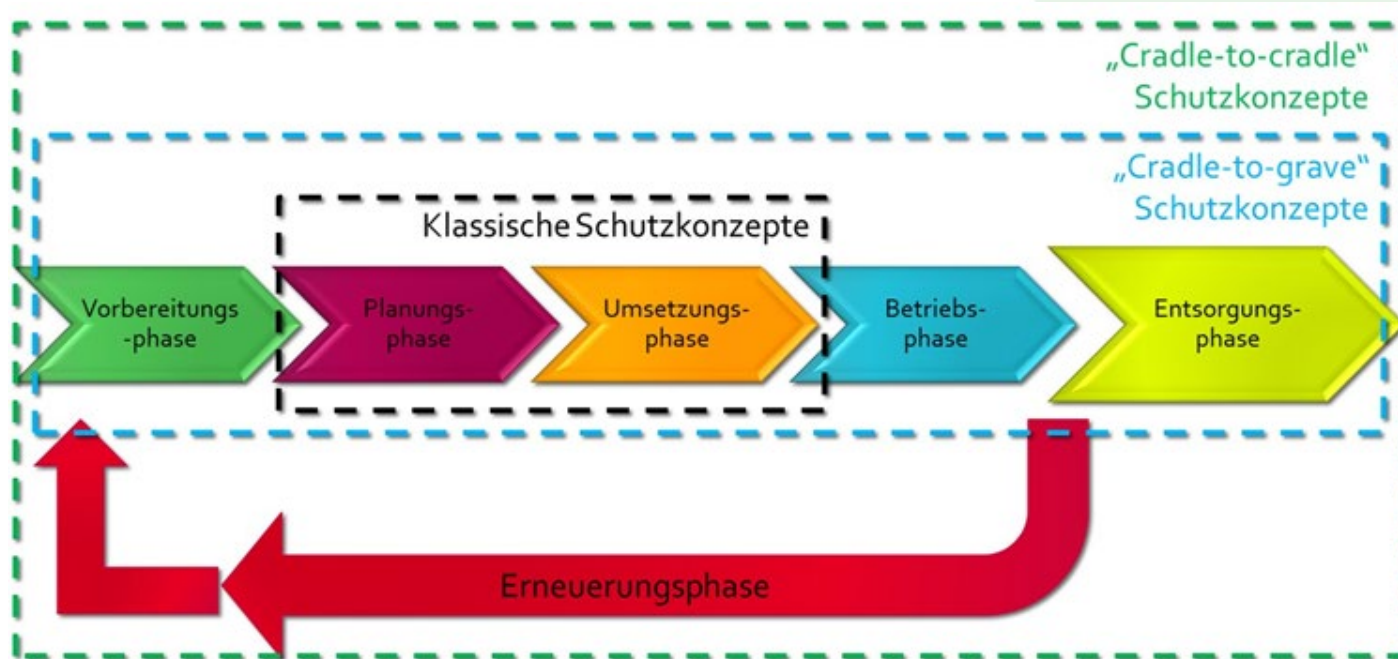


Vom Schutzbauwerk zum Schutzsystem

Durch die zunehmende Komplexität der Gefahren- und Risikoszenarien im alpinen Raum infolge der Erderwärmung und zunehmender Extremereignisse sind die etablierten Schutzsysteme zukünftig nicht nur hinsichtlich der normgerechten Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Bauwerke auf dem Prüfstand – viel mehr ist im Zuge von Erhaltungsprogrammen die Funktionalität des Systems insgesamt zu optimieren.

Das Design von Schutzsystemen stellt sich als Kombination struktureller und nicht-strukturelle Maßnahmentypen mit unterschiedlicher Wirkung und Lebensdauer dar. Aufgrund der stark divergierenden zeitlichen und räumlichen Dimensionen einzelner Komponenten bedarf ein „**Protective Systems Engineering**“ der Anwendung des **Lebensphasenmodells**.

Schutzsysteme im Lebenszyklusmodell

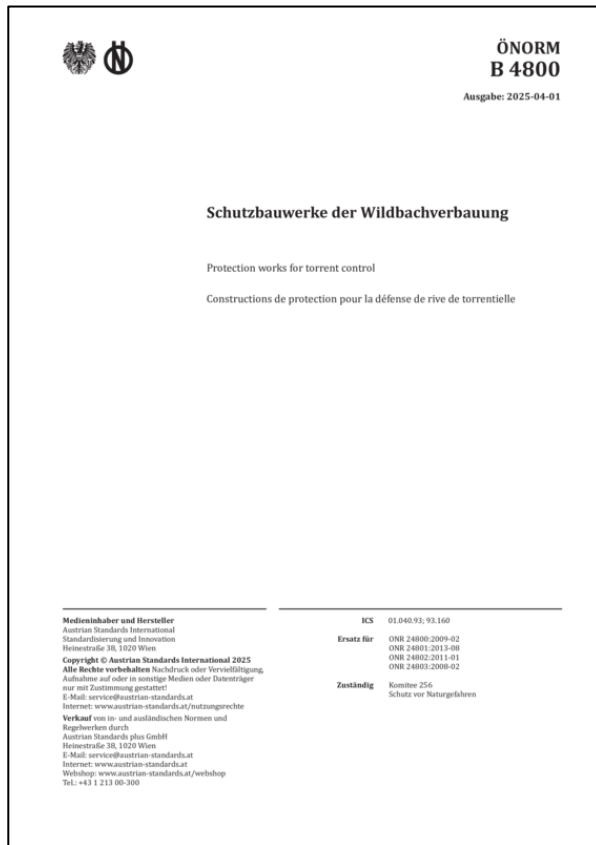




Schlussfolgerungen und Ausblick

Durch die zunehmende Komplexität der Gefahren- und Risikoszenarien im alpinen Raum infolge der Erderwärmung und zunehmender Extremereignisse sind die etablierten Schutzsysteme zukünftig nicht nur hinsichtlich der normgerechten Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Bauwerke auf dem Prüfstand – viel mehr ist im Zuge von Erhaltungsprogrammen die Funktionalität des Systems insgesamt zu optimieren.

Das Design von Schutzsystemen stellt sich als Kombination struktureller und nicht-strukturelle Maßnahmentypen mit unterschiedlicher Wirkung und Lebensdauer dar. Aufgrund der stark divergierenden zeitlichen und räumlichen Dimensionen einzelner Komponenten bedarf ein „**Protective Systems Engineering**“ der Anwendung des **Lebensphasenmodells**.



Neuaufgabe
2026

Neue
ÖNORM B 4800
NORM
Ausgabedatum: 2025 04 01
Schutzbauwerke der Wildbachverbauung



Herzlichen Dank für Ihre geschätzte Aufmerksamkeit!

Priv.-Doz. Dr. Florian Rudolf-Miklau
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und
Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft
Leiter der Abteilung Wildbach- und Lawinenverbauung,
Schutzwaldpolitik und Waldbrandmanagement
Marxergasse 2, 1030 Wien
Abt.35@bmnt.gv.at