

ALPINE NATURGEFAHREN IM KLIMAWANDEL



© CC0 (adege/pixabay)

ZUSAMMENFASSUNG

Die globale Erwärmung führt in den Alpen zu rascher Gletscherschmelze, zum Auftauen von Permafrost und geänderten Niederschlagsmustern. Dies destabilisiert Hochgebirgsregionen und erhöht die Gefahr von Erdrutschen, Bergstürzen, Gletscherabbrüchen und Gletscherseeausbrüchen. Der katastrophale Bergsturz im Schweizer Blatten rückte das Thema „alpine Naturgefahren im Klimawandel“ ins Zentrum der österreichischen Öffentlichkeit und Politik. Fernerkundung ist bei der Bewertung von Naturgefahren entscheidend. Drohnen, Helikopter und Flugzeuge können mit Sensoren wie RGB-, Multispektral-, Wärme-, Hyperspektral-, Lidar- und GPR ausgestattet werden, um Massebewegungen aller Art zu untersuchen. Regelmäßige Drohnen- und Satellitendaten ermöglichen genaue 3D-Modelle der Landesoberfläche. Flächendeckendes Laserscanning wird bereits in einigen Regionen genutzt, vor allem aber nach Naturgefahrenereignissen. Zukünftig könnte ein bundesweites System bei Prognosen helfen.

*Vermessung
und Vorhersagen
von Erdrutschen,
Bergstürzen und
Gletscherseeausbrüchen*

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Zwar führt der Klimawandel insgesamt zu weniger sommerlichen Regenfällen in der gesamten Alpenregion, regional und vor allem in hohen Lagen kann es aber zu vermehrten Starkregenereignissen kommen (Giorgi et al., 2016), die dann gerade im Sommer vermehrt zu Extremfluten führen können (Fuchs et al., 2025). Gleichzeitig erwärmen sich hohe Lagen überproportional stark, was den schnellen Rückgang der Gletscher und das Auftauen des Permafrostes bewirkt.

Das Eis wirkt als Bindemittel im Boden und im Gestein, wodurch das Auftauen großflächige Bewegungen ermöglicht, auch weil Wasser tiefer ins Gestein eindringen kann und es durch das wiederholte Gefrieren und Auftauen des Wassers zu vermehrter Frostspaltung kommt.

Zu den alpinen Naturgefahren, die sich durch den Klimawandel verschärfen, gehören Erdrutsche, Bergstürze, Gletscherabbrüche und Gletscherseeausbrüche.

Alle gravitativen Massebewegungen werden wissenschaftlich nach den Hauptbewegungsarten der Materialien unterteilt, hierzu zählen: Sturz, Umkippen, Rutschen, Fließen und Ausbreiten (Formayer et al., 2025). Bei felsigem Material spricht man hier beispielsweise je nach Größe der Massebewegung von Steinschlag, Blockschlag, Felssturz und Bergsturz (über 1 Mio. Kubikmeter).¹ Bei eher erdigem Material spricht man von Erdrutsch, Hangrutsch, Mure, sowie Schlammlawine. Die Übergänge zwischen den Kategorien sind fließend und die Begriffe werden umgangssprachlich oft synonym verwendet.

Global fordern Erdrutsche jedes Jahr mehrere zehntausend Todesopfer (Chen et al., 2025). Einzelne Extremereignisse dem Klimawandel zuzuordnen, ist wissenschaftlich mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Dennoch gilt eine Zunahme der Häufigkeit, abhängig von Erdrutschtyp und Region, als gut belegt.

Insgesamt werden Erdrutsche durch eine Vielzahl von Ursachen begünstigt und ausgelöst. Zu den vom Klimawandel beeinflussten Ursachen gehören extreme Niederschläge (Intensität und Dauer), schnelle und intensive Schneeschmelze, steigende Grundwasserspiegel oder schnelle Grundwasserabsenkungen, sowie Überschwemmungen in Verbindung mit Erosion der Hangbasis. Außerdem tragen Frost-Tau-Zyklen oder Quell-Schwind-Verwitterung (also das Aufquellen von Erdmaterial mit nachfolgendem Zusammenziehen bei Trocknung), Permafrost-Tauen oder -Abbau bei. Zusätzlich steigern Gletscherrückgang, Gletscherabfluss, Gletscherseeausbrüche sowie Vegetationsverlust durch **Waldbrände** oder **Dürre** das Risiko für Erdrutsche (Formayer et al., 2025).

Erdrutsche und Bergstürze können auch zu teilweisen oder vollständigen Flussblockaden führen. So nimmt man zum Beispiel an, dass allein das Ötztal in den vergangenen 12.000 Jahren mindestens fünf Mal blockiert worden ist, das letzte Mal vor rund 3.000 Jahren.² Obwohl Erdrutsche als Gefahr bekannt sind, werden die Risiken von den von Erdrutschten gebildeten Dämmen manchmal unterschätzt. Eine solche Flussblockade kann zu Überflutungen im aufwärts gelegenen Tal führen. Ein Dammversagen kann das Gebiet stromabwärts hingegen katastrophal überfluten.³ Die größten Seen bilden sich in Gletschertälern in denen der sich zurückziehende Gletscher ein breites Tal hinterlassen hat. Die stärkste Stauung

Mehr Starkregen und höhere Temperaturen in hohen Lagen

*Erdrutsche, Bergstürze, Muren?
Einteilung der gravitativen Massebewegungen nach Art des bewegten Materials und Bewegungsart*

Erdrutsche fordern Tote und verursachen hohe Schäden

Folgegefahr Flussblockaden und Flutwellen

¹ ifu.bayern.de/geologie/massenbewegungen.

² science.orf.at/stories/3200699/.

³ meetingorganizer.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-8040.html.

tritt dort auf, wo Erdrutsche eine Schlucht unter einem breiten Tal blockieren – eine Situation, die häufiger an den Grenzen zwischen unterschiedlichen tektonischen Einheiten vorkommt (Argentin et al., 2021).

Neue Modellrechnungen zeigen, dass bis zum Jahr 2030 rund ein Drittel der Gletscher in den gesamten Alpen verschwunden sein wird, schneller als bisher erwartet. Dabei werden die Gletscher der Ostalpen in diesem Zeitraum vollständig verschwinden.⁴ Im Prozess des Abschmelzens werden Gletscherseen größer. Seit den 1990er-Jahren hat sich weltweit die Anzahl und Fläche der Gletscherseen um etwa 50 % erhöht. Wenn diese plötzlich auslaufen, entstehen erhebliche Gefahren: Flutwellen können sehr zerstörerisch sein und treten oft ohne oder nur mit sehr kurzer Vorwarnzeit auf. In der Vergangenheit haben Gletscherseeausbrüche erheblichen Schaden an Berggemeinden, Infrastruktur, landwirtschaftlichen Flächen und Lebensräumen verursacht sowie zu vielen Todesfällen geführt (Lützow et al., 2023; Taylor et al., 2023).

Der Klimawandel kann außerdem direkte Auswirkungen auf die Lawinenaktivität haben. So beeinflussen Schwankungen der Schneelage und meteorologischer Faktoren die Auslösung und Ausbreitung von Lawinen über kurze Zeiträume. Zusätzlich wirken Folgen des Klimawandels indirekt, indem beispielsweise der Anstieg der Baumgrenze aufgrund der Erwärmung die Auslösung von Lawinen beeinflusst (Fuchs et al., 2025). Aufgrund der großen Variabilität bei Schneehöhe und Schneedeckung in Bergregionen können die Auswirkungen auf die Lawinenaktivität unterschiedlich sein. Sie reichen von einer Verringerung oder Steigerung der Lawinenereignisse bis hin zu einem Wechsel von Trocken- zu Nassschneelawinen (Fuchs et al., 2025).

Für eine resiliente Gesellschaft ist die Vorbereitung und Anpassung an mehrere gleichzeitig oder nacheinander auftretende Gefahrenereignisse entscheidend. Bei der Risikobewertung einzelner Gefahren sollten deshalb auch Sekundäreffekte (wie Überschwemmungen, Erdrutsche) sowie gleichzeitig auftretende Ereignisse (wie Waldbrände, Hitzewellen, Dürren) berücksichtigt werden. Bisher gibt es nur wenige Studien, die Auswirkungen des Klimawandels auf Mehrfachgefahren (d. h. deren Auftreten, Häufigkeit und Ausmaß) in den österreichischen Alpen untersuchen, obwohl es in der Vergangenheit häufig Mehrfachgefahrenereignisse gegeben hat (Fuchs et al., 2025).

Es gibt mehrere technische Ansätze, um größere Massebewegungen zu überwachen. Bisher werden diese eher zur Dokumentation nach Ereignissen eingesetzt.

Fernerkundung spielt bei der Bewertung von Naturgefahren eine entscheidende Rolle, wobei Drohnen, Flugzeuge, Helikopter und Satelliten eingesetzt werden. Diese können mit bildgebenden und nicht bildgebenden Sensoren ausgestattet werden, um die Untersuchung von Erdrutschen zu unterstützen. Bildgebende Sensoren wie RGB-, Multispektral-, Wärme- und Hyperspektralkameras liefern Daten, die in Bilder umgewandelt werden können, und bieten detaillierte Informationen über die Oberfläche des Erdrutschgebiets (Chen et al., 2025). Nicht bildgebende Sensoren wie LiDAR und GPR (Ground Penetrating Radar) liefern wichtige Einblicke in die physikalischen Eigenschaften des Geländes. Während LiDAR Laserlicht für Abstandsmessungen nutzt, verwendet GPR elektromagnetische Wellen, um unterirdische Merkmale wie Bodenfeuchtigkeit und Materialgrenzen zu erfassen (Chen et al., 2025).

*Gefahr
Gletscherseeausbrüche*

*Veränderte
Lawinenmuster*

*Kombinierte
Naturgefahren*

*Drohnen, Satelliten,
Helikopter und
Flugzeuge in
Erdrutschforschung
und -monitoring*

⁴ oeaw.ac.at/news/andrea-fischer-gletscher-schmelzen-schneller-als-erwartet.

Durch die regelmäßige Datenerhebung mit Drohnen entstehen sehr genaue 3D-Modelle, beispielsweise von Gletscherzungen, bei denen dann Veränderungen sehr kleinteilig nachvollzogen werden können. Derzeit wird flächendeckendes Laserscanning zwar in vielen Bundesländern schon in regelmäßigen Abständen eingesetzt, um die gesamte Landesfläche zu vermessen, aber eher um aufgetretene Naturgefahrenereignisse hinterher genau zu erfassen. In Zukunft könnten damit auch Gefahrenprognosen erstellt werden.^{5,6} Beispielsweise können kleine Massebewegungen auf größere bevorstehende Rutschungen oder Bergstürze hindeuten, und bei rechtzeitiger Erkennung solche Prognosen verbessern.

Bisher ist die statistische Modellierung von Erdrutschgefahren ein gängiger Ansatz zur Identifizierung von Gebieten mit erhöhtem Erdrutschrisiko und unterstützt damit das proaktive Management von Erdrutschgefahren. Als Basis werden dafür meist Daten von vergangenen Rutschungen, sowie gemessenen Geländebeschaffenheit wie Steilheit genutzt (Schlögl et al., 2025).

Bei Überflutungen, sind oft detaillierte Schadensbewertungen oder sehr hochauflösende Satellitenbilder nicht sehr schnell verfügbar. Um in besonders betroffenen Gebiete möglichst schnell zu helfen, gibt es Ansätze Katastrophen-Hotspots schnell zu identifizieren, indem Satellitenbilder mit mittlerer Auflösung mit Daten aus den sozialen Medien (Bilder und Texte zu den Überschwemmungen) und frei verfügbaren ergänzenden Geodaten verknüpft werden (Wieland et al., 2025).

Um gefährdete Siedlungen und Infrastrukturen vor Naturgefahren zu schützen, ist bisher Verbauung die erste Wahl. Der Bund stellt jährlich 69 Millionen Euro für Maßnahmen der Wildbach- und Lawinenverbauung und Erosionsschutz zur Verfügung⁷. Das Monitoring von Naturgefahren wird inzwischen in allen Fachbereichen der Wildbach- und Lawinenverbauung (Wildbachprozesse, Schnee- und Lawinen, Massenbewegungen) angewendet⁸.

Als Grundlage der Raumordnung gilt der Gefahrenzonenplan, der auf dem Forstgesetz von 1975 in der aktuellen Fassung beruht.⁷ In historisch gewachsene Orten liegen aber oft Häuser und Ortsteile in heute als Gefahrenzonen ausgewiesenen Gebieten. Liegen Häuser in Gefahrenbereichen, muss teilweise auch über Umsiedlung nachgedacht werden. Dies kann sich aber sehr schwierig gestalten, etwa wenn ganze Ortsteile im Risikogebiet stehen, auch ist mit teils starkem Widerstand der Bevölkerung zu rechnen. In der Schweiz besteht ein Pflichtversicherungssystem für Häuser, die sogenannte „obligatorische Gebäudeversicherung gegen Elementargefahren“⁹, kommt es zur Umsiedlung wegen einer hohen Gefahr, wird das Haus als Totalschaden bewertet und die Bewohner:innen werden entsprechend entschädigt. Bei älteren Häusern sind die Versicherungssummen niedriger, was zu Schwierigkeiten führt Ersatz zu finden, wenn etwa woanders zu hohen Kosten neu gebaut werden muss.

*Ex-post Laserscanning
in vielen
Bundesländern
Standard*

*Modellierung von
Erdrutschrisiken*

*Schnelle Hilfe durch
die Verknüpfung von
Satellitenbildern und
Social-Media-Daten*

*Bisher häufigste
Antwort auf Gefahren:
Wildbach- und
Lawinenverbauung*

Umsiedlung

⁵ oeaw.ac.at/news/drohnen-vermessen-gletscherzungen.

⁶ uibk.ac.at/de/newsroom/2023/3d-laserscanning-zeigt-ausmass-des-fluchthorn-bergsturzes.

⁷ naturgefahren.at/naturgefahrenmanagement/diewildbachundlawinenverbauung.html.

⁸ bmluk.gv.at/themen/wald/wald-und-naturgefahren/wildbach--und-lawinenverbauung/organisation-kontakt/fz_monitoring.html.

⁹ svv.ch/de/standpunkt/naturgefahren.

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

Das Verständnis des Risikos von gravitativen Massebewegungen wie Erdrutschungen ist angesichts immer häufiger auftretender extremer Wetterereignisse und sich verändernder Landnutzung von entscheidender Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung und den Schutz von Siedlungen (Schlögl et al., 2025). Die medial intensiv über Wochen begleitete Katastrophe, durch die die gesamte Schweizer Ortschaft Blatten im Mai 2025 zerstört wurde, zeigt, welche verheerenden Auswirkungen die Kombination aus Bergsturz und Gletscherabbruch haben kann.¹⁰ Es wurde bereits 2022 aufgrund von Modellierungsdaten vor einem Bergsturz in dieser Region gewarnt und die gesamte Ortschaft dann wegen akuter Gefahrenreinschätzungen auf Basis aktueller Messdaten rechtzeitig evakuiert. Die Schweiz verfügt aber auch über ein dreistufiges Frühwarnsystem: Auf oberster Ebene messen Satelliten der europäischen Raumfahrtbehörde kleinste Massebewegungen, bei Verdachtsfällen werden dann Drohnen oder Helikopter für ein klares Lagebild eingesetzt. Da nicht immer klare Sicht herrscht, werden diese mit Daten aus festverbauten Messstationen verschränkt.¹¹ In Österreich beruhen Risikoeinschätzungen oft auf Kartierungen von kleinräumigen Stürzen und Hinweisen aus der Bevölkerung und von Expert:innen.¹² In Tirol kommen verschiedene Messsysteme zum Einsatz, neben geodätischen und geotechnischen Systemen werden auch Webcams und zuletzt vermehrt auch etwa terrestrische sowie luftgestützte Laserscanningmethoden eingesetzt.¹³ Ein Pilotprojekt testet ein KI- und Internet-of-Things-Sensorik-gestütztes Früherkennungssystem für Naturgefahren, wodurch eine präzise Analyse und Vorhersage ermöglicht werden soll.¹⁴ Generelle modellbasierte Rutschungsgefährtenkarten gibt es beispielsweise auf Landesebene in der Steiermark, diese zeigen kleinteilig die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit von Rutschungen. Sie enthalten aber keine zeitliche und räumliche Prognose, wann Rutschungen auftreten können, und sind auch keine Grundlage für die Bemessung von Versicherungsprämien.¹⁵

*Aufbau eines
flächendeckenden
Frühwarnsystems nach
Vorbild Schweiz?*

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Einem Medienbericht zufolge plant Österreich ein flächendeckendes Überwachungssystem für Hangrutschungen mit der Einrichtung eines Kompetenzzentrums in Innsbruck¹⁶. Insbesondere könnten hier auch bisher ungenutzte Potenzial der satellitenbasierten Radarinterferometrie (SB-InSAR) genutzt werden. Die

*Flächendeckendes
Überwachungssystem
geplant*

¹⁰ orf.at/stories/3395246/.

¹¹ srf.ch/news/schweiz/bergsturz-in-blatten-wie-moderne-ueberwachungssysteme-leben-retten.

¹² science.apa.at/power-search/4456427600392196599.

¹³ tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/vermessung-monitoring/monitoring.

¹⁴ mci.edu/de/component/content/article/5784-kann-ki-naturgefahren-besser-vorhersagen?Itemid=101.

¹⁵ hochwasser.steiermark.at/cms/ziel/143959586/DE/.

¹⁶ meinbezirk.at/c-lokales/oesterreich-plant-landesweite-ueberwachung-von-hangrutschungen_a7418231.

se kann Bodenbewegungen und Bauwerksdeformationen im Millimeterbereich überwachen, wie eine landesweite Studie in Niederösterreich zeigte. Hierzu wurden Daten des Sentinel-1 Satelliten der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) ausgewertet, was eine flächendeckende, kontinuierliche Überwachung ermöglicht und erheblich genauer ist als herkömmliche Methoden (Dörfler et al., 2025). Der Aufbau eines solchen flächendeckendes könnten von einer begleitenden vorausschauenden TA-Studie profitieren indem mögliche intendierte und nicht-intendierte Folgen der Einführung in allen Gesellschaftsbereichen (rechtlich, politisch, ökonomisch, ökologisch und sozial) untersucht werden. Außerdem benötigt Österreich, aus Sicht einer im Klimawandel resilienten Gesellschaft, mehr Wissen über kombinierte Naturgefahren, also über die Risiken und Folgen gemeinsam oder nacheinander auftretender Ereignisse.

ZITIERTE LITERATUR

- Argentin, A. L., et al. (2021). Controls on the formation and size of potential landslide dams and dammed lakes in the Austrian Alps. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 21(5), 1615-1637, nhess.copernicus.org/articles/21/1615/2021/.
- Chen, B., et al. (2025). Applications of UAV in landslide research: a review. *Landslides*, 22(9), 3029-3048, doi.org/10.1007/s10346-025-02547-2.
- Dörfler, M., et al. (2025). InSAR-PSNÖ: Landesweite Potentialstudie für die kontinuierliche, satelliten-basierte Vermessung von Boden- und Bauwerksbewegungen. *Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung Allgemeiner Baudienst, Geologischer Dienst, noe.gv.at/noe/Kontakt-Landesverwaltung/Endbericht_InSAR_PS_NOE.pdf*.
- Formayer, H., et al. (2025). Physical and ecological manifestation of climate change in Austria. In D. Huppmann, et al. (Hrsg.), *Second Austrian Assessment Report on Climate Change (AAR2) of the Austrian Panel on Climate Change (APCC)*. Vienna: Austrian Academy of Sciences Press, aar2.ccca.ac.at.
- Fuchs, S., et al. (2025). The Austrian Alps as multi-dimensional focal area. In D. Huppmann, et al. (Hrsg.), *Second Austrian Assessment Report on Climate Change (AAR2) of the Austrian Panel on Climate Change (APCC)*. Vienna: Austrian Academy of Sciences Press, aar2.ccca.ac.at.
- Giorgi, F., et al. (2016). Enhanced summer convective rainfall at Alpine high elevations in response to climate warming. *Nature Geoscience*, 9(8), 584-589, doi.org/10.1038/ngeo2761.
- Lützow, N., et al. (2023). A global database of historic glacier lake outburst floods. *Earth Syst. Sci. Data*, 15(7), 2983-3000, essd.copernicus.org/articles/15/2983/2023/.
- Schlögl, M., et al. (2025). Towards a holistic assessment of landslide susceptibility models: insights from the Central Eastern Alps. *Environmental Earth Sciences*, 84(4), 113, doi.org/10.1007/s12665-024-12041-y.
- Taylor, C., et al. (2023). Glacial lake outburst floods threaten millions globally. *Nature Communications*, 14(1), 487, doi.org/10.1038/s41467-023-36033-x.
- Wieland, M., et al. (2025). Fusion of geospatial information from remote sensing and social media to prioritise rapid response actions in case of floods. *Natural Hazards*, 121(7), 8061-8088, doi.org/10.1007/s11069-025-07120-7.