



Generelle Betrachtung

Lawinen und Schnee reagieren sehr sensitiv auf Temperaturänderungen, z. B. hängt die Bewegungsform – ob eine Lawine als Staub- oder Fließlawine zu Tal geht – von der Schneetemperatur ab (Fischer et al. 2018). Eckert et al. (2009) berichten, dass in Frankreich in den letzten 60 Jahren **keine systematischen Änderungen im Auftreten von Lawinen** gefunden werden konnten. Auch Latenser und Schneebeli (2002) haben **keine Zunahme der Lawinenaktivität über die letzten 50 Jahre** in der Schweiz festgestellt. Dobeberger und Zeidler (2010) beschreiben in einer Studie gezielt die Auswirkungen von möglichen Klimaänderungen auf den Naturgefahrenprozess durch Lawinen. Der Studie zufolge konnte **kein signifikanter Trend in der Anzahl von Lawinen** gefunden werden, jedoch konnte in den Untersuchungsgebieten gezeigt werden, dass der **Anteil von Nass- gegenüber Trockenschneelawinen zunimmt**. Diese Beobachtungen decken sich mit den Ergebnissen der Studien von Martin et al. (2001), Latenser und Schneebeli (2002) und Eckert et al. (2010).

1. Temperaturanstieg und Auswirkung auf die Lawinensituation

Aufgrund des zu erwartenden Temperaturanstieges kann davon ausgegangen werden, dass sich der **Anteil von Nassschneelawinen in den Alpen erhöhen** wird; dies wird von vielen Autoren so gesehen (Martin et al. 2001, Naaim et al. 2016). Bei Nassschneelawinen wird angenommen, dass diese **in höheren Lagen früher in der Saison auftreten** (Castebrunet et al. 2014). In Frankreich hat in den letzten 30 Jahren die Frequenz und der **Anteil der Staublawinen abgenommen** (Naaim, 2016). Eckert et al. (2009) vermuten, dass infolge der Klimaerwärmung **trockene Lawinen durch Nassschneelawinen ersetzt** werden, wodurch die Zahl der Ereignisse konstant bleibt aber deren Größe durch modifizierte Schnee Rheologie reduziert wird.

2. Einfluss der Niederschlagsart und Seehöhe auf die Lawinensituation

Nach Angaben von Gobiet et al. (2014) wird erwartet, dass die **Schneedecke unter 1500 bis 2000 m deutlich abnehmen** wird; damit wird aber auch mit einem **Rückgang von Lawinen** zu rechnen sein.

Im Bereich der **tief- und hochmontanen Stufe** könnte zukünftig ein **höherer Regenanteil am Winterniederschlag** häufiger zu **durchfeuchteten Schneedecken** führen, was in den meisten Fällen die **Lawinenbildung fördern** dürfte (Perzl und Walter, 2012). Durch erhöhte Häufigkeit von Regen in die alte Schneedecke könnte der **Wald** in den hochmontanen bis tiefsubalpinen Lagen an **Schutzwirkung verlieren** (Perzl und Walter, 2012).

Auch wenn ein zusätzlicher Anstieg des Winterniederschlags in Zentraleuropa zu erwarten ist, so lässt diese mögliche Entwicklung noch keine Rückschlüsse auf starke bzw. extreme Winterniederschlagsereignisse zu und somit auch nicht auf daraus resultierende Großlawinenereignisse.

3. Zunahme der Waldfläche und Auswirkung auf die Lawinensituation

Geht man von einem Anstieg der Lufttemperatur in Österreich von etwa 1,1°C aus, ist nach Grace et al. (2002) ein **klimabedingter mittlerer Anstieg der Waldgrenze von durchschnittlich 1,6 Höhenmetern pro Jahr zu erwarten**. Durch die **Verdichtung des Waldes** hat auch die von der Walddichte beeinflusste **Schutzwirkung des Waldes gegen Lawinen zugenommen** (Teich et al. 2012, Perzl et al. 2012). Das wird auch dadurch bestätigt, dass seit etwa 1990 nur sehr wenige und kleine Schadenslawinen direkt aus dem Wald dokumentiert wurden (Perzl und Walter, 2012).

Allerdings dürfte – zieht man die einzelnen Klimaszenarien heran – die Intensität und Häufigkeit von **Störungen in Waldökosystemen zunehmen**. Dadurch kann auch die **Lawinen-Schutzwirkung der Wälder beeinträchtigt** werden.

Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der im Rahmen der Lawinenwarnung verwendeten und allgemein gebräuchlichen fünf Lawinenprobleme, kann angenommen werden, dass die **Probleme Nassschnee und Gleitschnee** zukünftig an **Bedeutung gewinnen** werden; der **Anteil von Nassschneelawinen in den Alpen** wird mit großer Wahrscheinlichkeit **ansteigen**. Aussagen über den **Einfluss des Klimawandels auf die Lawinenaktivität** sind zum jetzigen Zeitpunkt **nicht quantifizierbar**. Demnach sind auch Aussagen zu lawinenbedingten Schäden als Folge des Klimawandels nicht ableitbar. Ebenso sind mögliche Änderungen der Gefährdung durch Lawinen mit großer Unsicherheit behaftet; Trendaussagen zur künftigen Entwicklung sind auf Basis der Klimamodellergebnisse derzeit kaum möglich.



1. Zunahme der Regenintensität und Auswirkung auf die Muren- und Wildbachsituation

Aufgrund der zu erwartenden Zunahme der Regenintensität bei Einzelereignissen ist davon auszugehen, dass ein größerer Teil des Niederschlags direkt als Abfluss wirksam wird (Blöschl et al. 2018, Westra et al. 2014). So wird der Anteil des flüssigen Niederschlages anstelle des Schnees im Frühjahr und Herbst zunehmen (Meißl et al. 2017). Auch die Wahrscheinlichkeit von Starkregenereignissen wird steigen. Mit zunehmender Regenintensität sinkt jedoch die Infiltrationskapazität, also jene Wassermenge, die in den Boden eindringen kann (Kohl 2011). Hagel wird diese Effekte zusätzlich verstärken (Rädler et al. 2018). **Die Gefahr von Sturzfluten nimmt zu.** Diese treten **sowohl in gebirgigen wie urbanen Räumen** auf und sind aufgrund hoher Fließgeschwindigkeiten, hoher Feststofffrachten und einer sehr geringen Vorhersagbarkeit besonders zerstörerisch (Borga et al. 2011, Mueller und Pfister 2011).

2. Änderung von Vorbedingungen und ihre Auswirkung auf die Muren- und Wildbachsituation

Extreme Niederschläge dürften sich in Richtung Mai-Juni und September-Oktober verschieben (Kaitna et al. 2014, Meißl et al. 2017). Auswertungen von Schlögel et al. (2020) ergeben z.B. für Südtirol eine Zunahme der durchschnittlichen jährlichen Dauer von Niederschlags- und Murgangereignissen. Aufgrund zunehmend trockenerer Sommer bis Mitte des 21. Jahrhunderts sind nur **geringe Veränderungen in der Gesamthäufigkeit** von Ereignissen zu erwarten, aber **möglicherweise eine Zunahme der Größe der Murgänge** aufgrund größerer mobilisierter Sedimentmengen und einer Zunahme der extremen Niederschlagsereignisse (Schneuwly-Bollschweiler und Stoffel 2012). In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts wird die Wahrscheinlichkeit von Murgängen in den Sommermonaten wahrscheinlich weiter abnehmen, zwischen Mai und Juni sowie September und Oktober - aufgrund der Zunahme der Niederschläge in diesem Zeitraum - ansteigen (Stoffel et al. 2014).

Durch die Verschiebung der Niederschläge von Schnee zu Regen, wird es zu einer **Verlagerung in der zeitlichen Verteilung des Abflusses** kommen. Insbesondere könnten Regen-auf-Schnee-Ereignisse wahrscheinlicher werden (Seibert 2019). Dong und Menzel (2019) weisen auf ein seit Anfang der 1990er Jahre vermehrtes Auftreten von Regen-auf-Schnee-Ereignissen im Februar hin und leiten daraus ein **erhöhtes Risiko von Winterüberschwemmungen** ab.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Bereitstellung von Geschiebepotential werden kontrovers diskutiert. Lokal kann im Bereich der Dauerfrostgrenze das Geschiebepotential deutlich zunehmen. In größeren Einzugsgebieten liegt die erwartbare Zunahme weit unter den natürlichen Schwankungen. Hänge, die derzeit von degradierendem Permafrost bedeckt sind, werden weniger stabil (Harris et al. 2009). Andere Studien legen nahe, dass Permafrost auf der Nordhemisphäre aufgrund seiner relativ langsamen Degradation trotz Klimawandel stabil existieren könnte (Wang et al. 2019). Die **Änderung des Geschiebepotentials zufolge Erhöhung der Permafrostgrenze** ist derzeit **nur sehr grob abschätzbar** und dürfte in den Ostalpen in der Größenordnung von 1% bis 3% liegen (BMLFUW 2010).

3. Zunahme der Waldfläche, verzögerte Wiederbewaldung und ihre Auswirkung auf die Muren- und Wildbachsituation

Nach Grace et al. (2002) ist **ein klimabedingter mittlerer Anstieg der Waldgrenze von durchschnittlich 1,6 Höhenmetern pro Jahr zu erwarten**. Klimaextreme werden künftig die Dynamik der Baumgrenze in den mitteleuropäischen Alpen wesentlich stärker kontrollieren als ein allmählicher Temperaturanstieg (Wieser et al. 2009).

Verzögerte Wiederbewaldung wird künftig ein größeres Problem darstellen. Wälder mit unzulänglicher Naturverjüngung können ihre Schutzfunktion nur eingeschränkt erfüllen. **Je länger die Wiederbewaldung** von Hiebsflächen und Freiflächen **dauert, umso höhere Abflussmengen** sind bei Starkregen aus dem Wald zu erwarten und **umso höher wird das Rutschungspotenzial** (Markart et al. 2019). Bestände müssen erst ein bestimmtes Alter, eine minimale Wurzelmasse und -stärke erreichen (zumindest Stangenholzphase), damit sie ihre hangstabilisierende Wirkung voll entfalten können. Aufforstungen werden zukünftig verstärkt vorzunehmen sein. Nur ausreichend dichte Bestände werden den durch den Klimawandel prognostizierten höheren Anteil an flüssigen Niederschlägen (Meißl et al. 2017) ausreichend puffern können. Viele Baumarten kommen jedoch nur unter massiven Schutzmaßnahmen auf (z.B. Einzelschutz). **Allein „klimafitte“ und stabile Bestände** mit ausreichender Mischung an Baumarten, werden mit den künftigen Klimabedingungen zurechtkommen und ihre **Schutzwirkung erfüllen können**, wobei das Erreichen stabiler Bestände an ein optimiertes Wildtiermanagement gebunden ist (Markart et al. 2020).

Zusammenfassung

Als Konsequenz eines weiteren Temperaturanstiegs im Alpenraum ist die **jahreszeitliche Verschiebung extremer Niederschläge**, die Muren- und Wildbachereignisse auslösen können, zu erwarten (Kaitna et al. 2014, Meißl et al. 2017). **Bei Unterstellung eines „besten“ Klimaszenarios** (WEGC-CCLM_ECHAM5-A1Br2_DS_10km_1955-2050) ist für den österreichischen Alpenraum **keine signifikante Veränderung der Murgang-Wahrscheinlichkeit** im Mai und Juni und eher ein Rückgang der Wahrscheinlichkeiten in den Sommermonaten im Juli und August zu erwarten. **Bei Unterstellung eines schlechten Szenarios** der weiteren Klimaentwicklung (CNRM-RM5.1_SCN_ARPEGE_DM_25km_1951-2050) ist ein **deutlicher Anstieg extremer Wildbach-Ereignisse** anzunehmen.