

# Klimawandelbedingte Auswirkungen auf alpine Naturgefahren

**Dr. Roland Kaitna**  
*Universität für Bodenkultur*  
*Department Bautechnik und Naturgefahren*  
*Institut für Alpine Naturgefahren*  
*Peter Jordan-Strasse 82*  
*A-1190 Wien*  
*roland.kaitna@boku.ac.at*

## Inhalt

- Naturgefahrenprozesse
- Klimawandel: Beobachtungen und Prognosen
- Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Naturgefahrenprozesse
  - Rezente Studien
  - Erwartungen
  - Probleme
- Zusammenfassung

## Welche Naturgefahren?



Lawine Passeler Südtirol - Valanga Alto Adige - Avalanche  
South Tyrol Pll Moos Beibach Italy (Quelle: youtube.com)

## Alpine Naturgefahren!



Video: Autonome Provinz Bozen Südtirol,  
Quelle: youtube.com, geschnitten

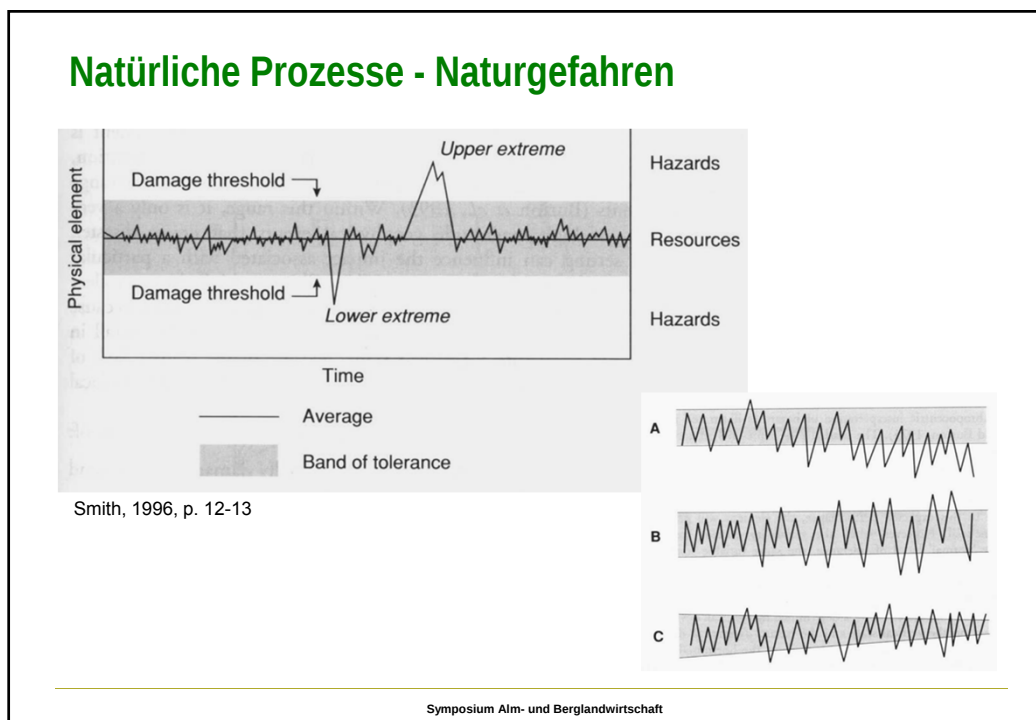
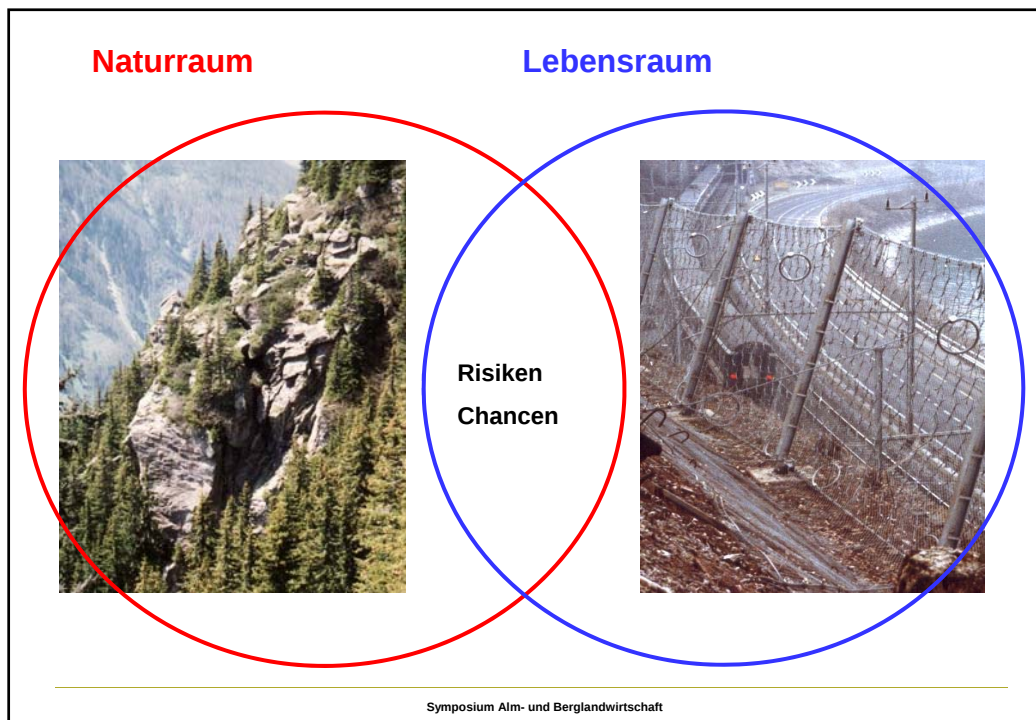


Quelle: youtube.com (Spectacular Rockslide in Switzerland (two angles).mp4), geschnitten

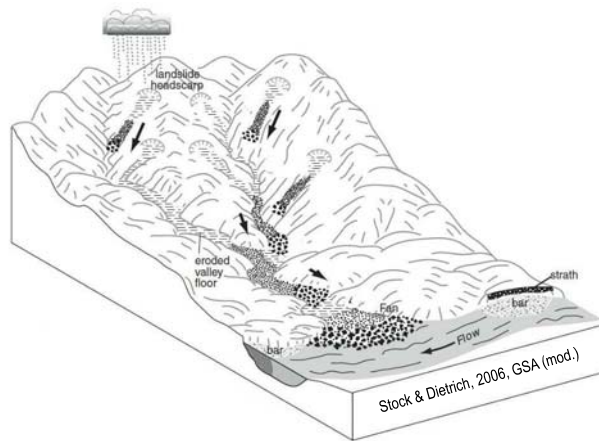


## Tschafellwiesen, Grins (Lattenbach)





## Grundkonzept für viele Naturgefahrenprozesse



Grunddisposition



Variable  
Disposition



Auslöser



Prozess

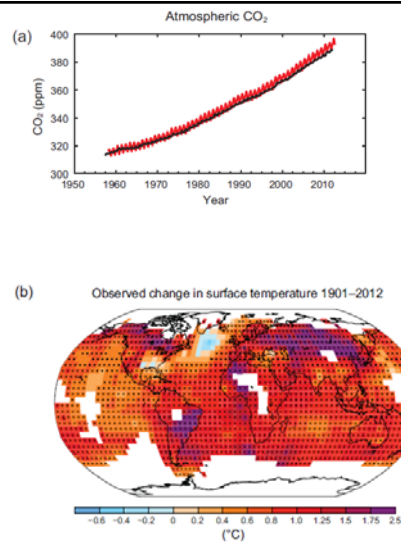
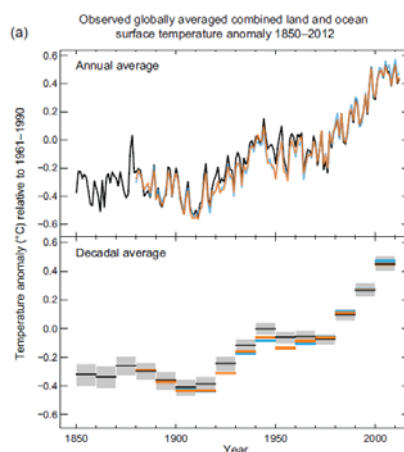
nach Kienholz, 1995

06.09.2019

Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

9

## Beobachtungen

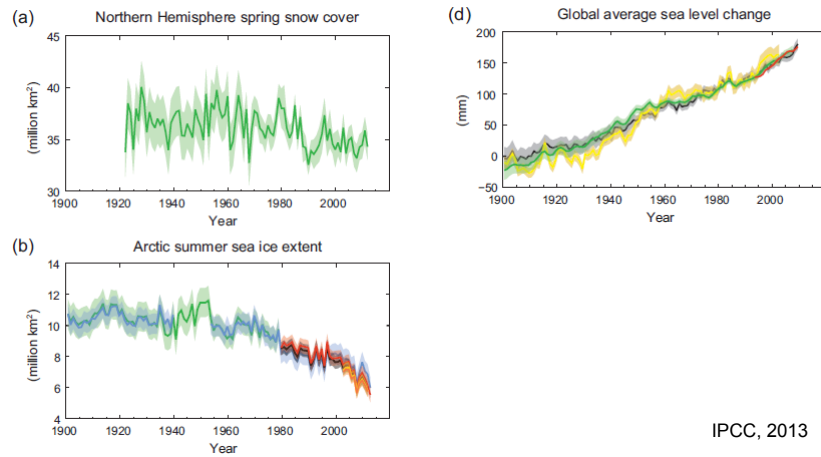


**Figure SPM.1.1** (a) Observed global mean combined land and ocean surface temperature anomalies, from 1850 to 2012 from three data sets. Top panel: annual mean values. Bottom panel: decadal mean values including the estimate of uncertainty for one dataset (black). Anomalies are relative to the mean of 1961–1990. (b) Map of the observed surface temperature change from 1901 to 2012 derived from temperature trends determined by linear regression from one dataset (orange line in panel a). Trends have been calculated where data availability permits a robust estimate (i.e., only for grid boxes with greater than 70% complete records and more than 20% data availability in the first and last 10% of the time period). Other areas are white. Grid boxes where the trend is significant at the 10% level are indicated by a + sign. For a listing of the datasets and further technical details see the Technical Summary Supplementary Material, (Figures 2.19–2.21; Figure TS.2)

IPCC, 2013

Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

## Beobachtungen

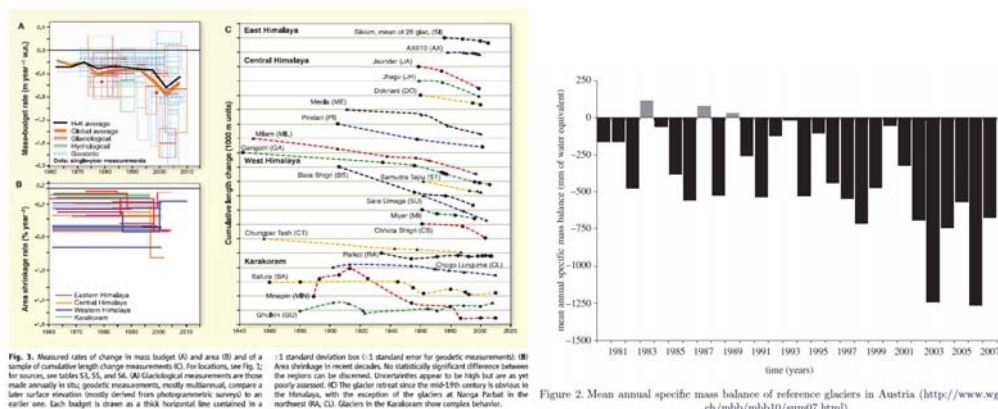


IPCC, 2013

**Figure SPM.3** | Multiple observed indicators of a changing global climate: (a) Extent of Northern Hemisphere March–April (spring) average snow cover; (b) extent of Arctic July–August–September (summer) average sea ice; (c) change in global mean upper ocean (0–700 m) heat content aligned to 2006–2010, and relative to the mean of all datasets for 1970; (d) global mean sea level relative to the 1900–1905 mean of the longest running dataset, and with all datasets aligned to have the same value in 1993, the first year of satellite altimetry data. All time-series (coloured lines indicating different data sets) show annual values, and where assessed, uncertainties are indicated by coloured shading. See Technical Summary Supplementary Material for a listing of the datasets. (Figures 3.2, 3.13, 4.19, and 4.3; FAQ 2.1, Figure 2; Figure TS.1)

Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

## Beobachtungen



**Fig. 3.** Measured rates of change in mass budget (A) and area (B) of a sample of cumulative length change measurements (C). For locations, see Fig. 1; for sources, see tables S3, S5, and S6. (A) Glaciological measurements are those made annually in situ; geodetic measurements, mostly multiannual, compare a later surface elevation (usually derived from photogrammetric surveys) to an earlier one. Each budget is drawn as a thick horizontal line contained in a  $\pm 1$  standard deviation box ( $\pm 1$  standard error for geodetic measurements). (B) Area shrinkage in recent decades. No statistically significant difference between the regions can be discerned. Uncertainties appear to be high but are as yet poorly explored. (C) The glacier retreat since the mid-19th century is obvious in the Himalayas, with the exception of the glaciers at Nanga Parbat in the northeast (BA, CL). Glaciers in the Karakoram show complex behavior.

**Figure 2.** Mean annual specific mass balance of reference glaciers in Austria (<http://www.wgms.ch/mbb/mbb10/mmb07.html>).

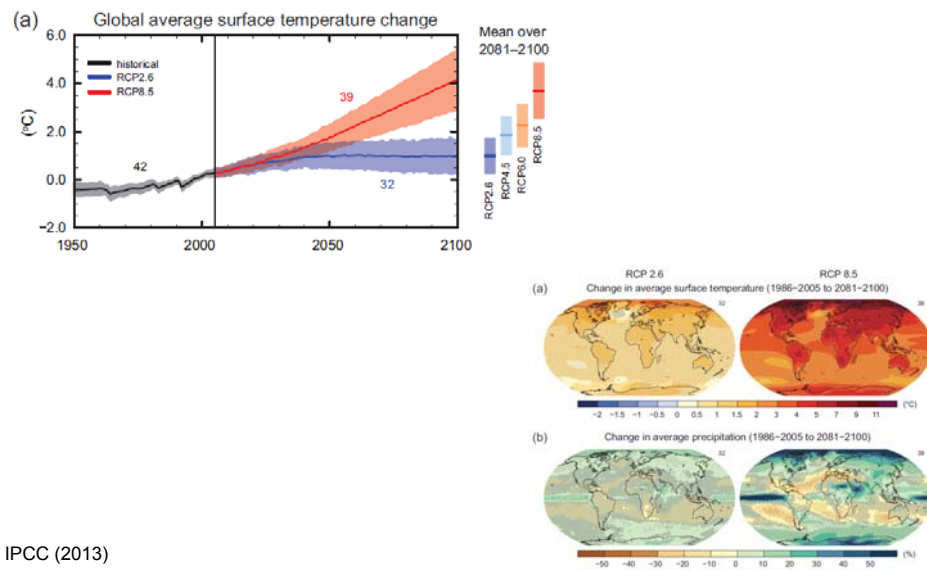
Cumulative net mass balance of selected Himalayan glaciers

Bolch et al. (2012) Science

Keiler et al. (2010)

Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

## Prognosen



Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

## Prognosen

Winter →

Frühling →

Sommer →

Herbst →

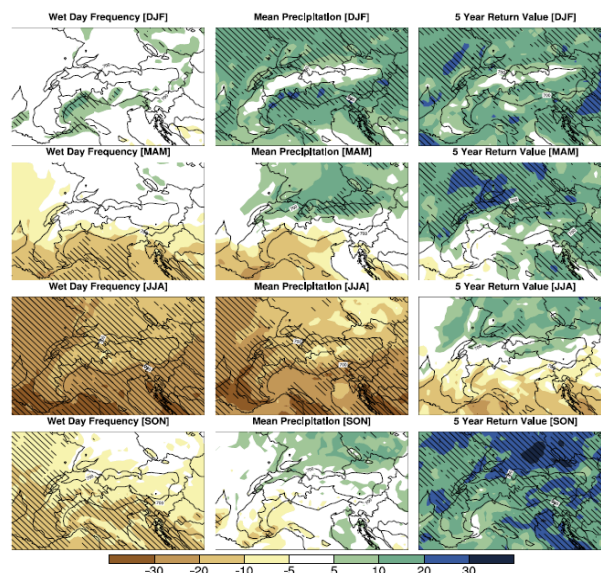


Fig. 6. Projected changes in wet day frequency [days > 1 mm], mean precipitation, and the 5-year return value of 1-day precipitation events (left to right) for the four climatological seasons (top to bottom) for the European Alpine region. Colored contours show the median change signals from a 10-member multi-model ensemble and are expressed as the percentage change for period 2070–2099 with respect to period 1970–1999. Hatching denotes agreement in the sign of change in 90% of the considered models. The results are based on a set of 10 ENSEMBLES RCMs at a resolution of 25 km. Bold lines indicate the 700 m isoline as presented by the S-08S topography (Haylock et al., 2006). Figure and results are adapted from Rajczak et al. (2013).

Gobiet et al. (2013)

Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

## Prognosen (Schneebedeckung)

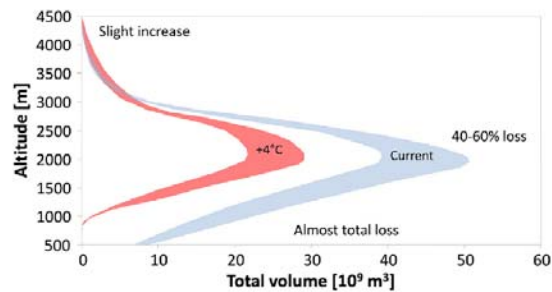
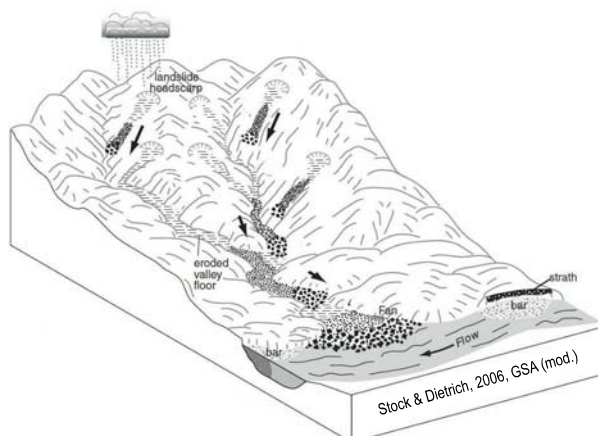


Fig. 8. Snow volume under current climate and a possible future climate with winters 4 °C warmer than today (slightly warmer than median estimate for the end of the 21st century, see Section 3.2). The spread within the two curves indicates the variability of winters ("snow-sparse" to "snow-abundant"). Total snow volume is computed as the average snow depth multiplied by the surface area on which it lies, for elevation levels between ranging from 200 m to 4500 m in Switzerland.

Gobiet et al. (2013)

Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

## Auswirkungen auf Naturgefahrenprozesse



Grunddisposition



Variable  
Disposition



Auslöser



Prozess

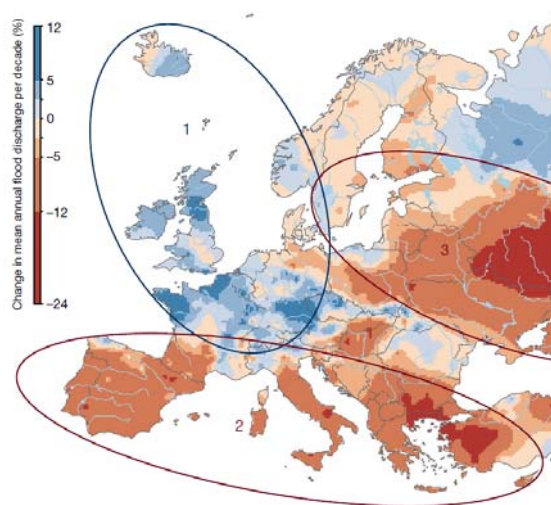
nach Kienholz, 1995

## Erwartung für Schnee und Lawinen

- Abhängigkeit von der Höhenlage
  - Tiefe Lagen: Abnahme der Schneedeckendauer, Regen auf Schnee, Vermehrte Nassschnee-Lawinen und Gleitschnee-Lawinen (Perzl & Walter, 2012)
  - Anstieg der Lawinengefahr (Häufigkeit, Reichweite) bei stärkeren Schneefälle in mittleren und hohen Lagen (Naturgefahren.at, Projekt ClimChAlp; Castelbrunet et al., 2014)
- Saisonal
  - (Gleitschnee-)Lawinen früher in mittleren und höheren Lagen (Castelbrunet et al. 2014)
- Indiz für größere Ausläuflängen (Ballesteros-Cánovas et al., 2019, Himalaya Studie)

Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

## Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasser



**Fig. 1 | Observed regional trends of river flood discharges in Europe (1960–2010).** Blue indicates increasing flood discharges and red denotes decreasing flood discharges (in per cent change of the mean annual flood discharge per decade). Numbers 1–3 indicate regions with distinct drivers. 1, Northwestern Europe: increasing rainfall and soil moisture. 2, Southern Europe: decreasing rainfall and increasing evaporation. 3, Eastern Europe: decreasing and earlier snowmelt. The trends are based on data from  $n = 2,370$  hydrometric stations. For uncertainties see Extended Data Fig. 2b.

Klimawandel erhöht  
und vermindert  
Hochwässern in  
Europa!  
(in Flüssen)

Wildbäche ?

Blöschl et al. (2019)

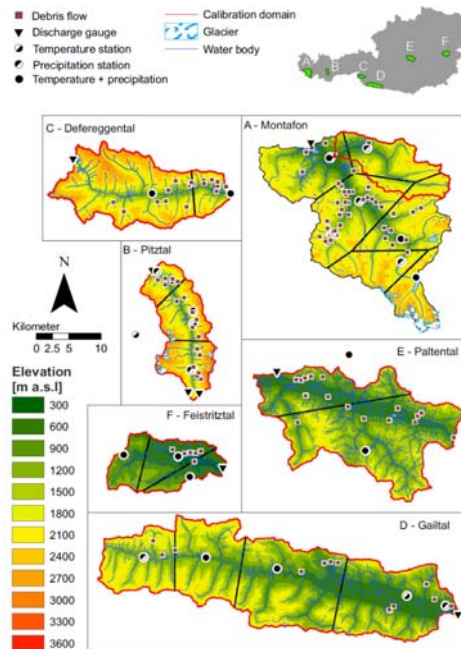
Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

## Ö: Regionale Hydrologische Modellierung

David Prenner  
Markus Hrachowitz (TU Delft)

Matt Switanek (Uni Graz)  
Douglas Maraun (Uni Graz)

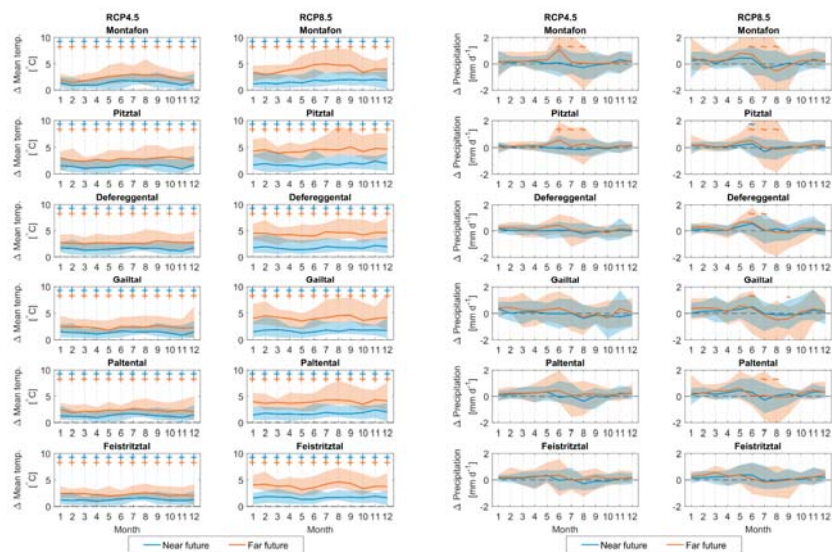
Prenner et al. (2018, 2019, in prep.)



Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

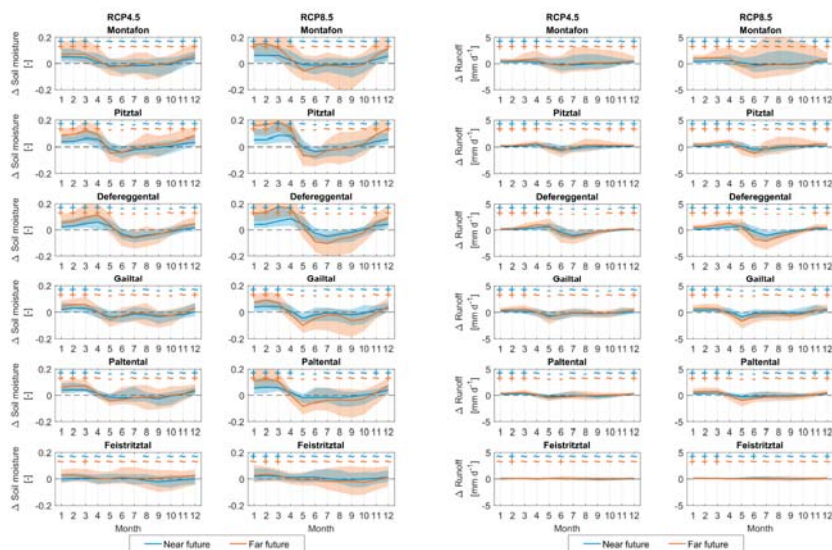
## Klimaprognose (Wegener Center, Uni Graz)

near future (2021-2050)  
far future (2071-2100)



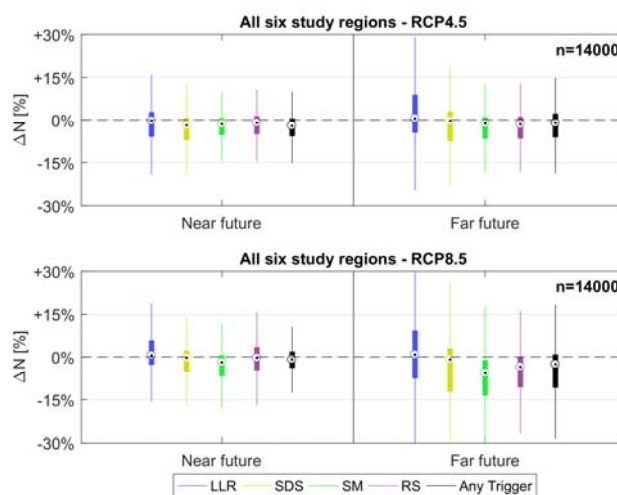
Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

## Hydrologische Auswirkungen



Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

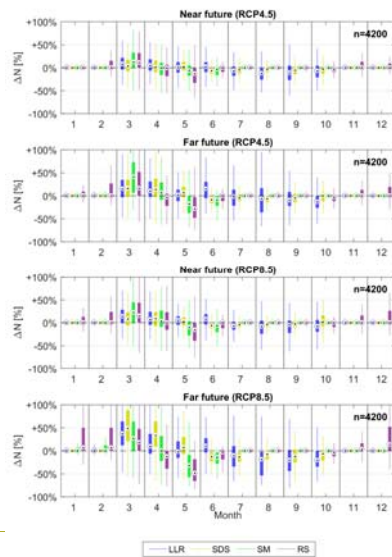
## Auswirkung auf kritische Auslösebedingungen von Muren



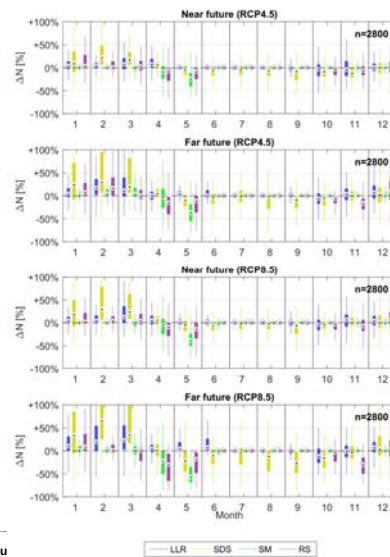
Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

## Saisonal & regional unterschiedlich!

### Montafon



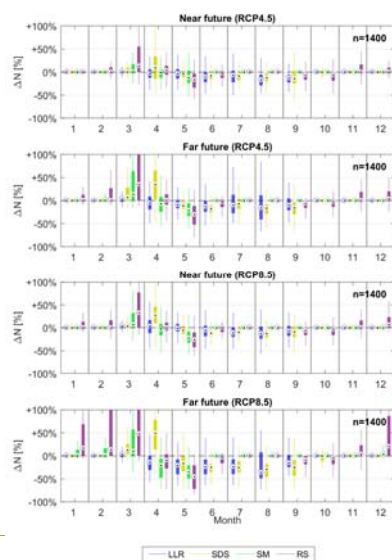
### Gailtal



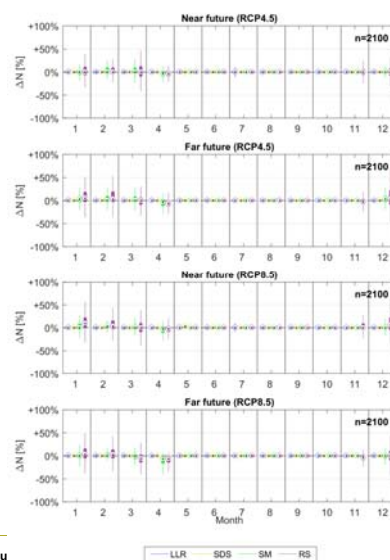
lm- u

## Saisonal & regional unterschiedlich!

### Paltental



### Feistritztal



lm- u

## Erwartungen für die Auswirkung auf den Abfluss

- Von pluvial/nival zu pluvialen Abflussregime
- Reduktion der Schneebedeckung und -dauer
- Tendenziell Erhöhung des Winterabflusses, weniger Abfluss im Sommer
- Niederwasserperiode: Winter → Spätsommer/Herbst
- Anteil des Gletscherabflusses nimmt ab (Huss et al., 2011)
- Mehr Starkregen, höhere Schneegrenze, rain-on-snow → vermehrte HW in kleinen EZGs
- Vorsicht: regional unterschiedlich!

06.09.2019

Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

25

## Steinschlag/Felssturz und Temperatur

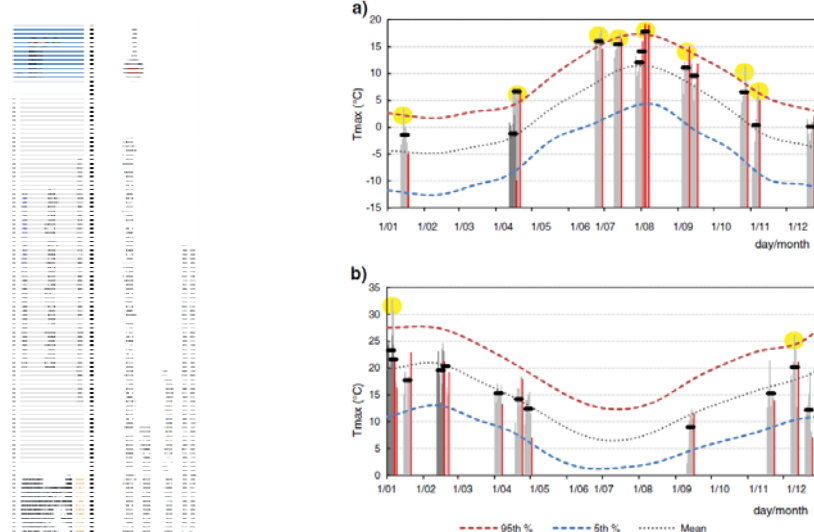


Fig. 3. Daily maximum temperature observed in the 7 days (bars) leading up to each rockfall is plotted relative to the long-term (1971–2000) seasonal climatology for a) the Southern Swiss Alps (St. Bernard climate station) and b) the Southern Alps of New Zealand (Mt. Cook Village climate station). The red bar at the end of each group of 7 days marks the day that the rockfall occurred on. The mean maximum temperature for each 7-day period is indicated by the thick black dash. The upper dashed line indicates the 95th percentile (extremely warm days), lower dashed line indicates the 5th percentile (extremely cold days), and the central dotted line is the long-term mean. Darker gray bars are used when 7-day periods from different years overlap. Extremely warm days are highlighted in yellow circles.

## Steinschlag/Felssturz und Temperatur

- Die Anzahl der Felssturzereignisse ist in den Zentralalpen während der letzten Dekaden gestiegen.
- Viele dieser Ereignisse (besonders die mit wenig Volumen) treten bei extrem warmen Temperaturen auf

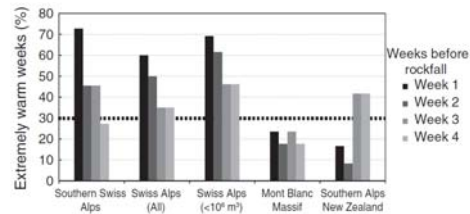


Fig. 7. For the four successive 7-day periods leading up to each rockfall, the observed proportion of these 7-day periods containing one or more extremely warm days (i.e., extreme weeks) is indicated. This is compared to the expected probability (black dashed line) that any given 7-day period would contain one or more extremely warm days. For example, over 70% of the 7-day periods immediately preceding the rockfall events in the Southern Swiss Alps included one or more extremely warm days. Results shown for the Swiss Alps inventory include a subset of rockfalls where volumes are smaller than 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

Felssturz Südliche Finstertarspitze (Jamtal) vom 26.08.2003 ausgelöst durch das vollkommene Auftauen des Permafrosts (siehe abrinnendes Wasser im vom Sturzereignis freigelegten Felsbereich)  
(Quelle: <http://www.geoforum-umhausen.at/>)

Allen und Huggel 2013

Symposium Alm- und Berglandwirtschaft



Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

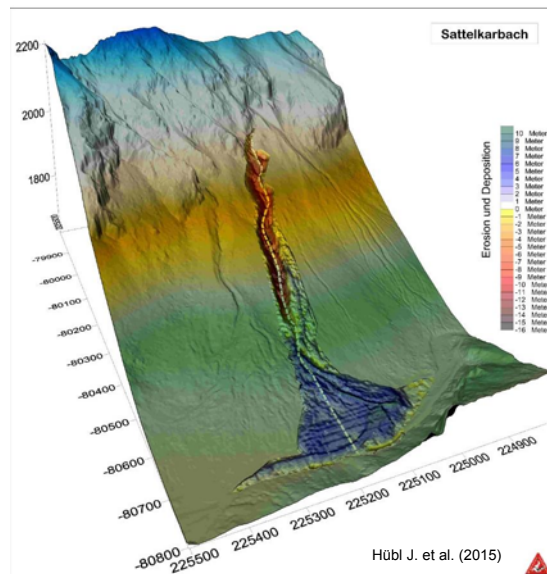
## Sattelkar, Obersulzbachtal (2014)



Video: Daniel Breuer, Quelle: youtube.com

Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

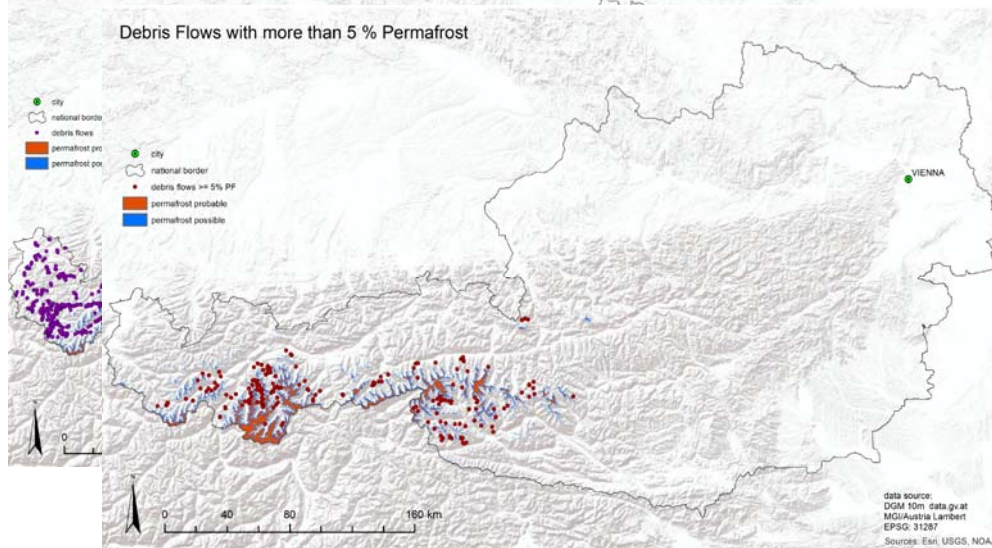
170.000 m³ Ablagerung, 100.000 m³ Erosion



Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

## Muren und Permafrost in Ö

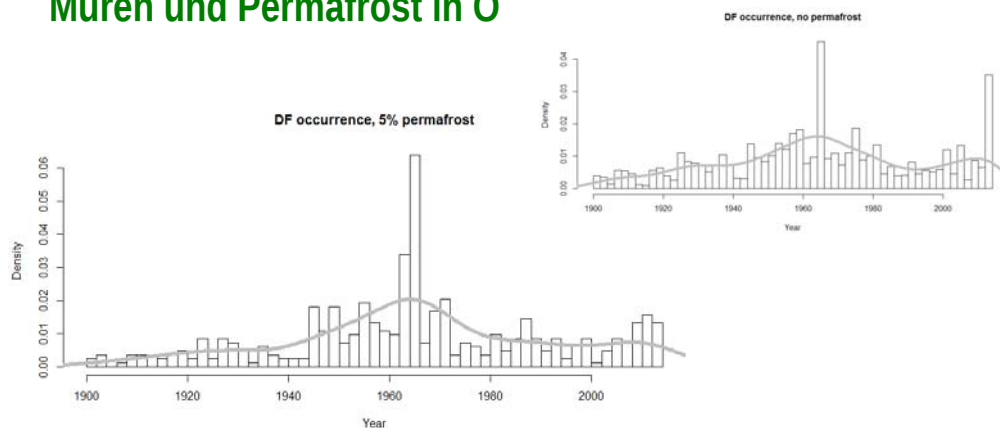
Debris Flows since 1900



Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

Huber & Kaitna (2016)

## Muren und Permafrost in Ö



|                  | Muren seit 1900 | Anzahl der EZGs | Muren pro EZG |
|------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| total            | 4510            | 1907            | 2,4           |
| ≥ 5 % permafrost | 415             | 139             | 3,0           |
| w/o permafrost   | 2224            | 1254            | 1,8           |

Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

Huber & Kaitna (2016)

## Erwartungen für Massenbewegungen

- Erhöhte physikalische Verwitterung in hohen Lagen (Extreme Temperaturen, Frost-Tau Wechsel)
- Höhere Verfügbarkeit von glazialen und peri-glazialen Sediment
- Erhöhte Stabilisierung durch Vegetation?
- Möglichkeit von großen Ereignissen in Regionen die bisher stabil waren
- Veränderungen:
  - Direkt → Auslöser
  - Indirekt → Disposition (kurzfristig – langfristig)

Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

## Almen im Zusammenhang mit Naturgefahren und CC



- Mehr Bio-Masse, bei Verbuschung:
  - ungünstiger Untergrund für Schneestabilität (z.B. Borstgras)
  - verstärkter Oberflächenabfluss (Quelle: <https://tirol.orf.at/v2/news/stories/2976847/>)
- Wald statt Alm:
  - Erhöhte Interzeption und EP (bis 50% bei RCP 8.5), Verminderter jährlicher Abfluss (Strasser et al. 2019; Stella Projekt) → Trockenheit
- Mehr Starkniederschläge (Blöschl et al., 2019):
  - Muren, Hochwasser/Geschiebe, Erosion (Prenner et al., 2018, 2019, in prep.)
- Höhere Temperaturen, häufigere Frost/Tau Zyklen in hohen Lagen
  - Steinschlag / Bergsturz

Symposium Alm- und Berglandwirtschaft

## Hauptprobleme bezüglich einer quantitativen Aussage

- Entstehungsmechanismen oft recht komplex, Vorhersagen für heute Situation mit vielen Unsicherheiten
  - Alpine NatGef Prozesse oft von Vielzahl kleinräumiger Gegebenheiten abhängig – Modelle vereinfacht auf größerer Skala
  - NS Auslöser meist intensive NS kurzer Dauer – Projektionen auf Tagesbasis / Probleme mit Vorhersagen für konvektive Ereignisse
  - Direkte (Auslösung) und indirekte (Disposition) Auswirkungen
  - Auswirkung auf Häufigkeit und/oder Magnitude?
- mehr Monitoring und Dokumentation (Prozessverständnis)
- Messung und Homogenisierung von Daten in entlegenen hochalpinen Regionen

## Zusammenfassung

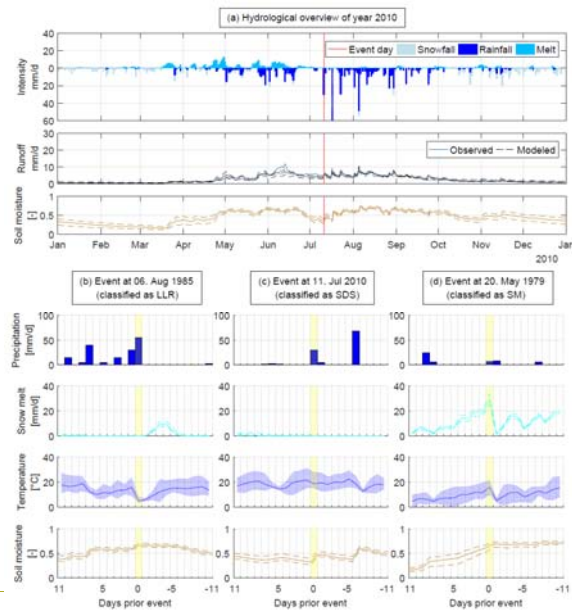
- Glaziale und periglaziale Prozesse werden deutlich vom Klimawandel geprägt (APCC, 2014)
- Der Einfluss des Klimawandels auf gravitative Massenbewegungen ist sichtbar (APCC, 2014)
- Der Einfluss des Klimawandels auf Hochwasser ist sichtbar (Blöschl et al., 2019)
- Einflüsse des Klimawandels auf Lawinen sind in vor allem tieferen Lagen erkennbar (APCC, 2014), möglicherweise Zunahme in mittleren und hohen Lagen
- Große Ereignisse ohne vergleichbare Beobachtungen in der Vergangenheit möglich.
- Viele qualitative Indikatoren, wenig quantitative Resultate.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

## Referenzen und weitere Literatur

- APCC (2014): Zusammenfassung für Entscheidungstragende (ZfE). In: Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich
- Ballesteros-Cánovas, J. A., Trappmann, D., Madrigal-González, J., Eckert, N., & Stoffel, M. (2018). Climate warming enhances snow avalanche risk in the Western Himalayas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(13), 3410–3415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1716913115>
- Bolch et al. (2012) The state and fate of Himalayan glaciers. *Science* 336: 310–314.
- Blöschl et al. (2019) Changing climate both increases and decreases European river floods, *NATURE*
- Castebrunet, H., Eckert, N., Giraud, G., Durand, Y., & Morin, S. (2014). Projected changes of snow conditions and avalanche activity in a warming climate: the French Alps over the 2020&ndash;2050 and 2070&ndash;2100 periods. *The Cryosphere*, 8(5), 1673–1697. <https://doi.org/10.5194/tc-8-1673-2014>
- Hübl J., Beck M., Moser M., Riedl C. (2015) : Ereignisdokumentation 2014. IAN Report 167, Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur – Wien
- IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Huggel et al. (2012). Is climate change responsible for changing landslide activity in high mountains? *Earth Surf. Process. Landforms* 37, 77–91, doi: 10.1002/esp.2223
- Dobler et al. (2010). Assessment of climate change impacts on the hydrology of the Lech Valley in northern Alps. *Journal of Water and Climate Change*, doi: 10.2166/wcc.2010.122
- Gobiet et al. (2013) 21st century climate change in the European Alps—A review. *Science of the Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.07.050
- Huss, M. (2011). Present and future contribution of glacier storage change to runoff from macroscale drainage basins in Europe, *Water Resour. Res.*, 47, W07511, doi:10.1029/2010WR010299
- Jomelli et al. (2006): Is the response of hill slope debris flows to recent climate change univocal? A case study in the Massif des Ecrins (French Alps). *Climatic Change*. doi: 10.1007/s10584-006-9209-0
- Keller et al. (2010): Climate change and geomorphological hazards in the eastern European Alps. *Phil. Trans. R. Soc. A* (2010) 368, 2461–2479, doi:10.1098/rsta.2010.0047
- Martin et al. (2001): Impact of a climate change on avalanche hazard. *Annals of Glaciology*, Volume 32, Number 1, January 2001, pp. 163-167(5)
- Laghari, A.N, Vanham, D. and Rauch, W., 2012. To what extent does climate change result in a shift in Alpine hydrology? A case study in the Austrian Alps. *Hydrological Sciences Journal*, 57 (1), 103–117
- Perzl, F. und Walter, Dagmar (2012): Die Lawinen-Schutzwirkung des Waldes im Klimawandel. BFW – Bundesforschungszentrum für Wald, interner Bericht.
- Prenner, D., Hrachowitz, M., & Kaitna, R. (2019). Trigger characteristics of torrential flows from high to low alpine regions in Austria. *Science of The Total Environment*, 658, 958–972. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.206>
- Prenner, D., Hrachowitz, M., & Kaitna, R. (2019). Trigger characteristics of torrential flows from high to low alpine regions in Austria. *Science of The Total Environment*, 658, 958–972. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.206>
- Stoffel & Huggel (2012): Effects of climate change on mass movements in mountain environments. *Progress in Physical Geography* 2012 36: 421, doi: 10.1177/0309133312441010
- Stoffel et al. (2014): Climate change impacts on mass movements - Case studies from the European Alps. *Science of the Total Environment*, 493, 1255–1266.
- Strasser U., Förster, K., Formayer, H., Hofmeister, F., Marke, H., Meißl, G., Nadeem, I., Stotten, R., Schermer, M. (2019) Storylines of combined future land use and climate scenarios and their hydrological impacts in an Alpine catchment (Brixental/Austria), *Science of The Total Environment*, 657, 746-763, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.077>

## Unterschiedliche Auslösebedingungen!



Prenner et al. (2018), STOTEN