

damit des ETH-Bereichs

Klimawandel im Hochgebirge: Was heisst das für Schnee und Lawinen in Zukunft?

Jürg Schweizer, SLF Davos SGGM Tagung "Klimwandel im Gebirge", Bern, 18. November 2023



Gian bleibt im Gras stecken...

Die Winter sind deutlich wärmer geworden.

Extreme Niederschläge sind nun deutlich häufiger und intensiver.

+2 °C bis +3,5 °C Temperatur im Winter

Winter: Sommer: +10% +20%
Stärkster jährlicher

Eintagesniederschlag

Winter: Sommer: +10% +20% 100-jährlicher Eintagesniederschlag

400m bis 650m Anstieg Nullgradgrenze im Winter

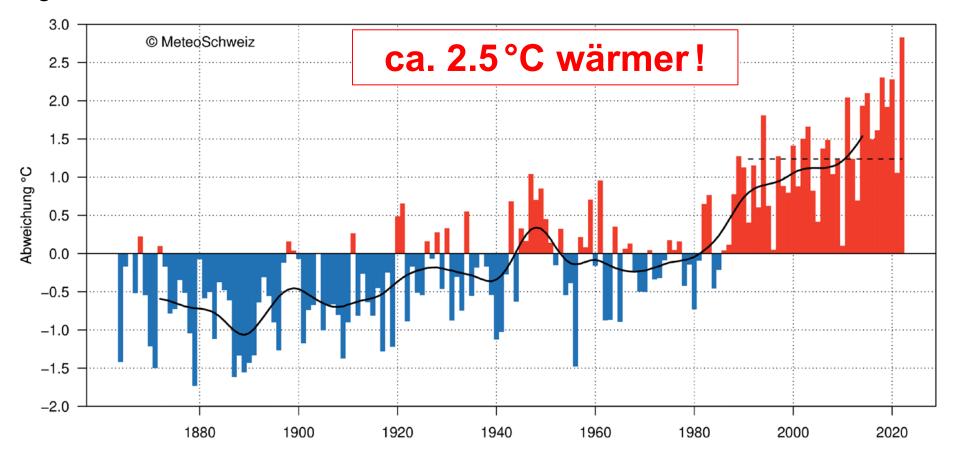
Stattdessen regnet es oft.

Besonders in tiefen Lagen gibt es weniger und seltener Schnee.

Es ist schon wärmer ...

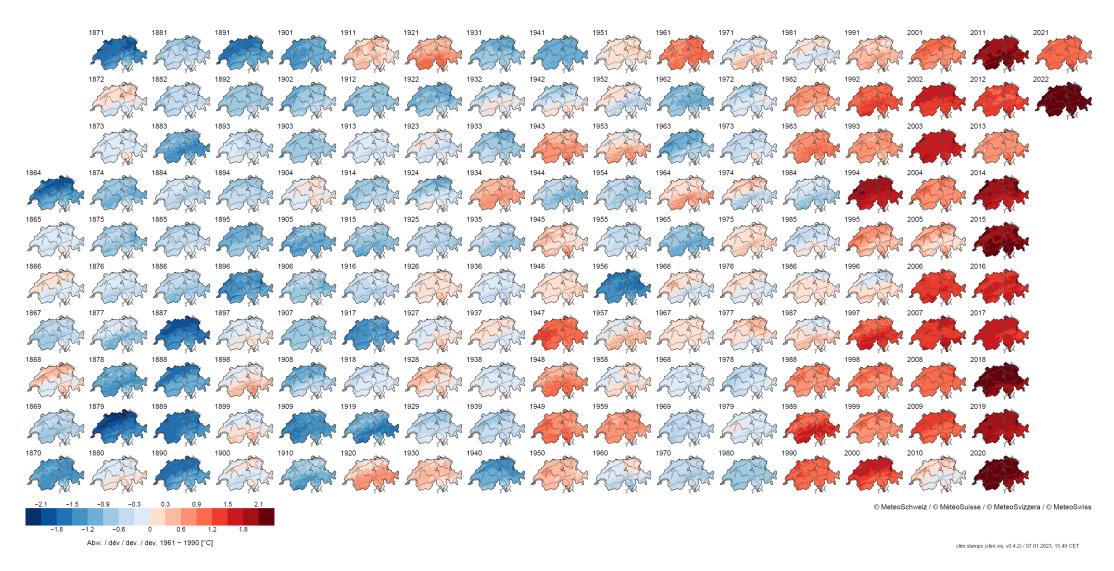
Jahrestemperatur – Schweiz – 1864-2022

Abweichung vom Durchschnitt der Jahre 1961-1990



- Jahre über dem Durchschnitt 1961–1990
- Jahre unter dem Durchschnitt 1961–1990
 - 20-jähriges gewichtetes Mittel (Gauss Tiefpassfilter)
- --- Durchschnitt 1991-2020

Es ist schon wärmer ...

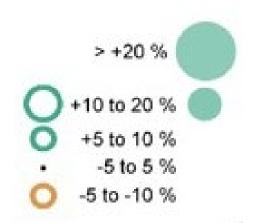


Abweichung vom Durchschnitt der Jahre 1961-1990

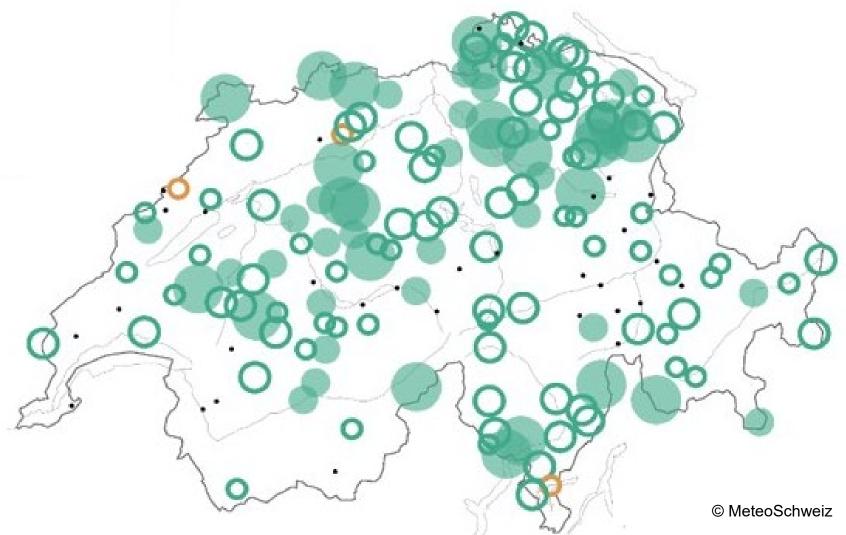
Die Niederschläge sind schon intensiver ...

Trends des stärksten Eintagesniederschlags im Jahr

Beobachtungen 1901 bis 2015

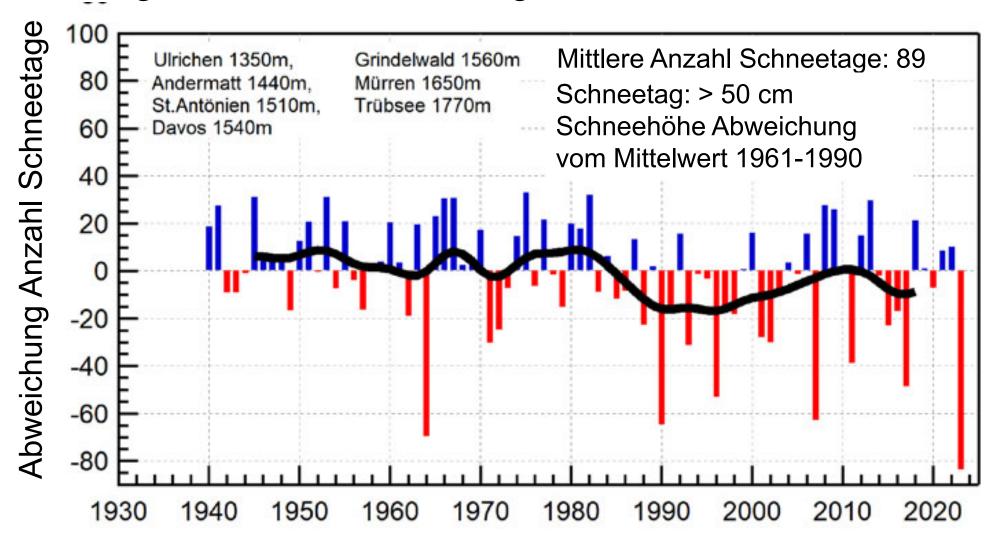


+12% intensiver



Es hat schon weniger Schnee ...

Abweichung der Anzahl Schneetage: 1300-1800 m ü.M.

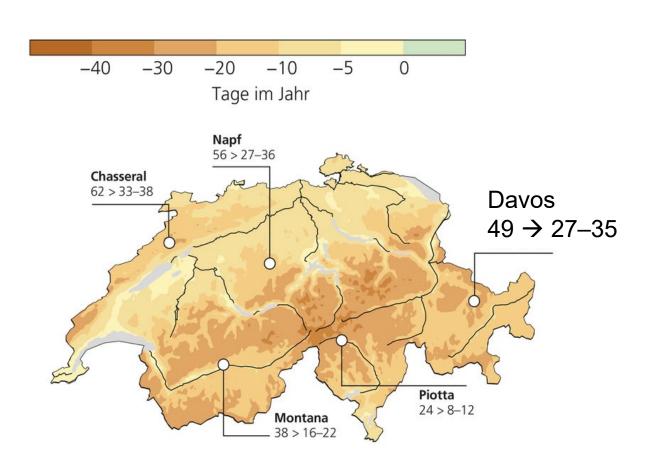


updated nach Marty (2008)

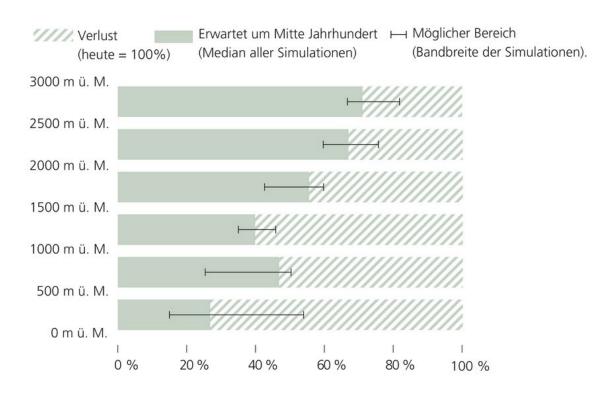


Es gibt noch weniger Schnee ...

Änderung Anzahl Neuschneetage um 2060 (vs. Norm 1981-2010)



Schneebedeckung (SWE) um 2060, in Prozent der Norm



Es gibt noch weniger Schnee ... weniger Lawinen?



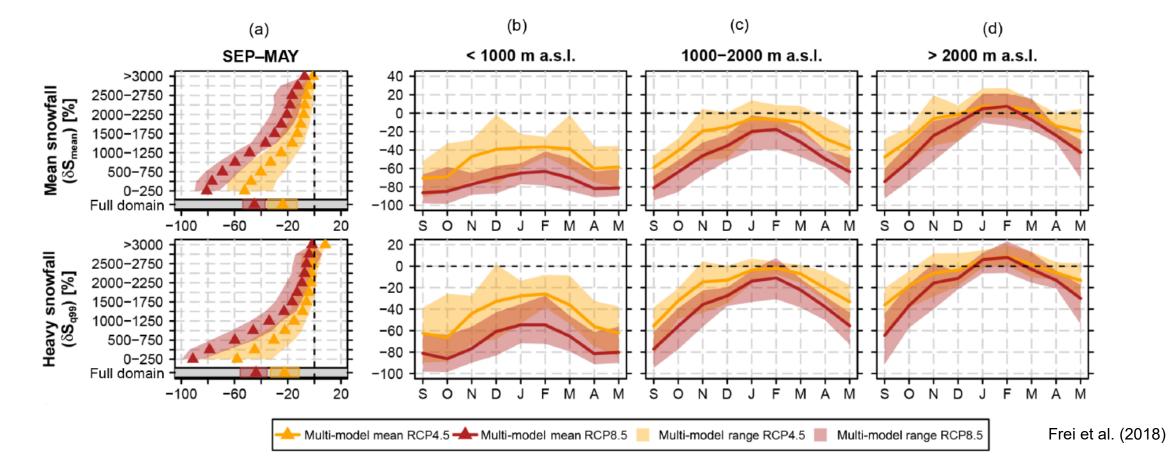
Lawinen - Januar 2018, 2019, 2021



Lawinen - Veränderungen

- Lufttemperatur nimmt zu
- Niederschlag und -intensität nehmen zu (~20 %)

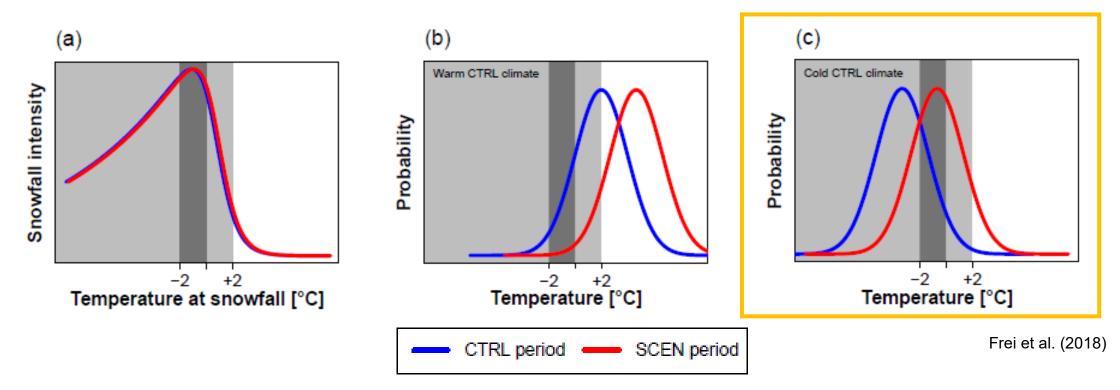
→ Erwärmung führt in höheren Lagen zu höherer Intensität → Mehr Schnee?



Lawinen - Veränderungen

- Lufttemperatur nimmt zu
- Niederschlag und -intensität nehmen zu (~20%)

→ Erwärmung führt in höheren Lagen zu höherer Intensität → Mehr Schnee?

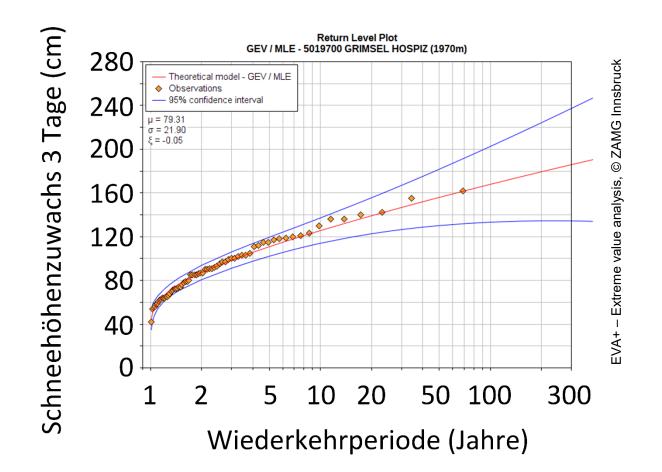


Durch die Erwärmung kommt die Temperatur in höheren Lagen in den Bereich (~ 2 °C), in dem der Schneefall am intensivsten ist.

Lawinen – Veränderungen im Anrissgebiet

- Lufttemperatur nimmt zu
- Niederschlag und -intensität nehmen zu (~20 %)

→ Erwärmung führt in höheren Lagen zu höherer Intensität → Mehr Schnee?

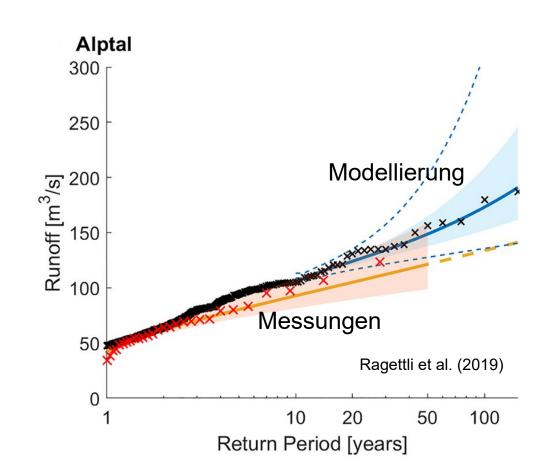


T (Jahre)	dHS (cm)	%
30	147	
100	168	+14
300	186	+11

Ein 100-jähriges Ereignis könnte zu einem 30-jährigen Ereignis werden.

Lawinen – Veränderungen im Anrissgebiet

- Lufttemperatur nimmt zu
- Niederschlag und -intensität nehmen zu (~20%)



→ Erwärmung führt in höheren Lagen zu höherer Intensität → Mehr Schnee?

- Instationären Zustand, Unsicherheit
 → Business as usual?
- Modellierung Niederschlag mit Stundenwerten und «Weather generator» zeigt, dass beim Abfluss höhere Werte bei gleicher Wiederkehrdauer zu erwarten sind.

Lawinen – Veränderungen im Fliessverhalten



Lawinen – Veränderungen im Fliessverhalten

kalt





«warm»

> -1 °C

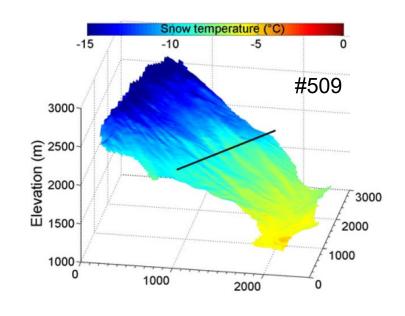
Steinkogler et al. (2015)

Lawinen – Veränderungen im Fliessverhalten

Einfluss Schneetemperatur

kalt

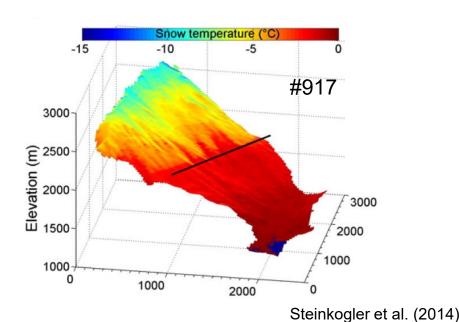
50 m/s Powder cloud





warm

25 m/s levees, flow-fingers

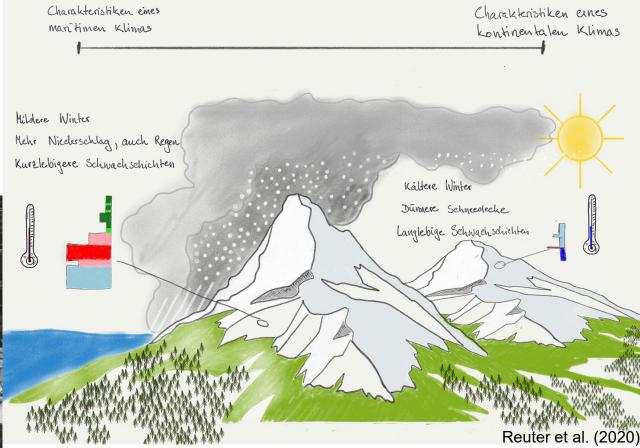




Lawinen – Veränderungen Schneedeckenaufbau

- Lufttemperatur nimmt zu
- Niederschlag und -intensität nehmen zu (~20 %)
 - → Schwachschichten?





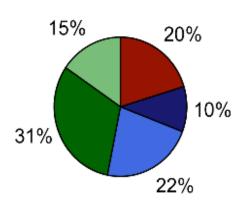
8.-10. März 2017

Sehr hohe Lawinenaktivität bei «mittlerem» Schneefall aufgrund des schlechten Schneedeckenaufbaus

Lawinen – Veränderungen «Lawinenprobleme»

- Lufttemperatur nimmt zu
- Niederschlag und -intensität nehmen zu (~20 %)

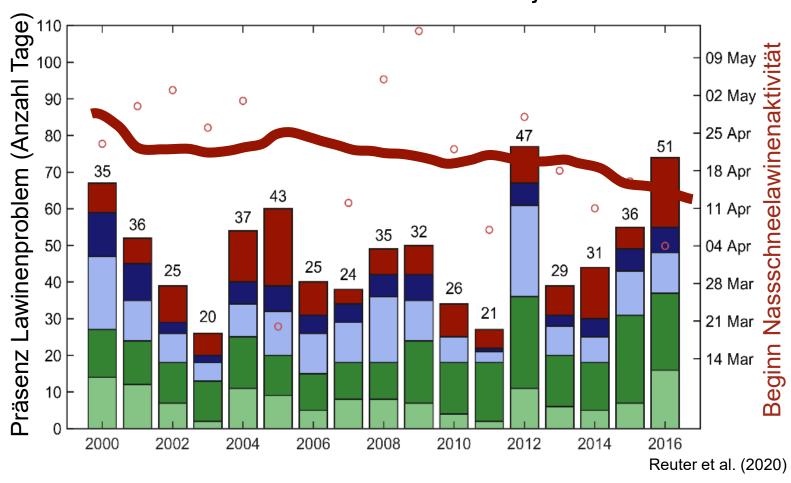
→ Lawinenprobleme?



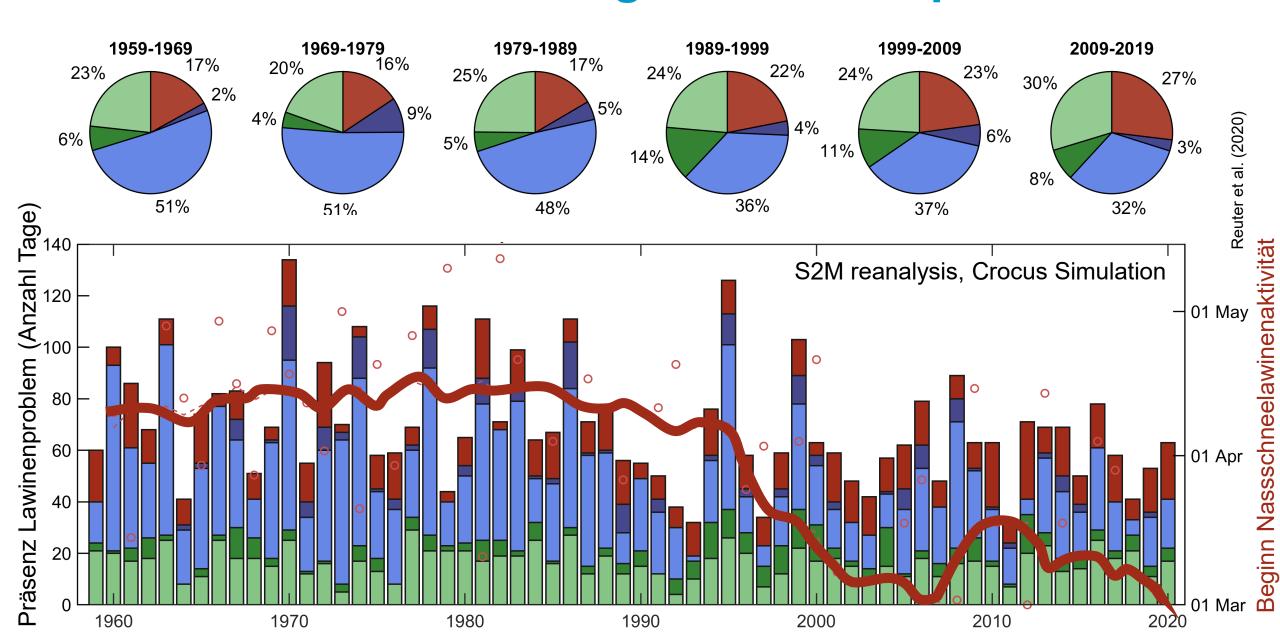
Von unten nach oben:

- Neuschnee
- Triebschnee
- Altschnee (persistent, aging persistent)
- Nassschnee

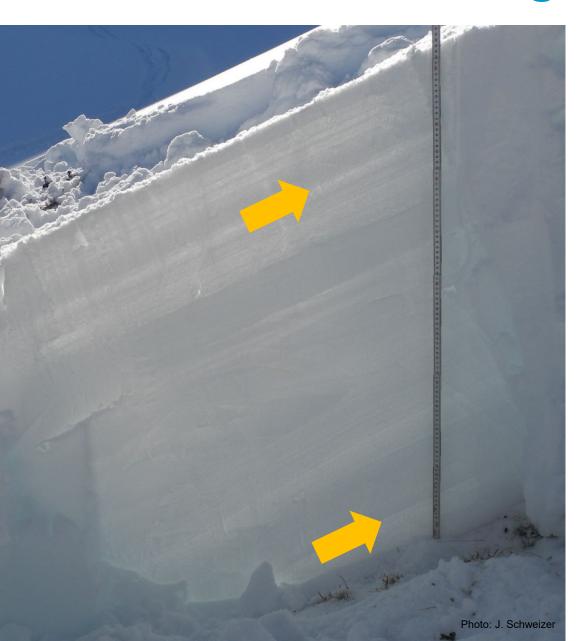
Schneedeckensimulation Weissfluhjoch 2000-2017

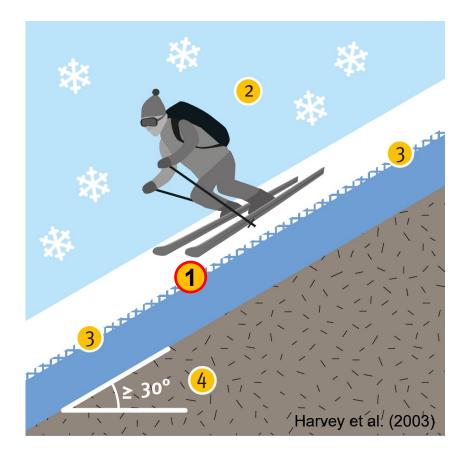


Lawinen – Veränderungen «Lawinenprobleme»



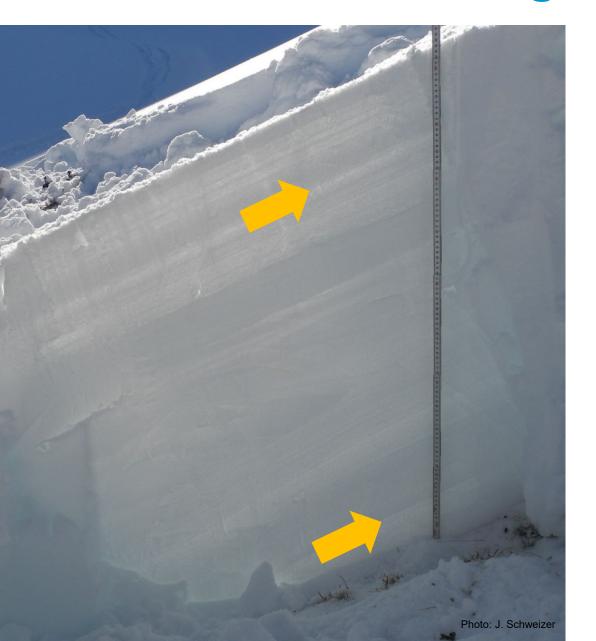
Lawinen – Schichtung der Schneedecke

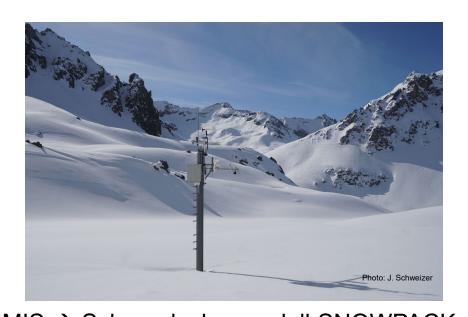




Schwache Schicht unter zumindest leicht verfestigten Schichten.

Lawinen – Schichtung der Schneedecke modellieren



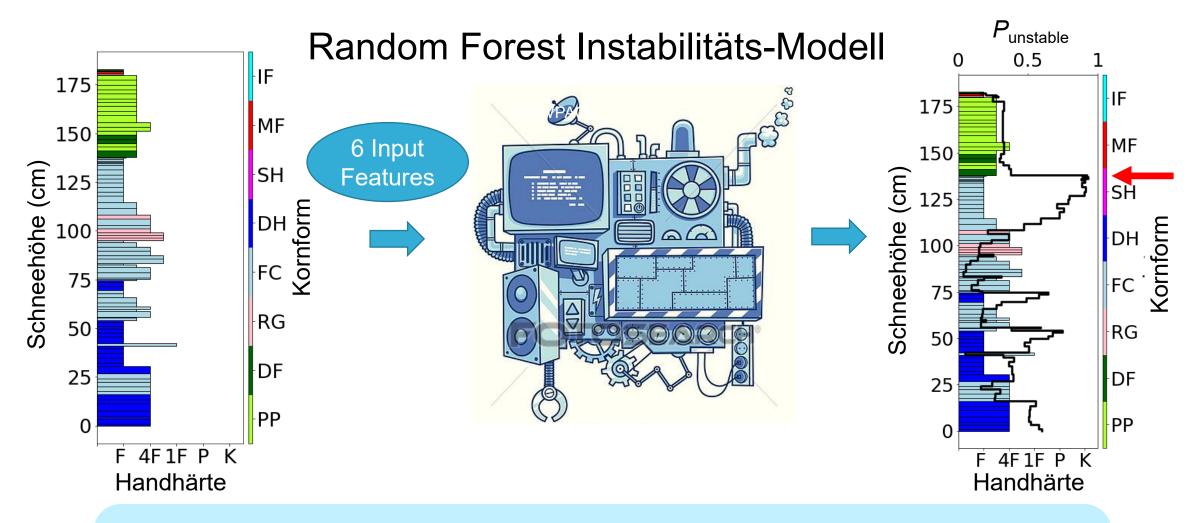


IMIS → Schneedeckenmodell SNOWPACK

200
Schneedeckenstabilität

100
1 Okt 1 Dez 1 Feb 1 Apr

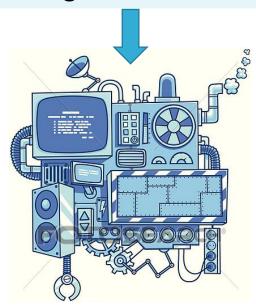
Lawinen – Veränderungen Schneedeckenstabilität



Für ein bestimmtes, simuliertes Schneeprofil wird die Wahrscheinlichkeit berechnet, dass die Kombination einer bestimmten Schicht und des darüberliegenden Schneebretts eine potenzielle Instabilität darstellen könnte.

Veränderungen der Anzahl Lawinentage

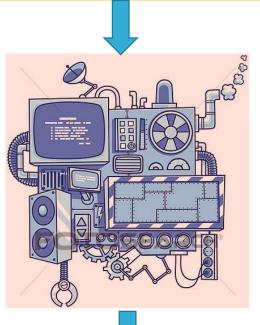
6 Features: Schicht und darüberliegendes Schneebrett





(Mayer et al., 2022, 2023)

Wahrscheinlichkeit für Lawinentag (trockene Lawinen) 40 Features: Schneedeckenund Wetterparameter

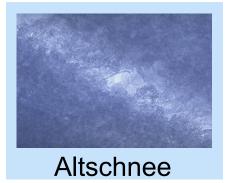


(Hendrick et al., 2023)

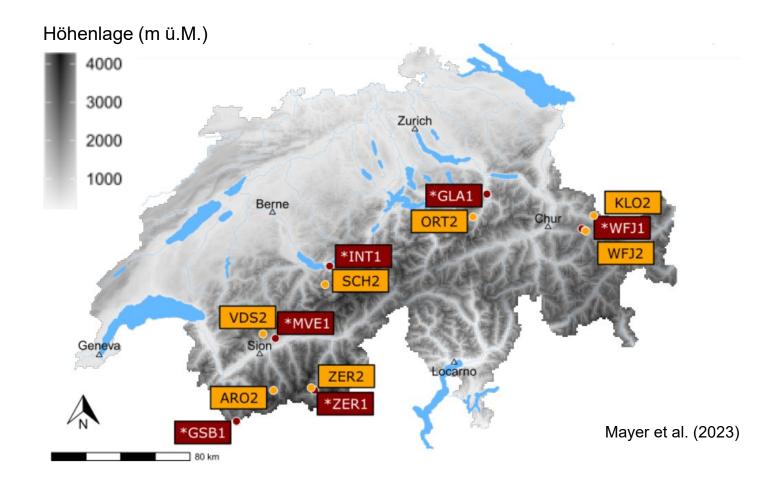
Wahrscheinlichkeit für Lawinentag (nasse Lawinen)

Veränderungen der Anzahl Lawinentage



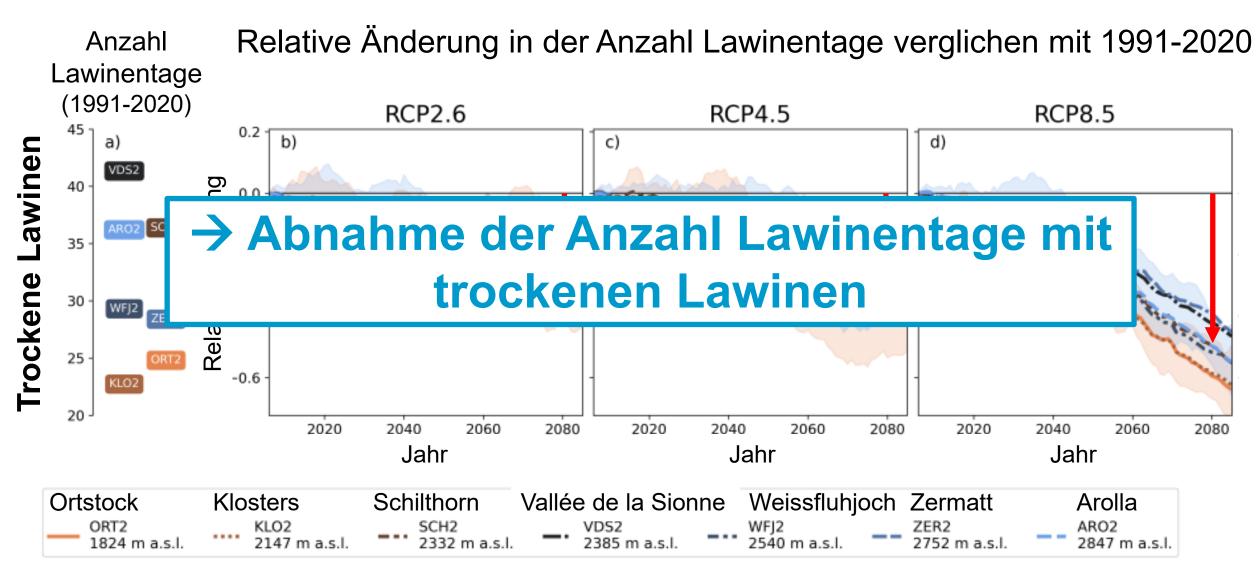




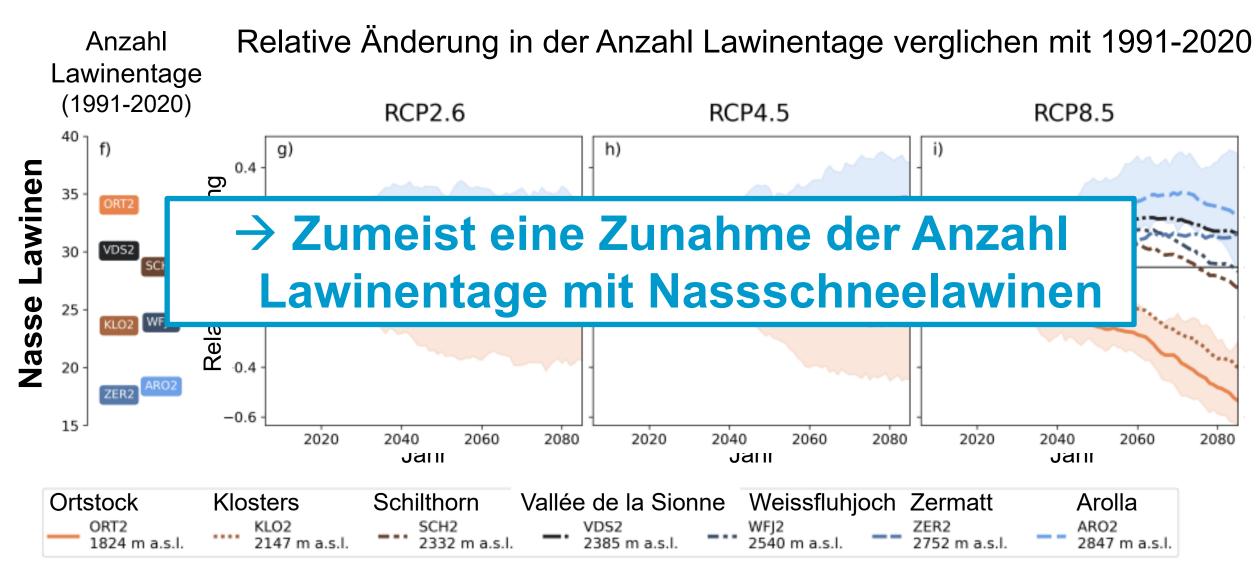


Ziel → Modellierung der zukünftigen Veränderung der Anzahl Lawinentage oberhalb von 1800 m ü.M. basierend auf Schneedeckensimulation

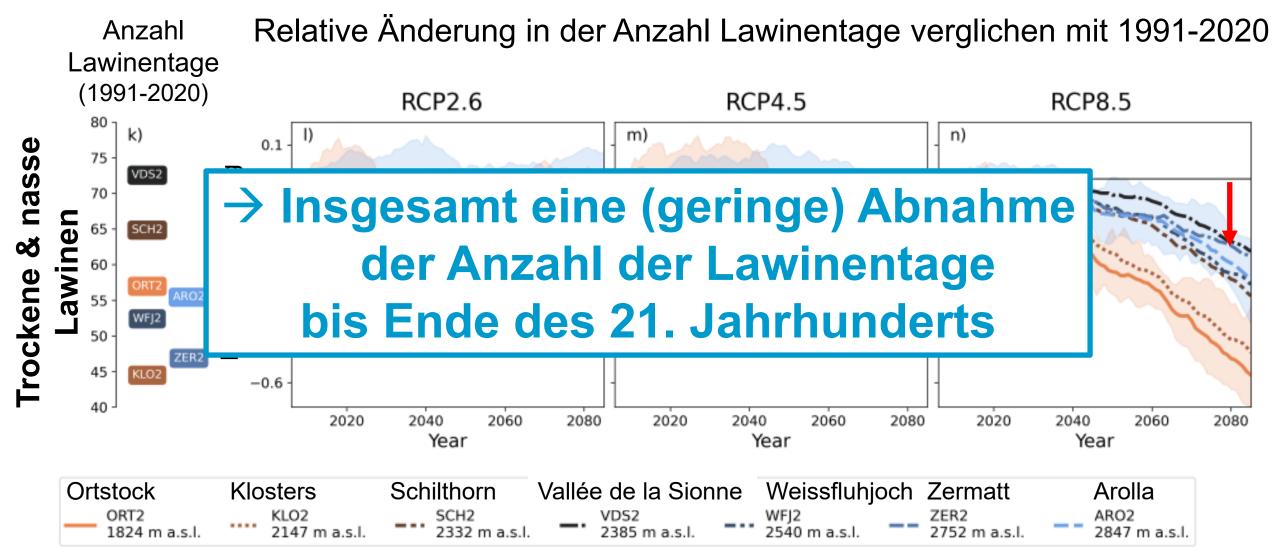
Veränderungen der Anzahl Lawinentage: trocken



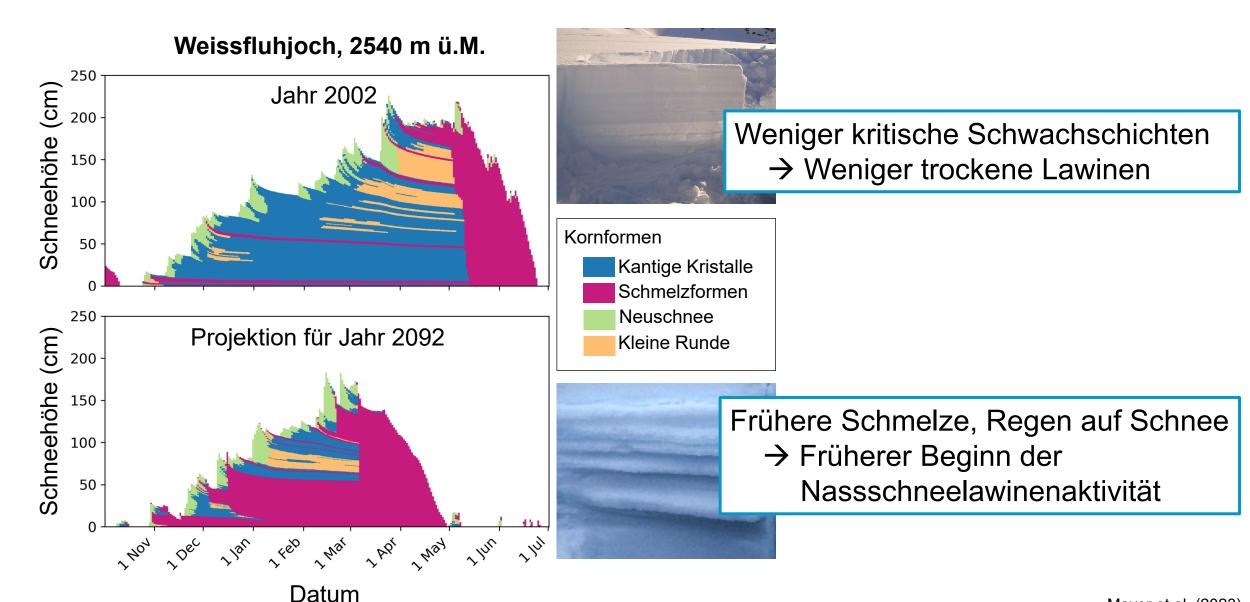
Veränderungen der Anzahl Lawinentage: nass



Veränderungen der Anzahl Lawinentage: insgesamt



Lawinen – Schichtung der Schneedecke



Es gibt noch weniger Schnee ... weniger Lawinen?

