

# Effects of forest disturbances on snowpack and avalanche formation – implications for protective forest management

Dr. Michaela Teich

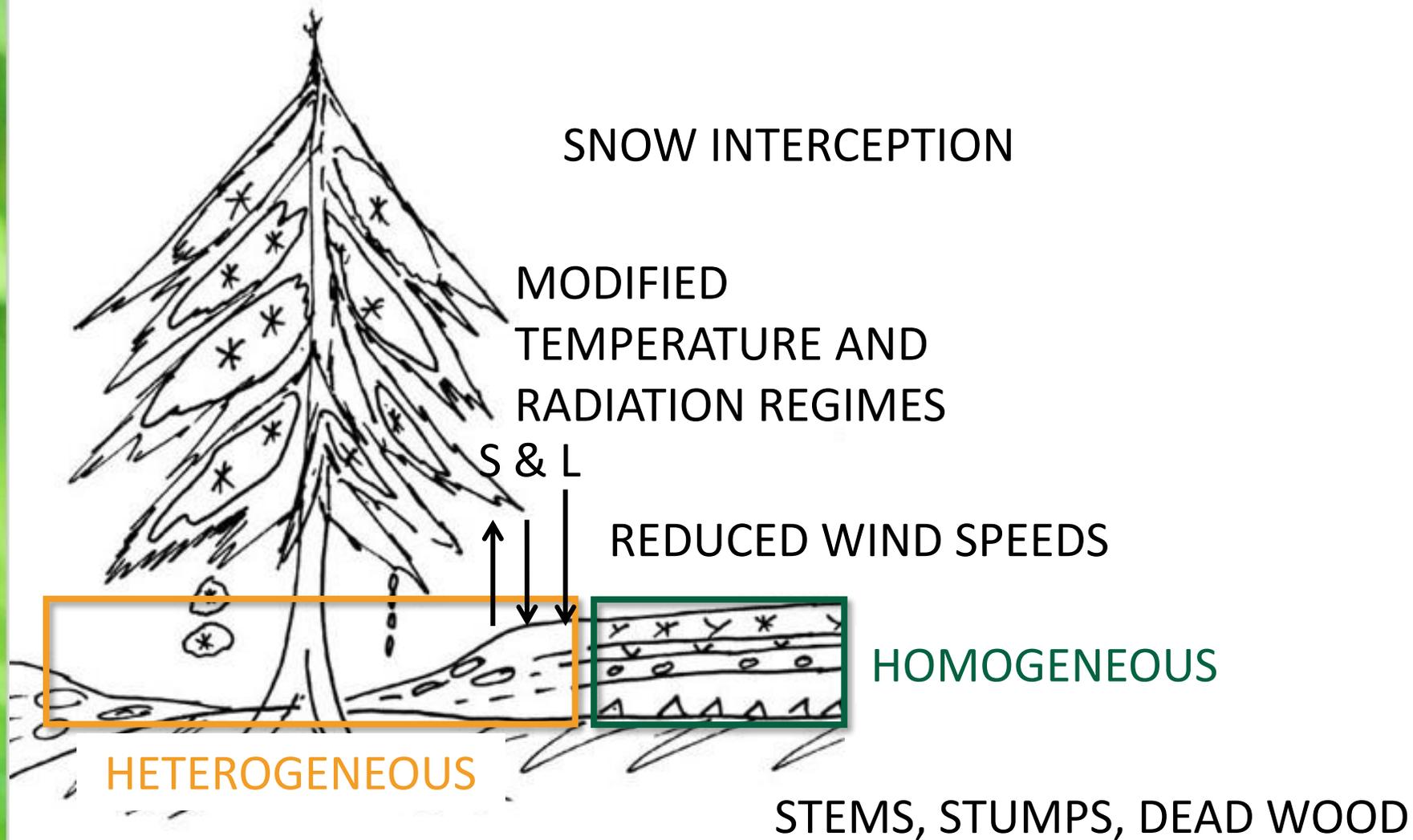
Department of Natural Hazards

WPMMW Workshop ‘Protective Forest Management after large-scale disturbances in AT and SI’

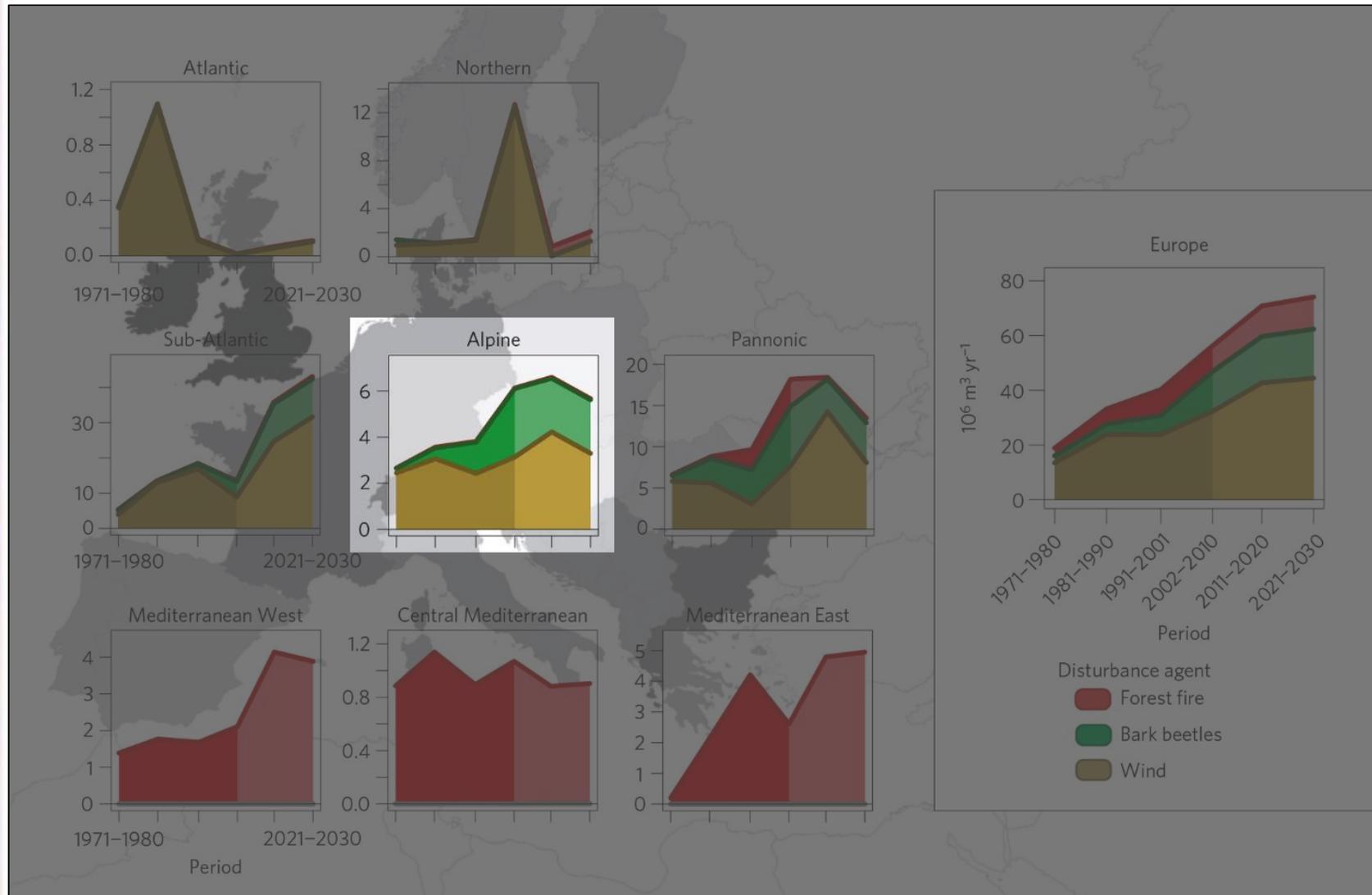
Salvage  
logging  
OR  
leaving dead  
trees in place?



# Forest protects against avalanche release...



# ...but forests are changing...

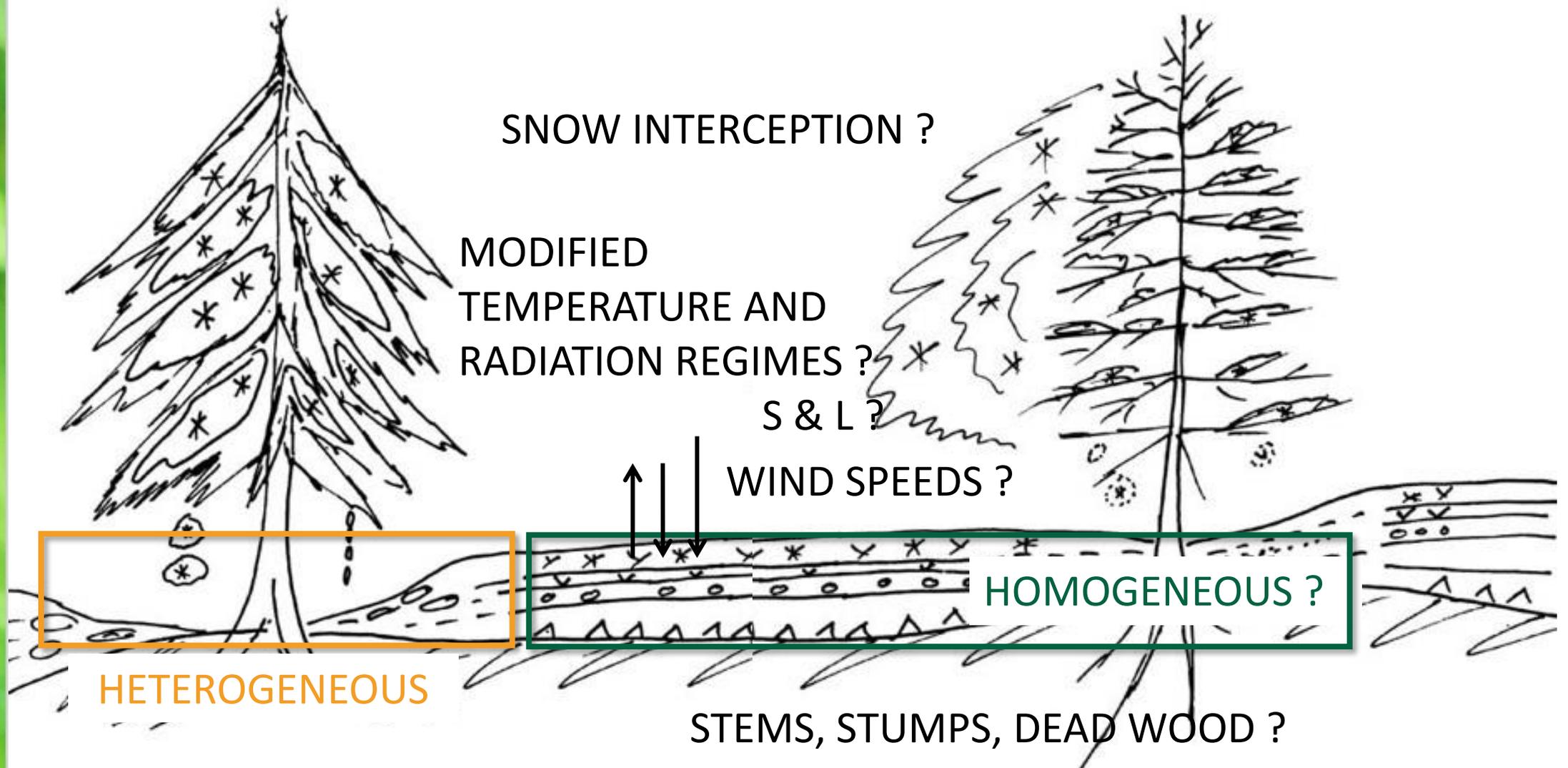


## Forest disturbance damage in Europe 1971–2030 [millions of m<sup>3</sup> of timber yr<sup>-1</sup>]

Note the different scales on individual panels.

Lighter hues = Predictions assuming business-as-usual forest management, representing the median over an ensemble of scenarios of future climate and forest growth.

# .....and so does the protective effect ?



# What does science say?

**5 peer-reviewed articles,** addressing changes in protective effects after **WINDTHROW:**

- Frey & Thee 2002
- Rammig et al. 2007
- Bebi et al. 2015
- Wohlgemuth et al. 2017
- Baggio et al. 2022

They are...

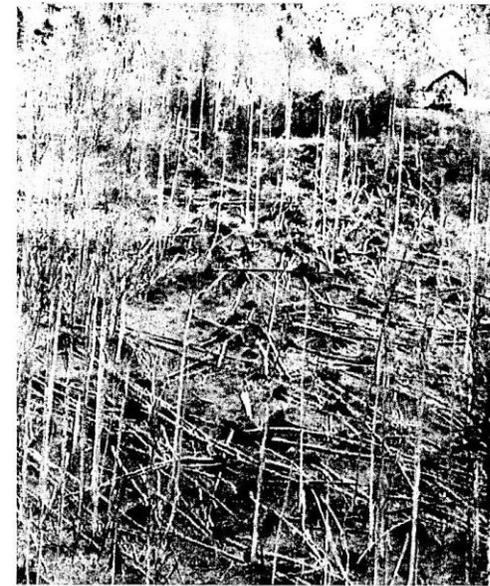
- ...all from Switzerland,
- ...mainly following storm Vivian from Feb. 1990,
- ...not looking into the snowpack.

Der Orkan «Vivian» hat seit Wochenbeginn in Europa mindestens 60 Menschenleben gefordert und Schäden in zweistelliger Milliardenhöhe angerichtet. Die Wetterlage hatte sich am Mittwoch zusehends beruhigt, und die vom Sturm unterbrochenen Verkehrsverbindungen auf Schiene und Strasse konnten vielerorts wieder instandgestellt werden. Die Meteorologen erwarteten für Donnerstag jedoch eine Front kalter Polarluft und Schneefälle bis ins Flachland sowie eine verschärfte Lawinengefahr in den Alpen. Katastrophale Folgen hatte der «Jahrhundertsturm» im Schweizer Wald. Weit über eine Million Kubikmeter Holz wurden gefällt.

## Der Sturm wütete verheerend

Das genaue Ausmass der Unwetterschäden in den sechs Ostschweizer Kantonen Glarus, Graubünden, St. Gallen, Thurgau, Schaffhausen und Zürich kann voraussichtlich noch auf Wochen hinaus nicht genau beziffert werden. Am Mittwoch gingen bei den kantonalen Stellen laufend Schadenmeldungen ein. «Wir sitzen den ganzen Tag am Telefon und nehmen die Meldungen entgegen, einen Überblick haben wir allerdings noch nicht», war die übereinstimmende Auskunft bei den verschiedenen Ämtern. Der Schaden in den sechs Kantonen dürfte nach vorsichtigen Schätzungen 30 Millionen Franken übersteigen. Dazu kommt der Schaden, der schon vorher bei drei weiteren Unwettern in den Monaten Januar und Februar entstanden ist.

**Mehr als 300 Hektaren abgeholzt**  
Vermutlich am stärksten in Mitleidenenschaft gezogen wurden die beiden Kantone Glarus und Graubünden. «Ein solches Unwetter haben wir bei uns seit Menschengedenken nicht mehr erlebt», wertete Fritz Marti, stellvertretender Kantonsoberförster in Glarus, das Geschehen der letzten Tage. Allein im



Wie hier bei Grafenort OW wurden vom Orkan ganze Waldpartien weggefegt. Lawinen und Steinschlag zerstört wurden. Aufforstungen und Verbauungen von der Schaff (Buwal) noch jahrelang grosse Anstrengungen und finanzielle Hilfe erfordern.

Kanton Glarus hat der Sturm insgesamt rund 200 Hektaren Wald gefällt. Marti blickt in eine schwere Zukunft: «Es dürfte bis zu drei Jahren dauern, bis die Schadengebiete wieder aufgerüstet und das Holz aus dem Wald weggeschafft ist. Wir müssen uns beeilen, damit es nicht zu einer Borkenkäfer-Epidemie kommt. Auch wissen wir noch nicht, ob wir auf dem abgeholzten Waldgebiet Schutzverbauungen gegen Lawinen und Erdrutsche errichten müssen.» Rund hundert Hektaren Wald fielen dem Unwetter im Kanton Graubünden zum Opfer. Besonders betroffen waren hier die Regionen Cadi im Bündner Oberland, das Prattigau und die Herrschaft im Rheintal. «Der Waldschaden lasst sich im Moment kaum abschätzen, auch weil verschiedene Gebiete im Moment nur schwer zugänglich sind», gab der stellvertretende Forstinspektor Hans-Peter Nold zu bedenken.

**Bahnverkehr normalisiert**  
Weitgehend normalisiert hat sich dagegen der Reiseverkehr bei den SBB. Die Blauern, die praktisch das gesamte SBB-Netz in der Ostschweiz lahmgelegt hatten, sind weggeräumt, die meisten Fahr-

leitungsschäden behoben. Zu längeren Störungen kommt es noch auf der Linie Zürich-Chur, die zwischen Pfäffikon und Wädenswil noch während einer Woche nur einspurig offen sein wird. Die Schnellzüge verkehren aber fahrplanmässig, der Regionalverkehr auf dieser Strecke wird dagegen noch bis zum 5. März mit Bussen weitergeführt. «Ab zehn Uhr nachts wird der Bahnhof Pfäffikon ganz geschlossen», sagte SBB-Sprecher Harry Graf. «damit wir die Aufräumarbeiten zügig durchführen können.» Die Spätschnellzüge nach Chur werden während dieser Zeit umgeleitet.

**Mattertal abgeschnitten**  
Mit grossen Problemen hatte am Mittwoch das Wallis und insbesondere das Saasertal zu kämpfen, wo 250 Zivilschutz-Angehörige sowie zwei Züge einer in der Umgebung stationierten Militäreinheit die Aufräumarbeiten an die Hand nahmen. Gegen 100 Menschen mussten am Dienstag abend evakuiert werden, als Dächer von Hotels und Ferienhäusern durch die Windböen weggerissen wurden. Präkar war die Lage auch im von der



Not much.

Waldschäden nach Unwetter in der Schweiz. (Foto: Keystone)

## Vermutlich zwei Mio. Kubikmeter Fallholz

Die Stürme, die anfangs Woche über die Schweiz hinwegfegten, haben dem Wald stark zugefügt. Über anderthalb Millionen Kubikmeter Fallholz wurden bisher registriert, und noch immer kommen Meldungen aus den Kantonen beim Bund ein. Wie Andreas Semadeni, Chef der Abteilung Wald der Eidgenössischen Forstdirektion, am Freitag bestätigte, muss mit zwei Millionen Kubikmeter Fallholz gerechnet werden.

Bern (sda). Genauere Zahlen könne er noch nicht angeben, denn viele Gebiete seien noch gar nicht zugänglich, erklärte Semadeni weiter. Auch sei manchenorts noch nicht klar, ob noch stehende, aber beschädigte Bäume umgelegt werden müssten. Das genaue Schadenausmass stehe erst fest, wenn sämtliche Räumungsarbeiten zu Ende geführt seien.

man in Graubünden sturmbedingte Zwangsnutzungen von 187 000 Kubikmeter.  
Die Schwerpunkte dieser Schadenereignisse konzentrieren sich auf die Räume des Kreises Disentis in der Surgetal, auf das Vals, das Vorderprättigau und das Schanfigg. Vierorts traten eigentliche Flächenwindwürfe ein, was zu vielfältigen und noch nicht

Alxalp für den Verkehr bedingte geben. Wie der Führungsstab der Oberländer Gemeinde mit der Strasse in Intervallen jeweils Stunden geschlossen und 30 Minuten geöffnet. Auf Strom müssen wohner auf der Axalp jedoch etwa am 17. März warten; für den dringendsten Bedürfnisse wurde stromaggregate installiert.



Sturmschäden im Wald von Grafenort OW. (Foto: Keystone)

Die Sturmschäden im Bündner Wald, ein Jahrhundertereignis, übersehbaren Auswirkungen führen kann. In bestimmten Gemeinden beträgt die Schäden bis zu 100 000 Kubikmeter.

Probleme ergeben sich auch bei der Wasserversorgung: Die Hauptleitung für ein. Eine erste Notleitungs wegen des Kälteeinbruchs das Schicksal. Im Verlauf des Freitags mittags wollen die Behörden nachsuchen, über eine zweite Notleitungs Wasser auf die Axalp zu pumpen. Sollte dieses Unterfangen misslingen, würde ein Tankwagen Wasserversorgung sicherstellen.

### Im Kanton Luzern über 100 000 m3 Wald geschädigt

Auch im Kanton Luzern haben die Stürme der vergangenen Tage beträchtlichen Waldschaden angerichtet. Die Schadholzmenge beträgt 100 000 Kubikmeter, wie der Kantonsoberförster Otto B. Donnerstag an einer Tagung der Arbeitsgemeinschaft Luzerner Bergbauern (ALB) in Wolhusen bekanntgab. Die Menge entspricht der Hälfte der Holzmenge, die im Kanton Luzern in der letzten Woche meist geschädigt wurden die entlang dem Pilatus-Massiv.

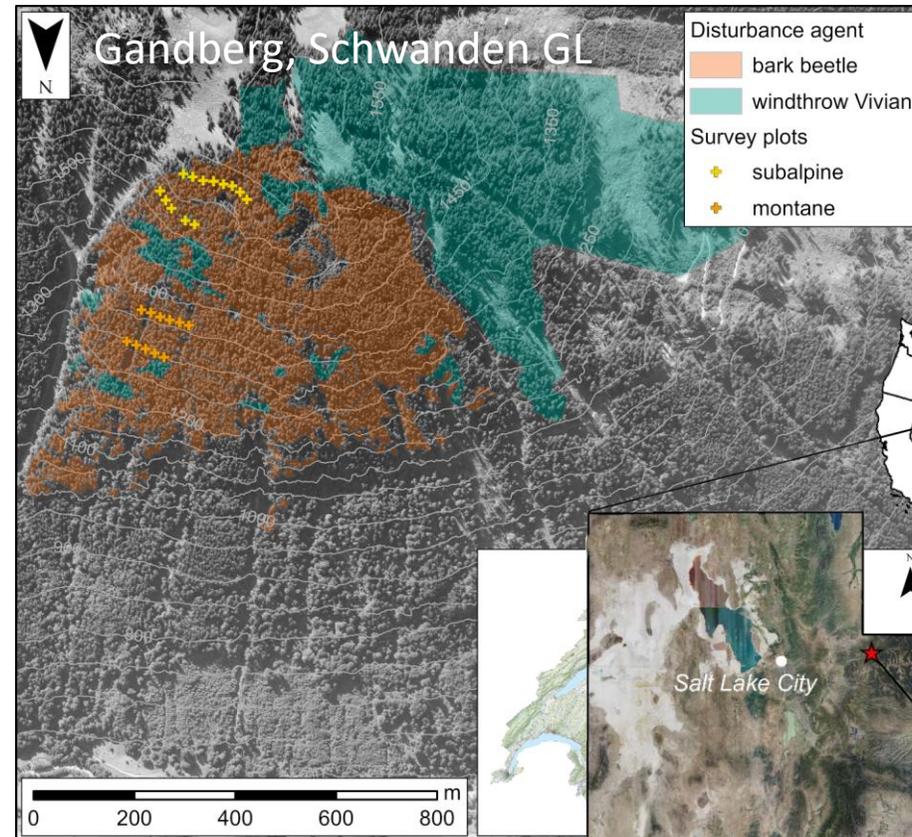
Sources: Freiburger Nachrichten & Der Bund 1/3 March 1990

# How about bark beetle outbreaks?

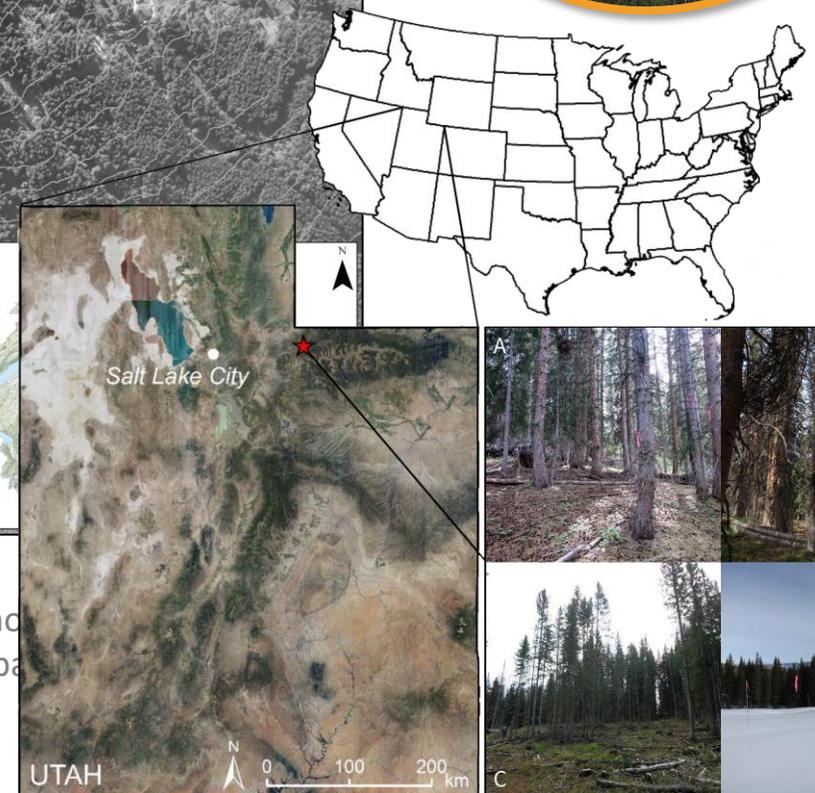
## 3 peer-reviewed articles:

- Kupferschmid et al. 2003
- Teich et al. 2019
- Caduff et al. 2022

- 2 of them from Switzerland conducted in one Norway spruce (*Picea abies*) stand.
- 1 conducted in the USA in an Engelmann spruce (*Picea engelmannii*) forest,
- ...which is the only one looking into the snowpack.



Source: Caduff et al. 2022  
Data from Kupferschmid 2003. Ortho showing dense forest before disturbance



Source: Teich et al. 2019 (adapted)

# Some science is better than no science

Eur J Forest Res  
DOI 10.1007/s10342-017-1031-x



ORIGINAL PAPER

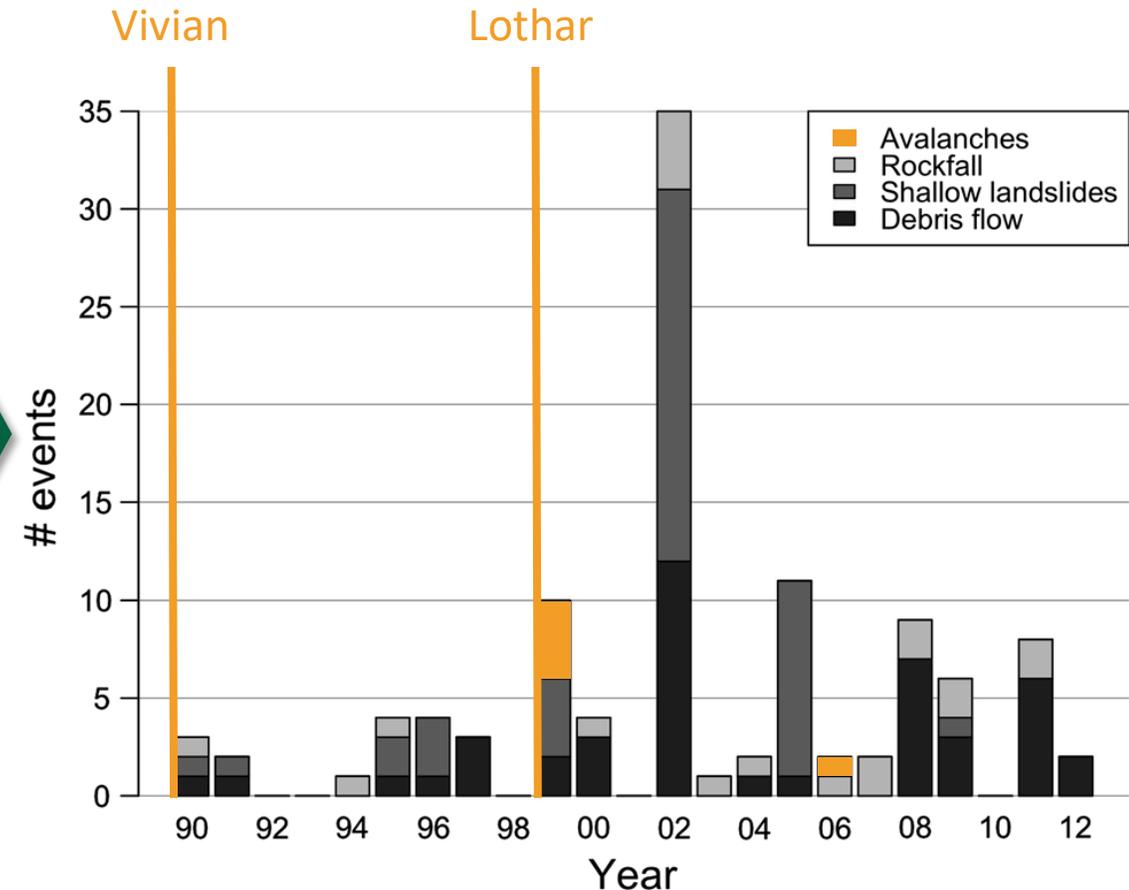
## Post-windthrow management in protection forests of the Swiss Alps

Thomas Wohlgemuth<sup>1</sup> · Raphael Schwitter<sup>2</sup> · Peter Bebi<sup>3</sup> · Flurin Sutter<sup>1</sup> · Peter Brang<sup>1</sup>

### Methods: combination of...

- repeated pulling experiments and long-term analysis of stem movements,
  - evaluation of protective effects based on (1) crown coverage; (2) number of stems ha<sup>-1</sup> for various dbh and slope classes; (3) ratio current tree top height : 30-year maximum snow depth, (4) slope-dependent gap length and width,
  - tree regeneration assessments,
  - practitioner rating of protective effects
- ...in uncleared, cleared and cleared/planted windthrow areas.

related to



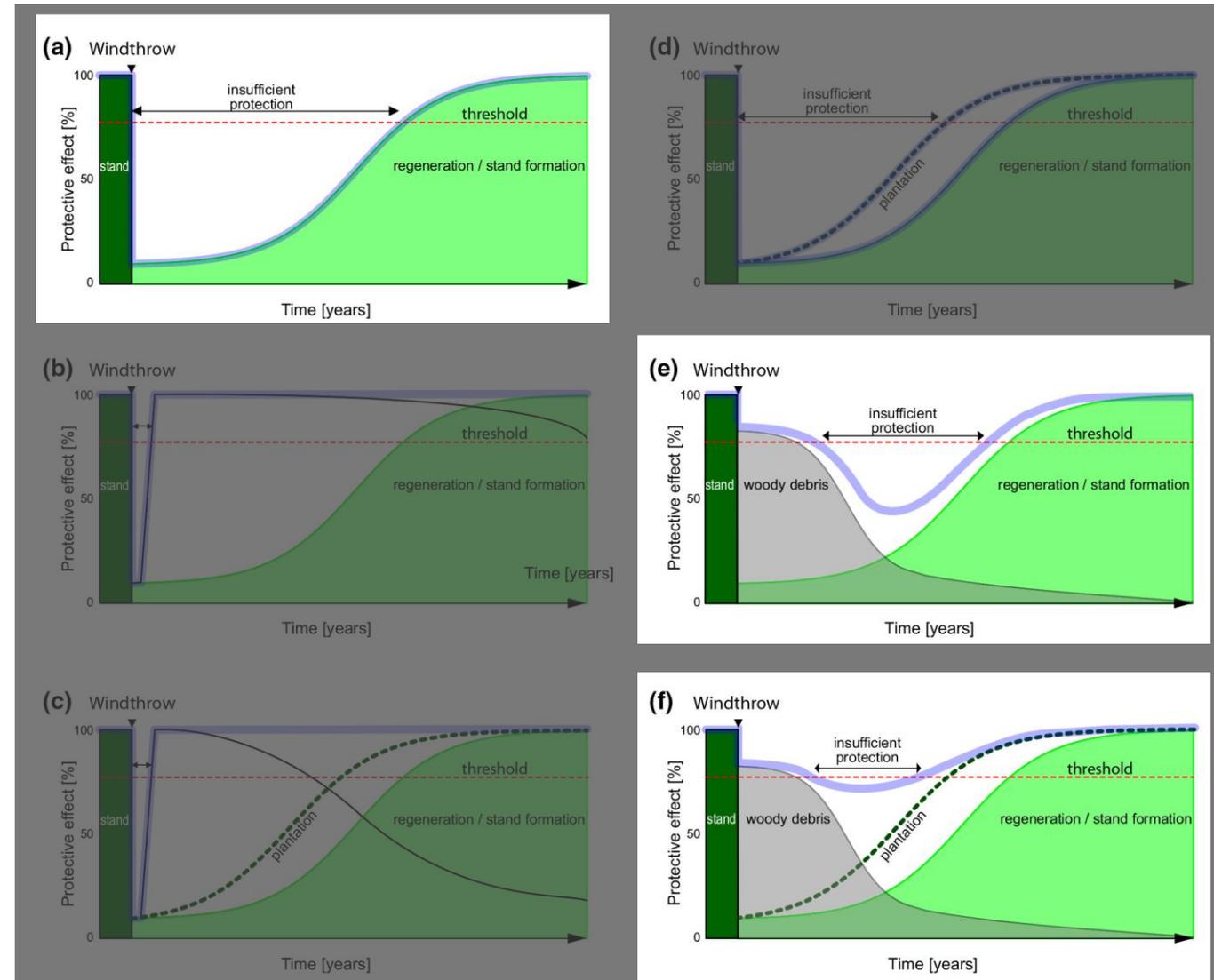
Number of events from 1990–2012 in cantons Bern and Grisons. Data source: StorMe cadastral database for extreme events (BAFU 2015)

# Post windthrow management in protective forests

Results: suggest that...

- lying stems provide a considerable protective effect during the first years after a windthrow,
- with decreasing effect over time towards a presumed critical stage.
- Tree regeneration increasingly replaces the protective effect of woody debris,
- but the regeneration process is often too slow.

These results are also supported by the other studies.



Source: Wohlgemuth et al. 2017

Schematic development of the protective effect in windthrow areas of mountain forests after different treatments

# Influence of bark beetle infestations on protective effects of forests

Forest Ecology and Management 514 (2022) 120201



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Forest Ecology and Management

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/foreco](http://www.elsevier.com/locate/foreco)



How large-scale bark beetle infestations influence the protective effects of forest stands against avalanches: A case study in the Swiss Alps

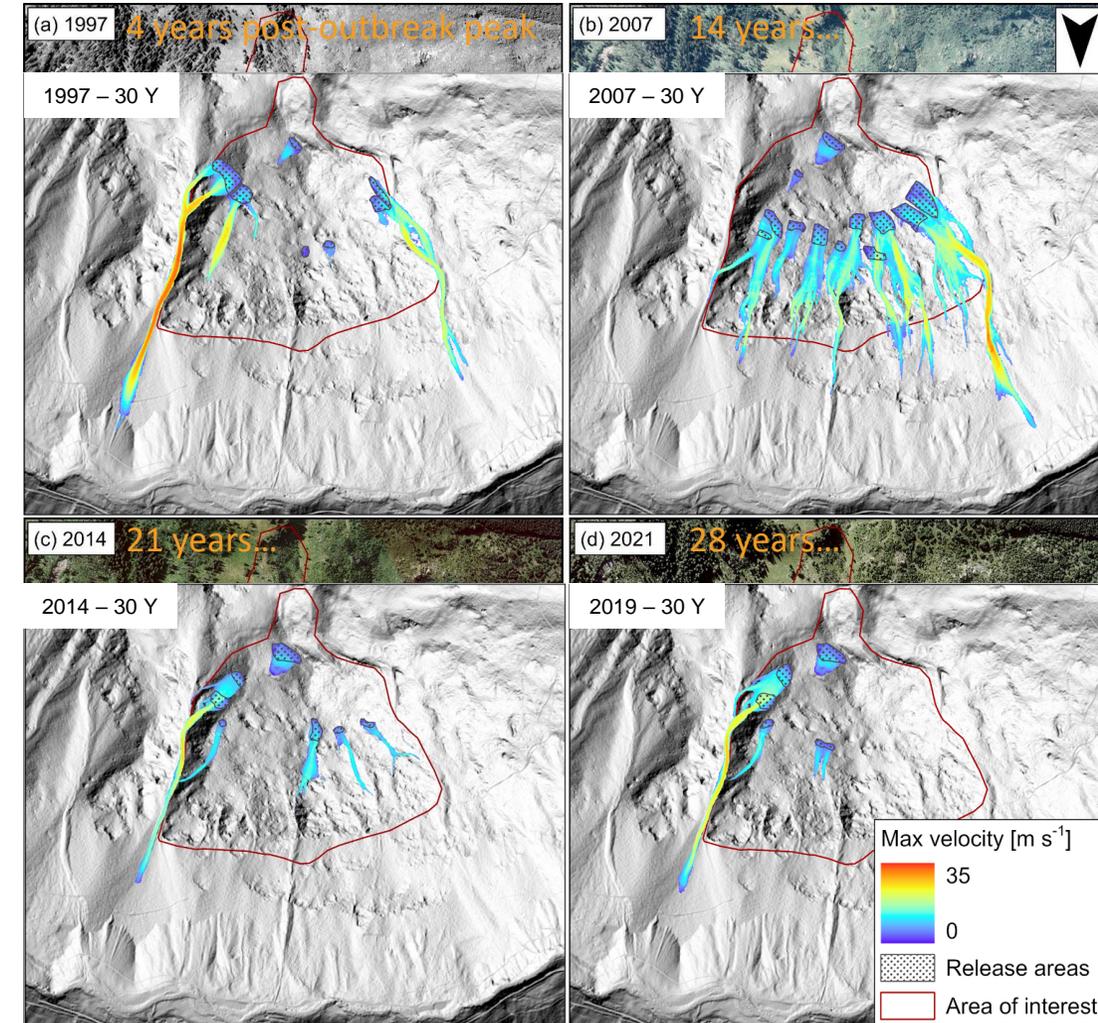
Marion E. Caduff<sup>a,b,1</sup>, Natalie Brožová<sup>a,b,c,\*,1</sup>, Andrea D. Kupferschmid<sup>d</sup>, Frank Krumm<sup>a,c,d</sup>, Peter Bebi<sup>a,c</sup>

**Methods:** combination of...

- re-surveying 1) composition and height of new trees, 2) deadwood height and decay,
- avalanche simulations supported by analyses of remote sensing data.

**BUT:**

- No avalanche releases were observed since the beginning of the outbreak.
- Therefore, protective effects might be underestimated!



Source: Caduff et al. 2022 (adapted)

a) most trees dead but still standing, b) most dead trees lying on the ground, c) new tree regeneration started, d) tree cover increased

# But what is actually happening in the snowpack?

Forest Ecology and Management 438 (2019) 186–203



Contents lists available at ScienceDirect

Forest Ecology and Management

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/foreco](http://www.elsevier.com/locate/foreco)



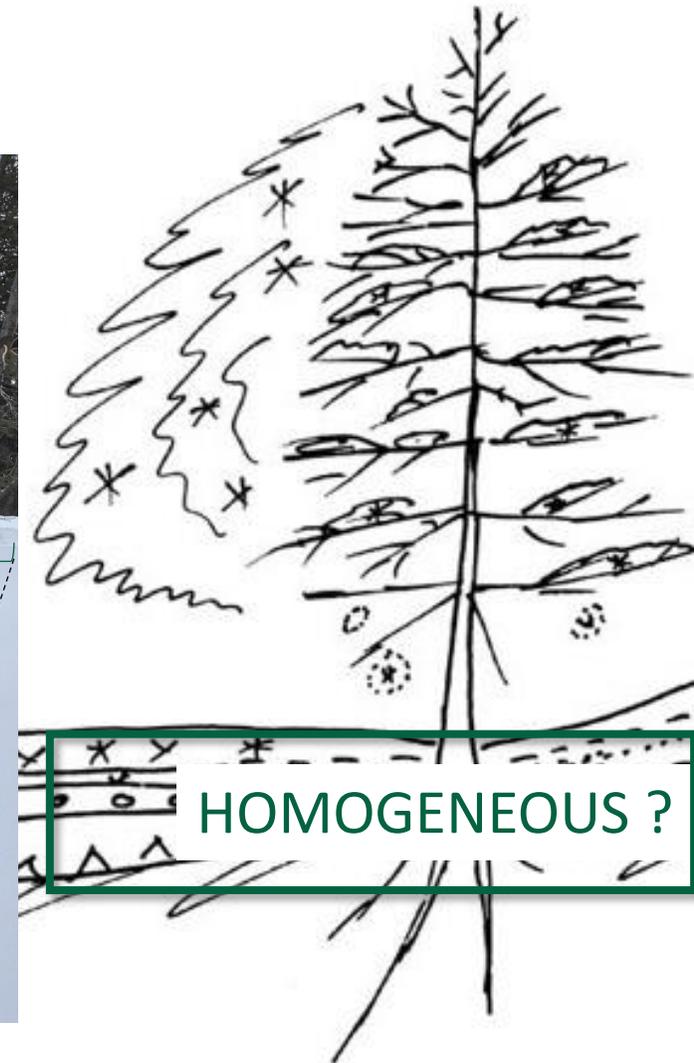
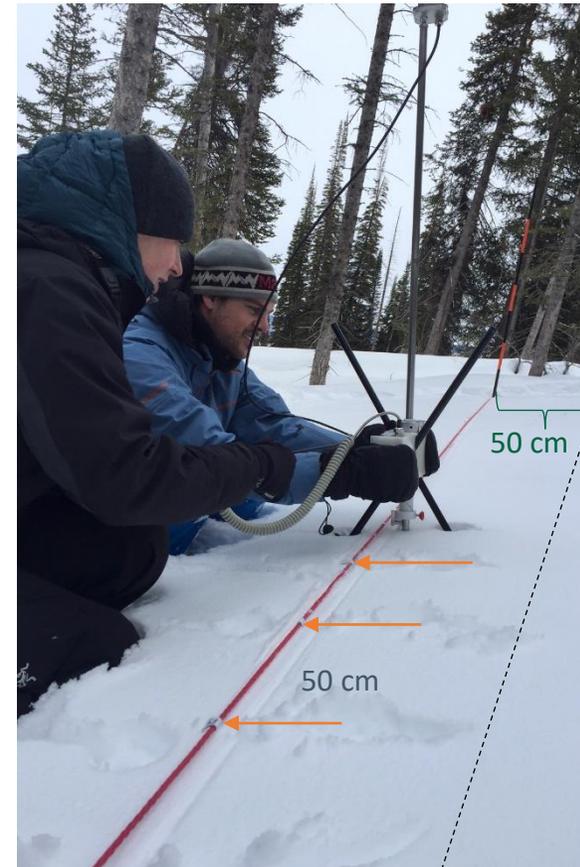
Effects of bark beetle attacks on forest snowpack and avalanche formation – Implications for protection forest management

Michaela Teich<sup>a,\*</sup>, Andrew D. Giunta<sup>a</sup>, Pascal Hagenmuller<sup>b</sup>, Peter Bebi<sup>c</sup>, Martin Schneebeli<sup>c</sup>, Michael J. Jenkins<sup>a</sup>

**Methods:** quantifying spatial variability in snow stratigraphy by...

- repeatedly measuring vertical profiles of snow stratigraphy along transects,
- calculating a similarity metrics, and
- testing for influence of forest, snow and meteorological conditions

...in non-infested/green, infested/gray, salvage-logged and non-forested/open areas.

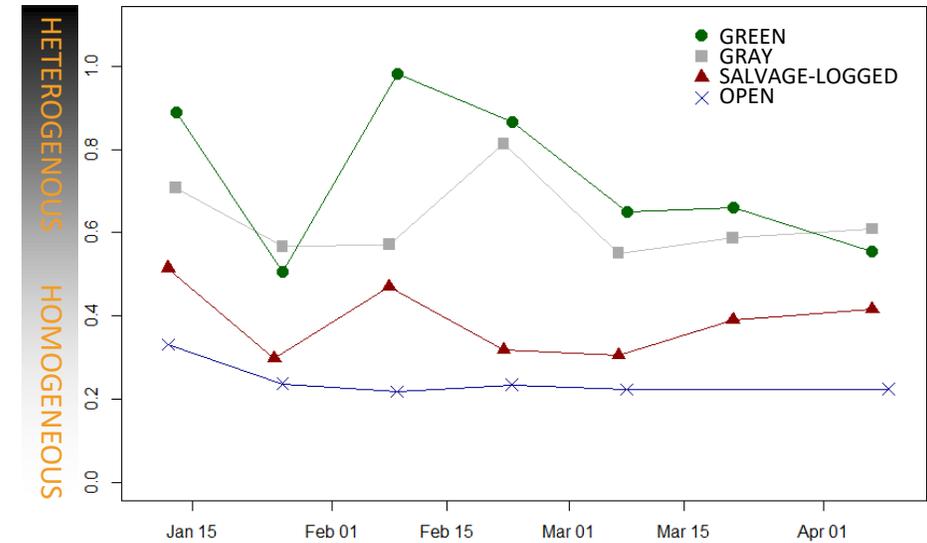


# Effects of bark beetle attacks on snowpack and avalanche formation

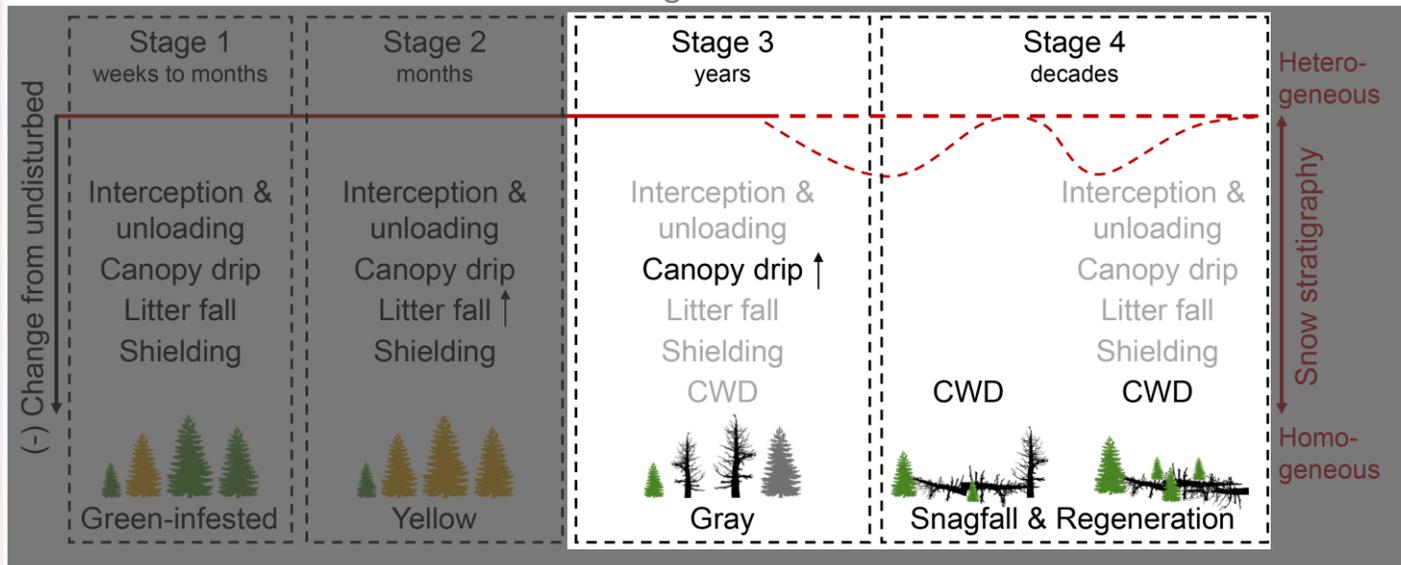
Results: show that...

- snow stratigraphy under canopies of non-infested and gray stage stands is similar and generally more heterogeneous compared to salvage-logged forests and non-forested areas, i.e., ...
- newly dead trees can maintain avalanche protection...
- but logged forest stands may not.

Evolution of spatial variability in snow stratigraphy over time



Conceptual model of changes to the spatial variability in snow stratigraphy that are linked to avalanche formation following bark beetle outbreak

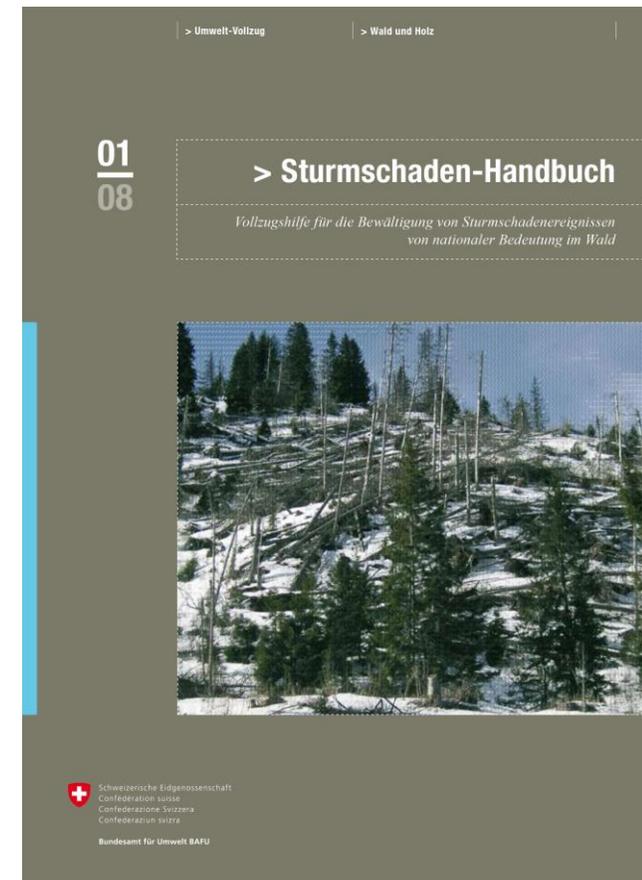


BUT:

- Longer and spatially larger studies are needed to collect more evidence!

# How do we proceed from here?

- Science needs time and funding to gather enough evidence for supporting knowledge-based decisions.
- BUT: The evidence that we do have suggests that
  - leaving dead trees in place is an option,
  - especially after large-scale disturbances, and
  - may provide more time to plan follow-up interventions and (protection) measures.
- The scientific community works continuously to address these urgent practical questions...  
(e.g., Costa et al. 2021; Moos et al. 2022)
- ...e.g., methods are being currently developed for quantifying protective effects after large-scale disturbances based on remote sensing techniques.  
(e.g., Lingua et al. 2021; Baggio et al. 2022)





Increased  
surface  
roughness.



Changes to  
snowpack  
properties?



Salvage logging  
OR  
leaving dead  
trees in place?



How to  
quantify?



Effects on  
avalanche  
formation and  
release?



# Thank you for listening!

Dr. Michaela Teich  
Department of Natural Hazards  
Austrian Research Centre for Forests (BFW)

Rennweg 1  
Austria, 6020 Innsbruck  
Tel.: +43 664 885 082 87  
michaela.teich@bfw.gv.at  
<http://www.bfw.ac.at>



<https://www.facebook.com/BundesforschungszentrumWald>



<https://twitter.com/bfwald>



<https://www.youtube.com/user/Waldforschung>

# References

- BAFU (2008). Sturmschaden-Handbuch. Vollzugshilfe für die Bewältigung von Sturmschadenereignissen von nationaler Bedeutung im Wald. Umwelt-Vollzug Nr. 0801., 3. überarb. Ed., Bundesamt für Umwelt, Bern, 241 p. (inkl. Teil 3 und Anhang). Available from: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wald/publikationen-studien/publikationen/sturmschaden-handbuch.html>
- Baggio, T., Brožová, N., Bast, A., Bebi, P., & D'Agostino, V. (2022). Novel indices for snow avalanche protection assessment and monitoring of wind-disturbed forests. *Ecological Engineering*, 181, 106677. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106677>
- Bebi, P., Putallaz, J.-M., Fankhauser, M., Schmid, U., Schwitter, R., & Gerber, W. (2015). Die Schutzfunktion in Windwurfflächen. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 166(3), 168–176. <https://doi.org/10.3188/szf.2015.0168>
- Caduff, M. E., Brožová, N., Kupferschmid, A. D., Krumm, F., & Bebi, P. (2022). How large-scale bark beetle infestations influence the protective effects of forest stands against avalanches: A case study in the Swiss Alps. *Forest Ecology and Management*, 514, 120201. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120201>
- Costa, M., Marchi, N., Bettella, F., Bolzon, P., Berger, F., & Lingua, E. (2021). Biological Legacies and Rockfall: The Protective Effect of a Windthrown Forest. *Forests*, 12(9), 1141. <https://doi.org/10.3390/f12091141>
- Frey, W., & Thee, P. (2002). Avalanche protection of windthrow areas: A ten-year comparison of cleared and uncleared starting zones. *Forest Snow and Landscape Research*, 77(1/2), 89–107. Available from: <https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A15323>
- Kupferschmid Albisetti, A. D., Brang, P., Schönenberger, W., & Bugmann, H. (2003). Decay of *Picea abies* snag stands on steep mountain slopes. *The Forestry Chronicle*, 79(2), 247–252. <https://doi.org/10.5558/tfc79247-2>
- Kupferschmid Albisetti, A. D. (2003). Succession in a protection forest after *Picea abies* dieback. Doctoral thesis. ETH, Zurich, Zurich, Switzerland. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-004687648>
- Lingua, E., Marchi, N., Bettella, F., Costa, M., Pirotti, F., Piras, M., Garbarino, M., Morresi, D., & Marzano, R. (2021). Natural Disturbances and Protection Forests: At the Cutting Edge of Remote Sensing Technologies for the Rapid Assessment of Protective Effects against Rockfall. In M. Teich, C. Accastello, F. Perzl, & K. Kleemayr (Eds.), *Protective Forests as Ecosystem-based Solution for Disaster Risk Reduction (Eco-DRR)*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99509>
- Moos, C., May, D., Dorren, L., Temperli, C., & Schwarz, M. (under review). Quantifying the temporal dynamics of the protective effect of forests against rockfall after disturbances. *European Journal of Forest Research*. Preprint (Version1) available at Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1921048/v1>
- Rammig, A., Fahse, L., Bebi, P., & Bugmann, H. (2007). Wind disturbance in mountain forests: Simulating the impact of management strategies, seed supply, and ungulate browsing on forest succession. *Forest Ecology and Management*, 242(2–3), 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.036>
- Schneebeli, M., & Bebi, P. (2004). Snow and Avalanche Control. *Encyclopedia of Forest Sciences*, 1990, 397–402. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/283939719\\_Snow\\_and\\_avalanche\\_control](https://www.researchgate.net/publication/283939719_Snow_and_avalanche_control)
- Seidl, R., Schelhaas, M.-J., Rammer, W., & Verkerk, P. J. (2014). Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nature Climate Change*, 4(9), 806–810. <https://doi.org/10.1038/nclimate2318>
- Teich, M., Giunta, A. D., Hagenmuller, P., Bebi, P., Schneebeli, M., & Jenkins, M. J. (2019). Effects of bark beetle attacks on forest snowpack and avalanche formation – Implications for protection forest management. *Forest Ecology and Management*, 438, 186–203. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.052>
- Wohlgemuth, T., Schwitter, R., Bebi, P., Sutter, F., & Brang, P. (2017). Post-windthrow management in protection forests of the Swiss Alps. *European Journal of Forest Research*, 136(5–6), 1029–1040. <https://doi.org/10.1007/s10342-017-1031-x>