

Klimawandel – Waldwirkung

...zum Schutz vor Naturgefahrenprozessen

Priv. Doz. Dr. Dipl. Ing. Christian Scheidl
Inst. für Alpine Naturgefahren, BOKU, Vienna
christian.scheidl@boku.ac.at

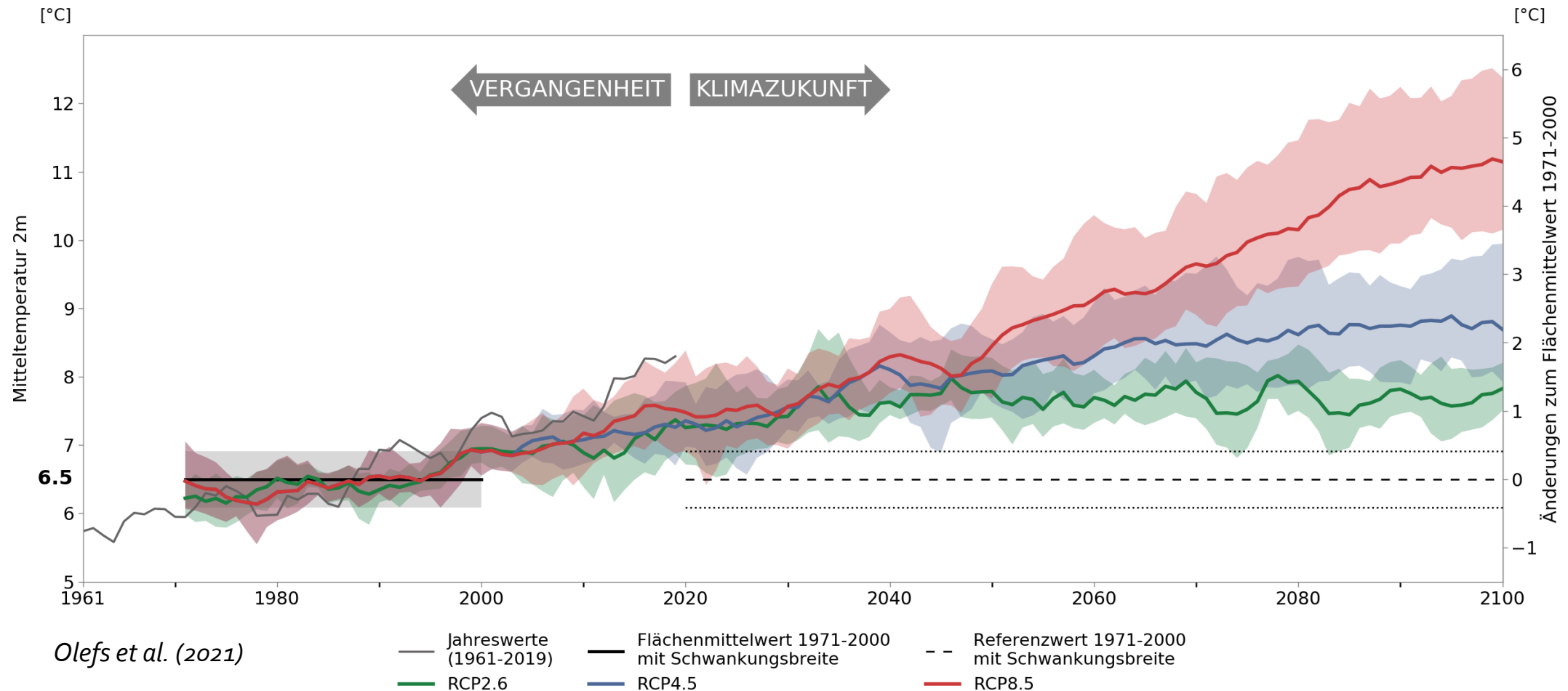


University of Natural Resources
and Applied Life Sciences, Vienna
Department of Structural Engineering
and Natural Hazards

Klimawandel im Alpenraum

Was erwartet uns?

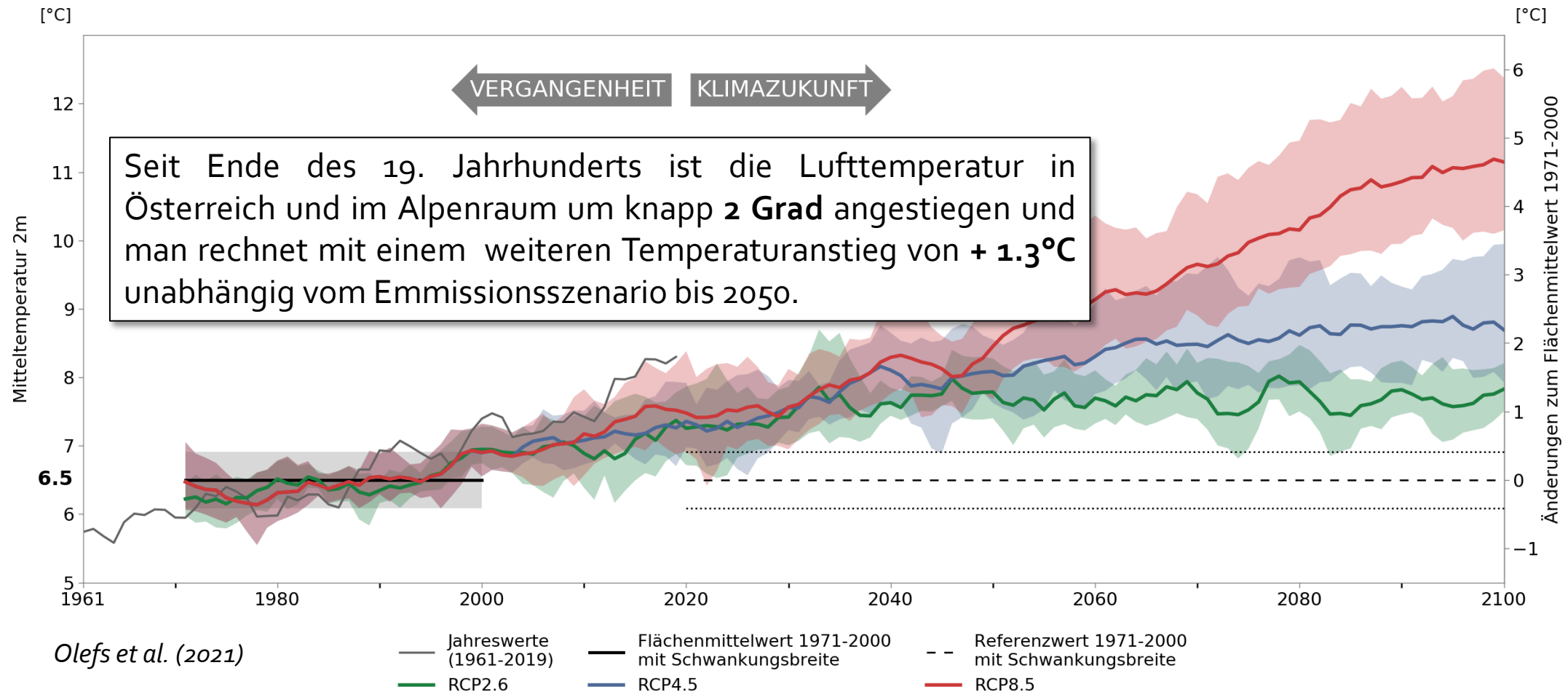
Mehr als die Hälfte der globalen Erwärmung seit 1950 ist menschengemacht und weiterhin steigend.



Klimawandel im Alpenraum

Was erwartet uns?

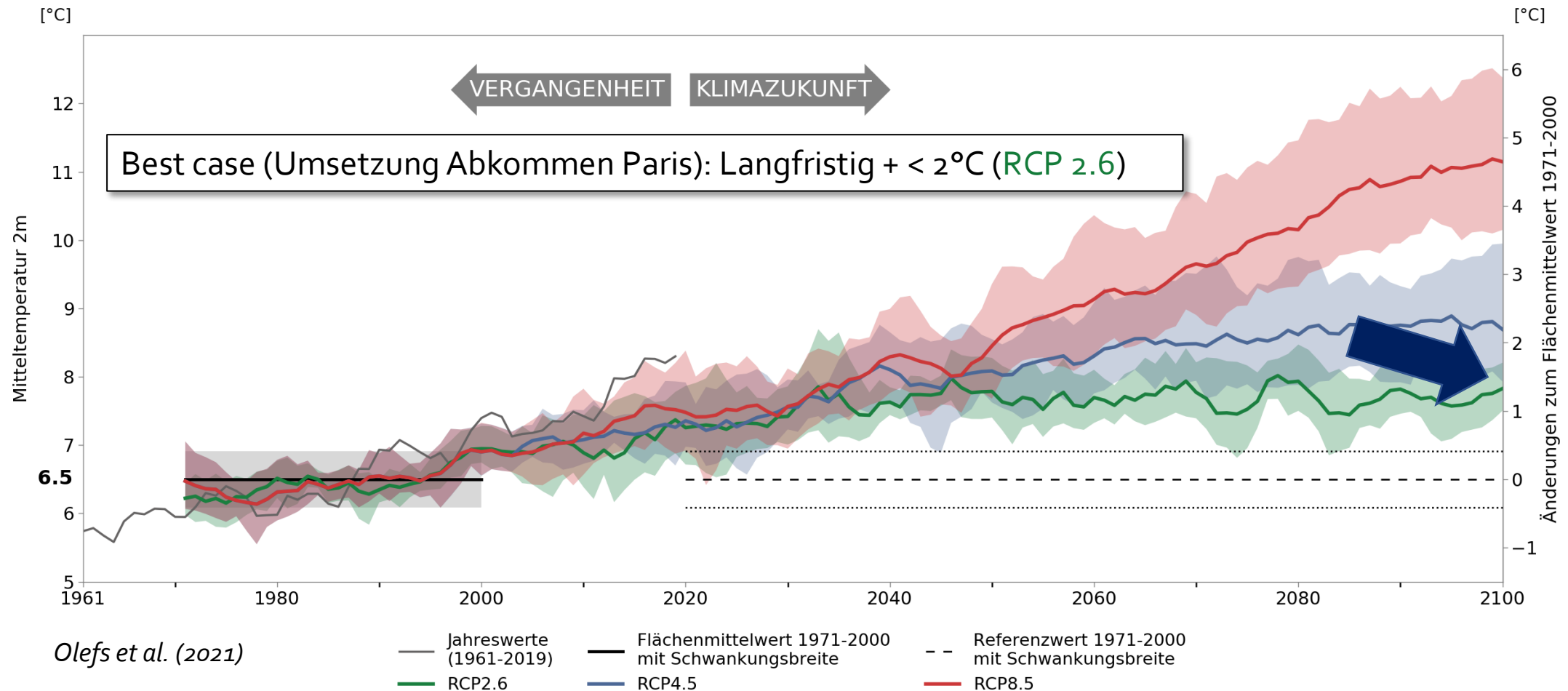
Mehr als die Hälfte der globalen Erwärmung seit 1950 ist menschengemacht und weiterhin steigend.



Klimawandel im Alpenraum

Was erwartet uns?

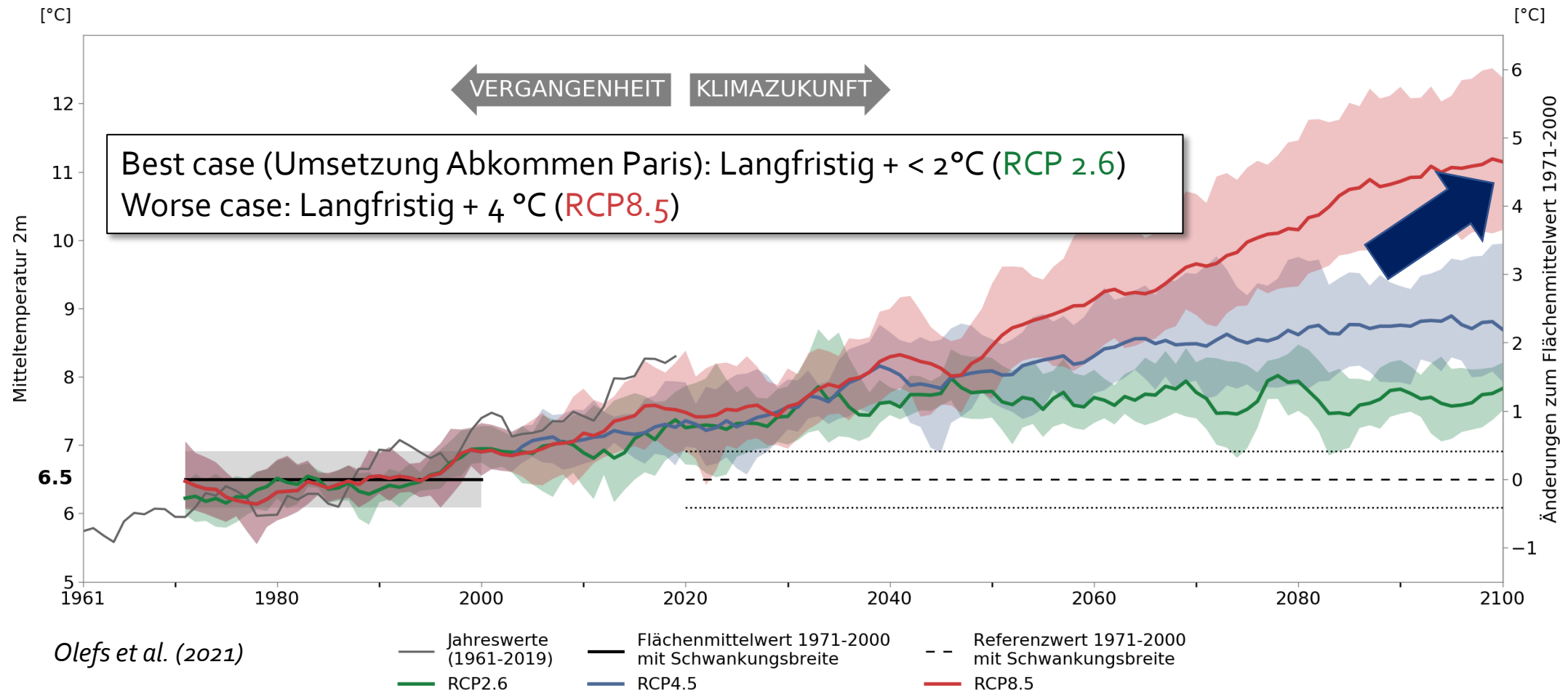
Es wird langfristig wärmer im Alpenraum



Klimawandel im Alpenraum

Was erwartet uns?

Es wird langfristig wärmer im Alpenraum



Klimawandel im Alpenraum

Was erwartet uns?

Die fortschreitende Klimaerwärmung ...

... lässt eine Zunahme der Verdunstung und daher **häufigere** und **intensivere Dürreereignisse** erwarten.

Klimawandel im Alpenraum

Was erwartet uns?

Die fortschreitende Klimaerwärmung ...

... lässt eine Zunahme der Verdunstung und daher **häufigere** und **intensivere Dürreereignisse** erwarten.

... lässt eine **Abnahme der Schneehöhen und Schneedeckendauer** (10-40% drastische Maßnahmen; 50-90% keine Maßnahmen) bis ans Ende des 21. Jahrhunderts erwarten.

Klimawandel im Alpenraum

Was erwartet uns?

Die fortschreitende Klimaerwärmung ...

... lässt eine Zunahme der Verdunstung und daher **häufigere** und **intensivere Dürreereignisse** erwarten.

... lässt eine **Abnahme der Schneehöhen und Schneedeckendauer** (10-40% drastische Maßnahmen; 50-90% keine Maßnahmen) bis ans Ende des 21. Jahrhunderts erwarten.

... führt langfristig zu einem höheren Flüssiganteil am Niederschlag (**mehr Regen anstatt Schneefall**) und zu einer **schnelleren Schmelze bestehender Schneedecken** -- überlagert durch starke Jahr-zu-Jahr und multidekadische natürliche Klimaschwankungen!

Klimawandel im Alpenraum

Was erwartet uns?

Die fortschreitende Klimaerwärmung ...

... lässt eine Zunahme der Verdunstung und daher **häufigere** und **intensivere Dürreereignisse** erwarten.

... lässt eine **Abnahme der Schneehöhen und Schneedeckendauer** (10-40% drastische Maßnahmen; 50-90% keine Maßnahmen) bis ans Ende des 21. Jahrhunderts erwarten.

... führt langfristig zu einem höheren Flüssiganteil am Niederschlag (**mehr Regen anstatt Schneefall**) und zu einer **schnelleren Schmelze bestehender Schneedecken** -- überlagert durch starke Jahr-zu-Jahr und multidekadische natürliche Klimaschwankungen!

... hat zu einer **Zunahme** der mittleren **Niederschlagsintensitäten** seit den 1960er Jahren bei gleichbleibender Gesamtanzahl der Niederschlagstage geführt.

Klimawandel im Alpenraum

Was erwartet uns?

Die fortschreitende Klimaerwärmung ...

... lässt eine Zunahme der Verdunstung und daher **häufigere** und **intensivere Dürreereignisse** erwarten.

... lässt eine **Abnahme der Schneehöhen und Schneedeckendauer** (10-40% drastische Maßnahmen; 50-90% keine Maßnahmen) bis ans Ende des 21. Jahrhunderts erwarten.

... führt langfristig zu einem höheren Flüssiganteil am Niederschlag (**mehr Regen anstatt Schneefall**) und zu einer **schnelleren Schmelze bestehender Schneedecken** -- überlagert durch starke Jahr-zu-Jahr und multidekadische natürliche Klimaschwankungen!

... hat zu einer **Zunahme** der mittleren **Niederschlagsintensitäten** seit den 1960er Jahren bei gleichbleibender Gesamtanzahl der Niederschlagstage geführt.

Langfristige Trends: Niederschlag schwach signifikant positiv (also zunehmend) an der Alpennordseite und leicht negative auf der Alpensüdseite. Diese langfristigen Trends werden jedoch von den zu erwarteten Jahr-zu-Jahr Schwankungen übertroffen!

Klimawandel im Alpenraum

Auswirkung auf Naturgefahren?

Aufgrund der fortschreitenden Klimaerwärmung ...

... folgt eine **Zunahme** kritischer Auslöse-Niederschläge (z.B.: Starkregen)

...beobachtet man Gletscherrückgang, Erwärmung und Auftauen des Permafrosts oder Schneeschmelze. Prozesse welche die **Verfügbarkeit** mobilisierbarer **Sedimente** im Alpenraum **erhöhen**.

KlimaWandel im Alpenraum

Auswirkung auf Naturgefahren?

Aufgrund der fortschreitenden Klimaerwärmung ...

... folgt eine **Zunahme** kritischer Auslöse-Niederschläge (z.B.: Starkregen)

...beobachtet man Gletscherrückgang, Erwärmung und Auftauen des Permafrosts oder Schneeschmelze. Prozesse welche die **Verfügbarkeit** mobilisierbarer **Sedimente** im Alpenraum **erhöhen**.

gleichzeitig...

... **steigt** die **Anzahl** an **Häusern**, infrastruktureller Einrichtungen, etc. in potentiell **gefährdeten Bereichen**

KlimaWandel im Alpenraum

Auswirkung auf Naturgefahren?

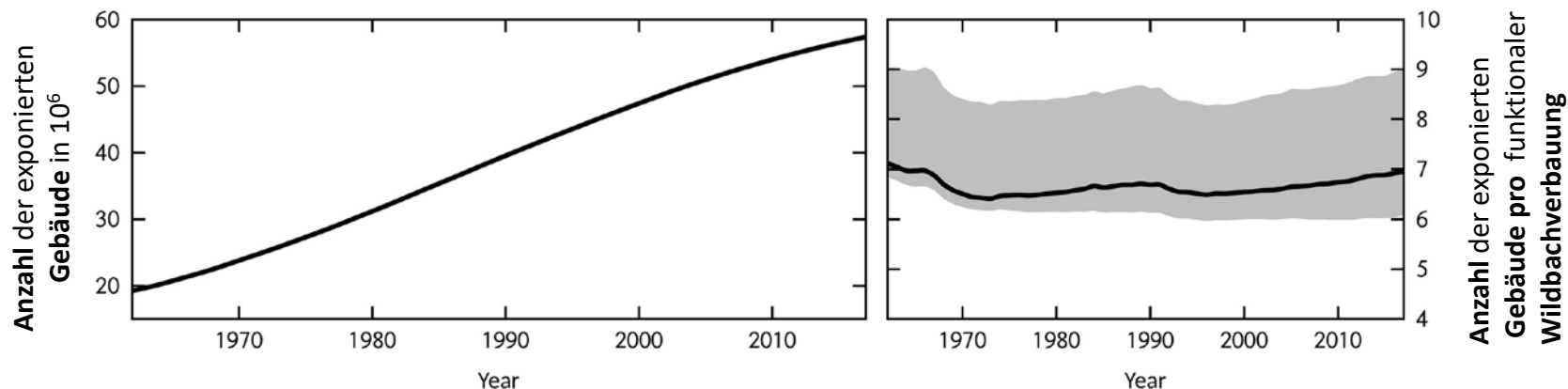
Aufgrund der fortschreitenden Klimaerwärmung ...

... folgt eine **Zunahme** kritischer Auslöse-Niederschläge (z.B.: Starkregen)

...beobachtet man Gletscherrückgang, Erwärmung und Auftauen des Permafrosts oder Schneeschmelze. Prozesse welche die **Verfügbarkeit** mobilisierbarer **Sedimente** im Alpenraum **erhöhen**.

gleichzeitig...

... **steigt** die **Anzahl** an **Häusern**, infrastruktureller Einrichtungen, etc. in potentiell **gefährdeten Bereichen**

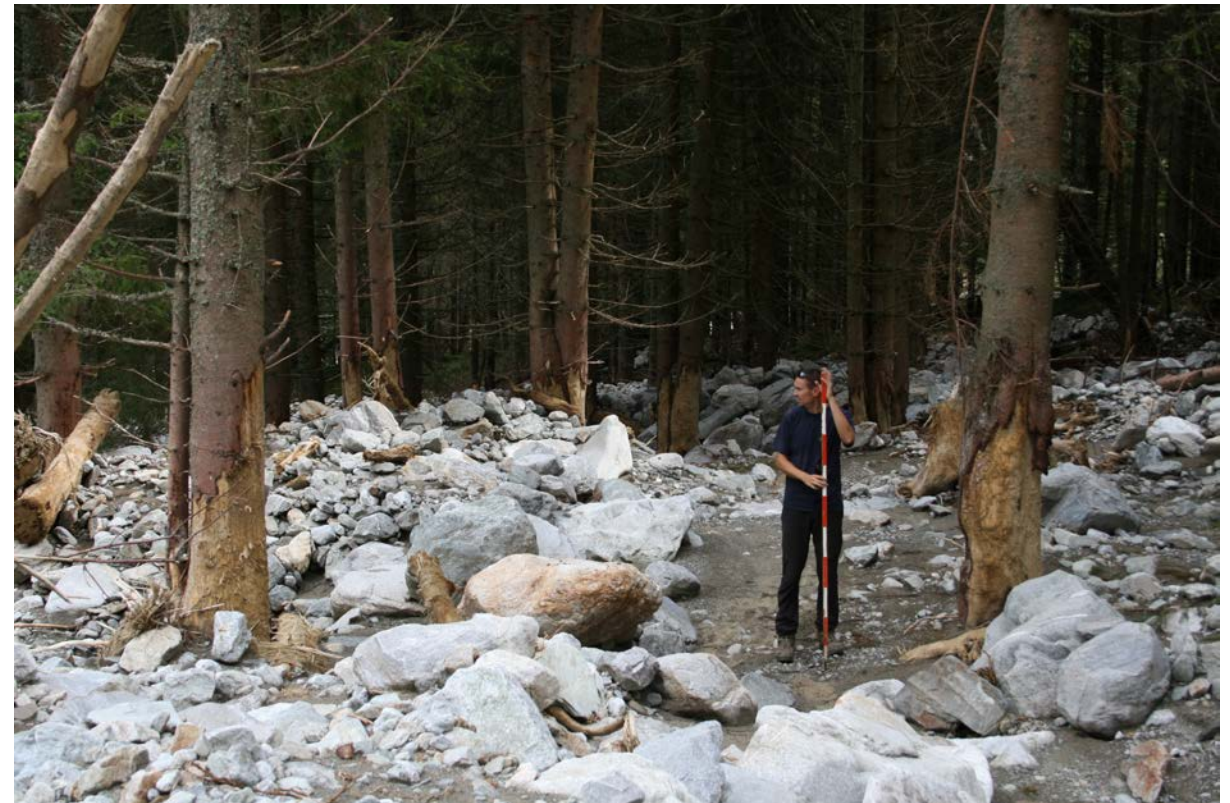


KlimaWandel im Alpenraum

Auswirkung auf Naturgefahren?

Wenn also Auslösekriterien, kritische Disposition und gefährdete Objekte im Alpenraum zunehmen ...

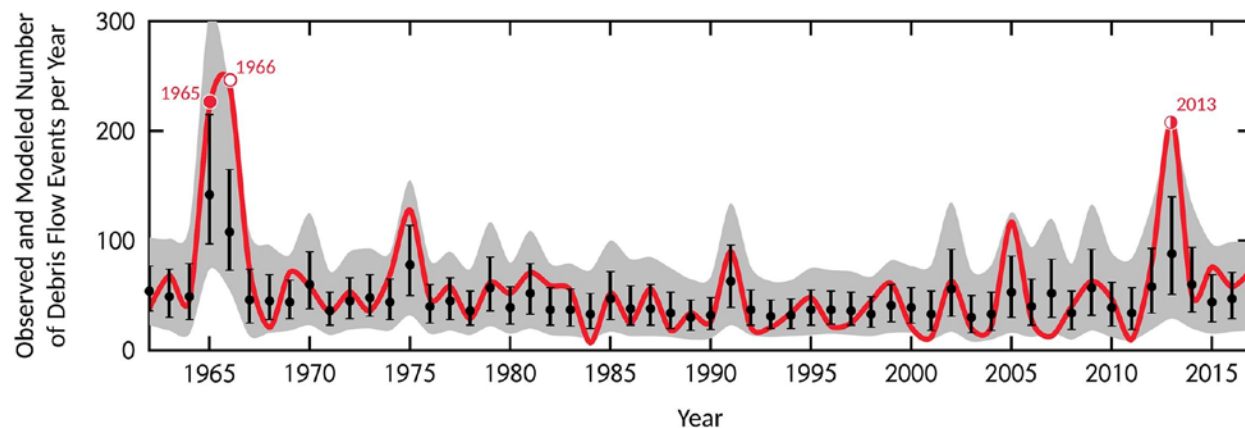
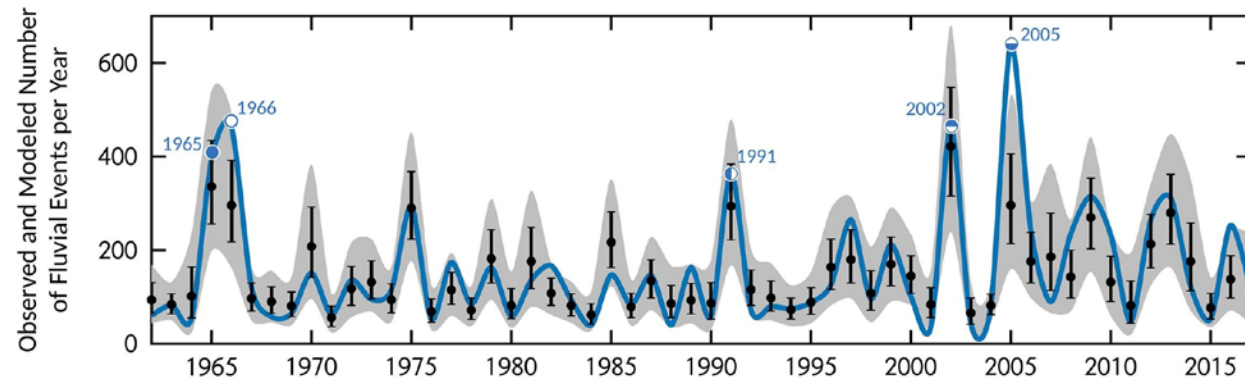
... **nehmen** dann auch Beobachtungen von schadbringenden **Wildbachereignisse** zu?



KlimaWandel im Alpenraum Auswirkung auf Naturgefahren?

Wenn also Auslösekriterien, kritische Disposition und gefährdete Objekte im Alpenraum zunehmen ...

... **nehmen** dann auch Beobachtungen von schadbringenden **Wildbachereignisse zu?**

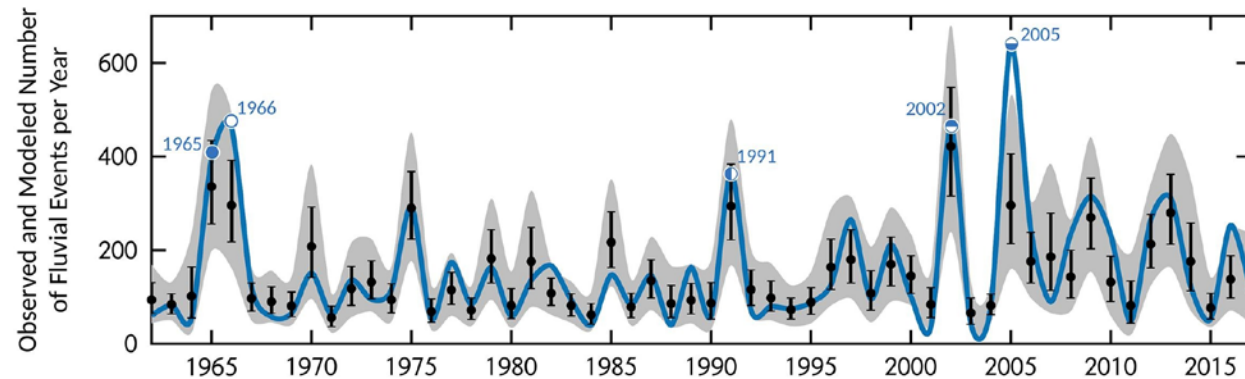


Schlögl et al. (2021)

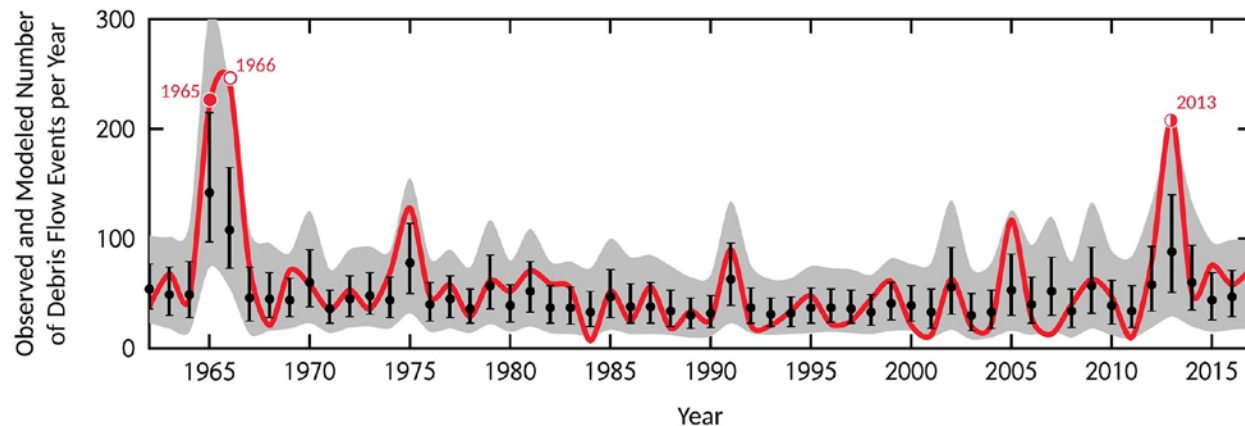
KlimaWandel im Alpenraum Auswirkung auf Naturgefahren?

Wenn also Auslösekriterien, kritische Disposition und gefährdete Objekte im Alpenraum zunehmen ...

... **nehmen** dann auch Beobachtungen von schadbringenden **Wildbachereignisse** zu?



Nicht so eindeutig wie man erwarten würde!
Südtirol: Schlögel et al. (2020)
Österreich: Schlögl et al. (2021)



Schlögl et al. (2021)

KlimaWandel im Alpenraum

Auswirkung auf Naturgefahren?

Wenn also Auslösekriterien, kritische Disposition und gefährdete Objekte im Alpenraum zunehmen ...

... nehmen dann auch schadbringende Wildbachereignisse zu?



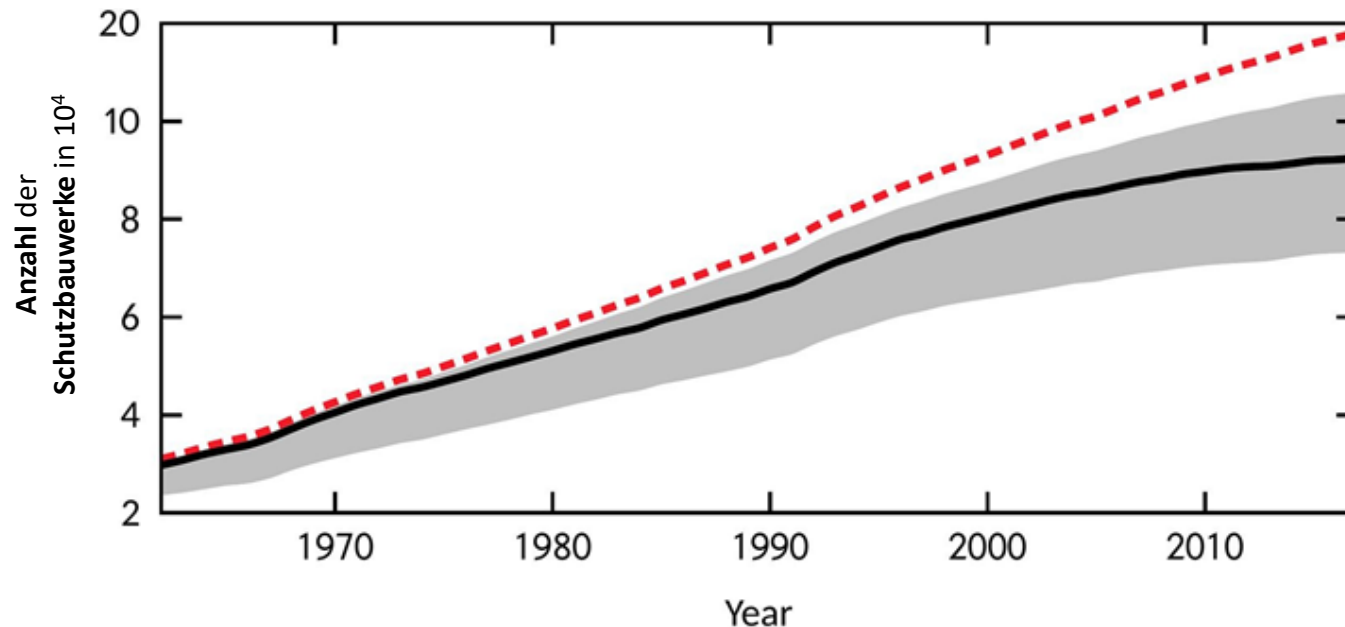
Nicht so eindeutig wie man erwarten würde! → Grund? → Schutzverbauungen!

Klimawandel im Alpenraum

Auswirkung auf Naturgefahren?

Wenn also Auslösekriterien, kritische Disposition und gefährdete Objekte im Alpenraum zunehmen ...

... nehmen dann auch schadbringende Wildbachereignisse zu?



Nicht so eindeutig wie man erwarten würde! → Grund? → Schutzverbauungen!

Schutzbauwerke wirken den künftigen Auswirkungen des Klimawandels und der zunehmenden Nachfrage nach Bauland in gefährdeten Gebieten entgegen.

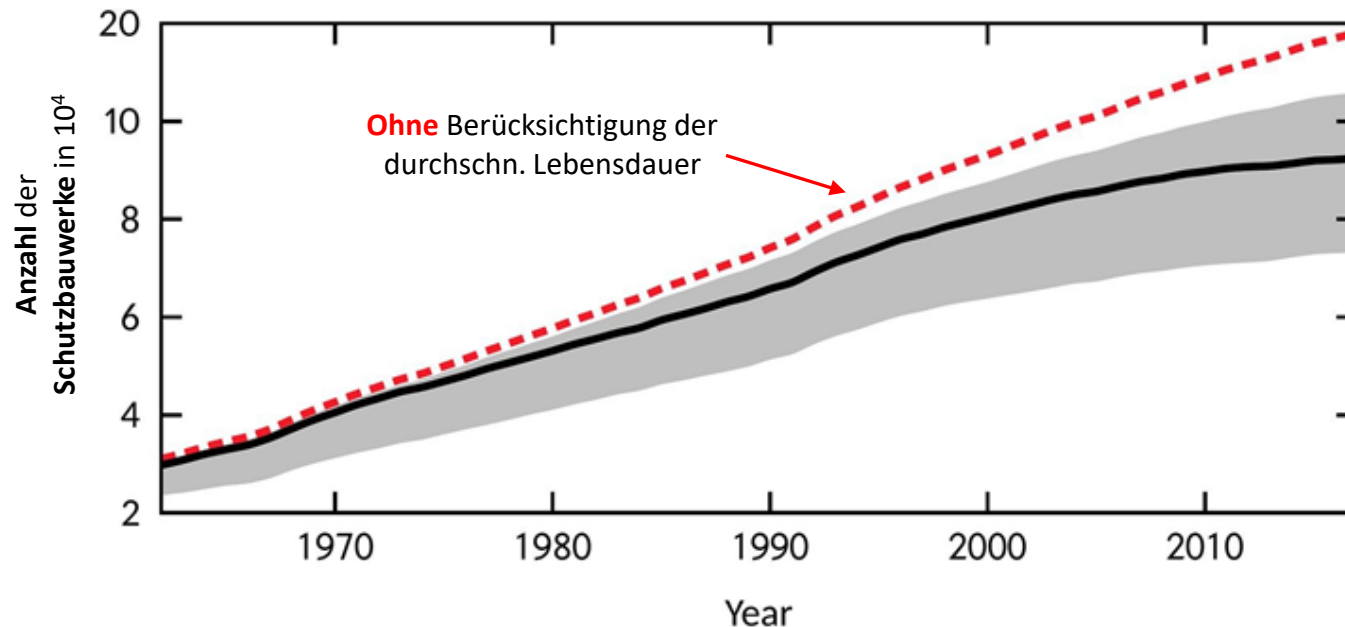
Verändert nach Schlögl et al. (2021)

Klimawandel im Alpenraum

Auswirkung auf Naturgefahren?

Wenn also Auslösekriterien, kritische Disposition und gefährdete Objekte im Alpenraum zunehmen ...

... nehmen dann auch schadbringende Wildbachereignisse zu?



Nicht so eindeutig wie man erwarten würde! → Grund? → Schutzverbauungen!

Schutzbauwerke wirken den künftigen Auswirkungen des Klimawandels und der zunehmenden Nachfrage nach Bauland in gefährdeten Gebieten entgegen.

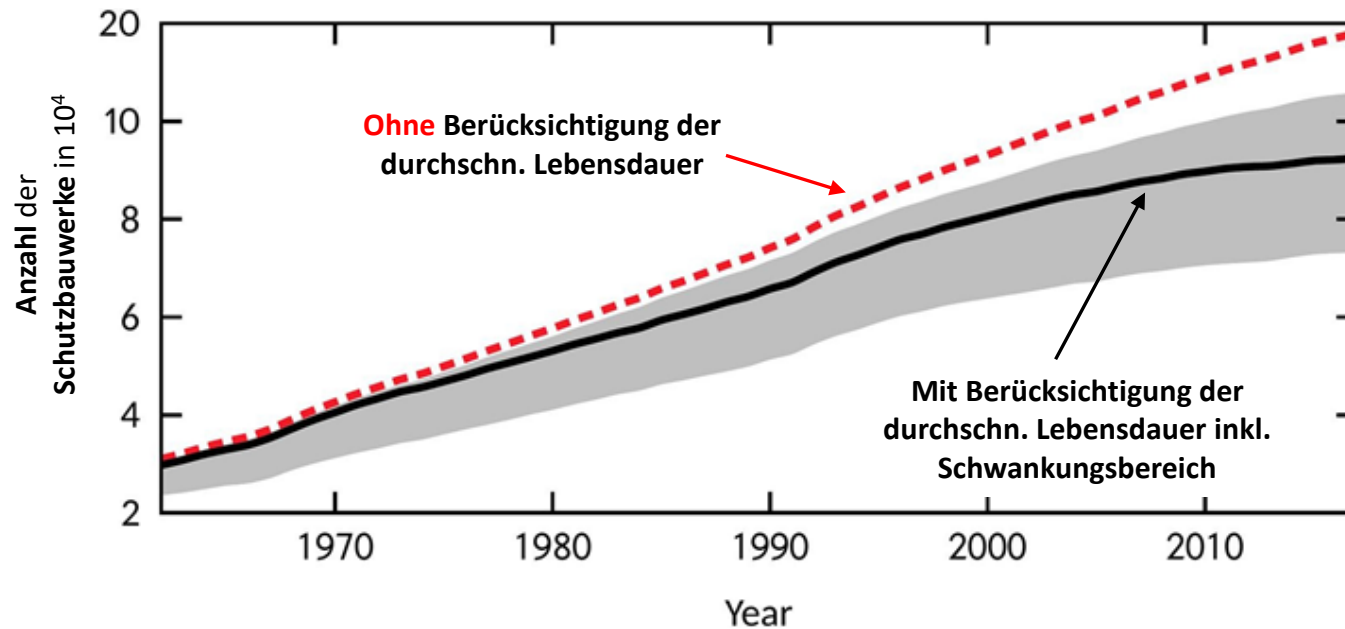
Verändert nach Schlögl et al. (2021)

Klimawandel im Alpenraum

Auswirkung auf Naturgefahren?

Wenn also Auslösekriterien, kritische Disposition und gefährdete Objekte im Alpenraum zunehmen ...

... nehmen dann auch schadbringende Wildbachereignisse zu?



Nicht so eindeutig wie man erwarten würde! → Grund? → Schutzverbauungen!

Schutzbauwerke wirken den künftigen Auswirkungen des Klimawandels und der zunehmenden Nachfrage nach Bauland in gefährdeten Gebieten entgegen.

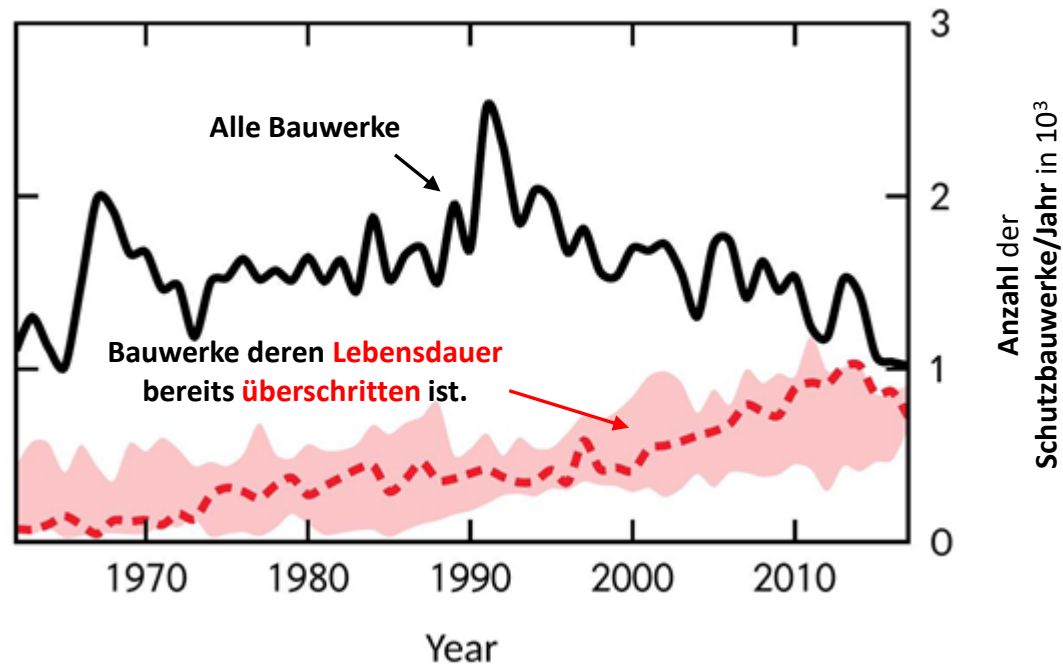
Verändert nach Schlögl et al. (2021)

KlimaWandel im Alpenraum

Auswirkung auf Naturgefahren?

Wenn also Auslösekriterien, kritische Disposition und gefährdete Objekte im Alpenraum zunehmen ...

... nehmen dann auch schadbringende Wildbachereignisse zu?



Verändert nach Schlögl et al. (2021)

Nicht so eindeutig wie man erwarten würde! → Grund? → Schutzverbauungen!

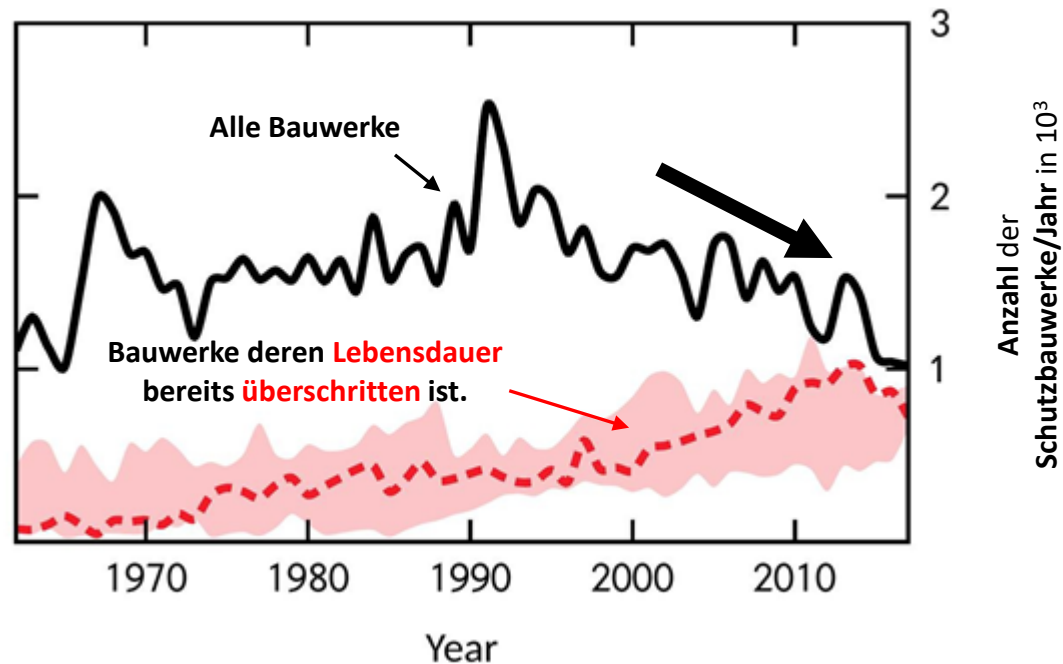
Schutzbauwerke wirken den künftigen Auswirkungen des Klimawandels und der zunehmenden Nachfrage nach Bauland in gefährdeten Gebieten entgegen.

KlimaWandel im Alpenraum

Auswirkung auf Naturgefahren?

Wenn also Auslösekriterien, kritische Disposition und gefährdete Objekte im Alpenraum zunehmen ...

... nehmen dann auch schadbringende Wildbachereignisse zu?



Verändert nach Schlögl et al. (2021)

Nicht so eindeutig wie man erwarten würde! → Grund? → Schutzverbauungen!

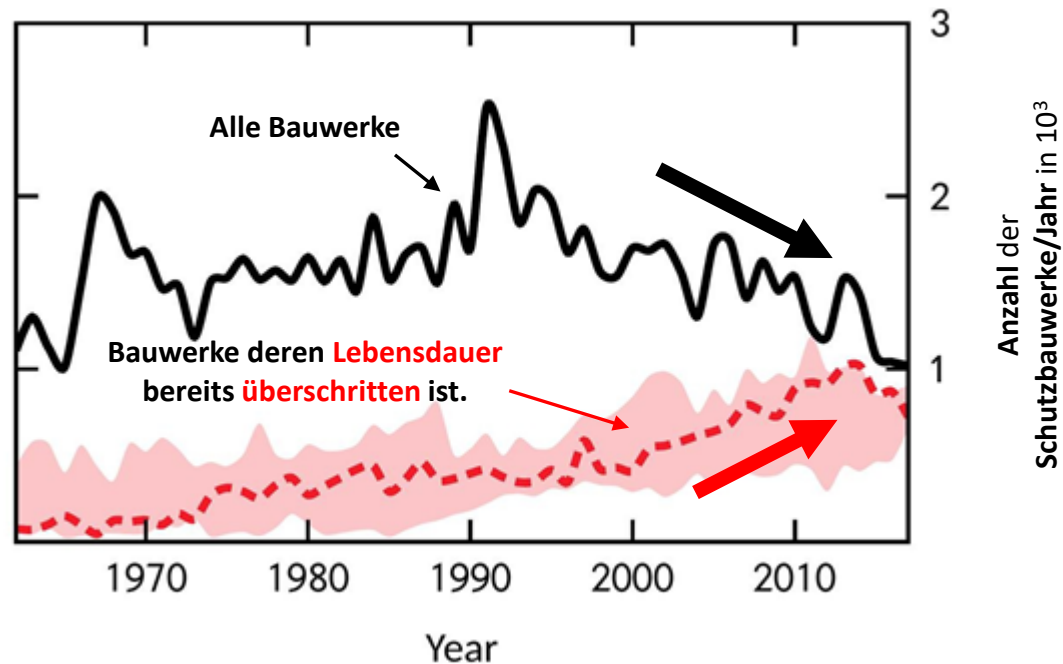
Schutzbauwerke wirken den künftigen Auswirkungen des Klimawandels und der zunehmenden Nachfrage nach Bauland in gefährdeten Gebieten entgegen.

Klimawandel im Alpenraum

Auswirkung auf Naturgefahren?

Wenn also Auslösekriterien, kritische Disposition und gefährdete Objekte im Alpenraum zunehmen ...

... nehmen dann auch schadbringende Wildbachereignisse zu?



Nicht so eindeutig wie man erwarten würde! → Grund? → Schutzverbauungen!

Schutzbauwerke wirken den künftigen Auswirkungen des Klimawandels und der zunehmenden Nachfrage nach Bauland in gefährdeten Gebieten entgegen.

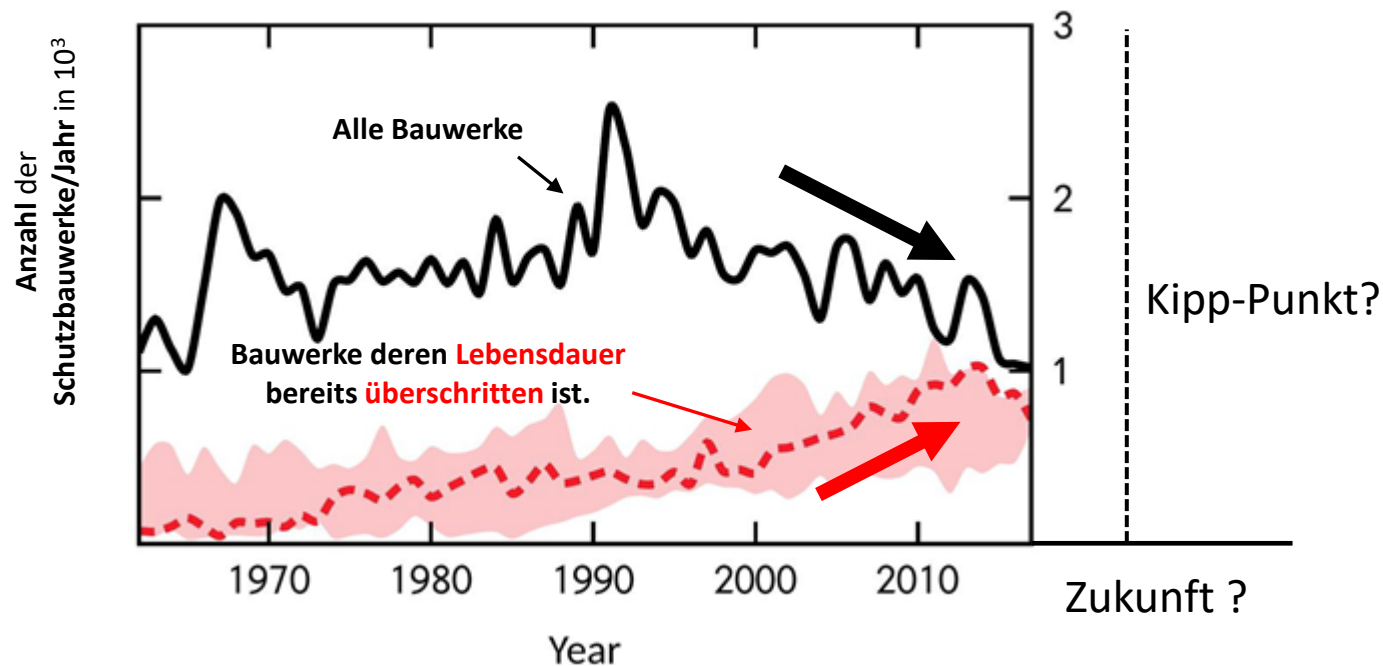
Verändert nach Schlögl et al. (2021)

KlimaWandel im Alpenraum

Auswirkung auf Naturgefahren?

Wenn also Auslösekriterien, kritische Disposition und gefährdete Objekte im Alpenraum zunehmen ...

... nehmen dann auch schadbringende Wildbachereignisse zu?



Nicht so eindeutig wie man erwarten würde! → Grund? → Schutzverbauungen!

Schutzbauwerke wirken den künftigen Auswirkungen des Klimawandels und der zunehmenden Nachfrage nach Bauland in gefährdeten Gebieten entgegen.

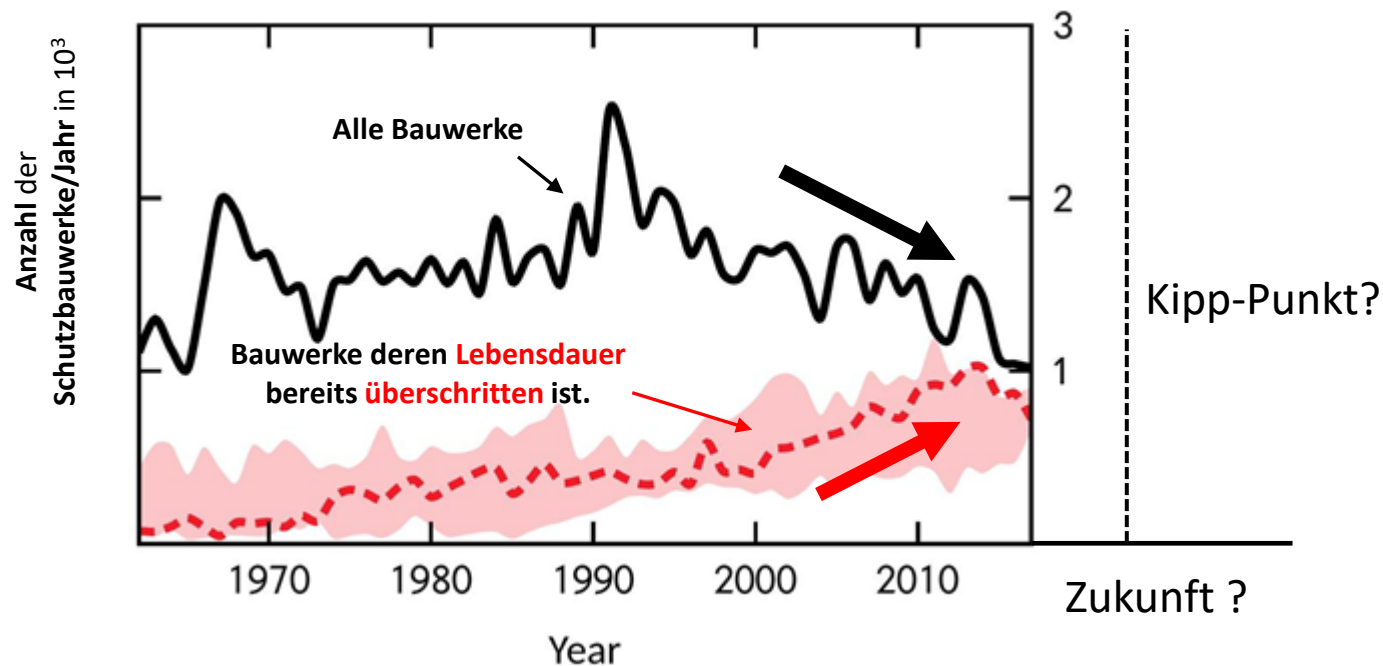
Verändert nach Schlögl et al. (2021)

KlimaWandel im Alpenraum

Auswirkung auf Naturgefahren?

Wenn also Auslösekriterien, kritische Disposition und gefährdete Objekte im Alpenraum zunehmen ...

... nehmen dann auch schadbringende Wildbachereignisse zu?



Verändert nach Schlögl et al. (2021)

Nicht so eindeutig wie man erwarten würde! → Grund? → Schutzverbauungen!

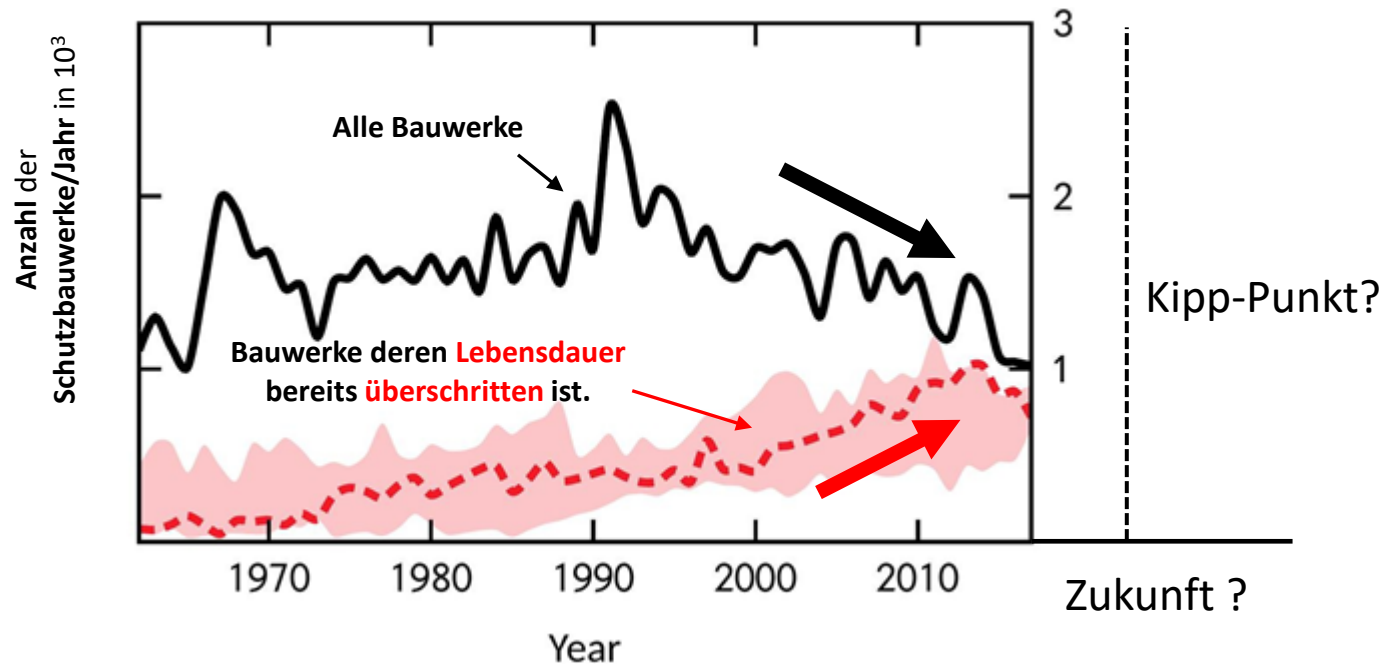
Schutzbauwerke wirken momentan noch den künftigen Auswirkungen des Klimawandels und der zunehmenden Nachfrage nach Bauland in gefährdeten Gebieten entgegen.

KlimaWandel im Alpenraum

Auswirkung auf Naturgefahren?

Wenn also Auslösekriterien, kritische Disposition und gefährdete Objekte im Alpenraum zunehmen ...

... nehmen dann auch schadbringende Wildbachereignisse zu?



Nicht so eindeutig wie man erwarten würde! → Grund? → Schutzverbauungen!

Schutzbauwerke wirken momentan noch den künftigen Auswirkungen des Klimawandels und der zunehmenden Nachfrage nach Bauland in gefährdeten Gebieten entgegen.

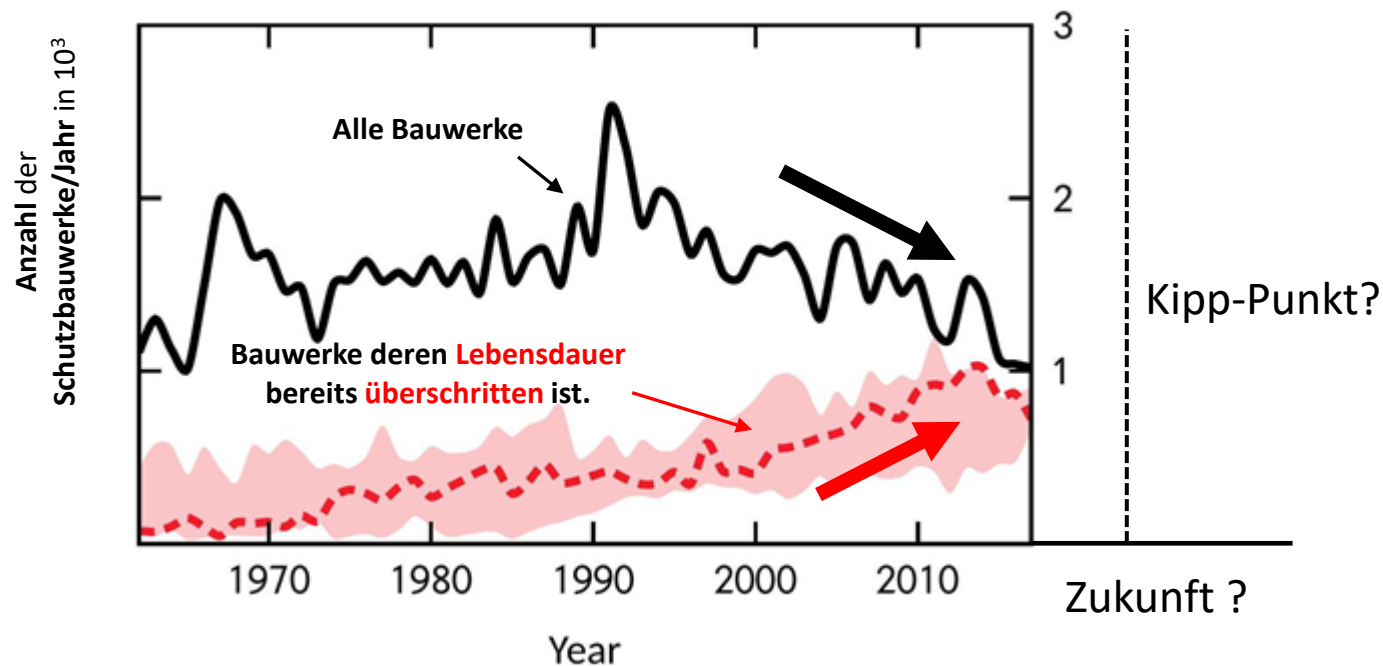
... etwas sehr wichtiges wurde in der Studie nicht berücksichtigt:

KlimaWandel im Alpenraum

Auswirkung auf Naturgefahren?

Wenn also Auslösekriterien, kritische Disposition und gefährdete Objekte im Alpenraum zunehmen ...

... nehmen dann auch schadbringende Wildbachereignisse zu?



Nicht so eindeutig wie man erwarten würde! → Grund? → Schutzverbauungen!

Schutzbauwerke wirken momentan noch den künftigen Auswirkungen des Klimawandels und der zunehmenden Nachfrage nach Bauland in gefährdeten Gebieten entgegen.

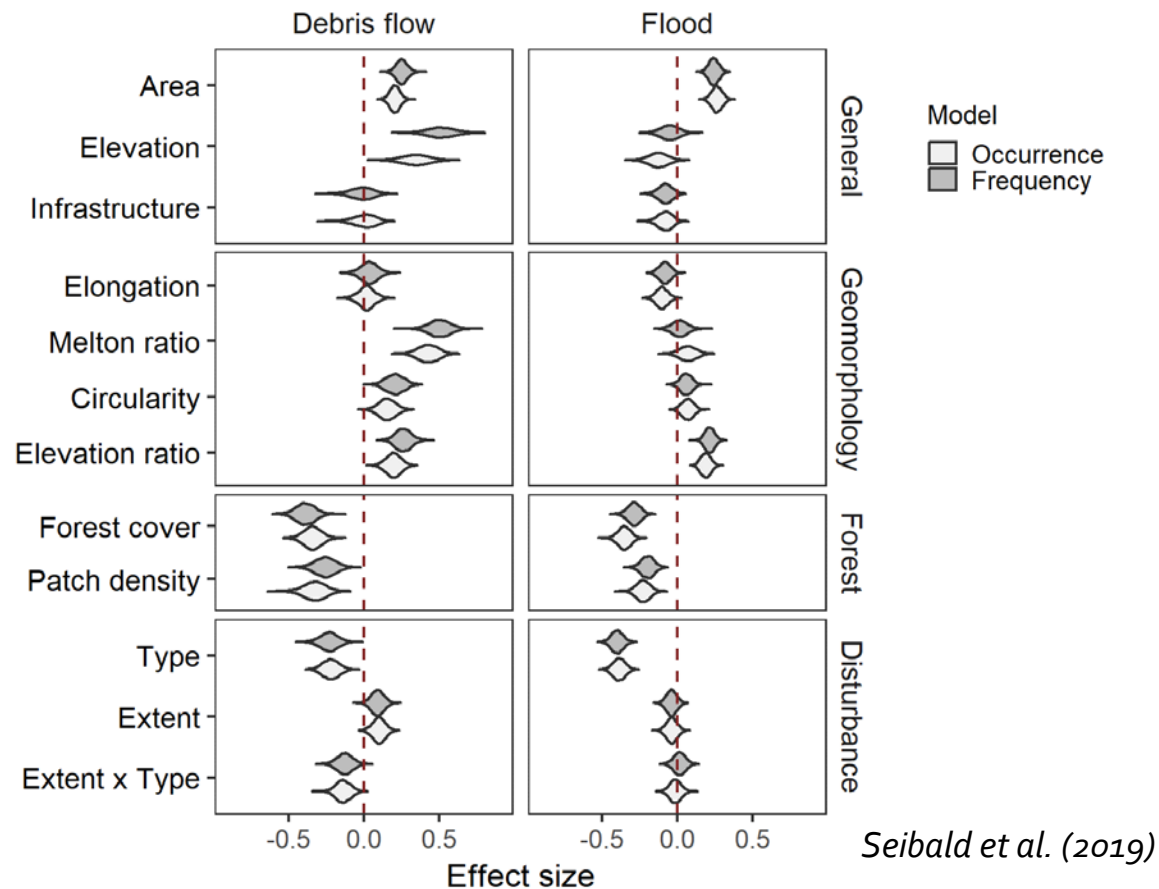
... etwas sehr wichtiges wurde in der Studie nicht berücksichtigt:

Die Schutzwirkung von Wäldern!

KlimaWandel im Alpenraum

Schutzwirkung von Wäldern

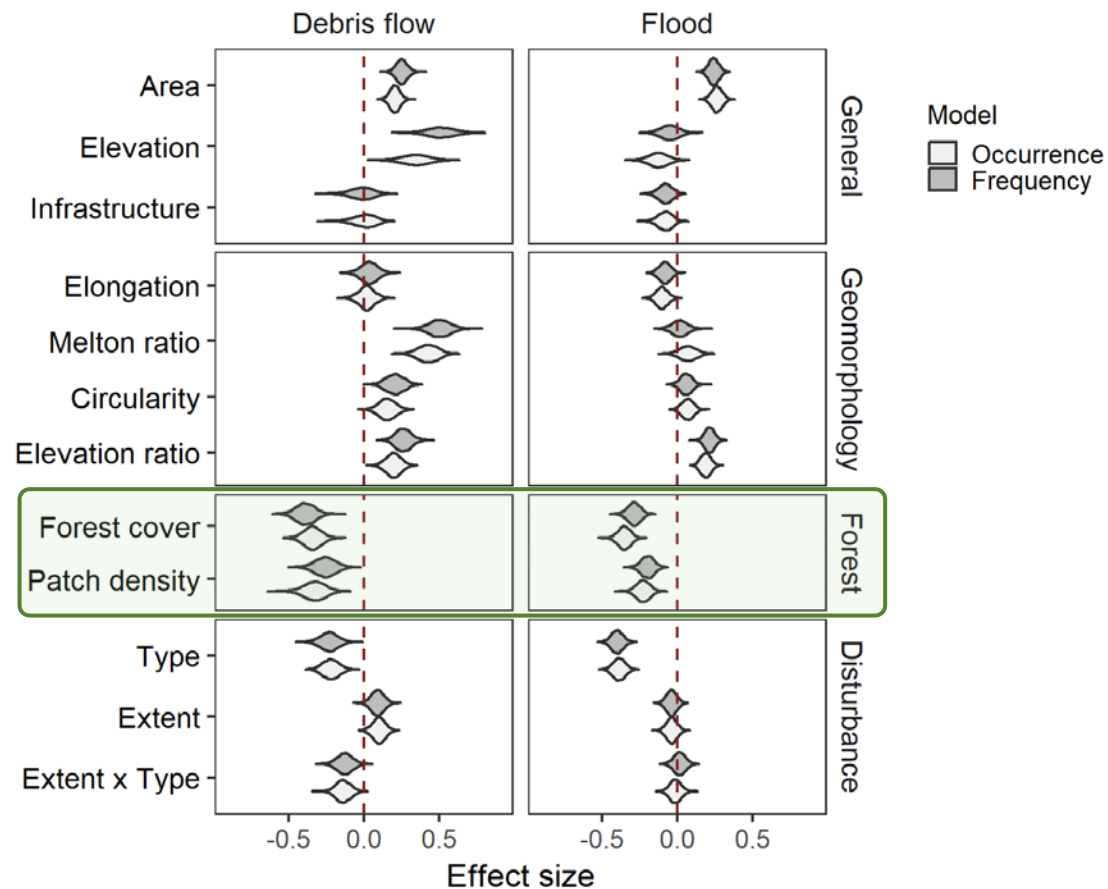
Analyse des Einflusses ausgewählter Einflussfaktoren auf das Auftreten und die Häufigkeit von Hochwasser- und Murenereignissen in Österreich den "letzten" 30 Jahren (Seibald et al., 2019).



KlimaWandel im Alpenraum

Schutzwirkung von Wäldern

Analyse des Einflusses ausgewählter Einflussfaktoren auf das Auftreten und die Häufigkeit von Hochwasser- und Murenereignissen in Österreich den "letzten" 30 Jahren (Sebald et al., 2019).



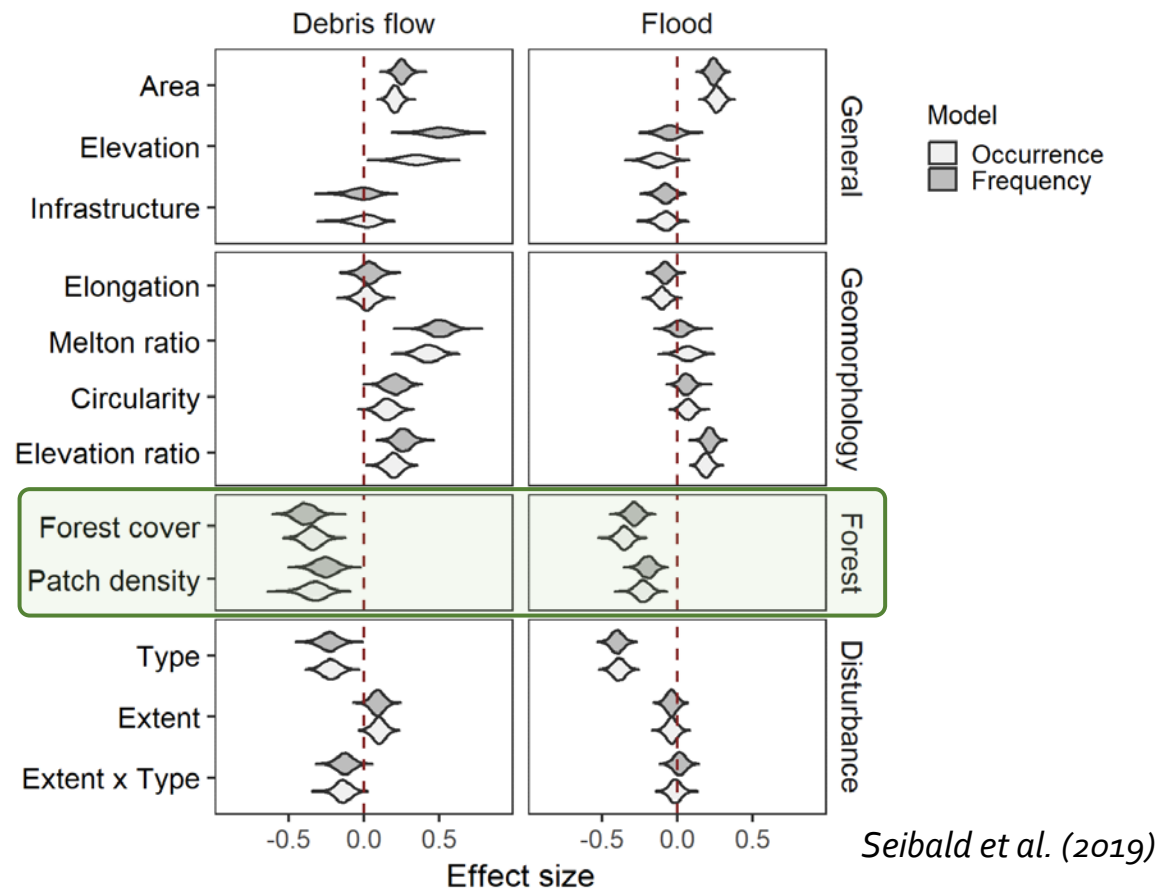
Waldbedeckung sowie Waldflächenverteilung haben eine starke negative Auswirkung auf das Auftreten und die Häufigkeit von schadbringenden Wildbachereignissen.



KlimaWandel im Alpenraum


Schutzwirkung von Wäldern

Analyse des Einflusses ausgewählter Einflussfaktoren auf das Auftreten und die Häufigkeit von Hochwasser- und Murenereignissen in Österreich den "letzten" 30 Jahren (Seibald et al., 2019).



Waldbedeckung sowie Waldflächenverteilung haben eine starke negative Auswirkung auf das Auftreten und die Häufigkeit von schadbringenden Wildbachereignissen.

25% Erhöhung der Waldbedeckung reduziert die Wahrscheinlichkeit schadbringender Wildbachereignisse um mehr als 8%.



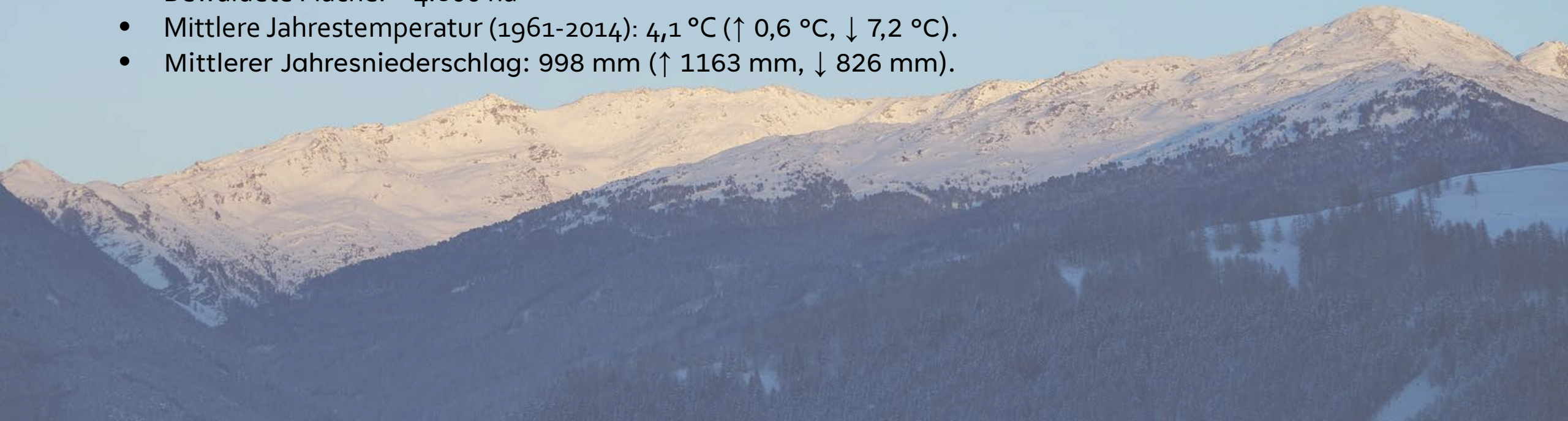
Klimawandel im Alpenraum - Adaptierung Schutzwirkung von Wäldern

Klimawandel führt zu höheren Stressfaktoren und damit unweigerlich zu **Adaptierungen von Bergwaldökosystemen**. Beispiel Studie im Stubaital (*Albrich et al., 2020*):

Schutzwirkung des Waldes vor Naturgefahrenprozessen ist abhängig von der Anzahl der Bäume (BHD > 30cm) pro ha.

Studie für das gesamte bewaldete Stubaital (900 m – 2000 m):

- Bewaldete Fläche: ~ 4.800 ha
- Mittlere Jahrestemperatur (1961-2014): 4,1 °C (↑ 0,6 °C, ↓ 7,2 °C).
- Mittlerer Jahresniederschlag: 998 mm (↑ 1163 mm, ↓ 826 mm).



Klimawandel im Alpenraum - Adaptierung Schutzwirkung von Wäldern

Klimawandel führt zu höheren Stressfaktoren und damit unweigerlich zu **Adaptierungen von Bergwaldökosystemen**. Beispiel Studie im Stubaital (*Albrich et al., 2020*):

Schutzwirkung des Waldes vor Naturgefahrenprozessen ist abhängig von der Anzahl der Bäume (BHD > 30cm) pro ha.

Studie für das gesamte bewaldete Stubaital (900 m – 2000 m):

- Bewaldete Fläche: ~ 4.800 ha
- Mittlere Jahrestemperatur (1961-2014): 4,1 °C (↑ 0,6 °C, ↓ 7,2 °C).
- Mittlerer Jahresniederschlag: 998 mm (↑ 1163 mm, ↓ 826 mm).

Erwärmung führt dazu, dass die derzeitige Dominanz von Nadelbäumen und dem Vorhandensein vieler großer Bäume in einen alternativen stabilen, durch Laubbäume höherer Stammzahl dominierten Zustand übergeht.

Klimawandel im Alpenraum - Adaptierung

Schutzwirkung von Wäldern

Klimawandel führt zu höheren Stressfaktoren und damit unweigerlich zu **Adaptierungen von Bergwaldökosystemen**. Beispiel Studie im Stubaital (*Albrich et al., 2020*):

Schutzwirkung des Waldes vor Naturgefahrenprozessen ist abhängig von der Anzahl der Bäume (BHD > 30cm) pro ha.

Studie für das gesamte bewaldete Stubaital (900 m – 2000 m):

- Bewaldete Fläche: ~ 4.800 ha
- Mittlere Jahrestemperatur (1961-2014): 4,1 °C (↑ 0,6 °C, ↓ 7,2 °C).
- Mittlerer Jahresniederschlag: 998 mm (↑ 1163 mm, ↓ 826 mm).

Erwärmung führt dazu, dass die derzeitige Dominanz von Nadelbäumen und dem Vorhandensein vieler großer Bäume in einen alternativen stabilen, durch Laubbäume höherer Stammzahl dominierten Zustand übergeht.

Die **Komplexität** und **räumliche Heterogenität** Alpiner Standorte kann jedoch die Auswirkung des **Klimawandels puffern**, so dass es zu Refugienbildung, z.B.: für die Fichte auf höheren Nordlagen, kommen kann.

Klimawandel im Alpenraum - Adaptierung

Schutzwirkung von Wäldern

Klimawandel führt zu höheren Stressfaktoren und damit unweigerlich zu **Adaptierungen von Bergwaldökosystemen**. Beispiel Steinschlagschutzwald Südschweiz (*Moos et al., 2021*).

Schutzwirkung des Waldes vor Steinschlag ist abhängig von der Baumart, -durchmesser und -höhe.
Studie für Schutzwald oberhalb Martigny (500 m – 1000 m) - Südhang:

- Bewaldete Fläche: ~ 77 ha
- Mittlere Jahrestemperatur: ~ 5 °C (Sommer), ~ -6 °C (Winter).
- Mittlerer Jahresniederschlag: 880 mm.

Klimawandel im Alpenraum - Adaptierung Schutzwirkung von Wäldern

Klimawandel führt zu höheren Stressfaktoren und damit unweigerlich zu **Adaptierungen von Bergwaldökosystemen**. Beispiel Steinschlagschutzwald Südschweiz (*Moos et al., 2021*).

Schutzwirkung des Waldes vor Steinschlag ist abhängig von der Baumart, -durchmesser und -höhe.
Studie für Schutzwald oberhalb Martigny (500 m – 1000 m) - Südhang:

- Bewaldete Fläche: ~ 77 ha
- Mittlere Jahrestemperatur: ~ 5 °C (Sommer), ~ -6 °C (Winter).
- Mittlerer Jahresniederschlag: 880 mm.

Für beide Klimaszenarien (RCP 4.5; RCP 8.5) prognostizierten die Simulationen eine Verschiebung hin zu einem von Flaumeiche (*Quercus pubescens*) dominierten Wald, gemischt mit Waldkiefer (*Pinus sylvestris*), was zu einer deutlichen Abnahme der Baumdurchmesser führt, teilweise auch einer reduzierten Stammzahl unter dem extremen Klimaszenario Szenario (RCP 8.5).

Bewertung der Schutzwirkung von Bergwäldern gegen Steinschlag auf regionaler Ebene (*Scheidl et al., 2020*).

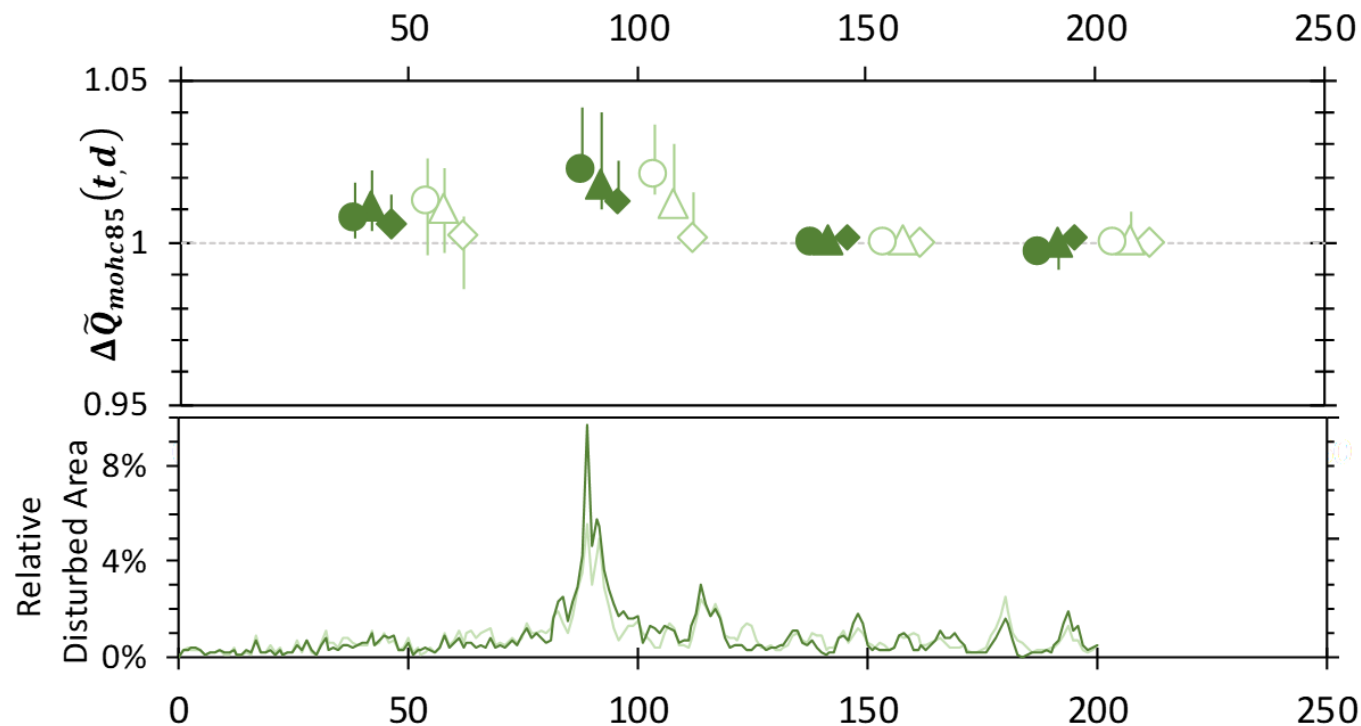
Die Steinschlag-Schutzwirkung ist regional betrachtet für Mischwälder am höchsten und erhöht sich im Durchschnitt um 7 % bei einer Erhöhung der Stammzahl um 100 Stämme pro Hektar (Baumhöhe >20m).

KlimaWandel im Alpenraum - Störungen

Schutzwirkung von Wäldern

Für Europa ist eine klimabedingte **Zunahme von Waldstörungen** wie Waldbrand, Wind und Insektenausbrüchen in den kommenden Jahrzehnten sehr wahrscheinlich (*Seidl et al., 2014*).

Beispiel Stubaital Äußerer Lehnertalbach, Einfluss von Störungen auf Spitzenabflüsse aufgrund von extremen Niederschlagsereignissen (*Scheidl et al., 2020*):



Verhältnis zum Spitzenabfluss mit/ohne Störungen, gewichtet nach Bewirtschaftung und ohne Bewirtschaftung für 50, 100, 150 und 200 Jahre.

Gestörte Fläche im Verhältnis zur Gesamtfläche des Waldes in jedem Jahr.



Klimawandel im Alpenraum

Schutzwirkung von Wäldern –Fazit

Schutzwälder reagieren sensibel auf Systemveränderungen wie:

- Klima,
- Störungen,
- intensive Erholungsnutzung,
- verstärkte Nutzung von Primärressourcen,
- etc.



Klimawandel im Alpenraum

Schutzwirkung von Wäldern –Fazit

Schutzwälder reagieren sensibel auf Systemveränderungen wie:

- Klima,
- Störungen,
- intensive Erholungsnutzung,
- verstärkte Nutzung von Primärressourcen,
- etc.

mit lang anhaltenden Auswirkungen auf die **unterschiedlichsten Ökosystemleistungen** (neben Schutzleistung):

- biologische Vielfalt,
- Wasserverfügbarkeit und Wasserqualität,
- Klimaregulation,
- Kohlenstoffspeicher,
- Luftqualität,
- etc.

Klimawandel im Alpenraum

Schutzwirkung von Wäldern –Fazit

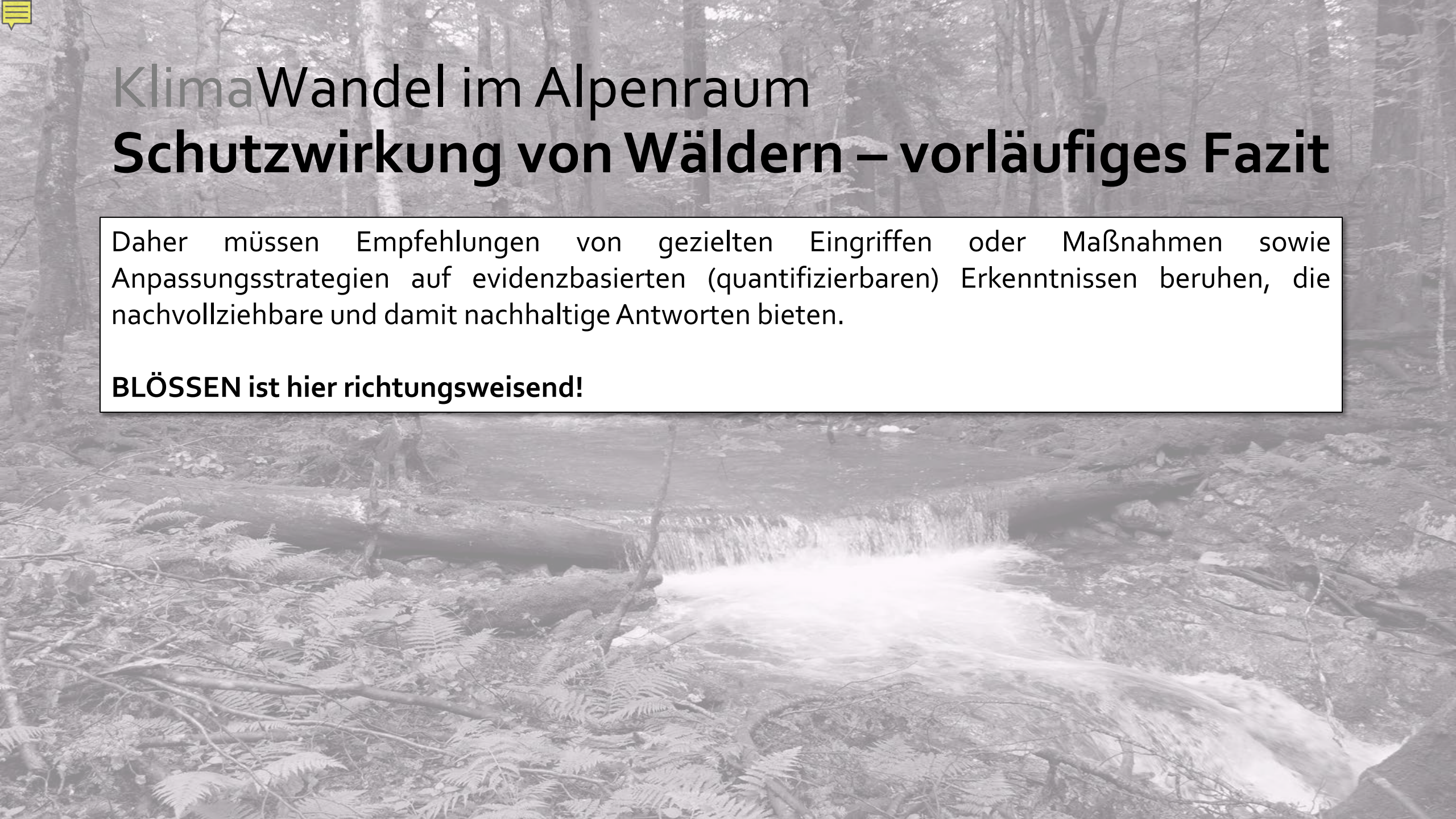
Schutzwälder reagieren sensibel auf Systemveränderungen wie:

- Klima,
- Störungen,
- intensive Erholungsnutzung,
- verstärkte Nutzung von Primärressourcen,
- etc.

mit lang anhaltenden Auswirkungen auf die **unterschiedlichsten Ökosystemleistungen** (neben Schutzleistung):

- biologische Vielfalt,
- Wasserverfügbarkeit und Wasserqualität,
- Klimaregulation,
- Kohlenstoffspeicher,
- Luftqualität,
- etc.

... die in alpinen Einzugsgebieten als zunehmend wichtig erachtet („Green-Deal“) werden.

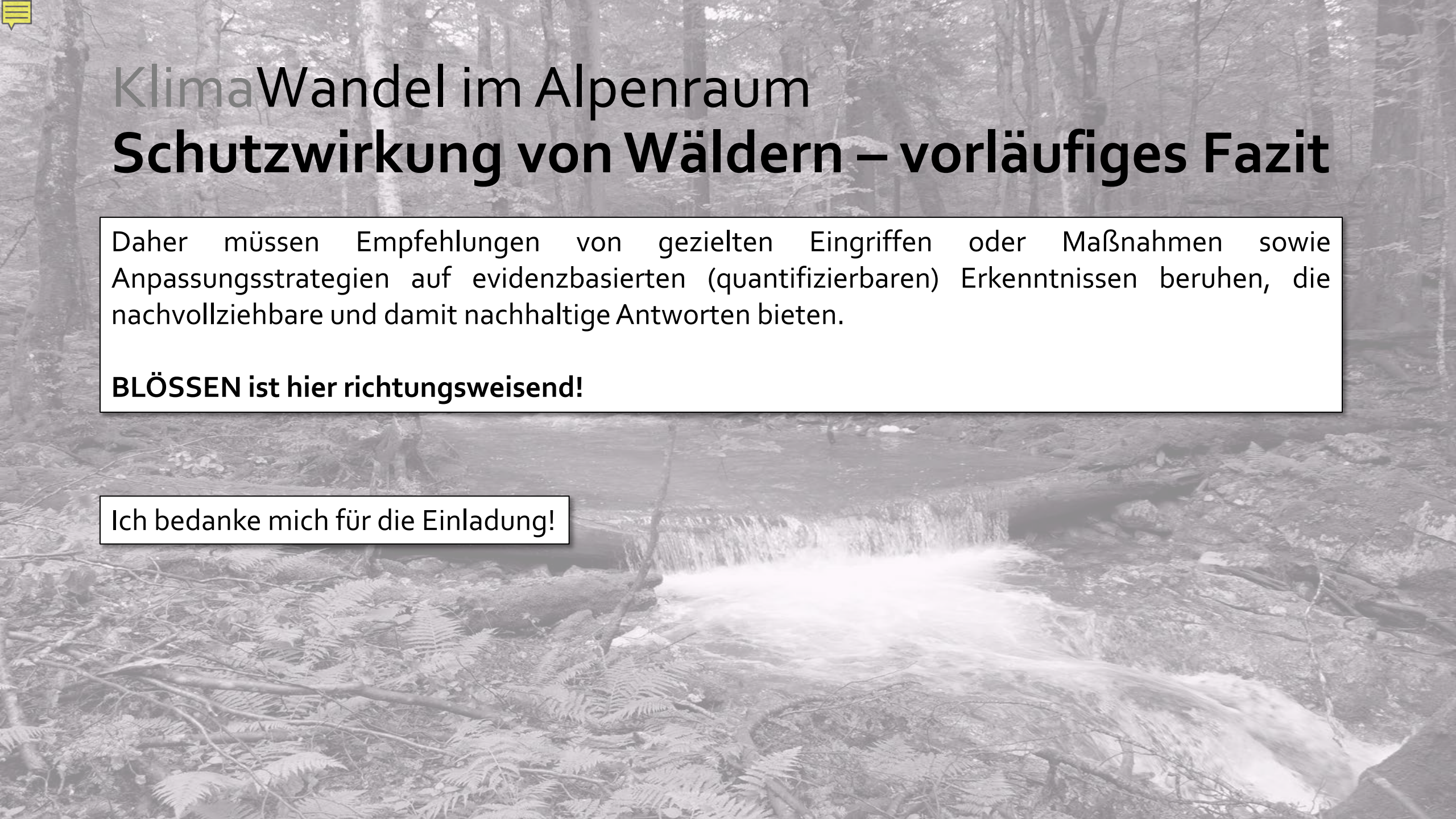


Klimawandel im Alpenraum

Schutzwirkung von Wäldern – vorläufiges Fazit

Daher müssen Empfehlungen von gezielten Eingriffen oder Maßnahmen sowie Anpassungsstrategien auf evidenzbasierten (quantifizierbaren) Erkenntnissen beruhen, die nachvollziehbare und damit nachhaltige Antworten bieten.

BLÖSSEN ist hier richtungsweisend!

The background of the slide is a grayscale photograph of a forest stream. The water flows over a rocky ledge, creating a small waterfall. The surrounding forest is dense with trees and ferns. In the top left corner, there is a small yellow icon of a speech bubble with three lines inside.

Klimawandel im Alpenraum

Schutzwirkung von Wäldern – vorläufiges Fazit

Daher müssen Empfehlungen von gezielten Eingriffen oder Maßnahmen sowie Anpassungsstrategien auf evidenzbasierten (quantifizierbaren) Erkenntnissen beruhen, die nachvollziehbare und damit nachhaltige Antworten bieten.

BLÖSSEN ist hier richtungsweisend!

Ich bedanke mich für die Einladung!

Literatur

- Albrich, K., Rammer, W., Seidl, R., 2020. Climate change causes critical transitions and irreversible alterations of mountain forests. *Global Change Biology* n/a. <https://doi.org/10.1111/gcb.15118>
- Olefs, M., Enigl, K., Haslinger, K., Mattula, C., Pistotnik, G., 2021. Klimawandel mit Blick auf den Schutzwald, in: Freudenschuss, A., Markart, G., Scheidl, C., Schadauer, K. (Eds.), *Schutzwald in Österreich - Wissensstand Und Forschungsbedarf*. Langfassung. Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, p. 205. <https://www.schutzwald.at/service/news/schutzwald/2021/schutzwaldforschung.html>
- Moos, C., Guisan, A., Randin, C.F., Lischke, H., 2021. Climate Change Impacts the Protective Effect of Forests: A Case Study in Switzerland. *Frontiers in Forests and Global Change* 4. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.682923>
- Schlögel, R., Kofler, C., Gariano, S.L., Van Campenhout, J., Plummer, S., 2020. Changes in climate patterns and their association to natural hazard distribution in South Tyrol (Eastern Italian Alps). *Sci Rep* 10, 5022. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61615-w>
- Scheidl, C., Heiser, M., Vospernik, S., Lauss, E., Perzl, F., Kofler, A., Kleemayr, K., Bettella, F., Lingua, E., Garbarino, M., Skudnik, M., Trappmann, D., Berger, F., 2020. Assessing the protective role of alpine forests against rockfall at regional scale. *Eur J Forest Res.* <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01299-z>
- Scheidl, C., Heiser, M., Kamper, S., Thaler, T., Rammer, W., Seidl, R., Klebinder, K., Lechner, V., Nagl, F., Kohl, B., Markart, G., 2021. Influence of Canopy Disturbances on Runoff and Landslide Disposition after Heavy Rainfall Events, in: *Protective Forest as Ecosystem-Based Solution for Disaster Risk Reduction (ECO-DRR)*. *Protective Forest as Ecosystem-Based Solution for Disaster Risk Reduction (ECO-DRR)*, p. 14. <https://www.intechopen.com/online-first/78126>
- Schlögl, M., Fuchs, S., Scheidl, C., Heiser, M., 2021. Trends in torrential flooding in the Austrian Alps: A combination of climate change, exposure dynamics, and mitigation measures. *Climate Risk Management* 100294. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100294>
- Sebald, J., Senf, C., Heiser, M., Scheidl, C., Pflugmacher, D., Seidl, R., 2019. The effects of forest cover and disturbance on torrential hazards: large-scale evidence from the Eastern Alps. *Environ. Res. Lett.* 14, 114032. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4937>
- Seidl, R., Schelhaas, M.-J., Rammer, W., Verkerk, P.J., 2014. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nature Clim Change* 4, 806–810. <https://doi.org/10.1038/nclimate2318>