

# Extremereignisse und damit einhergehende Phänomene

**Georg Pistotnik**

GeoSphere Austria  
Abteilung für Klima-Folgen-Forschung  
[georg.pistotnik@geosphere.at](mailto:georg.pistotnik@geosphere.at)

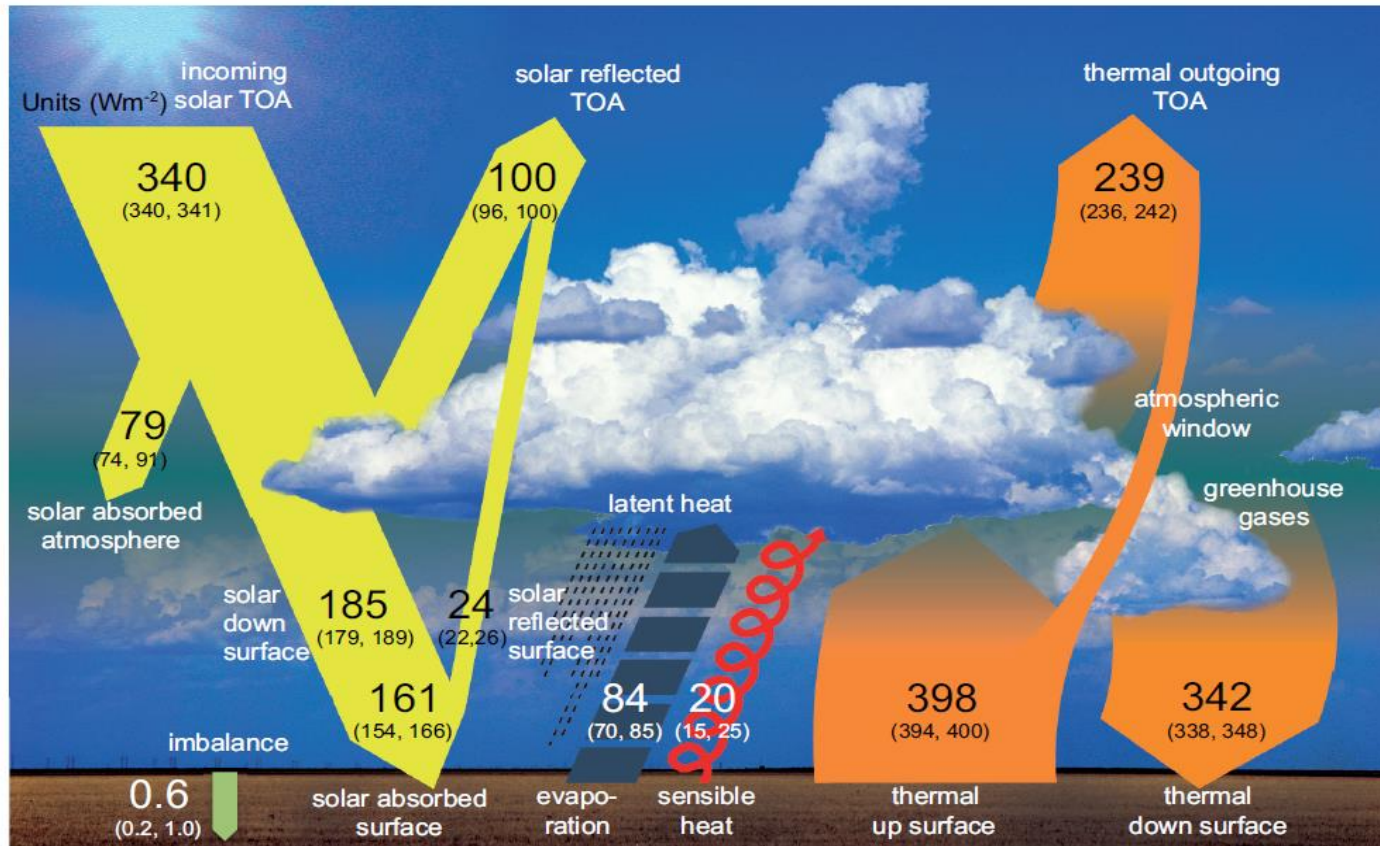
12. November 2024

Workshop „Wasser im Fokus - Wege im Umgang mit herausfordernden Gegensätzen“

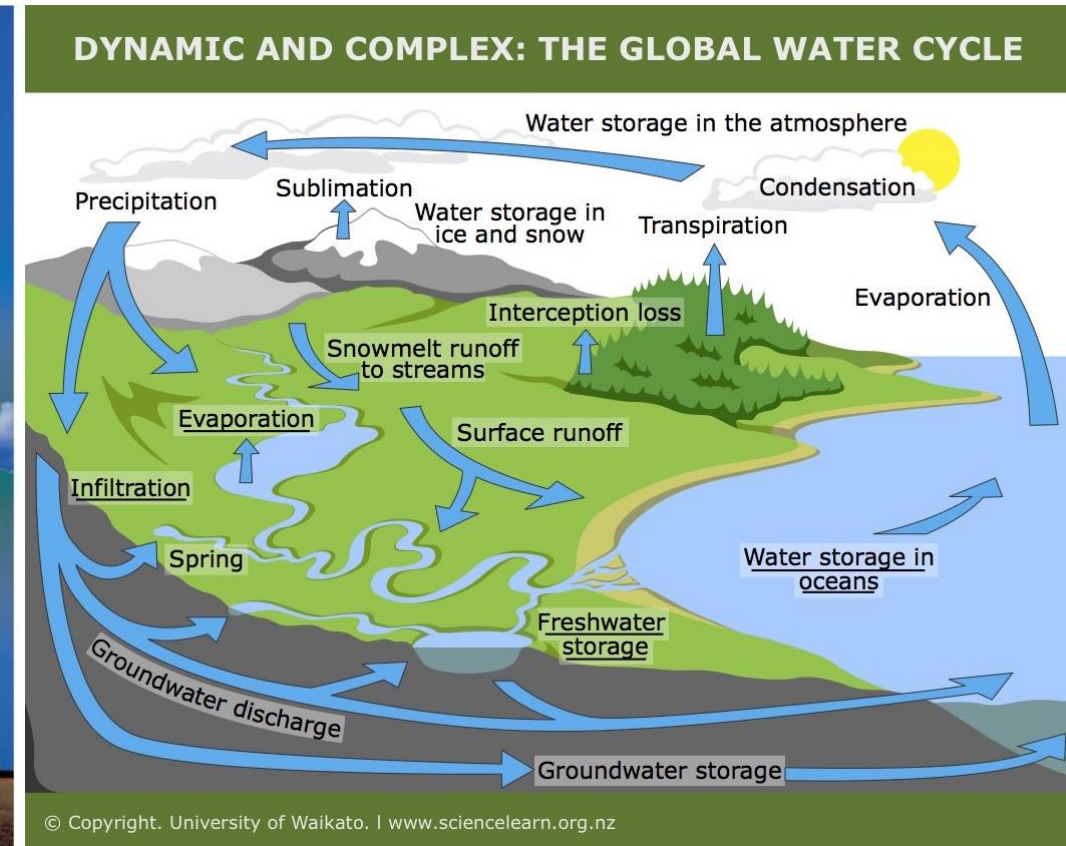
Wien – Oktogon Am Himmel

- 1. Die Physik hinter dem Klimawandel**
- 2. Klimawandel in Österreich: Niederschlag und Wasserhaushalt**
- 3. Starkregen: Gefährdung vs. Wahrnehmung**
- 4. Zusammengesetzte Extremereignisse**
- 5. Die „eierlegende Wollmilchsau“ der Klimwandelanpassung**
- 6. 2024er-„Storylines“**
- 7. Die letzte Folie**

## Der globale Energie- und Wasserhaushalt



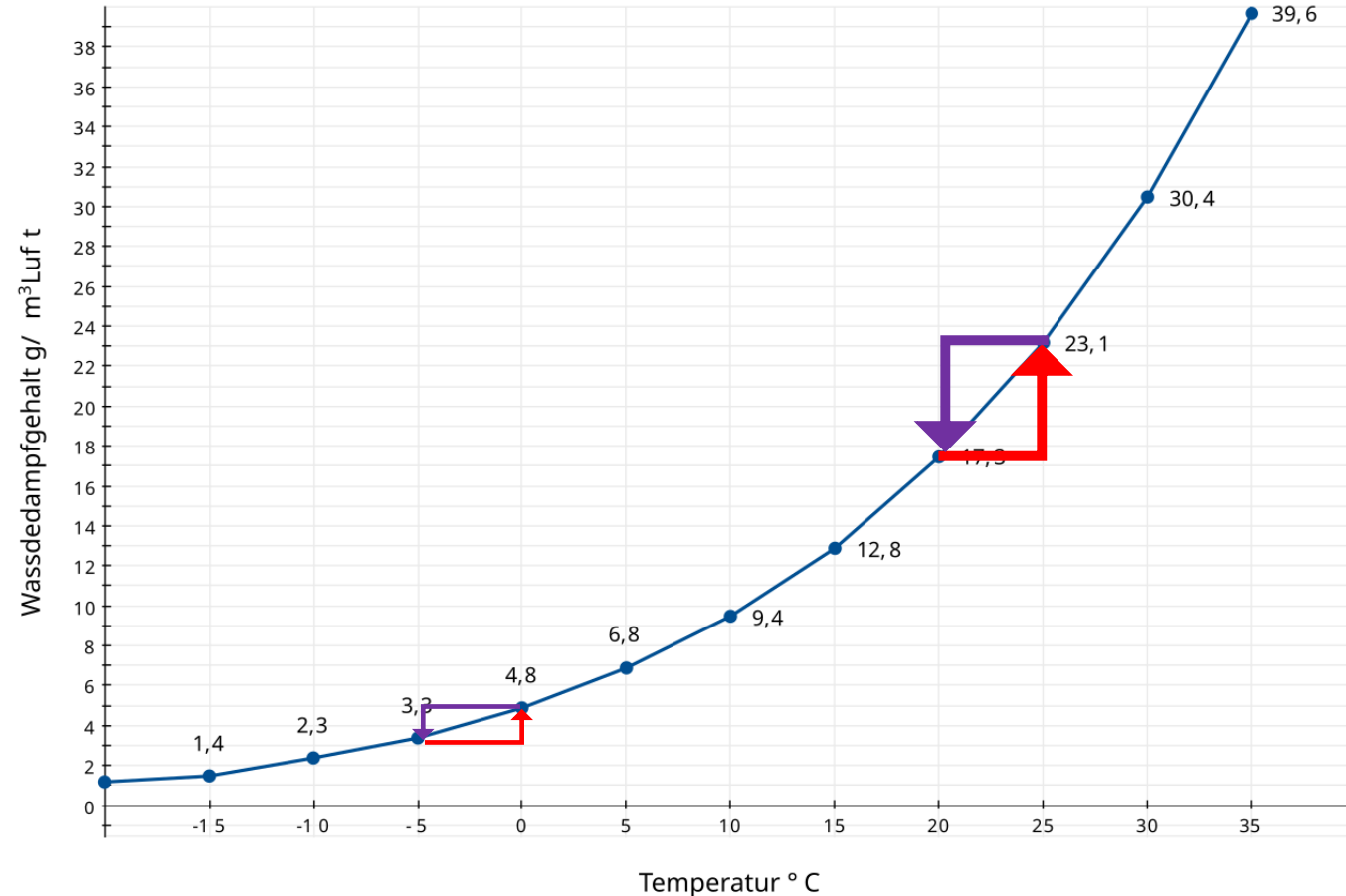
IPCC (2013)



Science Learning Hub / University of Waikato (2017)

## Wasserdampf-Kapazität von Luft (Clausius-Clapeyron-Gleichung)

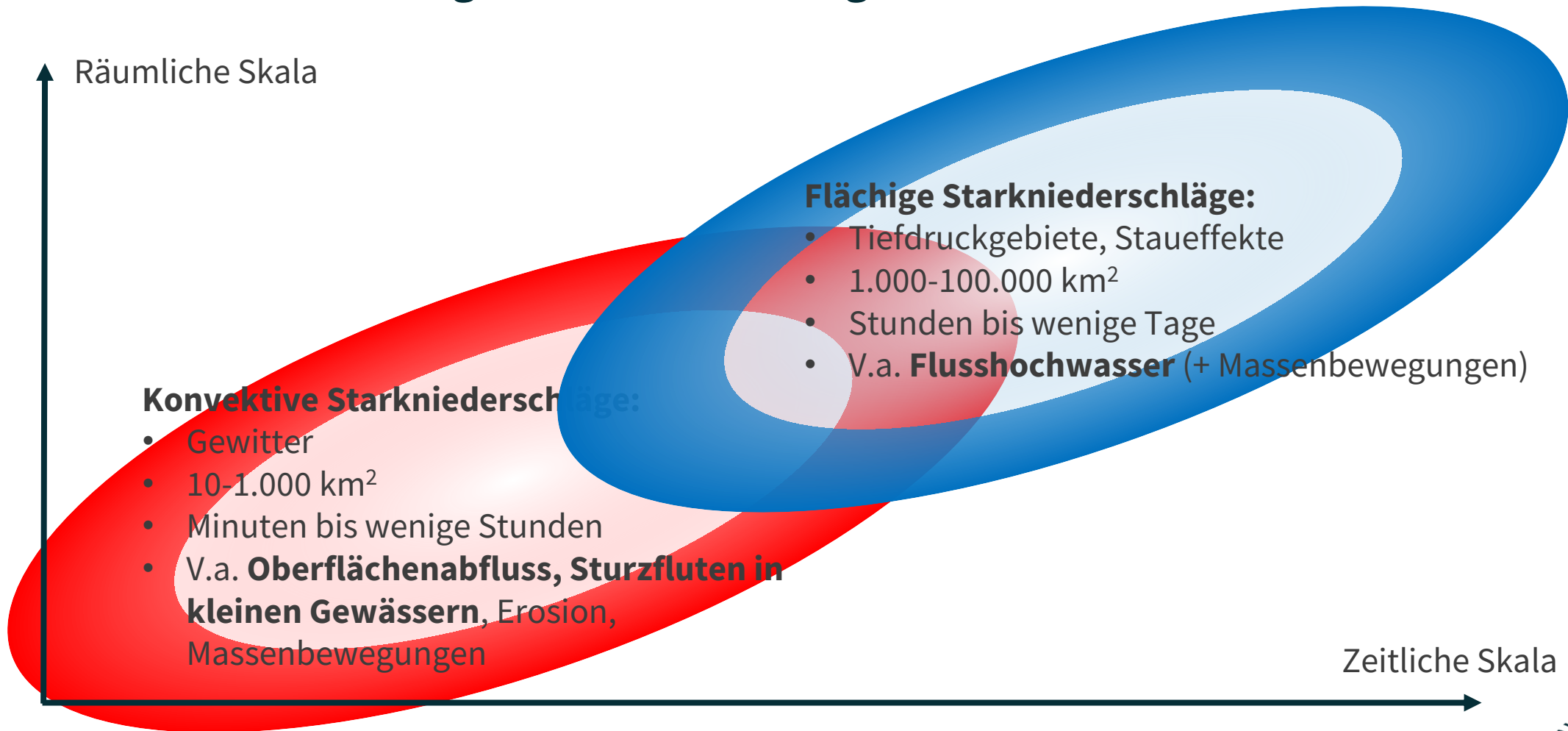
- Ungesättigte Luft nimmt Wasserdampf bei Erwärmung auf (-> Verdunstung)
- Gesättigte Luft gibt Wasser bei Abkühlung ab (-> Niederschlag)
- Sowohl Verdunstung als auch Niederschlagsintensitäten steigen exponentiell mit Temperatur
- Flächige Niederschläge: ~7% pro Grad Erwärmung
- Gewitter: 10-15% pro Grad Erwärmung (zusätzlich höhere Niederschlagseffizienz durch mehr Auftrieb von Luft in Gewitterwolken)
- Schnellerer Wasserkreislauf in wärmerem Klima



© "Retemirabile" / Wikipedia (modifiziert)

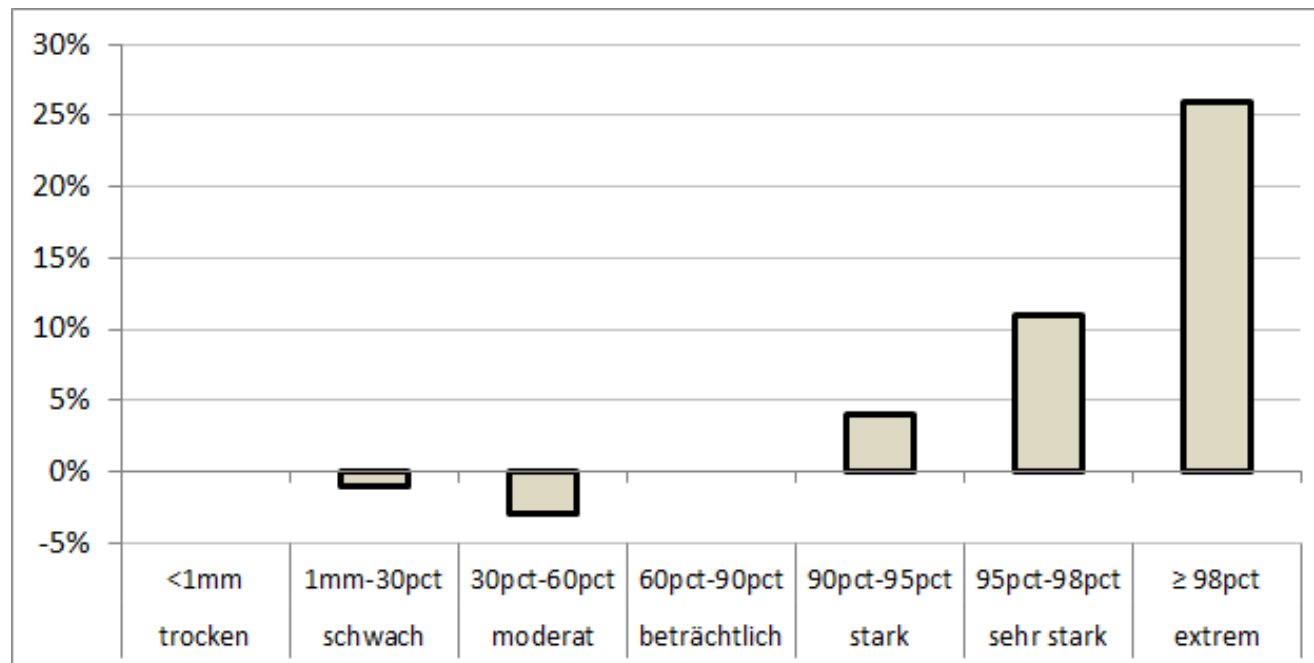


## Skalen von Starkregen und dessen Folgen



## Klimawandel und Niederschlag in Österreich

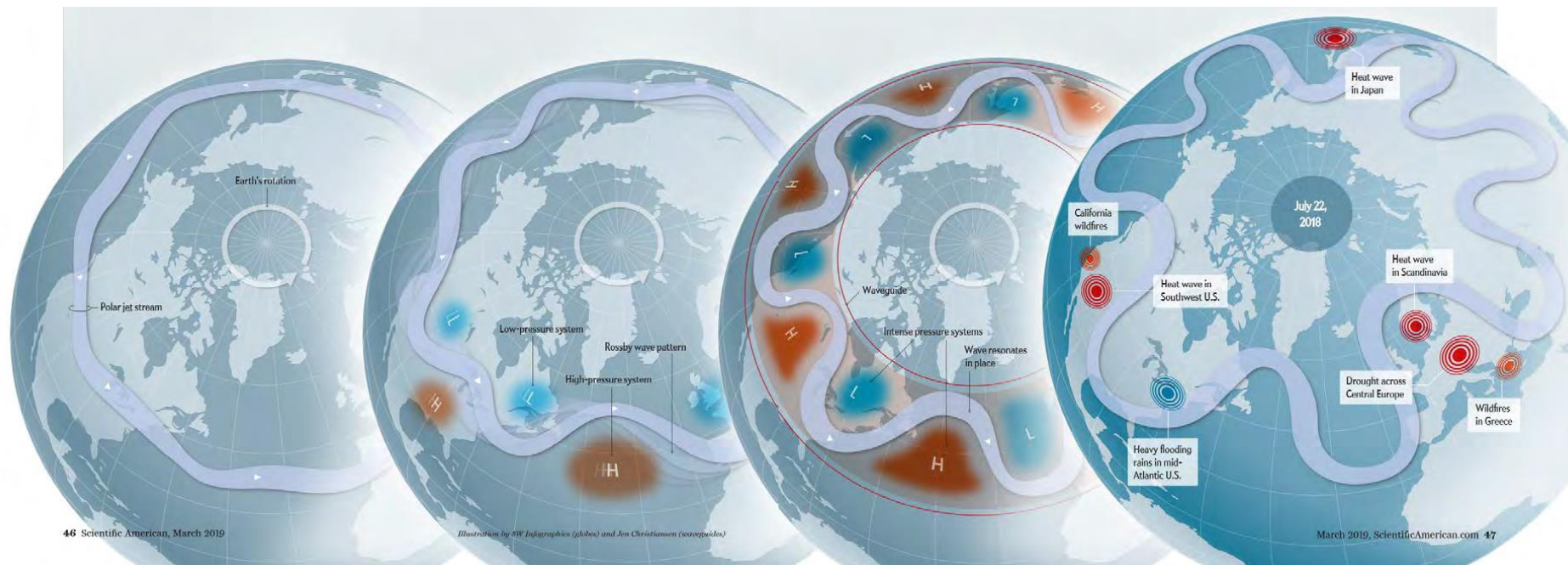
1. Niederschlagssummen steigen nicht synchron mit Temperatur
2. Höhere Niederschlagsintensitäten, daher mehr oberflächlicher Abfluss
3. Höherer Anteil konvektiver Niederschläge (Gewitter)
4. Winterliches Auffüllen des Grundwasserspeichers durch Schneedecke verringert sich



Ad (2.):  
Änderung verschiedener Intensitätsklassen  
von Tagesniederschlägen in Österreich  
1991-2020 relativ zu 1961-1990

## Klimawandel und Niederschlag in Österreich (speziell im Sommer)

5. Längere Andauer von (nassen wie trockenen) Wetterlagen
6. Selbstverstärkung und -verlängerung von (nassen wie trockenen) Perioden durch Verdunstungs-Niederschlags-Feedback
7. Generelle Tendenz zu zunehmender Sommertrockenheit (mehr subtropische Hochdruckgebiete bis nach Mitteleuropa)

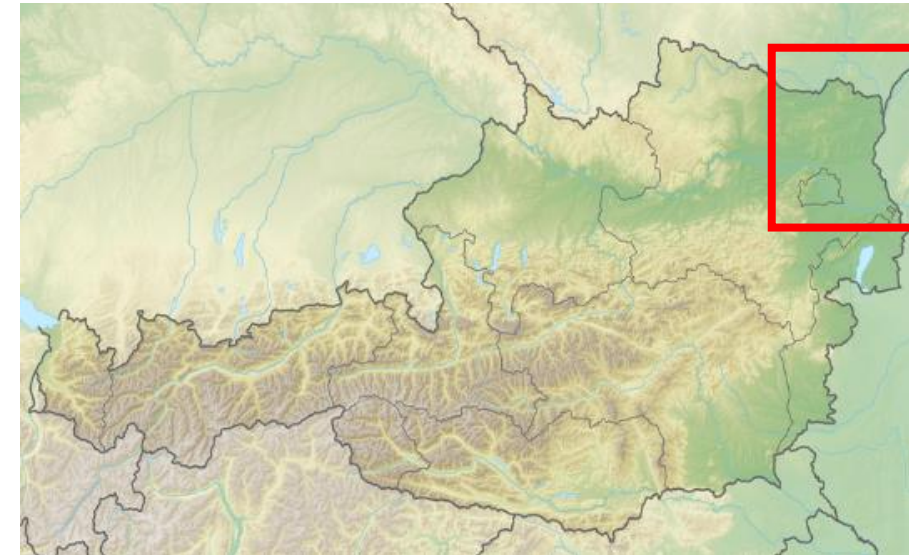
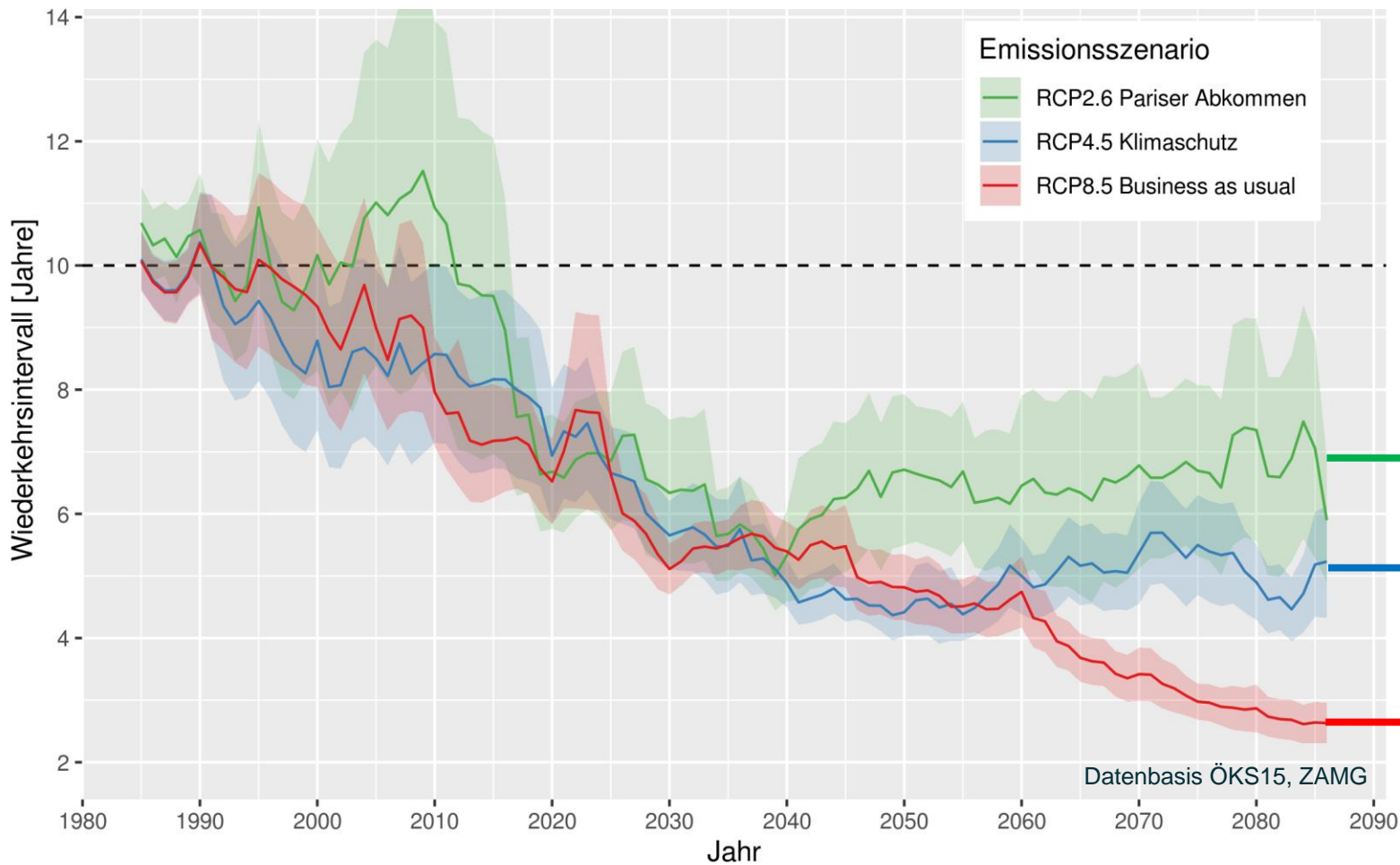


Ad (5.): Zunehmende Neigung zu stationären Wetterlagen durch stehende Wellen des Jetstreams (Mann, 2019)



## Häufigkeit von Trockenereignissen abgeleitet aus der klimatischen Wasserbilanz

Zukünftige Jährlichkeiten von sommerlichen Trockenereignissen  
Referenz: 10-jährliches Ereignis in der Periode 1971-2000, Region: Weinviertel



7 Jahre

5 Jahre

2-3 Jahre



# Starkregen: Gefährdung vs. Wahrnehmung 1/5

Klimatologische  
Gefährdung

Verwundbarkeit  
+ Exposition

Berichterstattung

## Schlamm und Geröll wälzten sich durch Ort

LEOBEN (SN, APA). Nach einem heftigen Gewitter bot Mittwoch abend die kleine Ortschaft Proleb bei Leoben ein Bild der Verwüstung. Eine Lawine aus Schlamm und Geröll wälzte sich auf Hunderte Meter durch den Ort, die Feuerwehren hatten stundenlang Großeinsatz. Verletzt wurde glücklicherweise niemand. Nach den Regengüssen hatte sich ein an sich harmloser Bach, der aus dem Prentgraben herausführt, in ein reißendes Gewässer verwandelt. Das Ortszentrum wurde schwer in Mitleidenschaft gezogen. Die Landesstraße (L 122) war noch am Donnerstag unpassierbar. In Proleb wurde die kommunale Wasser- und Kanalversorgung in Mitleidenschaft gezogen und zwei Pkw und ein Moped weggeschwemmt.

Proleb (St),  
03.08.1994  
(© Salzburger Nachrichten)

Deutschfeistritz (St),  
08.06.2024  
(© Sabine Fitzinger)



# Starkregen: Gefährdung vs. Wahrnehmung 2/5

## Klimatologische Gefährdung

## Verwundbarkeit + Exposition

## Berichterstattung

Samstag, 27. Juni 2020

Aufgrund heftiger Regenfälle wurde das Auffangbecken des "Möserer Bachls" in Oberpettnau verstopft. Ein Einsatz der Feuerwehr war nötig, um die Verklausung zu beseitigen und ein Abfließen der Wassermengen zu ermöglichen.

Sonntag, 28. Juni 2020

Aufgrund heftiger Regenfälle wurde das Auffangbecken des "Möserer Bachls" in Oberpettnau verstopft. Ein Einsatz der Feuerwehr war nötig, um die Verklausung zu beseitigen und ein Abfließen der Wassermengen zu ermöglichen.

Mittwoch, 01. Juli 2020

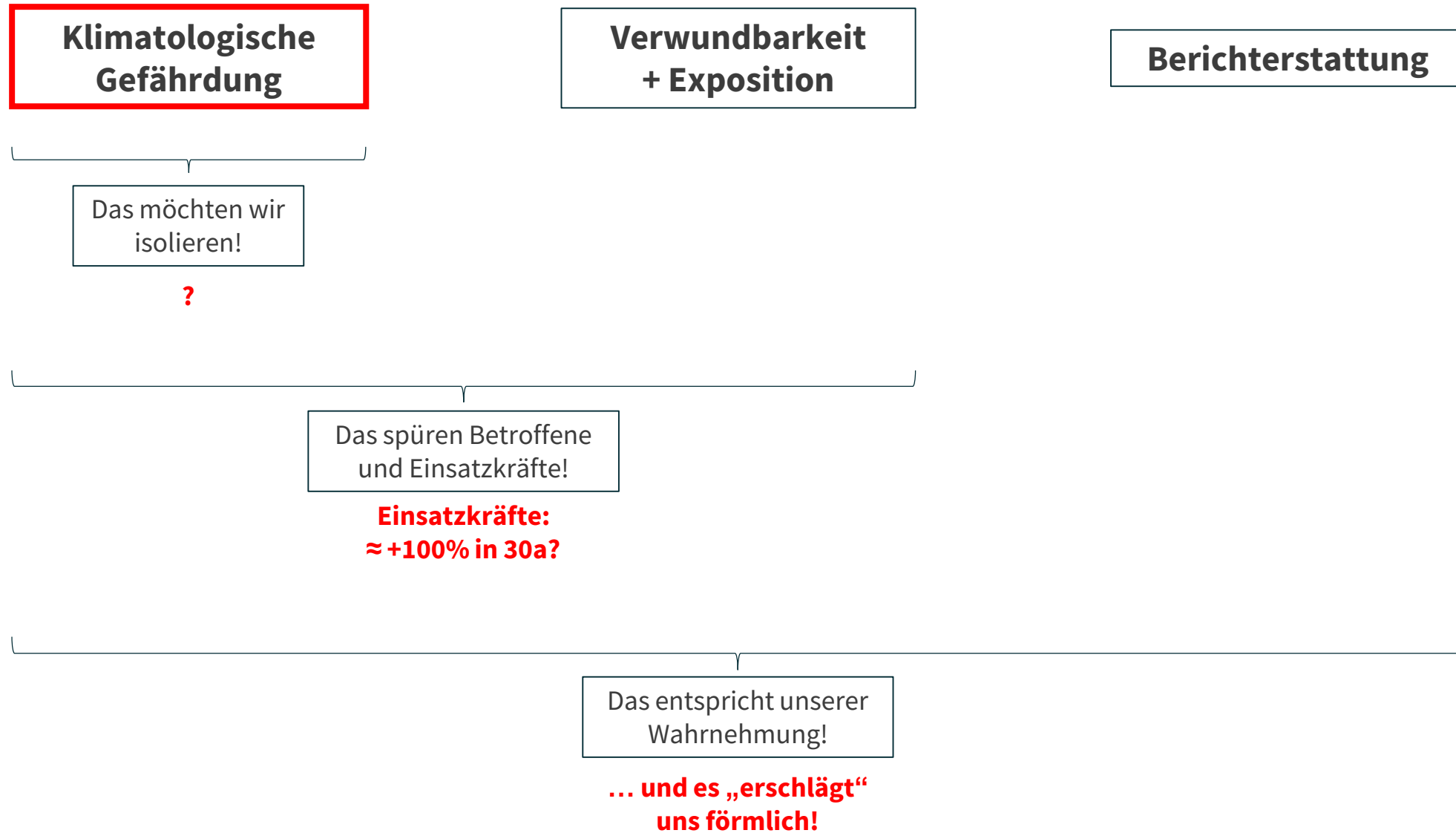
Aufgrund heftiger Regenfälle wurde das Auffangbecken des "Möserer Bachls" in Oberpettnau verstopft. Ein Einsatz der Feuerwehr war nötig, um die Verklausung zu beseitigen und ein Abfließen der Wassermengen zu ermöglichen.

Donnerstag, 02. Juli 2020

Aufgrund heftiger Regenfälle wurde das Auffangbecken des "Möserer Bachls" in Oberpettnau verstopft. Ein Einsatz der Feuerwehr war nötig, um die Verklausung zu beseitigen und ein Abfließen der Wassermengen zu ermöglichen.

Auszug aus  
Einsatzberichten  
der FF Pettnau (T)  
([Link](#))

# Starkregen: Gefährdung vs. Wahrnehmung 3/5



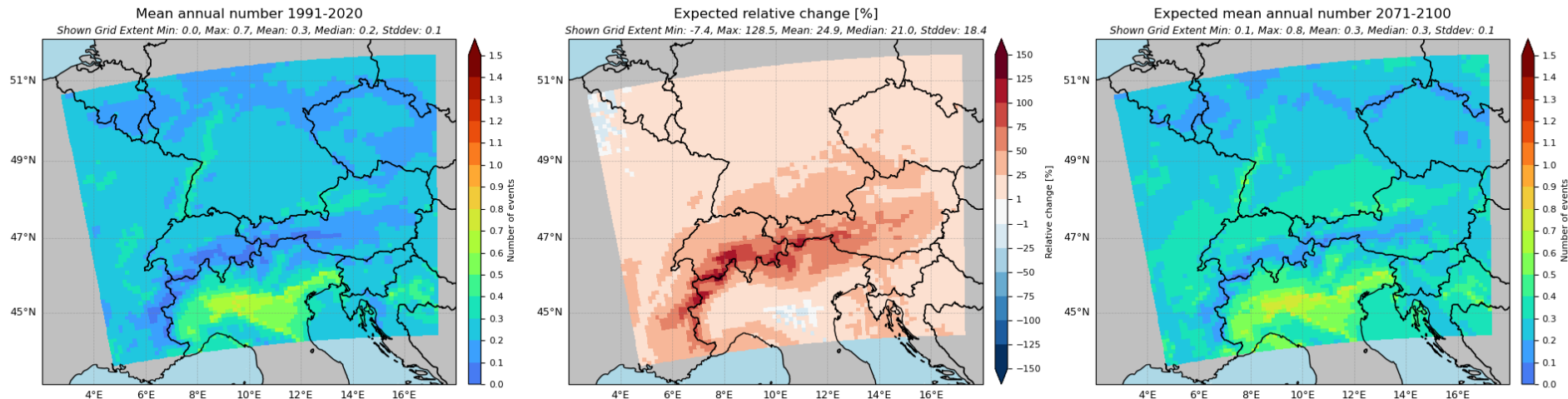


## Indirekte Abschätzung der zukünftigen Starkregen-Gefährdung

- Statistisches Modell aus Feuerwehr-Einsatzdaten und meteorologischen Reanalysen (ERA5) 2016-2023, angewandt auf acht regionale Klimaprognosen (EURO-CORDEX)
- Erwartete Anzahl an lokalen Starkregen-Ereignissen mit Katastrophenfolge pro  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  und Jahr
- Links: Mittelwert 1991-2020, rechts: Mittelwert 2071-2100, Mitte: relative Differenz
- Gefährdung insgesamt in Alpenvorländern am höchsten
- Größte zukünftige Zunahme der Gefährdung im alpinen Bereich erwartet

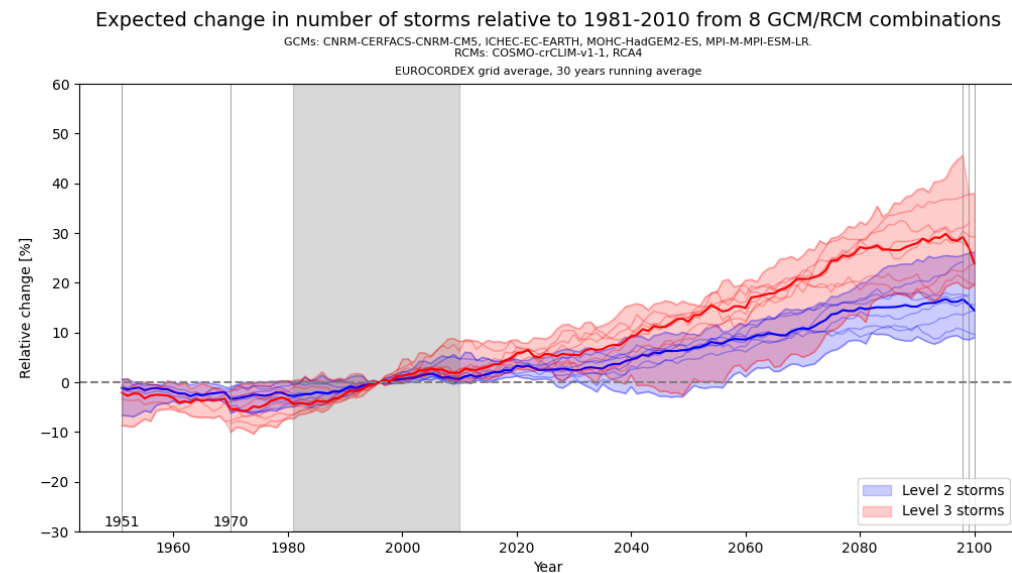
Expected change in number of Level 3 storms 2071-2100 relative to 1991-2020

Eurocordex Grid. GCM: ICHEC-EC-EARTH / RCM: COSMO-crCLIM-v1-1



## Indirekte Abschätzung der zukünftigen Starkregen-Gefährdung

- Statistisches Modell aus Feuerwehr-Einsatzdaten und meteorologischen Reanalysen (ERA5) 2016-2023, angewandt auf acht regionale Klimaprognosen (EURO-CORDEX)
- Relative Änderung der erwarteten Anzahl an Ereignissen pro  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  und Jahr in Bezug auf 1991-2020
- Intensitätsstufen 2 = Unwetter (Schäden), 3 = extremes Unwetter (Katastrophenfolgen)
- Zukünftige Zunahme der Gefährdung für extreme Unwetter größer als für „moderate“ Unwetter (Mittelwert über Alpenraum, 30-jährlich geglättet)





## Multiple Gefährdungen können einander aufschaukeln!

Beispiele für Verstärkungen der Folgen durch Starkniederschläge:

- Verlust der Stabilität des Bodens durch Rückgang von Gletschern und Permafrost
- Regen bis in höchste Gipfelregionen



Wald im Pinzgau 2021

© Pinzgauer Lokalbahn  
(via SalzburgWiki)



Rauris 2023

© Gebhard Neumayr /  
Land Salzburg  
(via SalzburgWiki)



## Multiple Gefährdungen können einander aufschaukeln!

Beispiele für Verstärkungen der Folgen durch Starkniederschläge (Fortsetzung):

- Große Niederschlagsmengen mit Wechsel von Schnee und Regen



Rauris 2019

© Gebhard Neumayr /  
Land Salzburg  
(via SalzburgWiki)

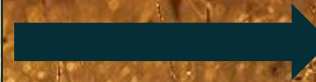
- Schadholz durch Windwurf und/oder Schädlingsbefall und nachfolgender Starkregen
- Dürre und nachfolgender Starkregen ([Experiment der Universität Reading](#))

## Interzeption = Abfangen von Niederschlagswasser



### Mehr Oberfläche!

- Begrünung, Renaturierung
- Auflockerung von Böden
- Rauere Strukturen



### Mehr Interzeption:

- Mildert und verlangsamt oberflächlichen Abfluss
- Beugt der nächsten Trockenperiode vor
- Dämpft generelle Tendenz zu Sommertrockenheit
- Mildert Temperaturspitzen ab (sowohl Hitze als auch Kälte)
- Bindet CO<sub>2</sub>



# Die „eierlegende Wollmilchsau“ der Klimwandelanpassung 2/2

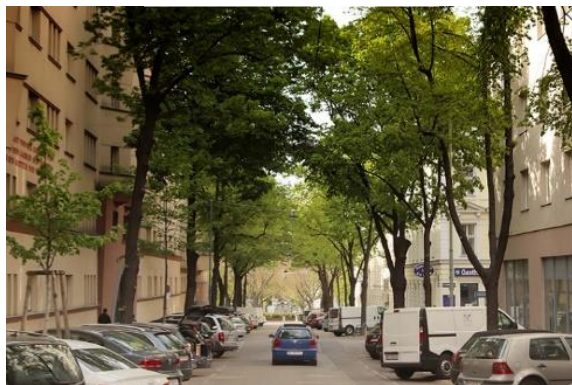


Fließgewässer-Management

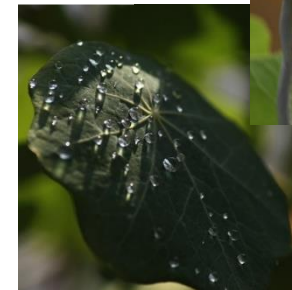
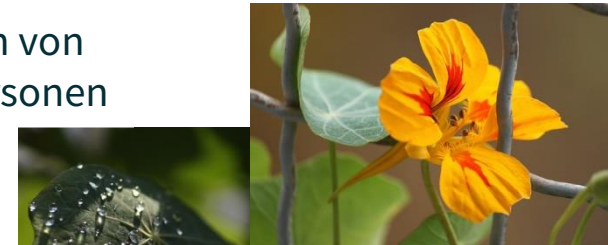
Landwirtschaft



Stadtplanung



Handeln von Einzelpersonen

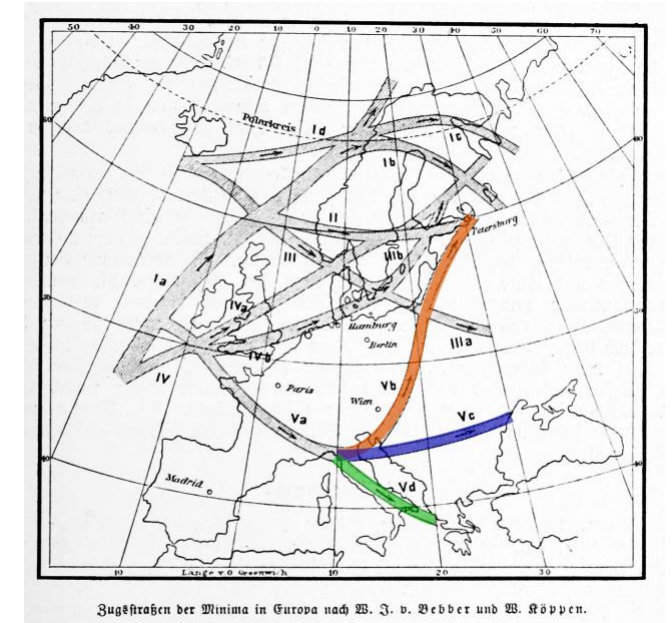




## Hochwasser 1997 vs. 2024

Fast identische Wetterlage (Vb-Tief)!

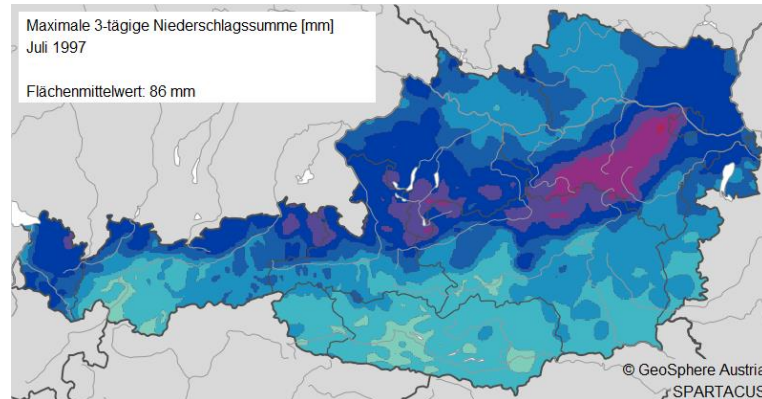
Wetterstation	Niederschlag 1997 [mm]	Niederschlag 2024 [mm]
Lilienfeld	273	418
St. Pölten	107	409
Tulln	128	397
Wien - Mariabrunn	251	307
Gewässer (Pegel)	Höchststand 1997 [cm]	Höchststand 2024 [cm]
Perschling (Atzenbrugg)	679	722
Große Tulln (Siegersdorf)	530	651
Traisen (Lilienfeld)	523	587
Wienfluss (Hietzing)	255	315



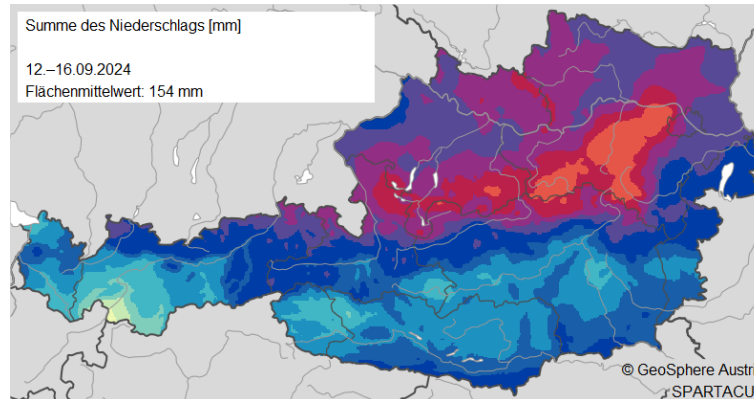
Zugstraßen von Tiefdruckgebieten nach Van Beber (1890)  
© „Morn“ / Wikimedia Commons

## Hochwasser 1997 vs. 2024

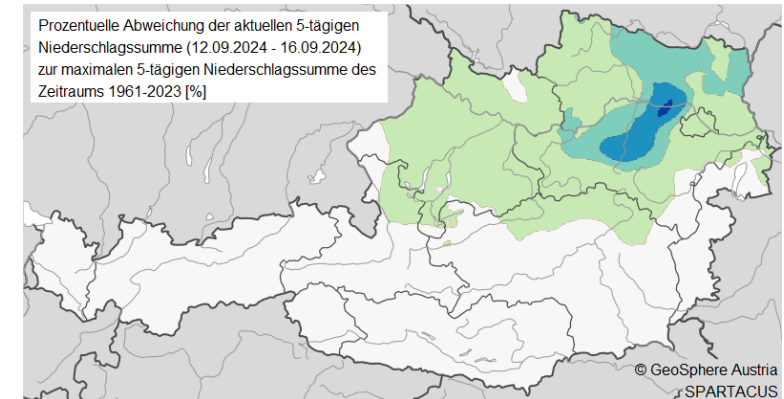
- Vergleich: 2024 schlimmer als 1997 wegen...
  - Höherer Niederschlagsintensitäten (~15%)
  - Längerer Andauer der Wetterlage (5 Tage statt 3 Tagen)
  - Zusammengesetztes Extrem aus Dürre und nachfolgendem Starkregen



Niederschlagssumme  
6.-8.7.1997 [mm]



Niederschlagssumme  
12.-16.9.2024 [mm]



Abweichung der 5-tägigen  
Niederschlagssumme 12.-16.9.2024  
vom bisherigen Maximum seit 1961 [%]



## Der Sommer 2024...



CHRONIK

### Feuerwehren: Unwettereinsätze steigen dramatisch

Die Feuerwehren in der Steiermark verzeichnen in diesem Jahr eine erhebliche Zunahme an Unwettereinsätzen: Mit über 3.000 Alarmierungen seit Anfang des Jahres ist ein Anstieg von 60 Prozent im Vergleich zum Vorjahr zu verzeichnen.

27. Juli 2024, 7:27 Uhr

Das Jahr 2024 stellt für die steirischen Feuerwehren eine herausfordernde Zeit dar: Sie verzeichneten seit Januar bis Ende Juli weit über 3.000 Alarmierungen – im Vergleich zum Vorjahr bedeutet dies einen Anstieg um beachtliche 60 Prozent. Insbesondere seit Anfang Juni, als die Steiermark von mehreren schweren Unwettern getroffen wurde, steigt die Zahl der Einsätze extrem an.

Aktuell in steiermark ORF.at

[\(Link\)](#)

[\(Link\)](#)



Teil

UNWETTERSCHÄDEN

### Rekordkosten durch kaputte Infrastruktur

Nach den bisherigen Unwettern des Sommers gibt es eine erste Zwischenbilanz der Schäden an der Infrastruktur. Die Kosten für Sofortmaßnahmen seien hoch wie nie zuvor, hieß es von der Katastrophenschutzabteilung des Landes und der Wildbach- und Lawinerverbauung.

27. August 2024, 12:53 Uhr

Der Sommer 2024 war von drei großen Unwetterereignissen geprägt: Sintflutartiger Regen am 8. Juni in den Bezirken Graz-Umgebung und Hartberg-Fürstenfeld, am 11. Juli massive Überschwemmungen im Bezirk Voitsberg und am 17. Juli dann Hochwasser und Hangrutschungen im Balten Liesingtal – mehr dazu in **Feuerwehren: Unwettereinsätze steigen dramatisch** (26.7.2024) und in **Unwetter: Bereits über 100 Mio. Euro an Privatschäden** (29.7.2024).

Aktuell in steiermark ORF.at



FEUERWEHR

### Ein Fünftel der Einsätze wegen Extremwetter

Aufgrund von Extremwetterereignissen nehmen die Einsätze von Feuerwehren stark zu. So gibt es deshalb jährlich über 900 Einsätze mehr als vor zehn Jahren. Großstromerzeuger und Großpumpen werden angeschafft. Zusätzliche Mittel für die Feuerwehren soll es vom Land aber nicht geben.

28. August 2024, 16:51 Uhr

Teilen

Die Statistik zeige klar, „dass die Einsätze zunehmen“, pflichtete Landesfeuerwehrkommandant Jakob Unterladstätter der zuständigen Landesrätin Astrid Mair (ÖVP) bei einer Pressekonferenz bei. Die Alarmierungen aufgrund von Elementarereignissen in Tirol hätten heuer auf 2.250 zugenommen: „Und wir wissen nicht, was im Herbst und Winter noch auf uns zukommt“. 2014 seien es noch 1.338 gewesen, im Gesamtjahr 2022 bereits über 2.000.

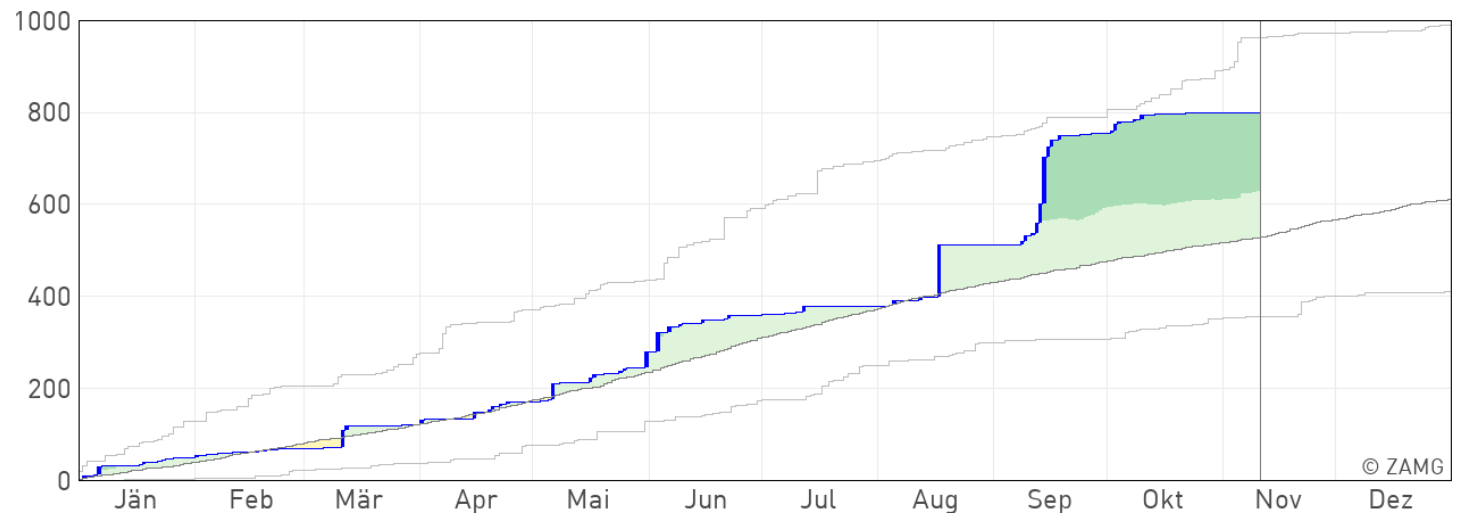
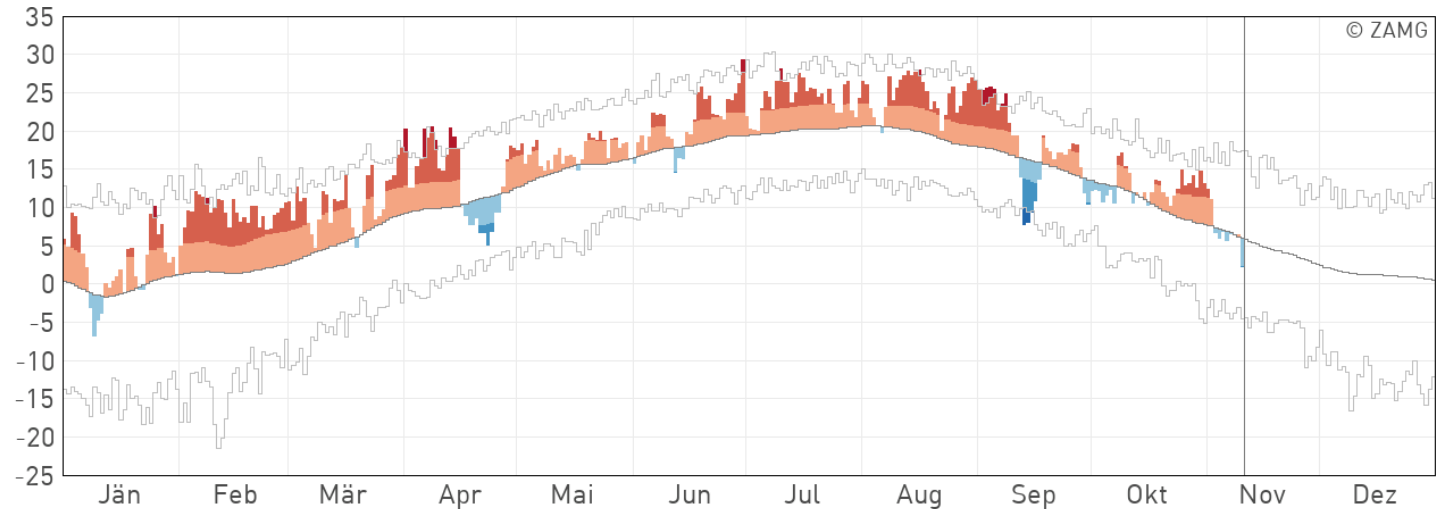
Aktuell in tirol ORF.at

[\(Link\)](#)



## Das Jahr 2024 am Beispiel Wien

- Abnorme Februar- und Märzwärme
- Sommertemperaturen und Spätfröste im April
- Wochenlange Hitzewellen fast ohne Niederschlag
- Neuer Rekord an Hitzetagen
- Neuer Rekord an Tropennächten
- Heftigster Gewitterregen sein Beginn der Messungen (94 mm in 1h, 18. August)
- Größte 5-tägige Regenmenge seit Beginn der Messungen (220 mm, 12.-16. September)



## 1990er-, 2020er-, 2050er-Jahre ...

- Was vor 30 Jahren extrem oder beispiellos wirkte, ist heute recht „gewöhnlich“ geworden:
  - Hitzesommer 1992 und 1994
  - Sommer-Hochwässer 1991 und 1997
  - Fast schneelose Winter im Tiefland
  - ...
- Das September-Hochwasser 2024 kann als Storyline für ein typisches Hochwasser in den 2050er-Jahren dienen!
- Das ganze Jahr 2024 kann als Storyline für ein typisches Jahr in den 2050er-Jahren dienen!

# Die letzte Folie



„Ob Prognosen stimmen, kann keiner vorhersehen.“  
– Johanna Mikl-Leitner, Sep. 2024  
(nominiert für den Unspruch des Jahres 2024)

**Vielen Dank für Ihre / Eure Aufmerksamkeit!**  
**[georg.pistotnik@geosphere.at](mailto:georg.pistotnik@geosphere.at)**

