



Starkregen und Trockenheit im Klimawandel

Beobachtungen, Theorie, Modelle

Dr. Sven Kotlarski

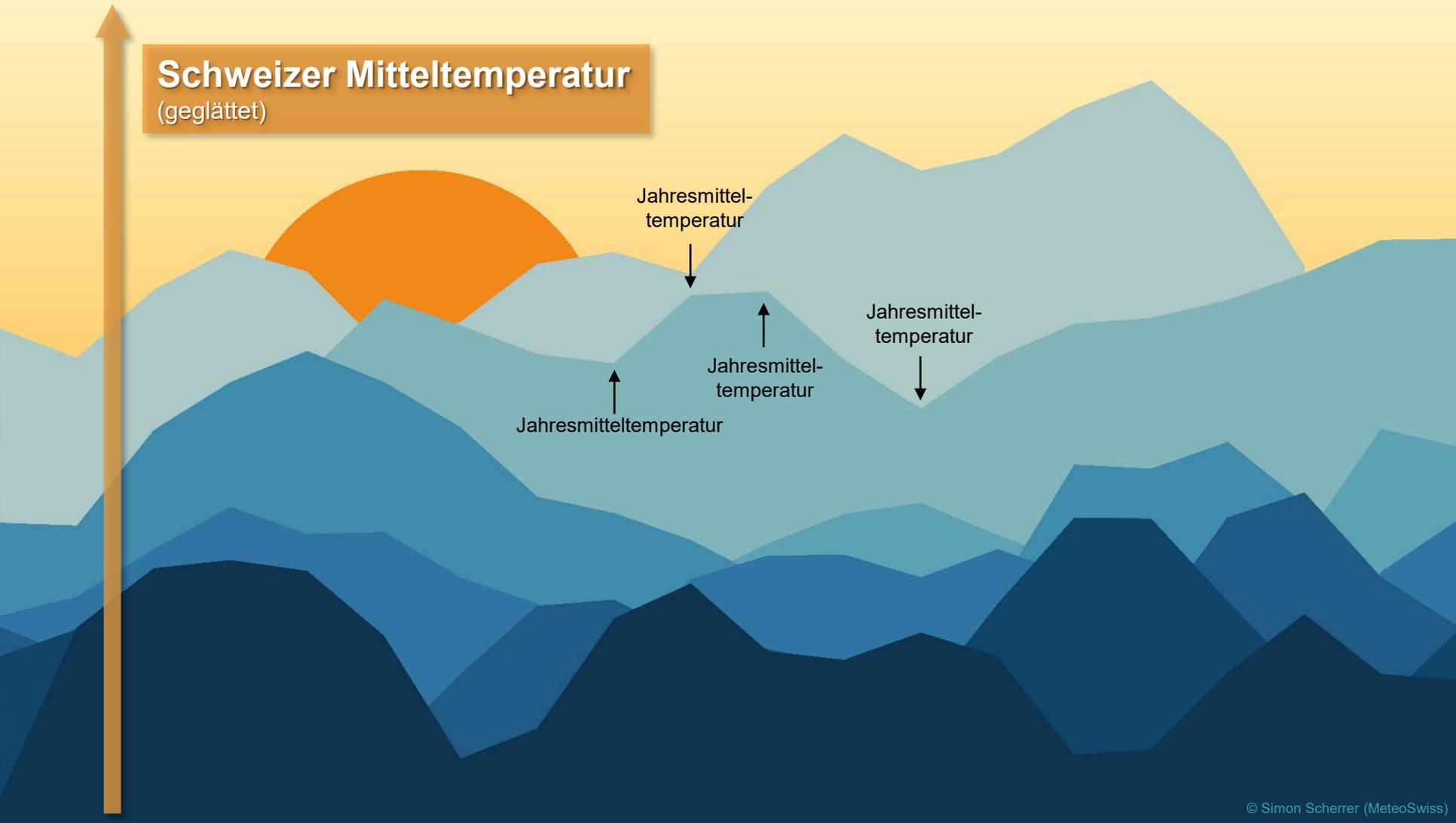
sven.kotlarski@meteoschweiz.ch

Fachtagung Regenwasser und Abwasser im Klimawandel, 20. November 2024



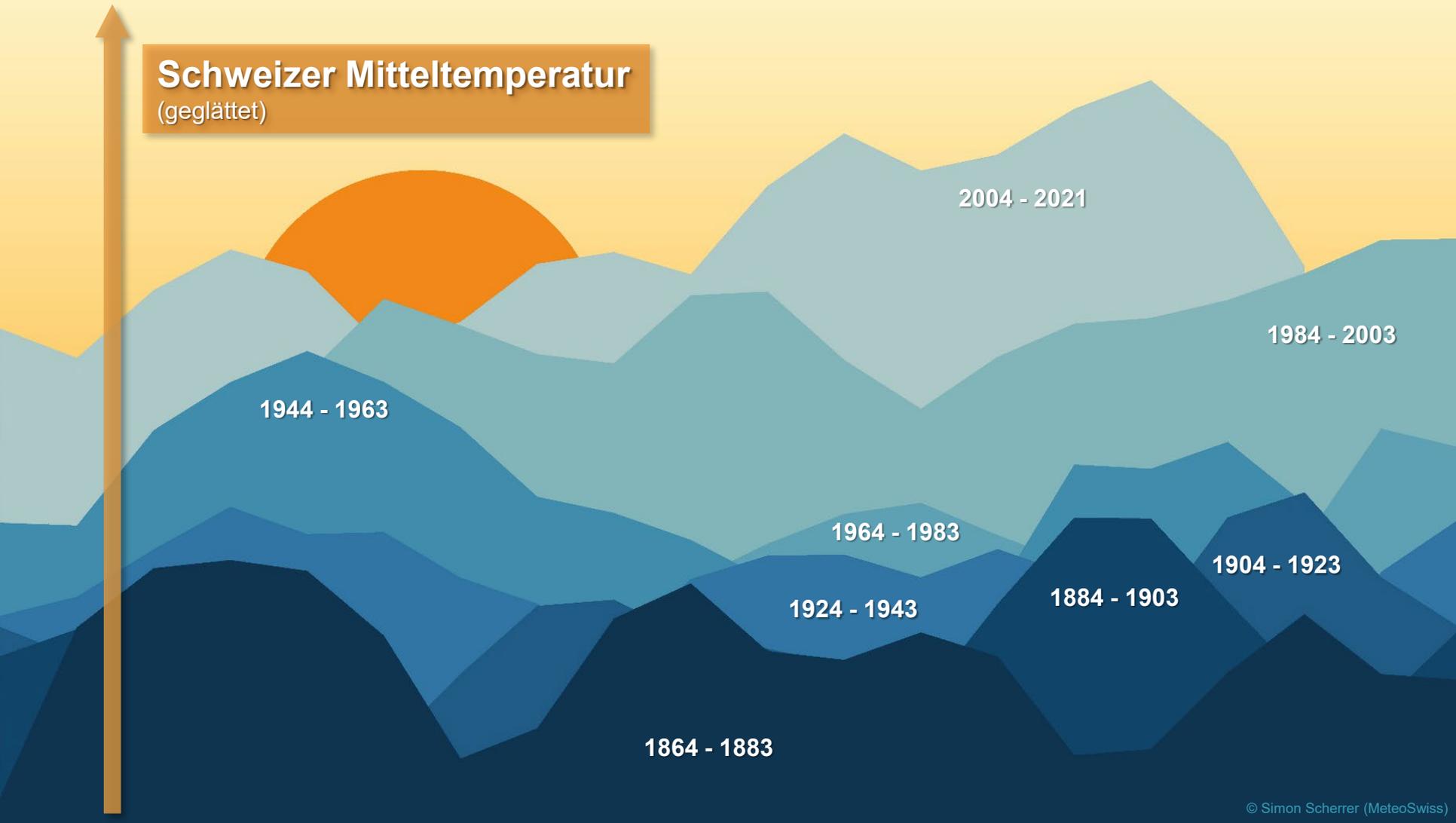
Schweizer Mitteltemperatur

(geglättet)



Schweizer Mitteltemperatur

(geglättet)



Schweizer Mitteltemperatur (geglättet)



1963

2004 - 2021

1984 - 2003

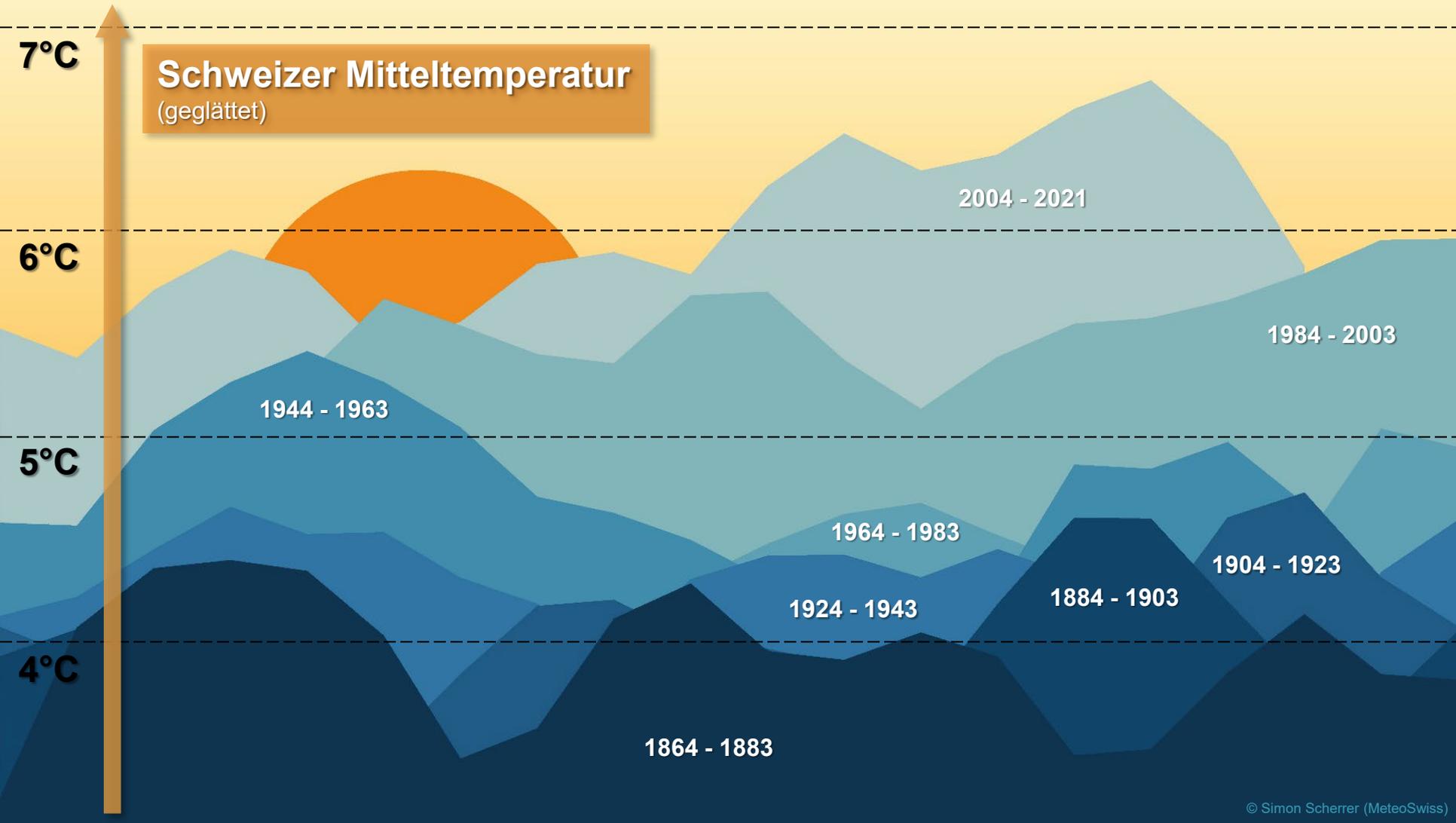
1964 - 1983

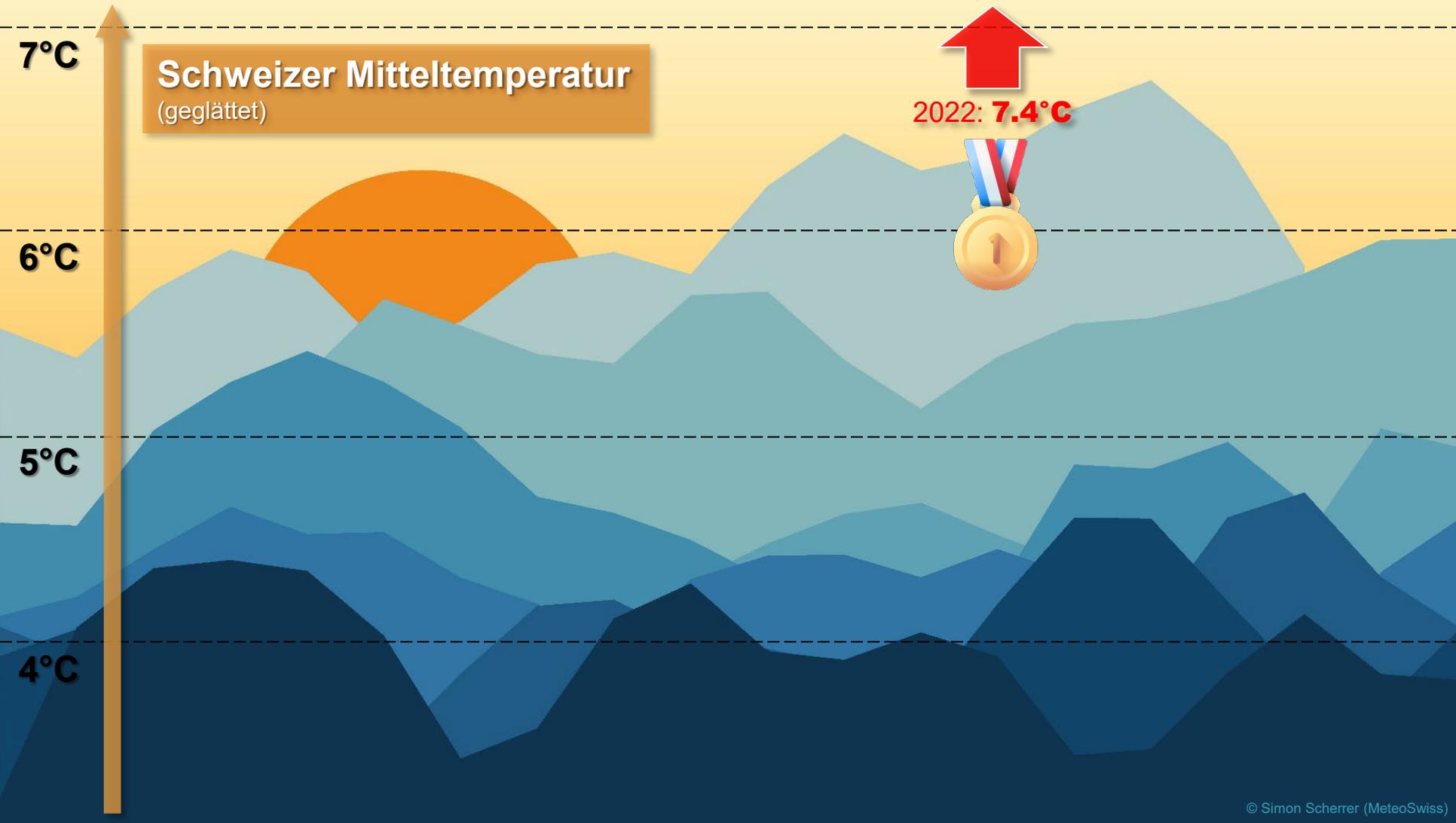
1904 - 1923

1924 - 1943

1884 - 1903

1864 - 1883





7°C

6°C

5°C

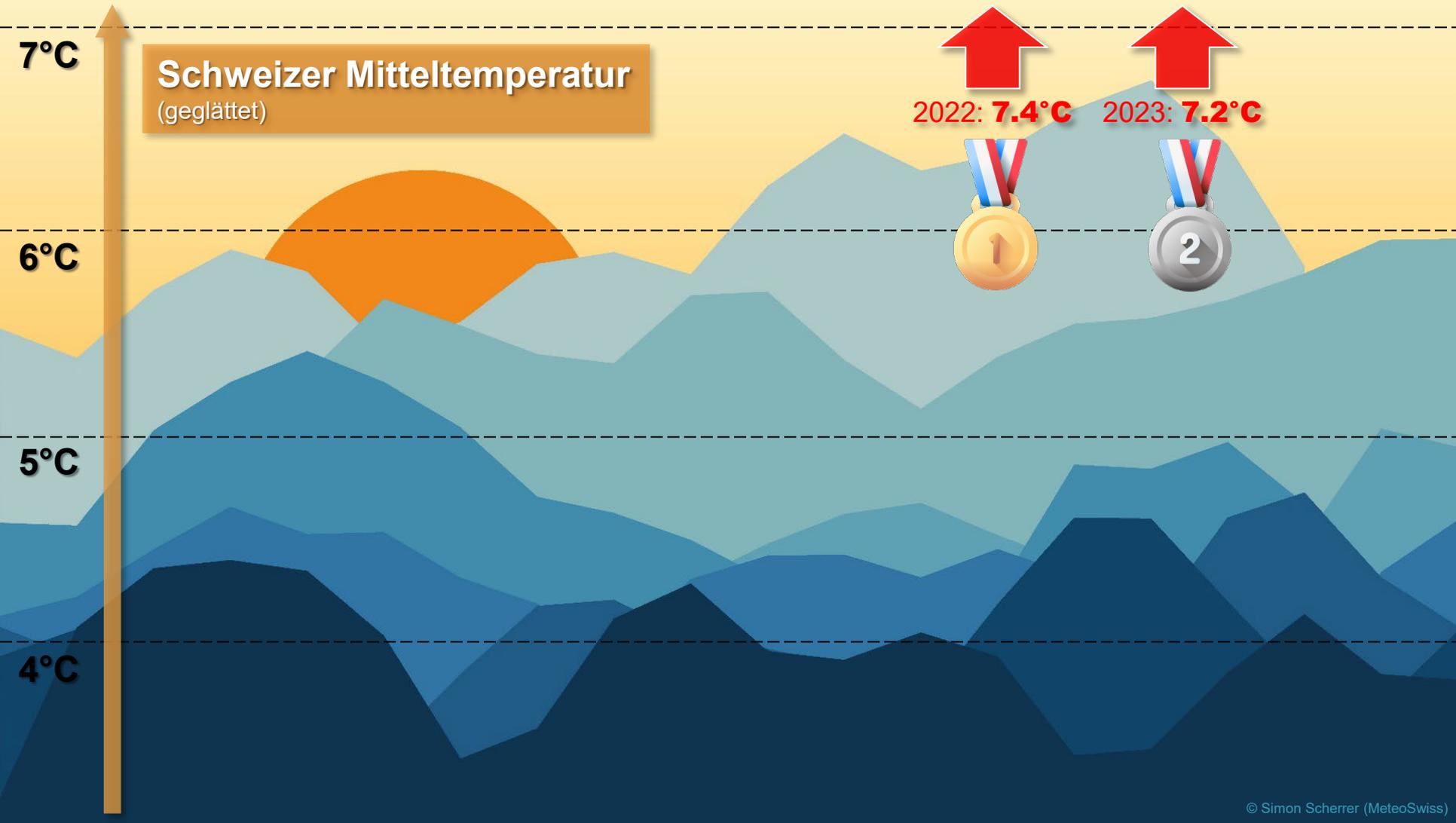
4°C

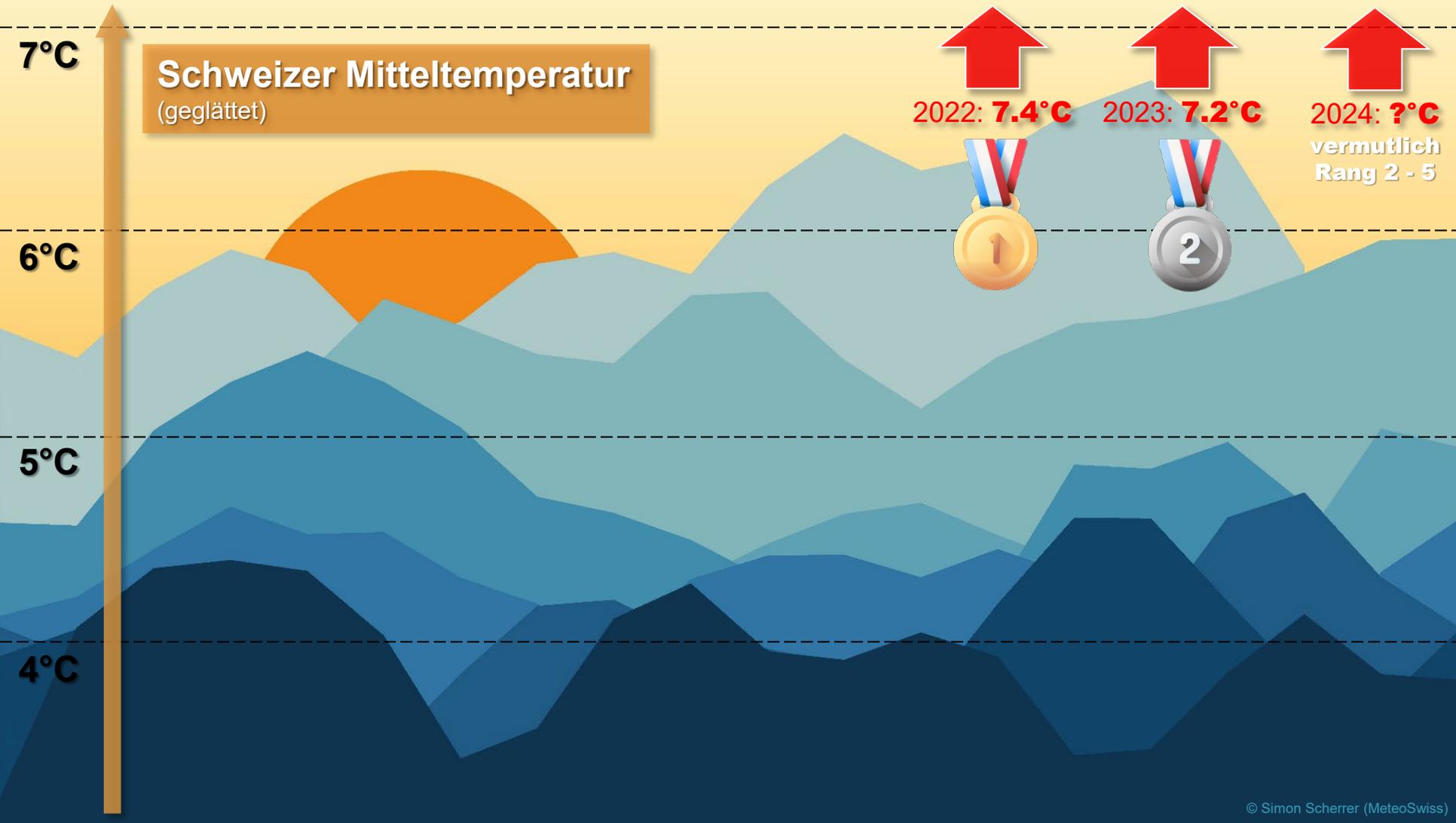
Schweizer Mitteltemperatur

(geglättet)

2022: **7.4°C**







7°C

6°C

5°C

4°C

Schweizer Mitteltemperatur

(geglättet)

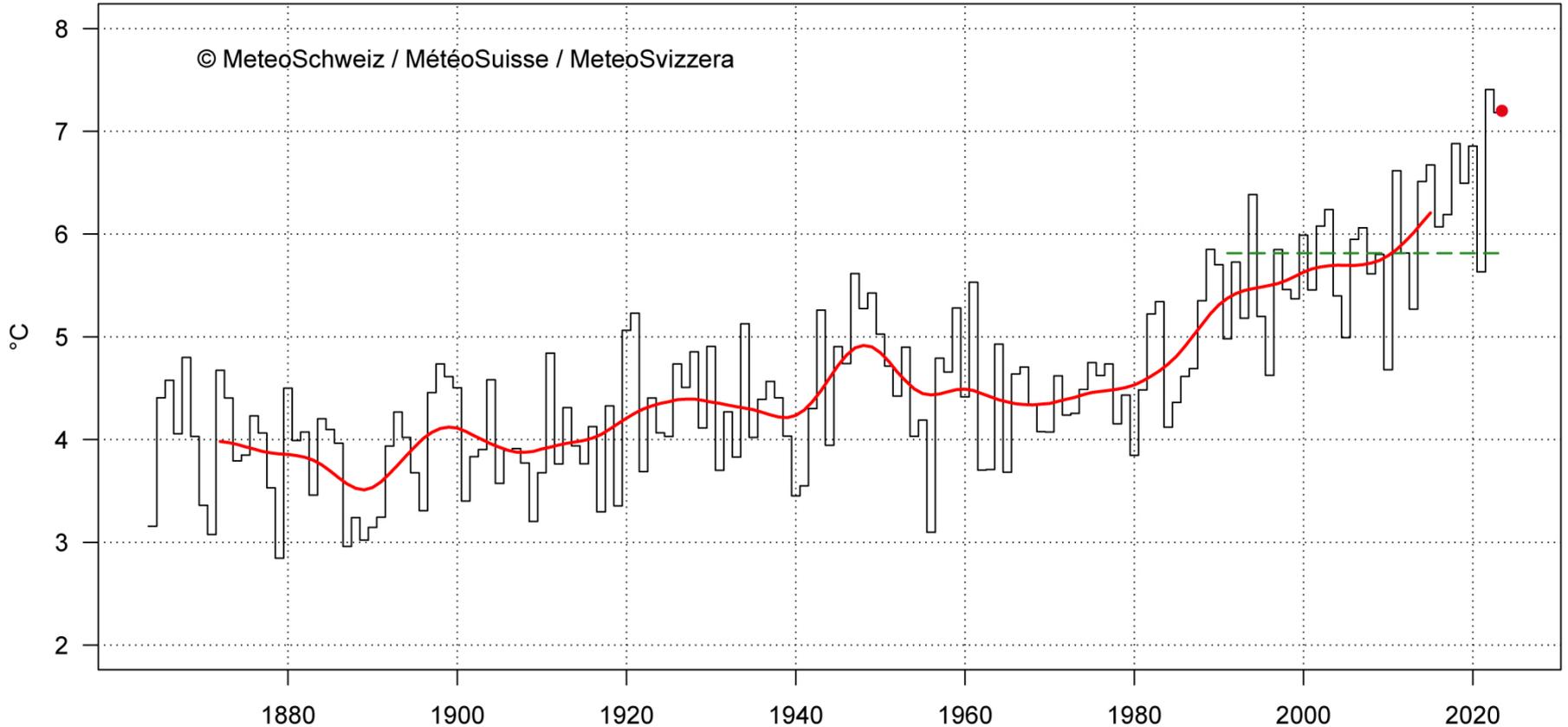
2022: **7.4°C**

2023: **7.2°C**

2024: **?°C**
vermutlich
Rang 2 - 5

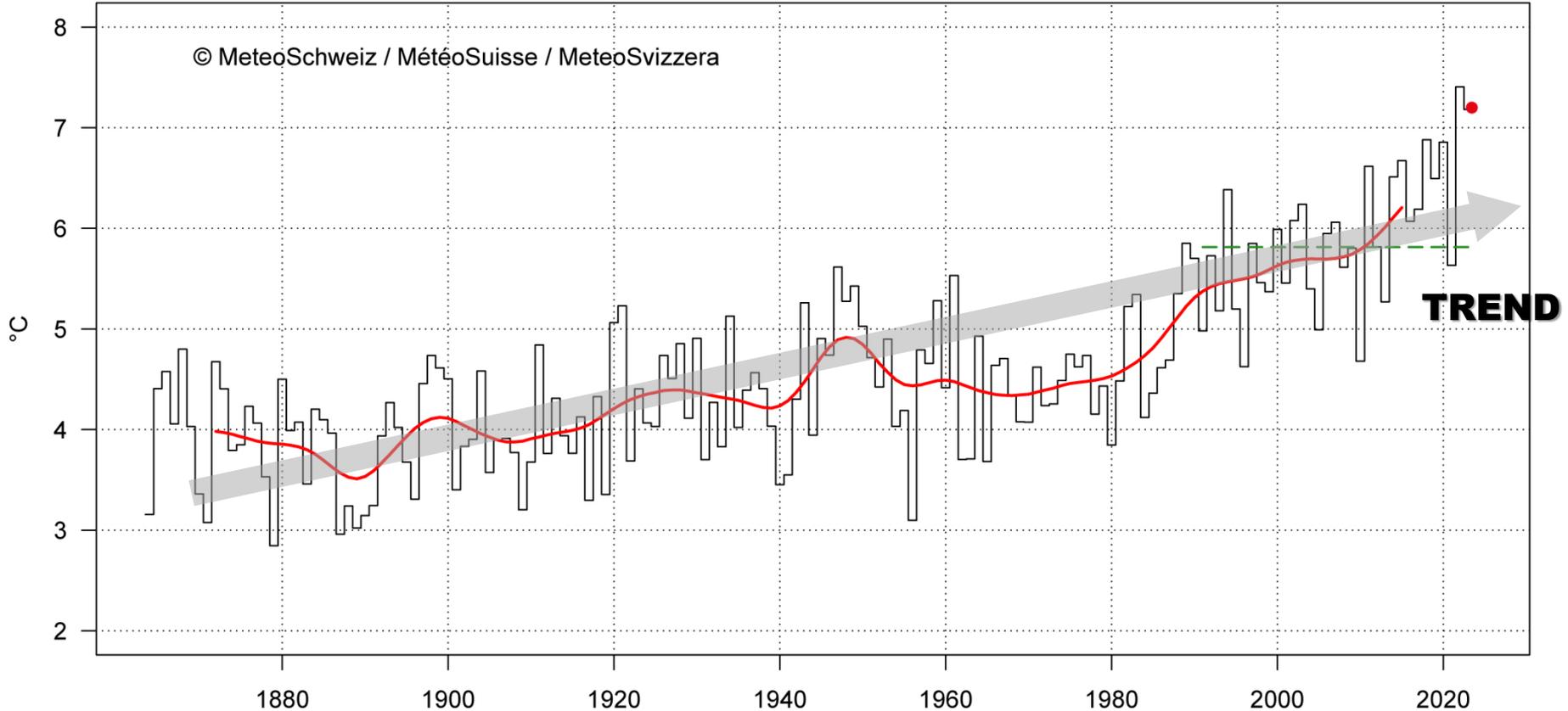


Entwicklung Jahresmitteltemperatur Schweiz



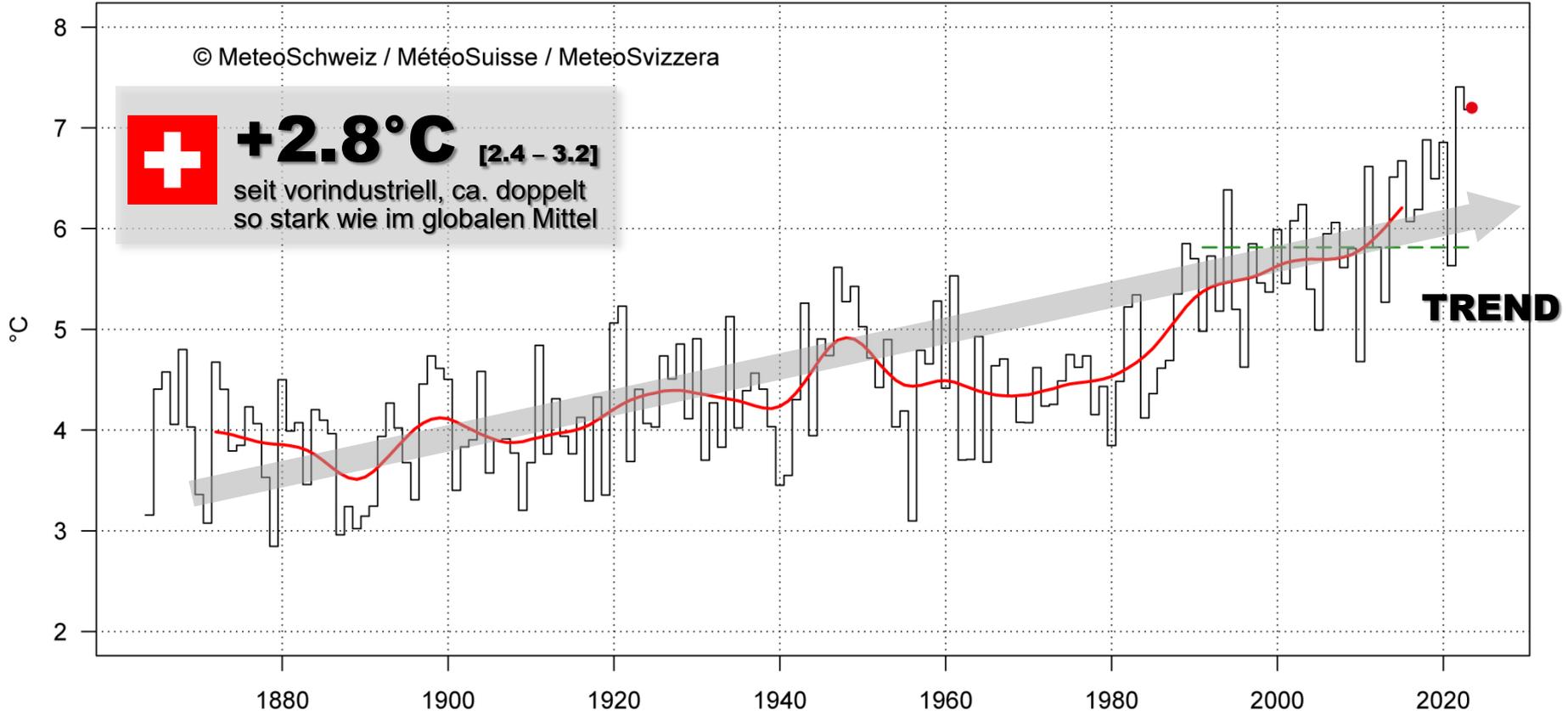


Entwicklung Jahresmitteltemperatur Schweiz



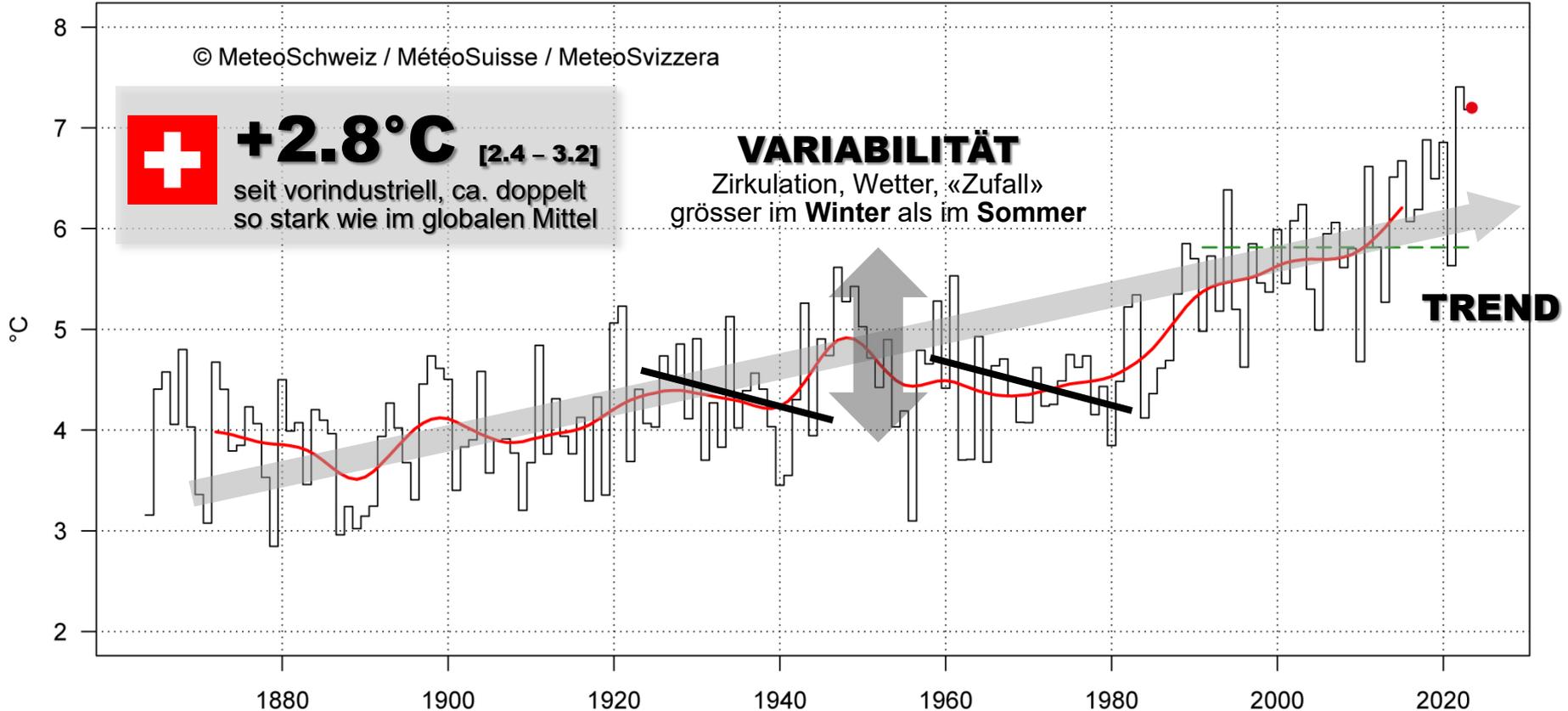


Entwicklung Jahresmitteltemperatur Schweiz





Entwicklung Jahresmitteltemperatur Schweiz



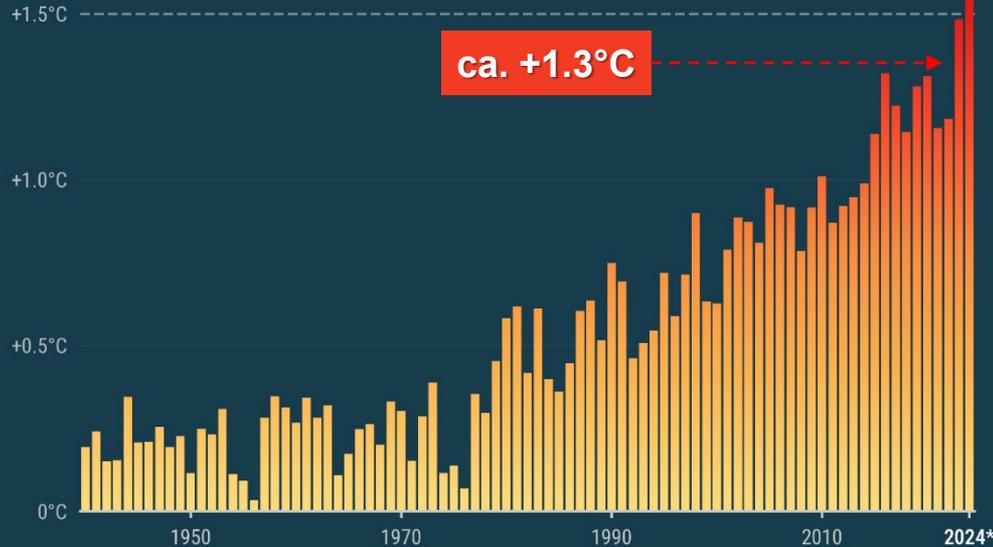


Entwicklung globale Mitteltemperatur

2024 on track to be warmest year and first year above 1.5°C

Annual global temperature anomalies relative to pre-industrial (1850–1900)

Data: ERA5 (1940–2024) • Credit: C3S/ECMWF



* Provisional estimate for 2024 based on 10 months (January to October)



PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION



IMPLEMENTED BY ECMWF



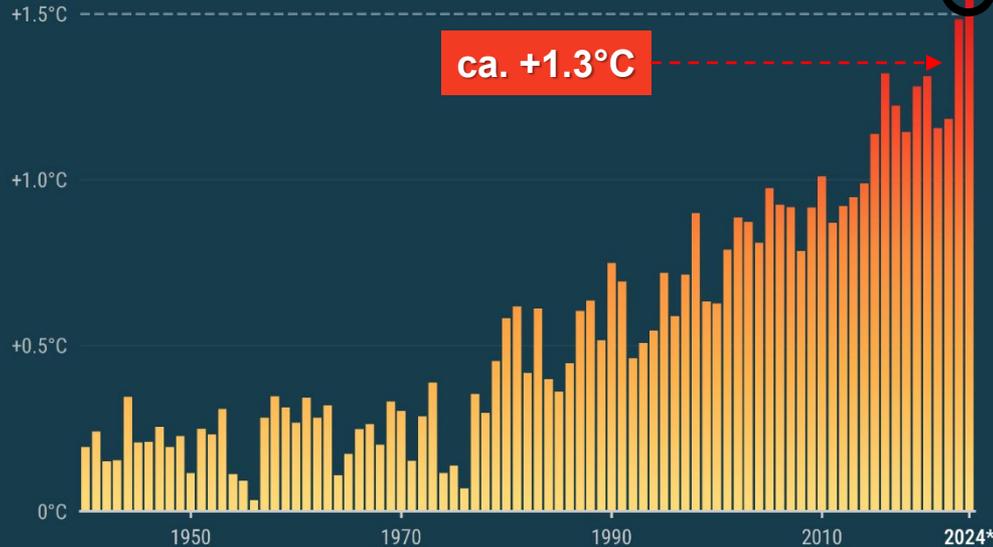


Entwicklung globale Mitteltemperatur

2024 on track to be warmest year and first year above 1.5°C

Annual global temperature anomalies relative to pre-industrial (1850–1900)

Data: ERA5 (1940–2024) • Credit: C3S/ECMWF



* Provisional estimate for 2024 based on 10 months (January to October)



PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION

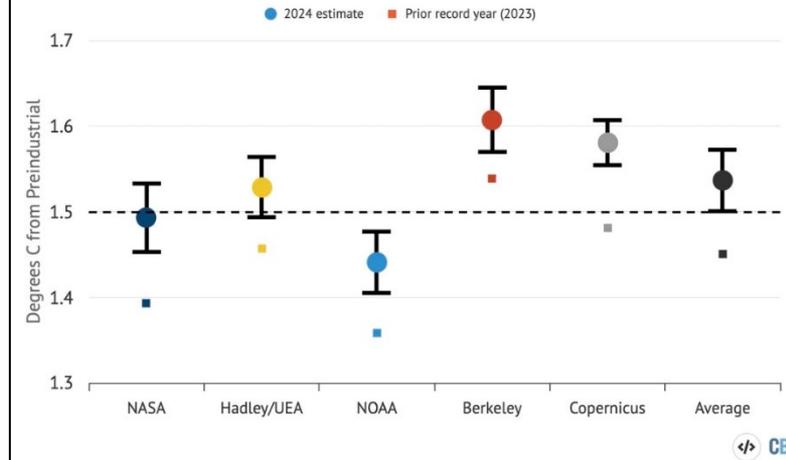


IMPLEMENTED BY ECMWF



2024 will be the first year above 1.5C

Projections, uncertainties, and prior warmest year for each group





+2.8°C

[2.4 – 3.2]

seit 1864

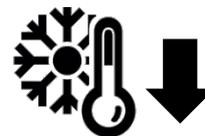
Hitzewellen

häufiger
intensiver seit 1901



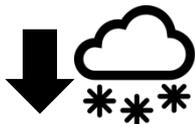
Kälte

bis -60 % Frosttage
seit 1961



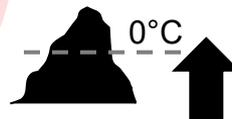
Schneetage

-50 % unter 800 m
-20 % über 2000 m
seit 1970



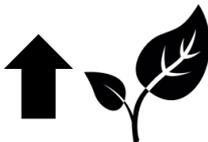
Nullgradgrenze

+300 bis 400 m seit 1961



Vegetationsperiode

+ 2 bis 4 Wochen seit 1961



Gletschervolumen

mehr als -60 % seit 1850





Sommertrockenheit



Hitzewellen

häufiger
intensiver seit 1901

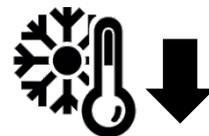


Niederschlag Starkregen



Kälte

bis -60 % Frosttage
seit 1961



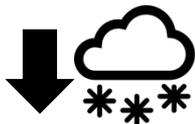
+2.8°C

[2.4 – 3.2]

seit 1864

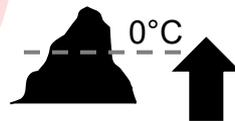
Schneetage

-50 % unter 800 m
-20 % über 2000 m
seit 1970



Nullgradgrenze

+300 bis 400 m seit 1961



Vegetationsperiode

+ 2 bis 4 Wochen seit 1961



Gletschervolumen

mehr als -60 % seit 1850





Sommertrockenheit



Niederschlag
Starkregen



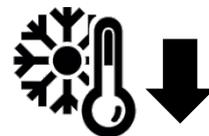
Hitzewellen

häufiger
intensiver seit 1901



Kälte

bis -60 % Frosttage
seit 1961



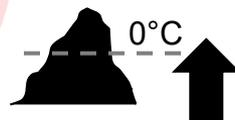
+2.8°C

[2.4 – 3.2]

seit 1864

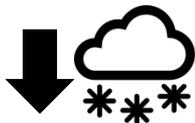
Nullgradgrenze

+300 bis 400 m seit 1961



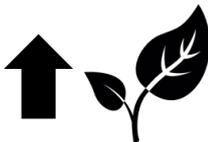
Schneetage

-50 % unter 800 m
-20 % über 2000 m
seit 1970



Vegetationsperiode

+ 2 bis 4 Wochen seit 1961



Gletschervolumen

mehr als -60 % seit 1850

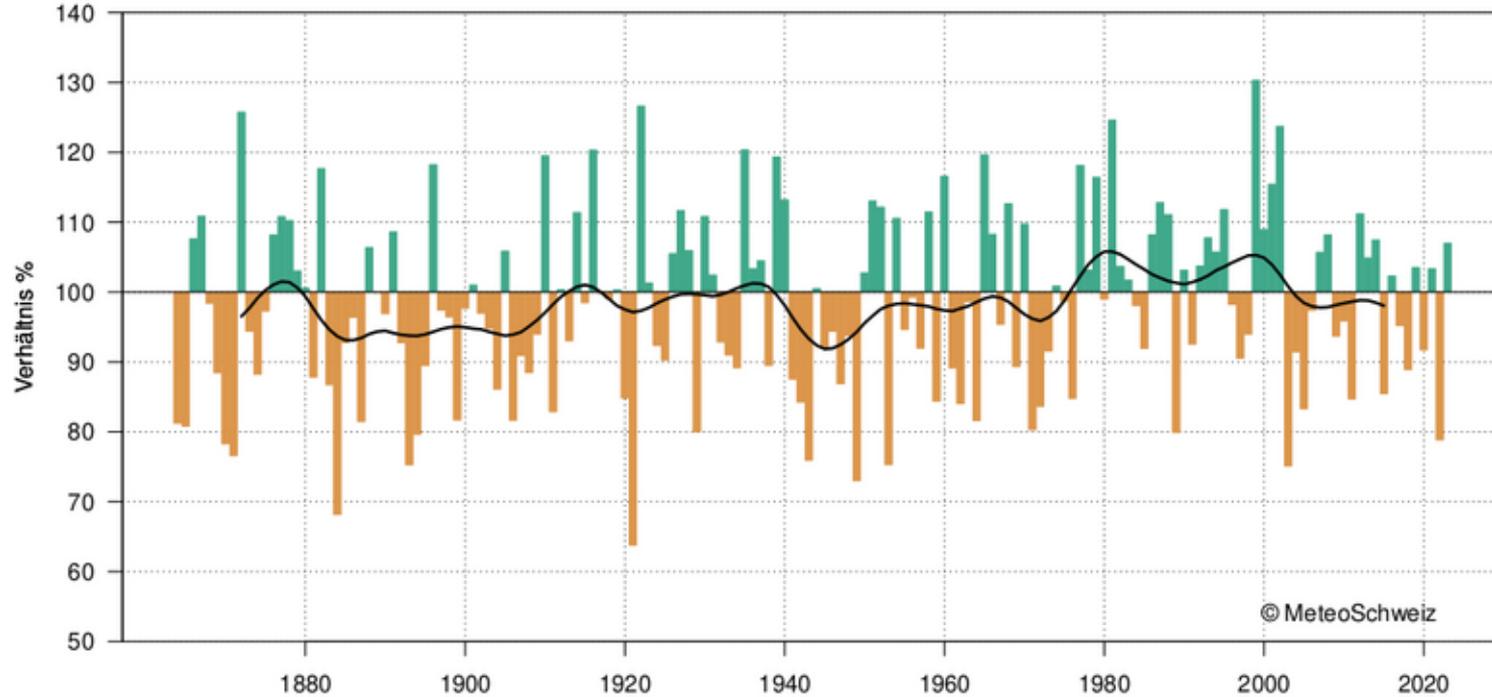




Entwicklung Jahresniederschlag

Jahres-Niederschlag – Schweiz – 1864–2023

Verhältnis zum Durchschnitt 1961–1990



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

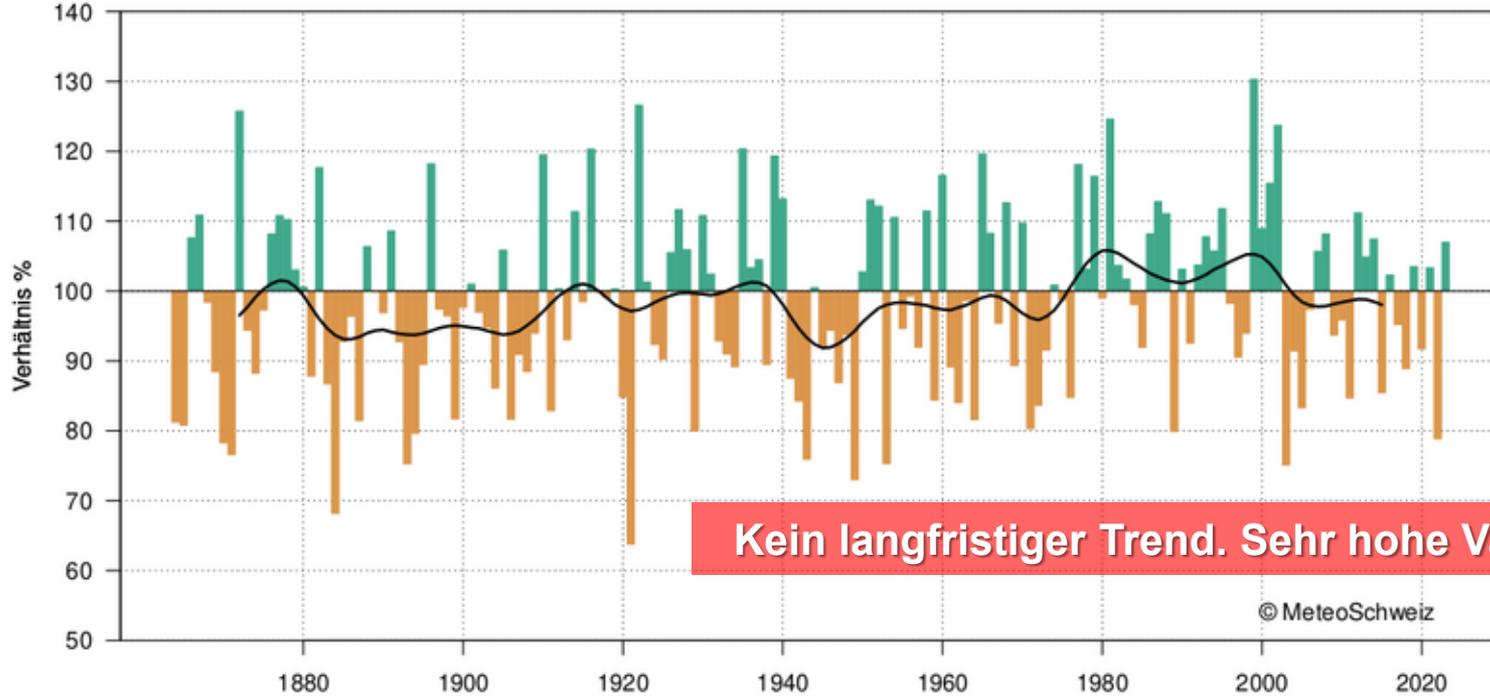
© MeteoSchweiz



Entwicklung Jahresniederschlag

Jahres-Niederschlag – Schweiz – 1864–2023

Verhältnis zum Durchschnitt 1961–1990



Kein langfristiger Trend. Sehr hohe Variabilität.

© MeteoSchweiz

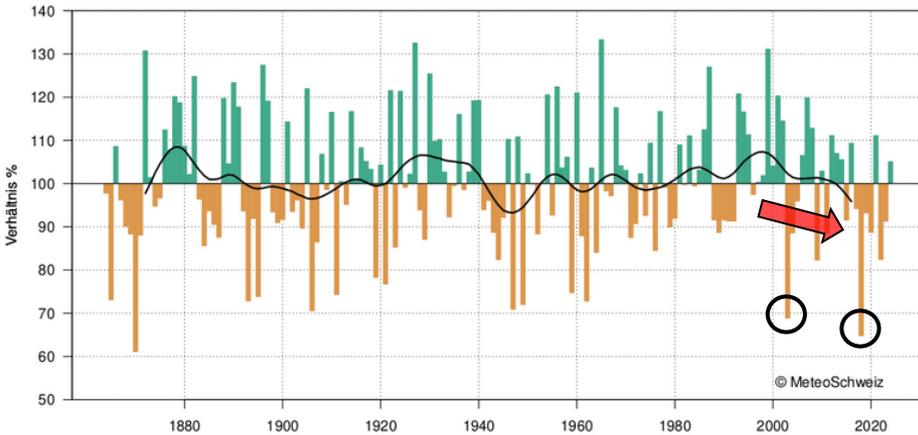
- Jahre über dem Durchschnitt 1961–1990
- Jahre unter dem Durchschnitt 1961–1990
- 20-jähriges gewichtetes Mittel (Gauss Tiefpassfilter)



Entwicklung Sommer- und Winterniederschlag

Sommerhalbjahr

Halbjahres-Niederschlag (Sommer) – Schweiz – 1864–2024
Verhältnis zum Durchschnitt 1961–1990



© MeteoSchweiz

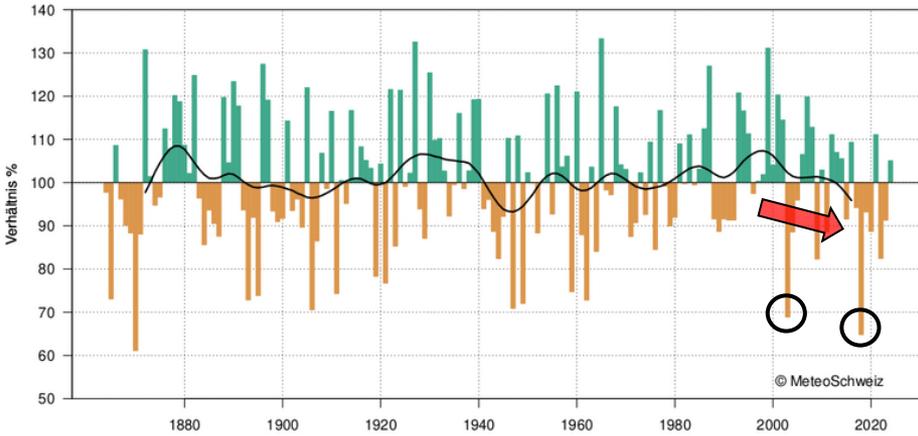
- Jahre über dem Durchschnitt 1961–1990
- Jahre unter dem Durchschnitt 1961–1990
- 20-jähriges gewichtetes Mittel (Gauss Tiefpassfilter)



Entwicklung Sommer- und Winterniederschlag

Sommerhalbjahr

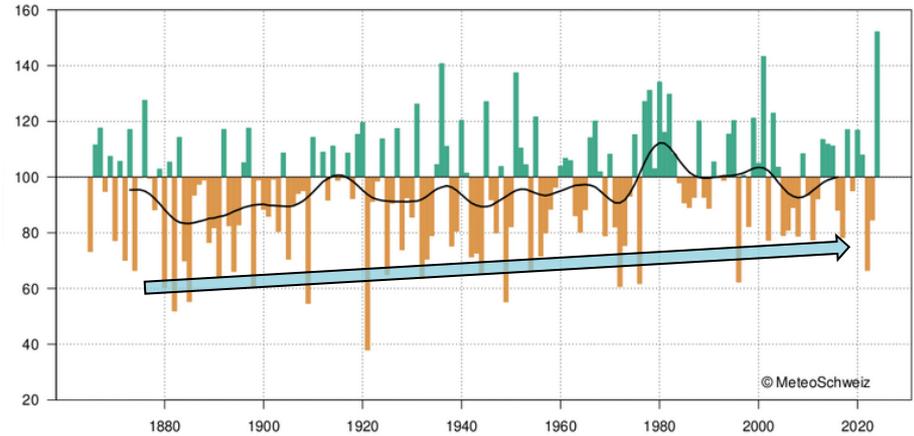
Halbjahres-Niederschlag (Sommer) – Schweiz – 1864–2024
Verhältnis zum Durchschnitt 1961–1990



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

Winterhalbjahr

Halbjahres-Niederschlag (Winter) – Schweiz – 1865–2024
Verhältnis zum Durchschnitt 1961–1990





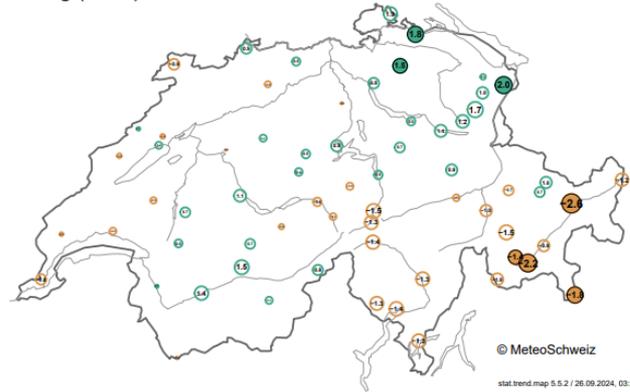
Entwicklung Quartalsniederschlag an Stationen

Trend Quartals-Niederschlag [%/Dekade]
1901–2023/24 sign.: $p < 0.05$

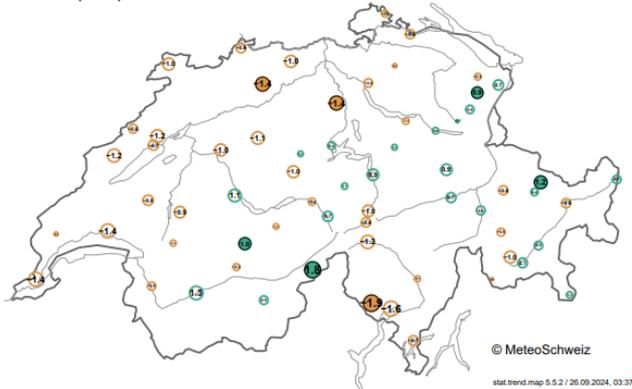
Winter (DJF)



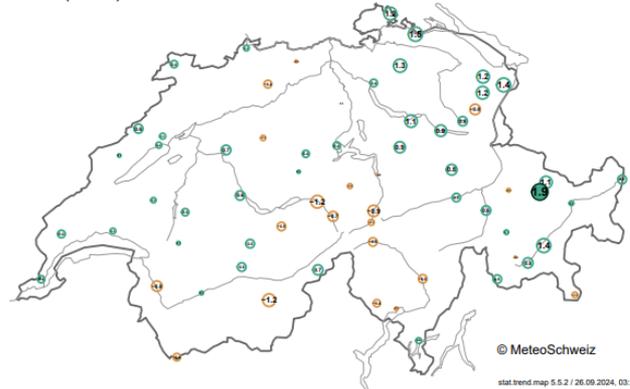
Frühling (MAM)



Sommer (JJA)



Herbst (SON)



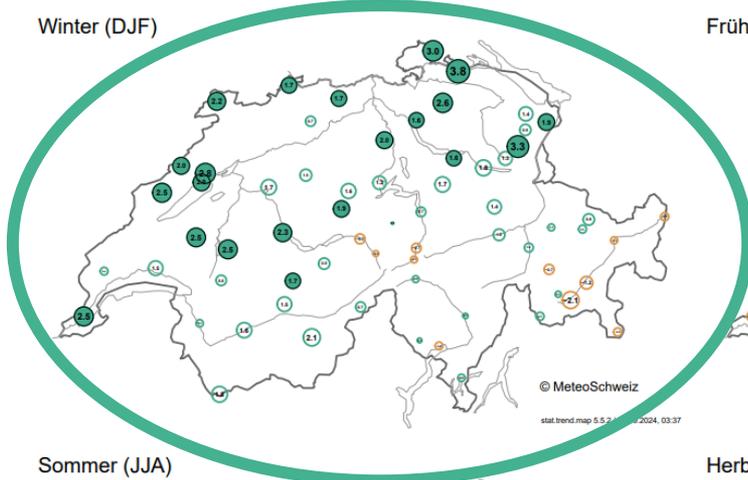
- positiver Trend
- **signifikant** positiver Trend (5%)
- negativer Trend
- **signifikant** negativer Trend (5%)



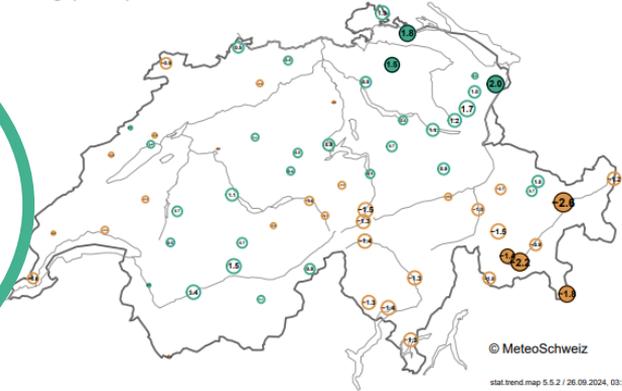
Entwicklung Quartalsniederschlag an Stationen

Trend Quartals-Niederschlag [%/Dekade]
1901–2023/24 sign.: $p < 0.05$

Winter (DJF)



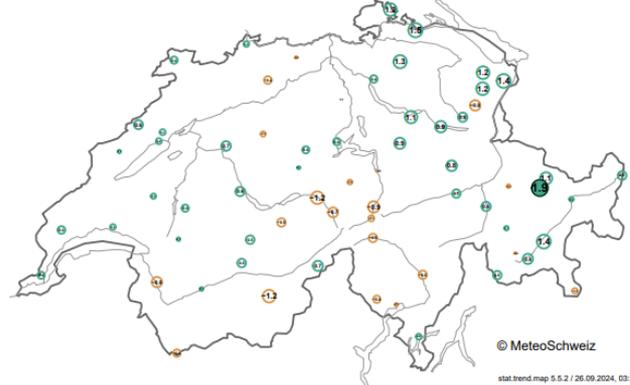
Frühling (MAM)



Sommer (JJA)



Herbst (SON)



- positiver Trend
- **signifikant** positiver Trend (5%)
- negativer Trend
- **signifikant** negativer Trend (5%)



Starkregen und seine Konsequenzen

June 2024: Val Mesolcina



July 2024: Valle Maggia



August 2024: Brienz BE





Starkregen und seine Konsequenzen

June 2024: Val Mesolcina



July 2024: Valle Maggia



August 2024: Brienz BE

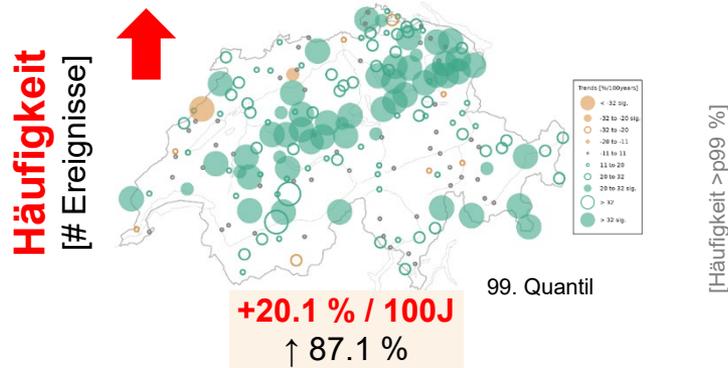
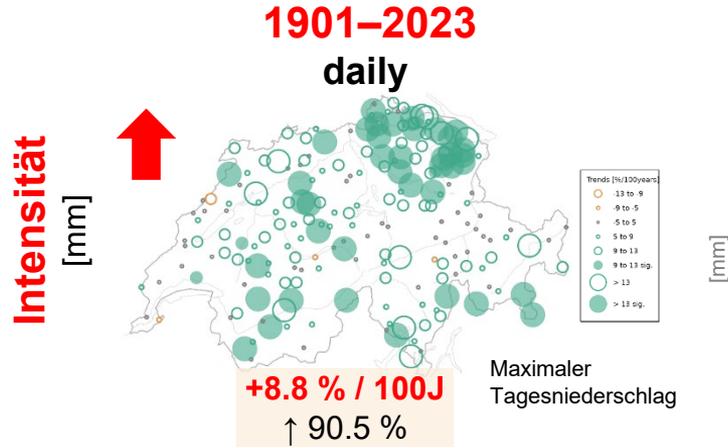


Ein einzelnes Extremereignis kann i.d.R. nicht ursächlich einem klimatischen Wandel zugeordnet werden.

Die Auftrittswahrscheinlichkeiten können sich jedoch mit dem Klimawandel ändern.

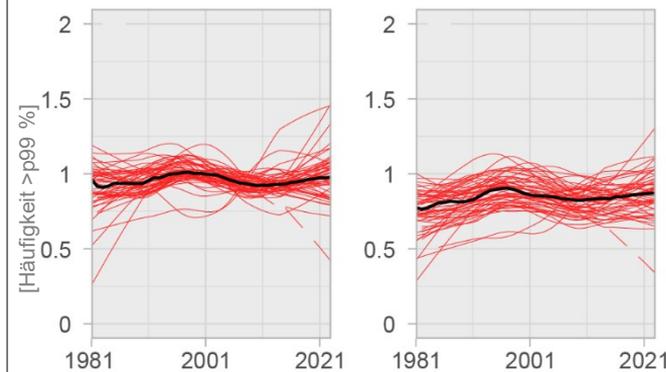
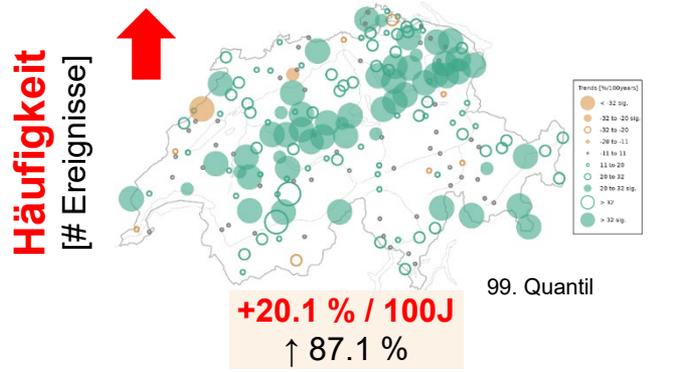
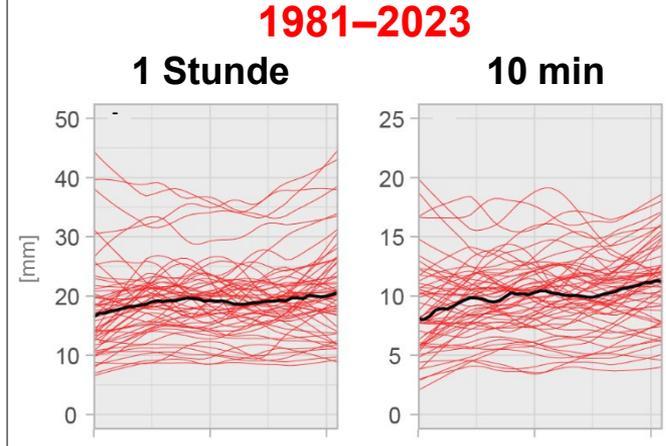
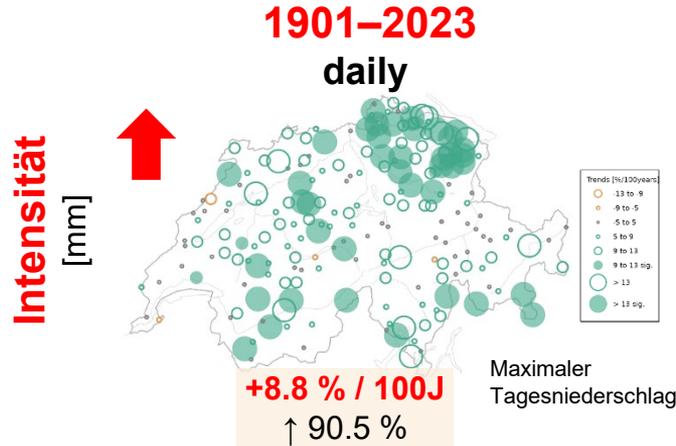


Entwicklung Starkniederschläge Schweiz





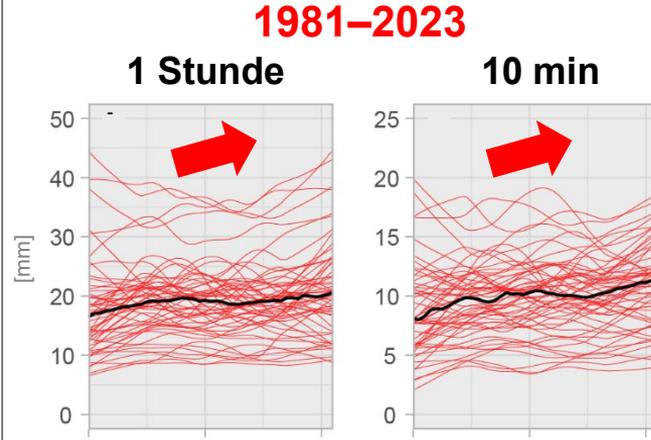
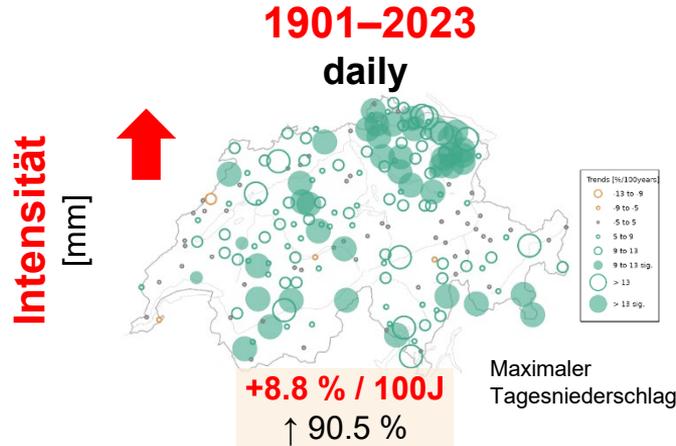
Entwicklung Starkniederschläge Schweiz



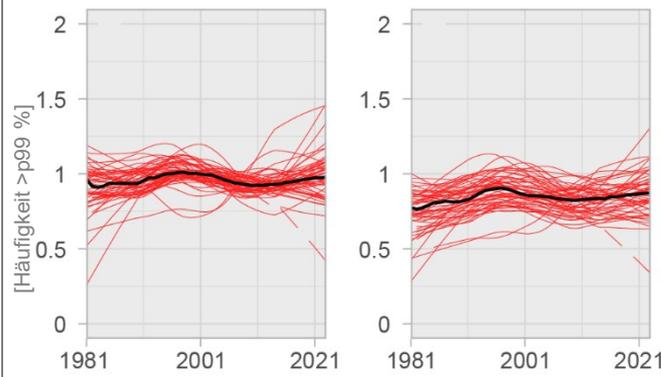
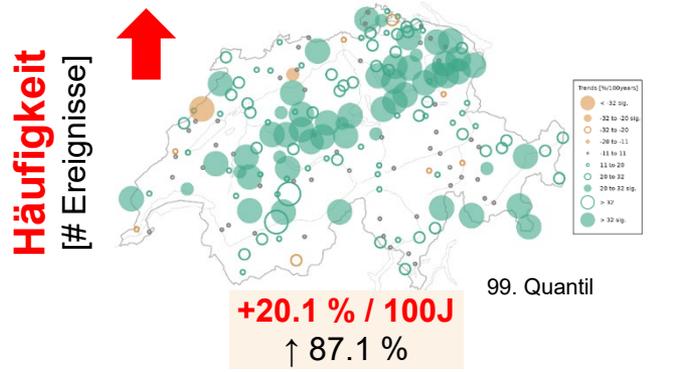
Zeitreihen mit LOESS Filterung



Entwicklung Starkniederschläge Schweiz



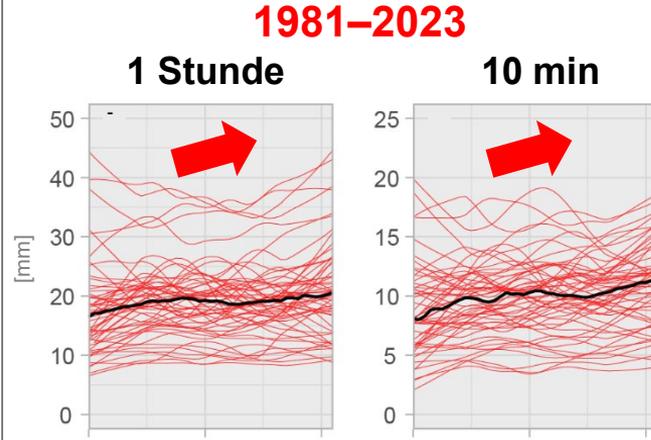
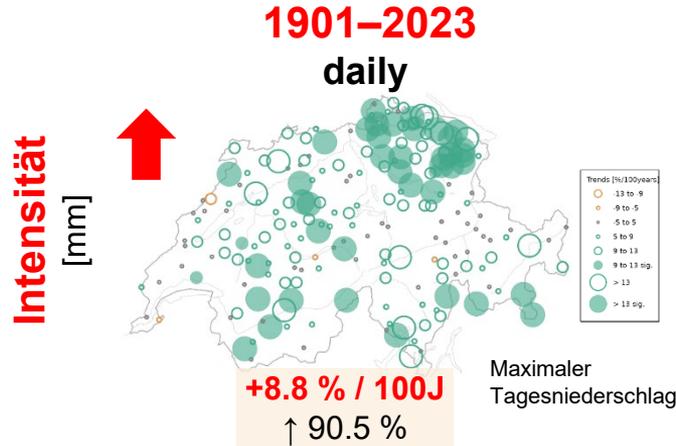
Anstieg subtäglicher Intensitäten
(v.a. Sommer und $\leq 3h$)



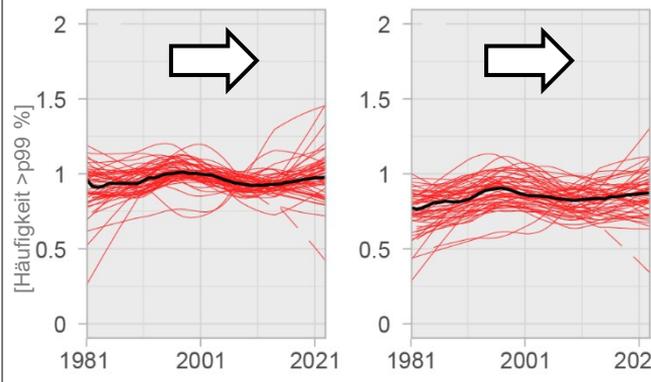
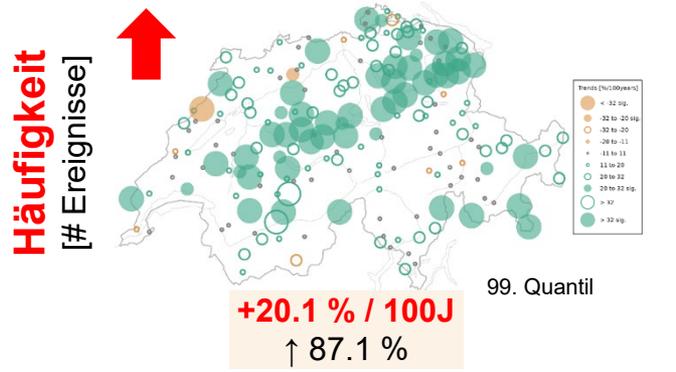
Zeitreihen mit LOESS Filterung



Entwicklung Starkniederschläge Schweiz



Anstieg subtäglicher Intensitäten
(v.a. Sommer und $\leq 3h$)



Keine Änderung
subtäglicher Häufigkeiten
(q99.9: leichter Anstieg)

Zeitreihen mit LOESS Filterung



Veränderung und Attribution von Starkniederschlägen global



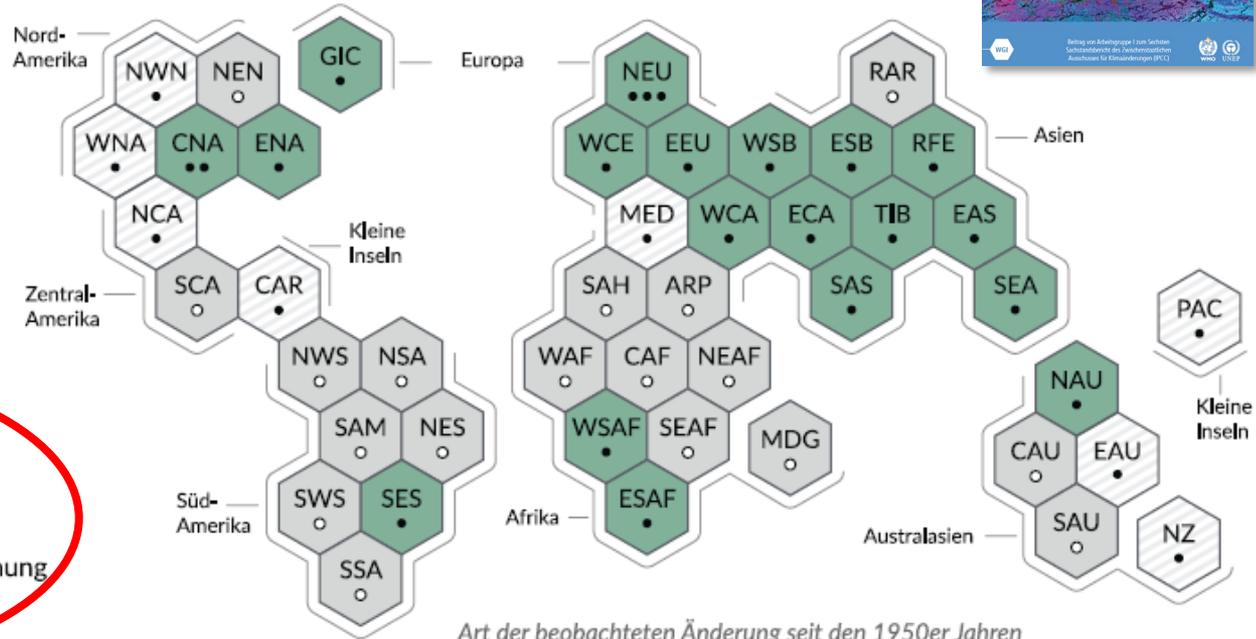
(b) Synthese der Bewertung der beobachteten Änderung bei **Starkniederschlag** und Vertrauen in den Beitrag des Menschen zu den beobachteten Änderungen in den Weltregionen

Art der beobachteten Änderung bei Starkniederschlag

- Zunahme (19)
- Abnahme (0)
- Geringe Übereinstimmung hinsichtlich Art der Änderung (8)
- Begrenzte Daten und/oder Literatur (18)

Vertrauen in den Beitrag des Menschen zur beobachteten Änderung

- Hoch
- Mittel
- Gering aufgrund begrenzter Übereinstimmung
- Gering aufgrund begrenzter Belege



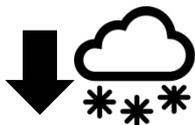
Art der beobachteten Änderung seit den 1950er Jahren



**Niederschlag
Starkregen**



Schneetage
-50 % unter 800 m
-20 % über 2000 m
seit 1970



Vegetationsperiode
+ 2 bis 4 Wochen seit 1961



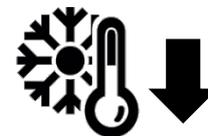
Hitzewellen

häufiger
intensiver seit 1901



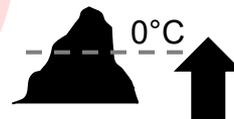
Kälte

bis -60 % Frosttage
seit 1961



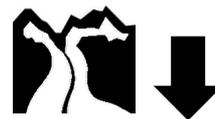
Nullgradgrenze

+300 bis 400 m seit 1961



Gletschervolumen

mehr als -60 % seit 1850



+2.8°C

[2.4 – 3.2]

seit 1864





Sommertrockenheit



Hitzewellen

häufiger
intensiver seit 1901

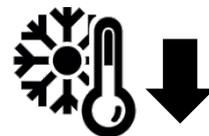


Niederschlag Starkregen



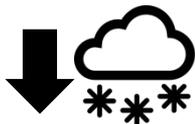
Kälte

bis -60 % Frosttage
seit 1961



Schneetage

-50 % unter 800 m
-20 % über 2000 m
seit 1970



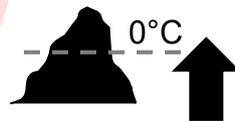
+2.8°C

[2.4 – 3.2]

seit 1864

Nullgradgrenze

+300 bis 400 m seit 1961



Vegetationsperiode

+ 2 bis 4 Wochen seit 1961



Gletschervolumen

mehr als -60 % seit 1850

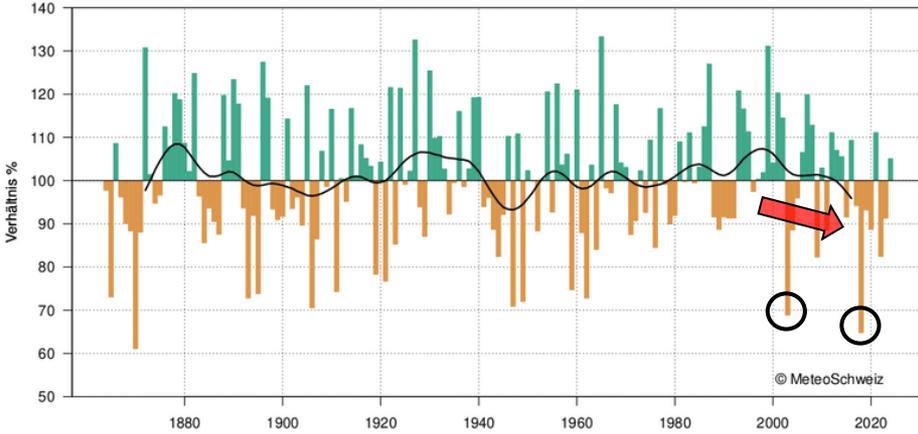




Entwicklung Sommer- und Winterniederschlag

Sommerhalbjahr

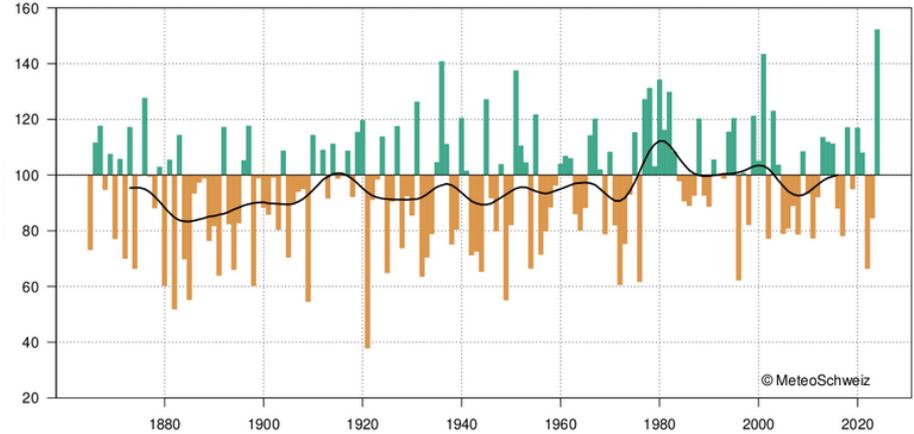
Halbjahres-Niederschlag (Sommer) – Schweiz – 1864–2024
Verhältnis zum Durchschnitt 1961–1990



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

Winterhalbjahr

Halbjahres-Niederschlag (Winter) – Schweiz – 1865–2024
Verhältnis zum Durchschnitt 1961–1990

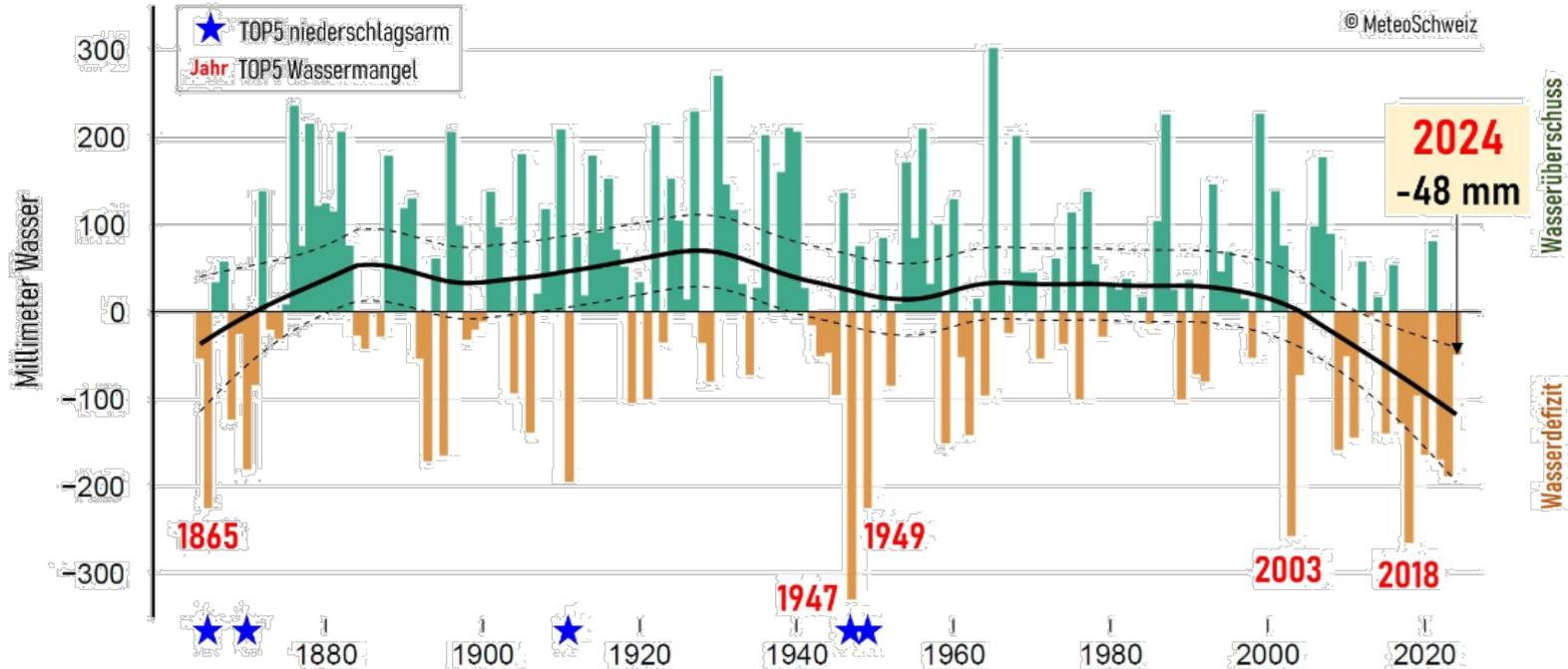




Sommertrockenheit

Klimatologische Wasserbilanz* Sommerhalbjahr (Apr.-Sep.)

Nordschweiz (Vierstationsmittel ZH, BE, BS, GE)



* Niederschlag minus potentielle Verdunstung

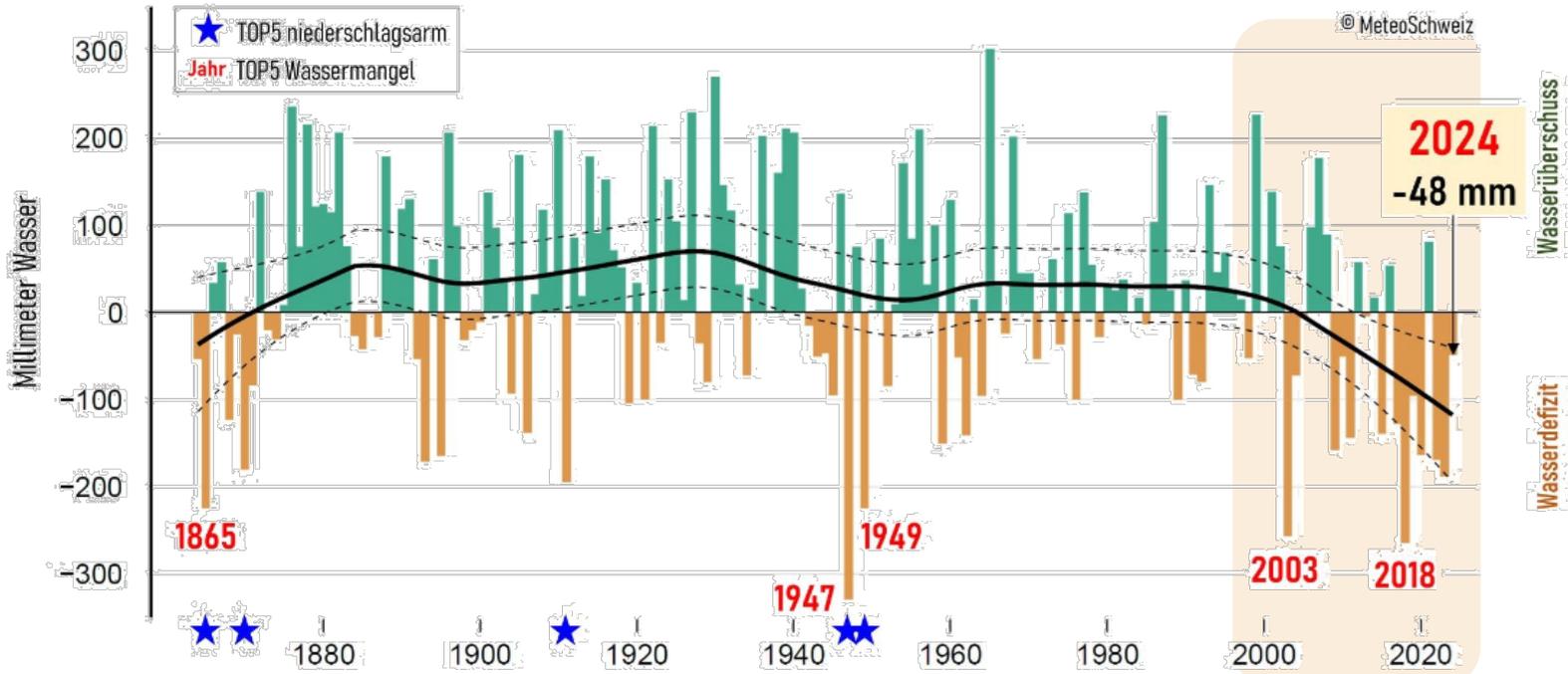


Sommertrockenheit

Klimatologische Wasserbilanz* Sommerhalbjahr (Apr.-Sep.)

Nordschweiz (Vierstationsmittel ZH, BE, BS, GE)

Höhere Verdunstung
+
weniger Niederschlag



* Niederschlag minus potentielle Verdunstung

Scherrer et al. 2022

<https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac4fb9>



Wassermangel auf SAC Hütten (Sommer 2022)

Fehlender Schneespeicher



News
Wasserknappheit in SAC-Hütten
10.07.2022, 08:13 Uhr · 1 Minute · 0

Schneemangel und Hitze
SAC-Hütten droht wegen Wassermangel die Schliessung
Sonntag, 10.07.2022, 10:27 Uhr

Alte Trockenheit in den Bergen
SAC-Hütten droht Schliessung wegen Wassermangel
Ein schneeärmer Winter und ein warmer Frühling haben die Wasservorräte für Berghütten wegschmelzen lassen. Um Zähne zu putzen, müssen Gäste teils Mineralwasser kaufen.

Die Schliessung droht
SAC-Hütten sitzen auf dem Trockenen
Wenig Schnee im Winter. Ein heisser Frühling. Das macht den SAC-Hütten in den Alpen zu schaffen. Die Folge der Wasserknappheit: Zähneputzen muss man mit teuer gekauftem Mineralwasser.



Sommertrockenheit



Hitzewellen

häufiger
intensiver seit 1901

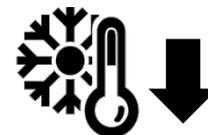


Niederschlag Starkregen



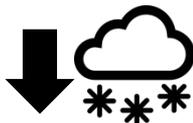
Kälte

bis -60 % Frosttage
seit 1961



Schneetage

-50 % unter 800 m
-20 % über 2000 m
seit 1970



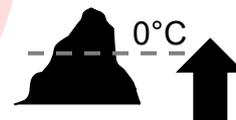
+2.8°C

[2.4 – 3.2]

seit 1864

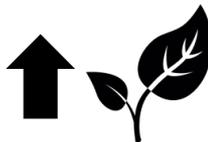
Nullgradgrenze

+300 bis 400 m seit 1961



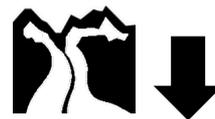
Vegetationsperiode

+ 2 bis 4 Wochen seit 1961



Gletschervolumen

mehr als -60 % seit 1850





Sommertrockenheit



Hitzewellen

häufiger
intensiver seit 1901

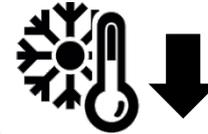


**Niederschlag
Starkregen**



Kälte

bis -60 % Frosttage
seit 1961



+2.8°C

[2.4 – 3.2]

seit 1864

Schneetage

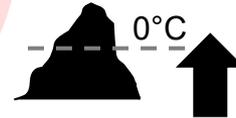
-50 % unter 800 m
-20 % über 2000 m

seit 1970



Nullgradgrenze

+300 bis 400 m seit 1961



Klare Evidenz:

Das Klima der Schweiz ist im Wandel und wir spüren es deutlich!

Auch Niederschläge und Trockenheit sind betroffen.

NB: Gleiches gilt für den gesamten Alpenraum und vielen Fällen auch global

Klimaszenarien: Wohin geht die Reise?

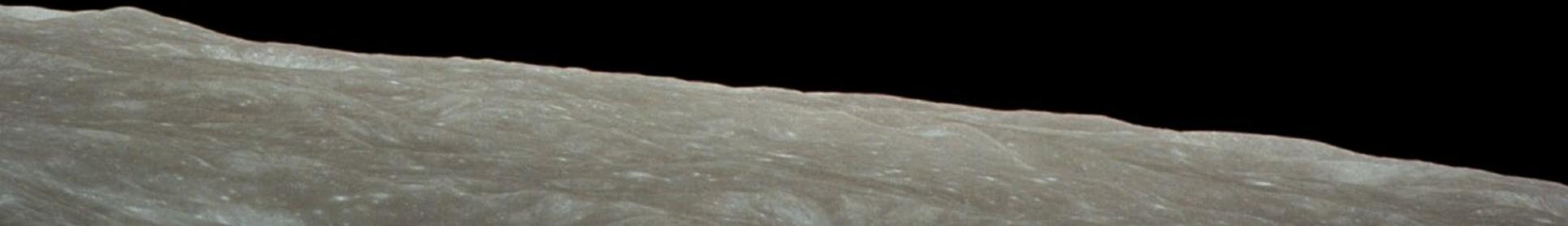


Klimaszenarien: Wohin geht die Reise?



Was wäre die (klimatische) Folge eines weiterhin unverminderten Treibhausgasausstosses?

Wie würde sich das Klima bei deutlichen globalen Anstrengungen zur Emissionsreduktion entwickeln?



Klimaszenarien: Wohin geht die Reise?



Was wäre die (klimatische) Folge eines weiterhin unverminderten Treibhausgasausstosses?

Wie würde sich das Klima bei deutlichen globalen Anstrengungen zur Emissionsreduktion entwickeln?

Globales Klimasystem mit **global** wirkenden Prozessen und Rückkoppelungsmechanismen

Keine Beobachtungen

Globale Modelle sind nötig

Globale Klimamodelle

- **Numerisch-mathematische Beschreibung** der wichtigsten Prozesse auf globaler Skala
- **Integration nach vorne** (in die Zukunft) basierend auf einem Ausgangszustand (Initialisierung). Zeitschritt: meist wenige Minuten
- *Zirkulationsmodelle*: Zirkulation in Atmosphäre und Ozean wird **auf dreidimensionalem Gitter**, **Landoberflächenprozesse** beschrieben
- Sehr **komplex** und sehr **rechenintensiv**
- Basieren auf **physikalischen Grundgleichungen**: Energie-, Impuls- und Massenerhaltung

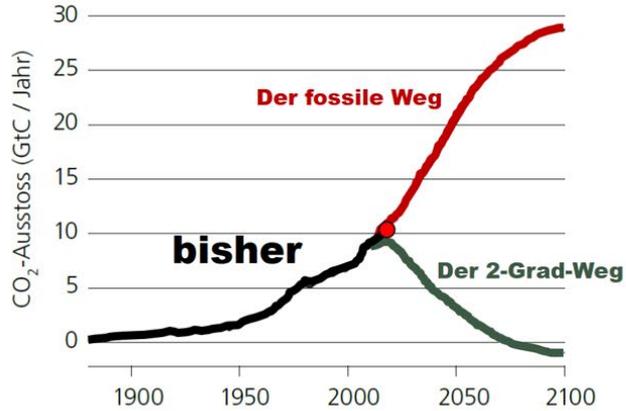
Globale Klimamodelle

- **Numerisch-mathematische Beschreibung** der wichtigsten Prozesse auf globaler Skala
- **Integration nach vorne** (in die Zukunft) basierend auf einem Ausgangszustand (Initialisierung). Zeitschritt: meist wenige Minuten
- *Zirkulationsmodelle*: Zirkulation in Atmosphäre und Ozean wird **auf dreidimensionalem Gitter, Landoberflächenprozesse** beschrieben
- Sehr **komplex** und sehr **rechenintensiv**
- Basieren auf **physikalischen Grundgleichungen**: Energie-, Impuls- und Massenerhaltung
- **Sehr rechenintensiv!** Downscaling mithilfe **regionaler Klimamodelle** (bis auf ca. 10 km Auflösung)

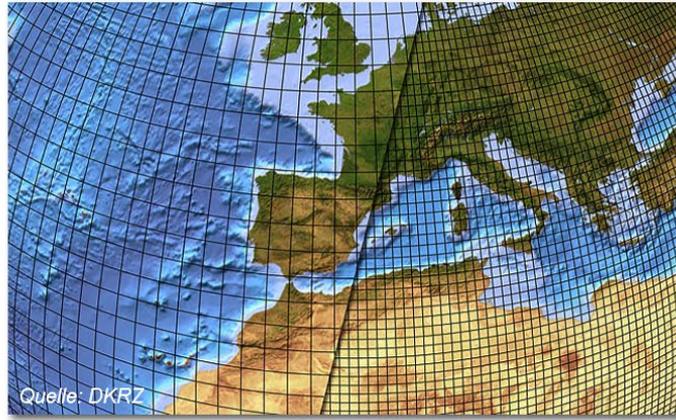


Standard Prozessierungskette

Emissionsszenarien



Globale und regionale Klimamodelle



Auswirkungen





Schweizer Klimaszenarien

www.klimaszenarien.ch

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Nella Confederaziun
Helvetica
Helvetic Confederation
Federal Office of Meteorology and Climatology
MeteoSCHWEIZ

ETH zürich



u^b

UNIVERSITÄT
BERN

sc|nat

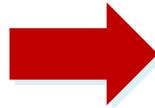
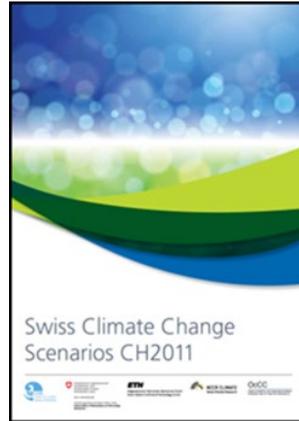
Science and Policy
Platform of the Swiss Academy of Sciences
SIA
For the Swiss Climate and Global Change

CH2018

CH2007



CH2011



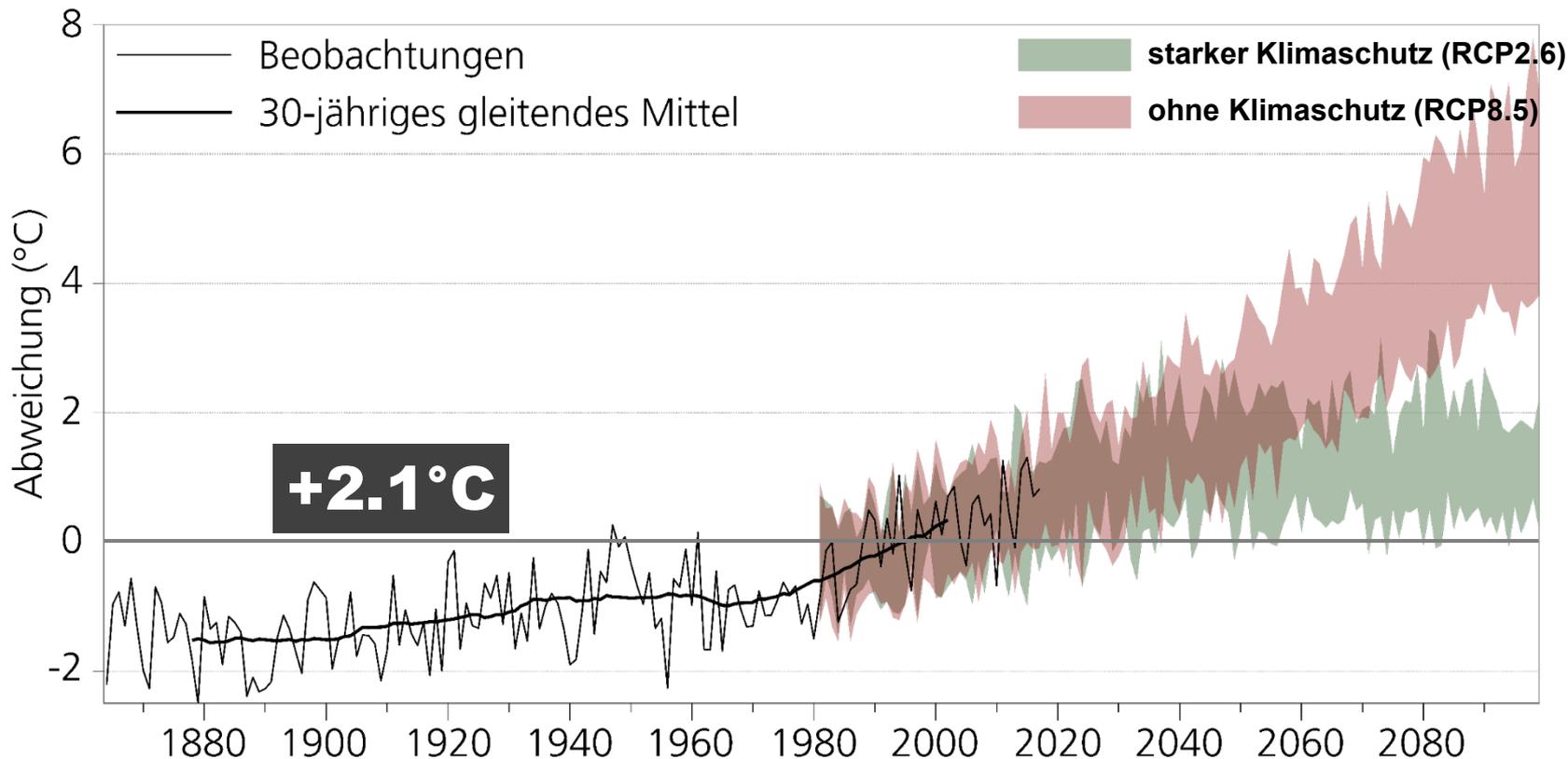
Dritte Generation Schweizer Referenz-Szenarien

Grundlage für Klimaanpassungsstrategie des Bundes



Temperaturanstieg Schweiz

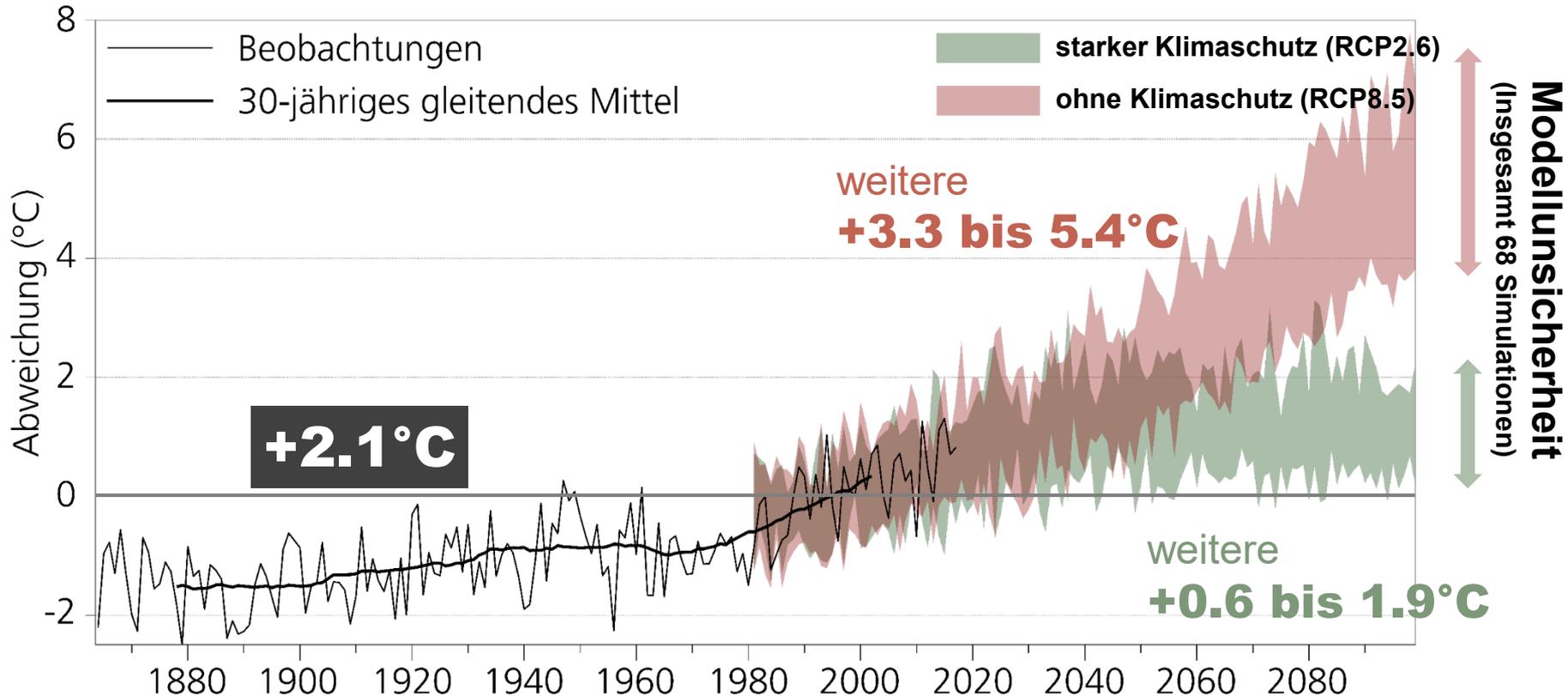
Abweichung von der Normperiode 1981-2010





Temperaturanstieg Schweiz

Abweichung von der Normperiode 1981-2010



CH2018 – Hauptergebnisse



Trockene Sommer

Weniger Niederschlag

Mehr Verdunstung

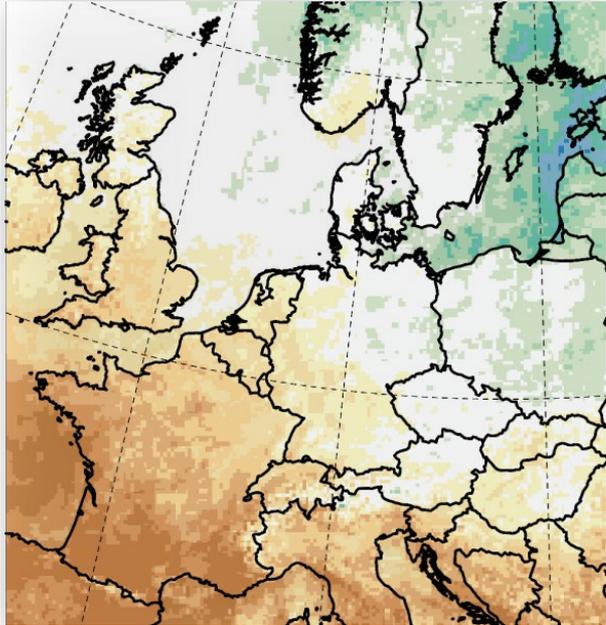
Trockenere Böden



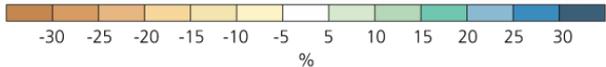
Niederschlagsänderung Sommer



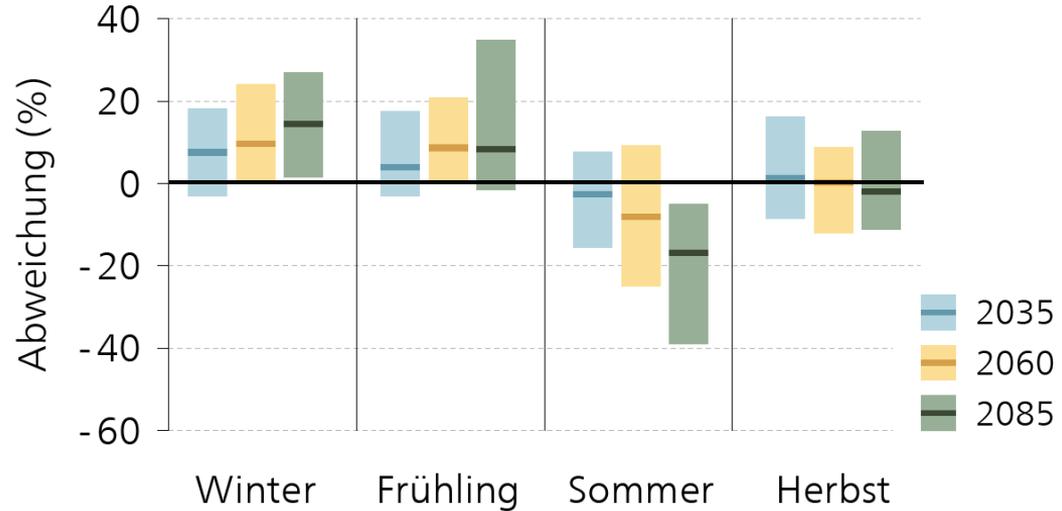
Mittlerer Sommerniederschlag



Änderung ohne Klimaschutz um 2060 gegenüber 1981–2010 (30-jährige Mittel).



Änderung im Niederschlag in der Nordostschweiz
(Änderung gegenüber heute, **Szenario ohne Klimaschutz**)

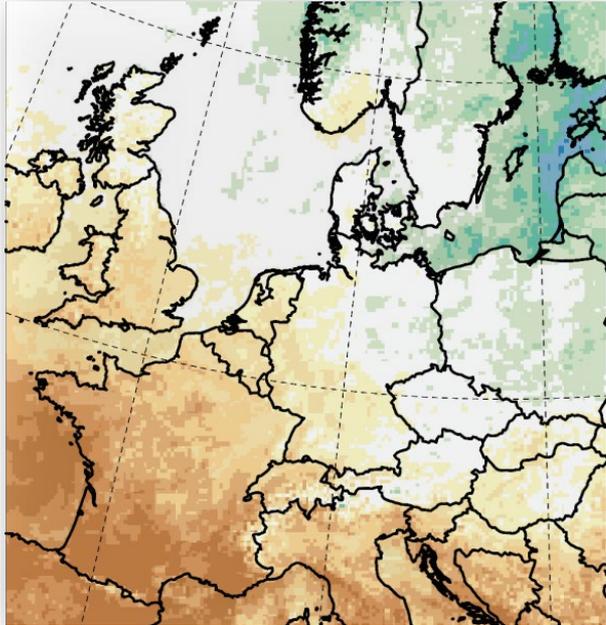




Niederschlagsänderung Sommer



Mittlerer Sommerniederschlag



Änderung ohne Klimaschutz um 2060 gegenüber 1981–2010 (30-jährige Mittel).



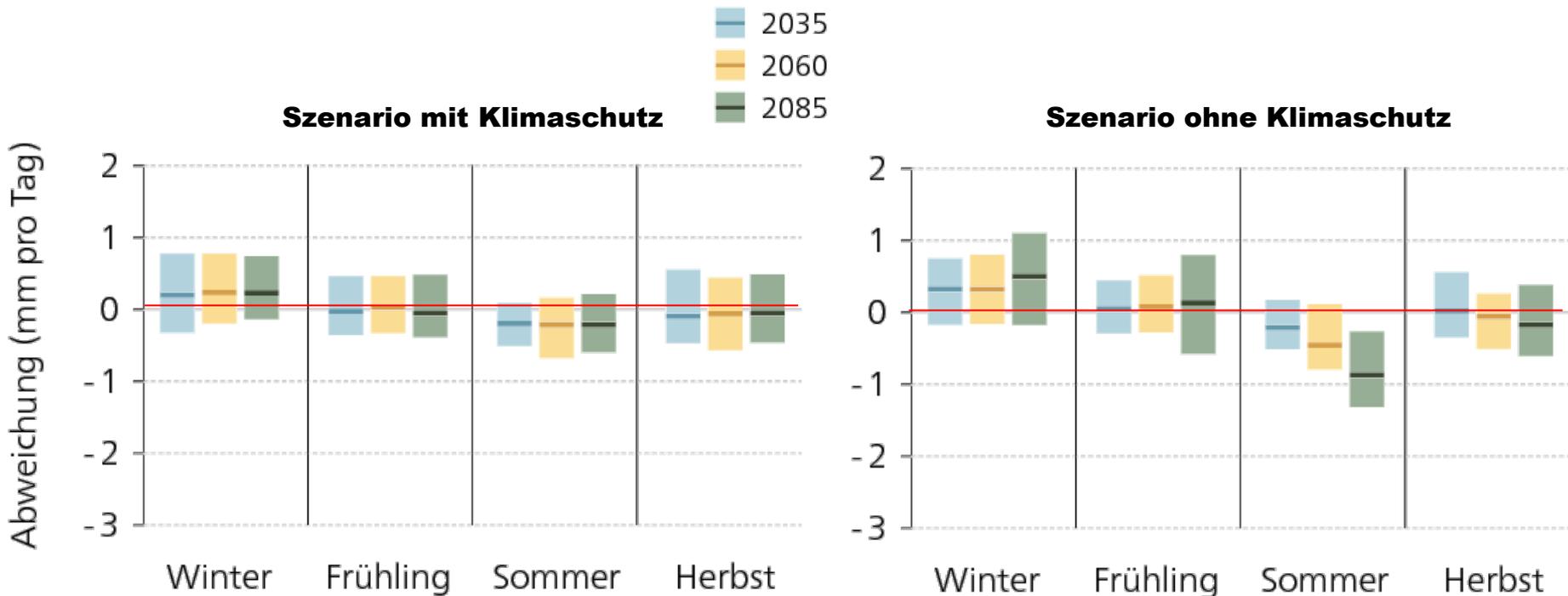
Änderung im Niederschlag in der Nordostschweiz
(Änderung gegenüber heute, **Szenario ohne Klimaschutz**)





Änderung Wasserbilanz

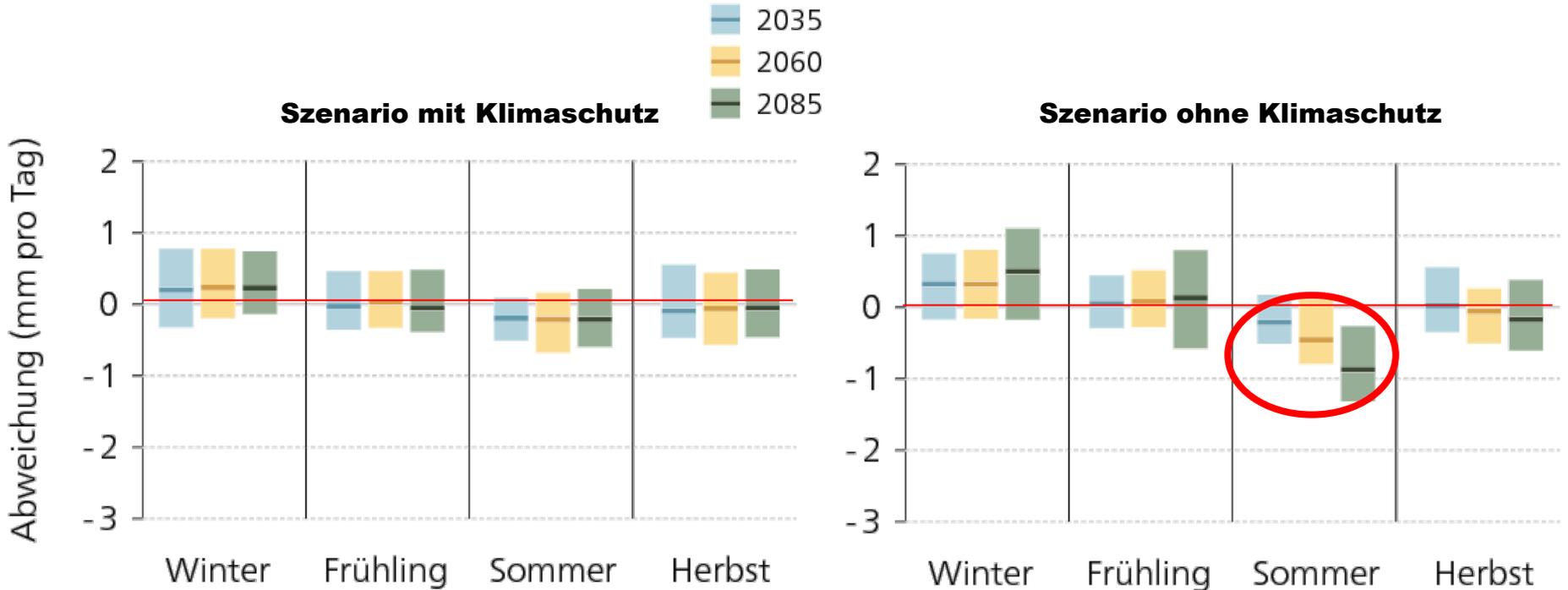
Nordostschweiz, Abweichung von der Normperiode 1981-2010





Änderung Wasserbilanz

Nordostschweiz, Abweichung von der Normperiode 1981-2010



CH2018 – Hauptergebnisse



Trockene Sommer

Weniger Niederschlag
Mehr Verdunstung
Trockenere Böden



Heftige Niederschläge

Intensivere und häufigere
Extremniederschläge



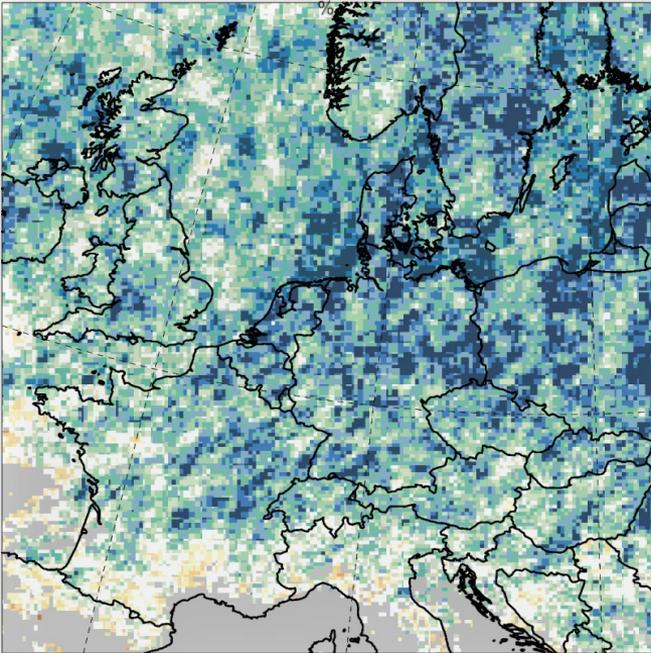
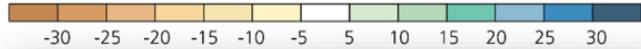


Bis zu 20% heftigere Niederschläge

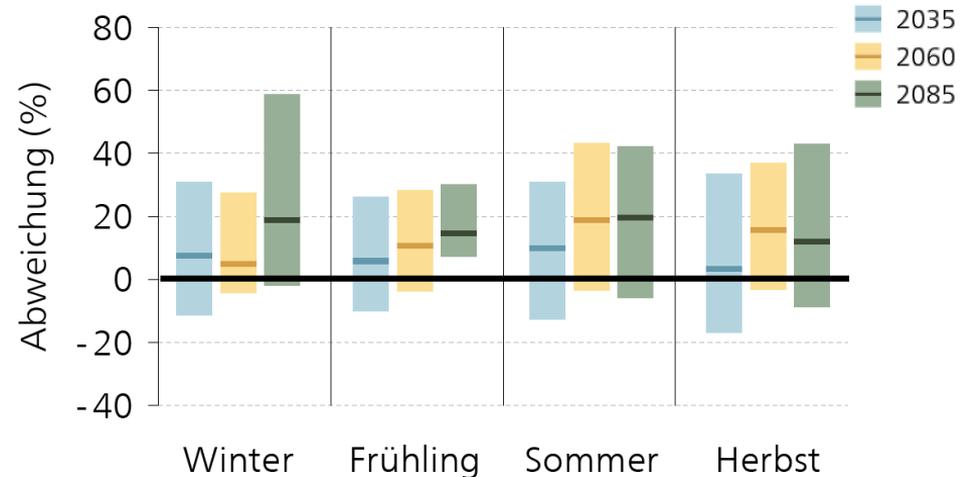


100-jährliches Eintages-
Niederschlagsereignis

Änderung ohne Klimaschutz um 2060 gegenüber 1981–2010 (30-jährige Mittel).



Änderung im 100-jährigen Wiederkehrwert
des 1-Tages-Niederschlags
(Änderung gegenüber heute, **Szenario ohne Klimaschutz**)



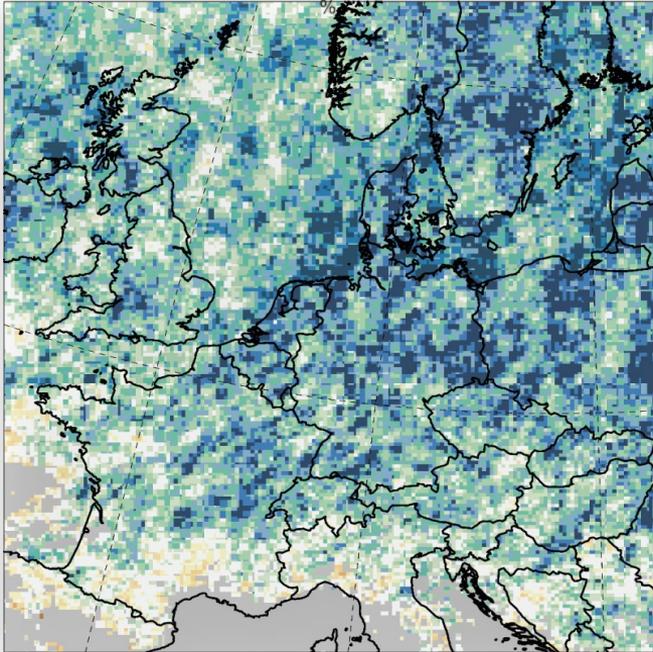
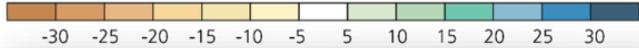


Bis zu 20% heftigere Niederschläge

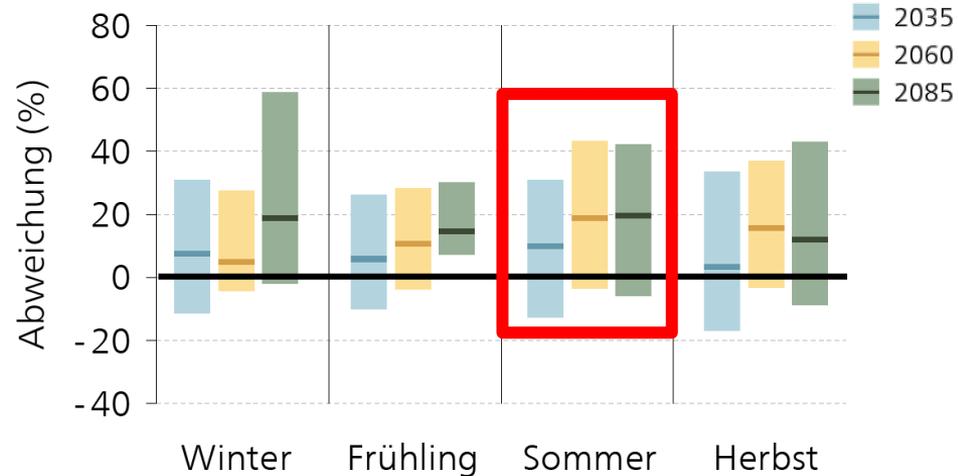


100-jährliches Eintages-
Niederschlagsereignis

Änderung ohne Klimaschutz um 2060 gegenüber 1981–2010 (30-jährige Mittel).



Änderung im 100-jährigen Wiederkehrwert
des 1-Tages-Niederschlags
(Änderung gegenüber heute, **Szenario ohne Klimaschutz**)



CH2018 – Hauptergebnisse



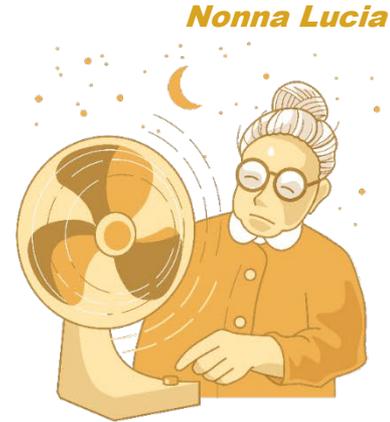
Trockene Sommer

Weniger Niederschlag
Mehr Verdunstung
Trockenere Böden



Heftige Niederschläge

Intensivere und häufigere
Extremniederschläge

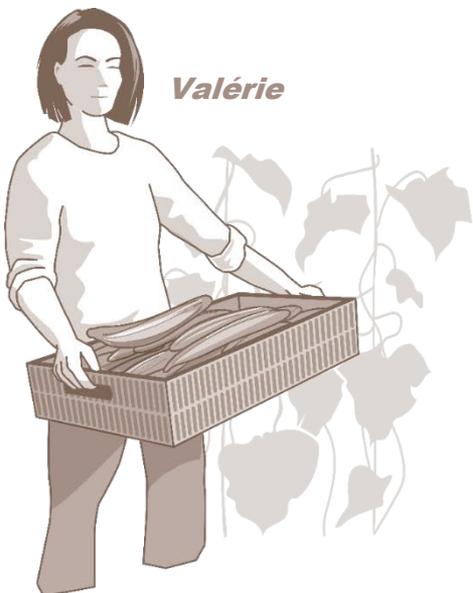


Hitzebelastung

Überdurchschnittlicher
Anstieg der Höchst-
temperaturen
Intensivere Hitzewellen



CH2018 – Hauptergebnisse



Trockene Sommer

Weniger Niederschlag
Mehr Verdunstung
Trockenere Böden



Heftige Niederschläge

Intensivere und häufigere
Extremniederschläge



Hitzebelastung

Überdurchschnittlicher
Anstieg der Höchst-
temperaturen
Intensivere Hitzewellen



Schneearme Winter

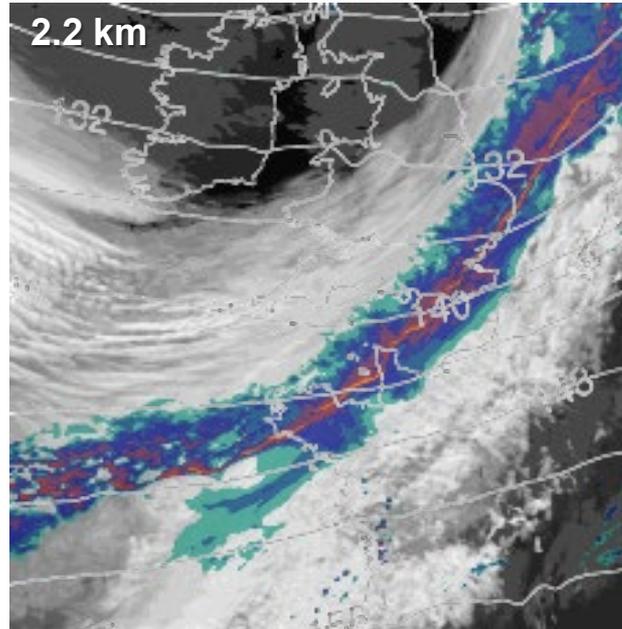
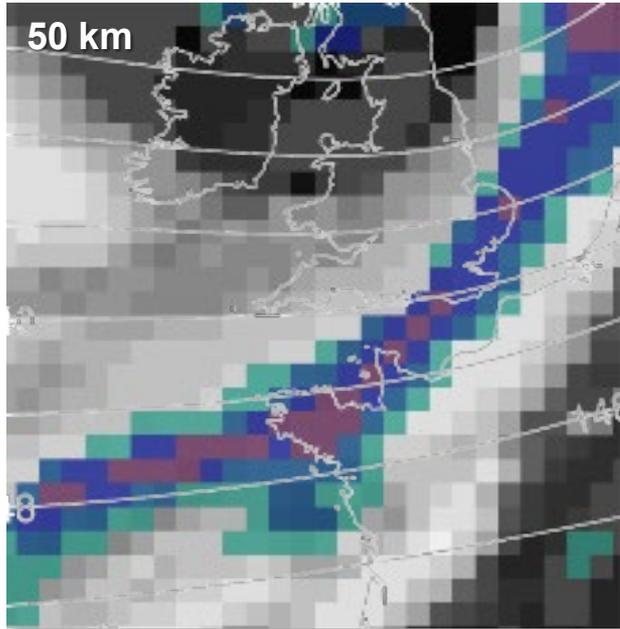
Nullgradgrenze steigt
Niederschlag vermehrt
als Regen



Ausblick: Die neuen Schweizer Klimaszenarien CH2025

Veröffentlichung: 04. November 2025

Konvektionserlaubende Klimasimulationen in Kilometer-Auflösung



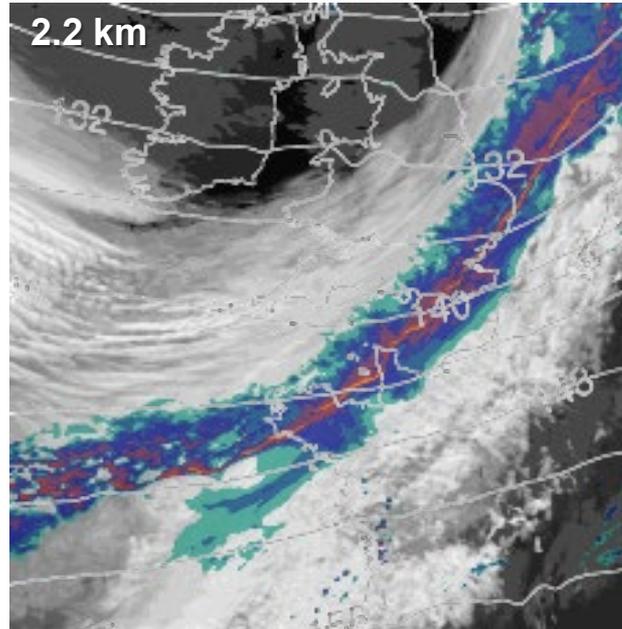
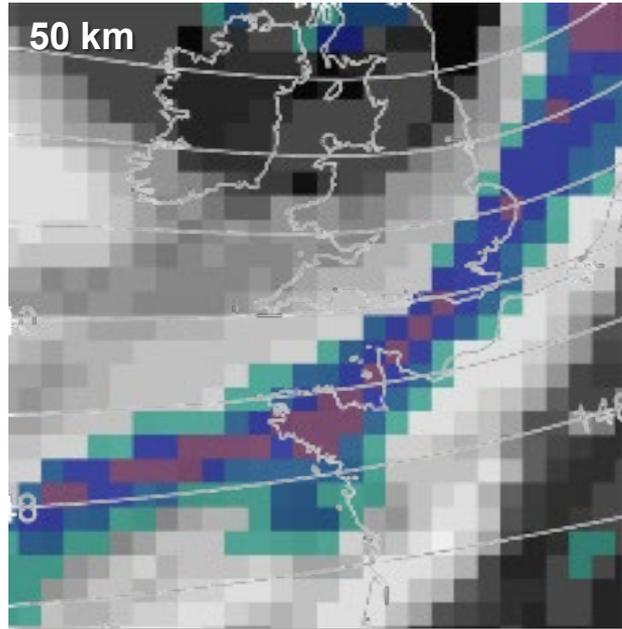
- Explizite Beschreibung **kleinräumiger Konvektion**
- Deutlich besser Abbildung **konvektiver sommerlicher Niederschlagsextreme**
- Robustere Ableitung von Änderungen **subtäglich Extreme**



Ausblick: Die neuen Schweizer Klimaszenarien CH2025

Veröffentlichung: 04. November 2025

Konvektionserlaubende Klimasimulationen in Kilometer-Auflösung



© D. Leutwyler, ETH Zürich/MeteoSchweiz

- Explizite Beschreibung **kleinräumiger Konvektion**
- Deutlich besser Abbildung **konvektiver sommerlicher Niederschlagsextreme**
- Robustere Ableitung von Änderungen **subtägliches Extreme**
- Erste Ergebnisse: Anstieg oftmals gemäss **Clausius-Clapeyron (+7% pro Grad Erwärmung)**



Zusammenfassung

- **Das Klima ist im Wandel.** Global, im Alpenraum und auch in der Schweiz.
NB: Verantwortlich sind in erster Linie menschliche Treibhausgasemissionen.
- Bereits heute beobachten wir eine **Zunahme winterlicher Niederschlagsmengen**, eine **Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen** und **vermehrte sommerliche Trockenheit**.
- Klimaszenarien zeigen, dass sich **diese Entwicklungen in Zukunft fortsetzen werden**. Durch **globale Emissionsreduktionen** können wir noch teilweise gegensteuern.



VIELEN DANK

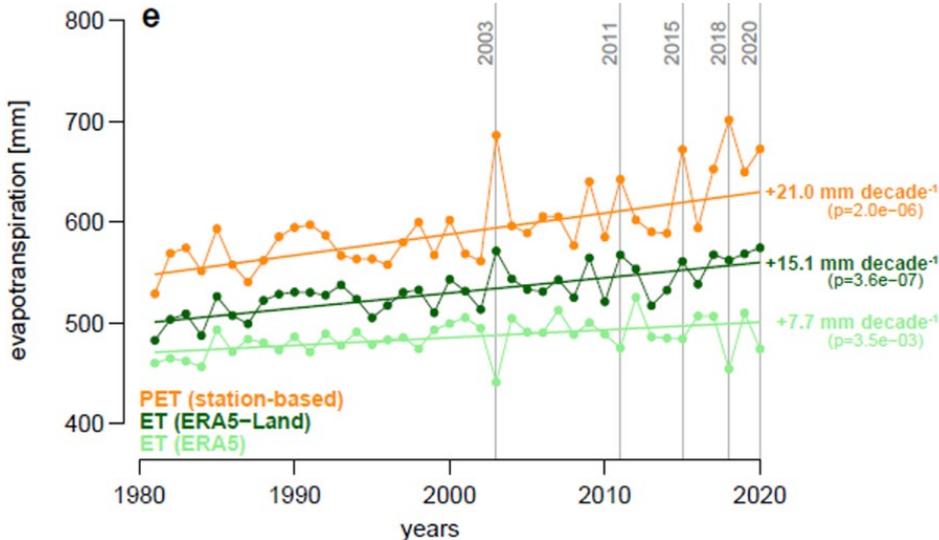
sven.kotlarski@meteoschweiz.ch



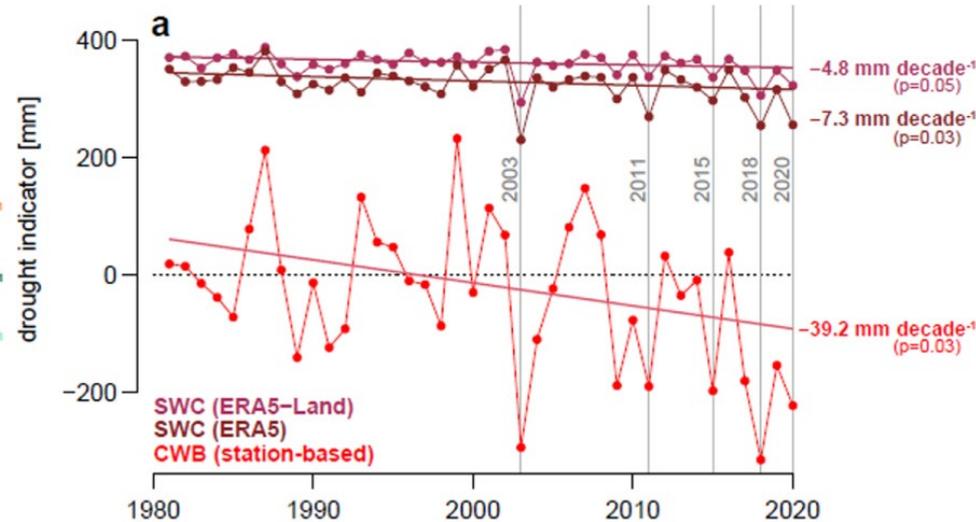


Sommertrockenheit

Entwicklung **potentielle** und **reale** Evapotranspiration
(Schweizer Mittelland, Sommerhalbjahr)



Entwicklung **Bodenfeuchte (0-1m)** und **klimat. Wasserbilanz**
(Schweizer Mittelland, Sommerhalbjahr)





Sommertrockenheit - Zusammenfassung

Sommertrockenheit in der Schweiz

TOP 5 seit 1981

2018

2003

2020

2015

2011

Änderungen 1981-2020

Niederschlag



-66 mm
(-11 %)

Temperatur



+2,2 °C

Verdunstung



≈ +60 mm
(+11 %)

Bodenwasser



≈ -20 mm
(-5 %)