

Der Klimawandel im Alpenraum

Energie Zukunft Tirol
31.01.2020

Dr. Johannes Vergeiner
ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Kundenservice Tirol und Vorarlberg
E-Mail: johannes.vergeiner@zamg.ac.at



ZAMG
Zentralanstalt für
Meteorologie und
Geodynamik



1. Das Klima und der bisherige Klimawandel in den Alpen
2. Wie geht es weiter?
3. Und was muss und kann getan werden?

1. Das Klima und der bisherige Klimawandel in den Alpen
2. Wie geht es weiter?
3. Und was muss und kann getan werden?

Was ist Klima?

WETTER



Momentaner Zustand
der Atmosphäre (zu
einer bestimmten Zeit,
an einem bestimmten
Ort)



WITTERUNG



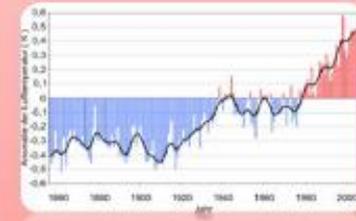
Charakter des Wetters
über einige Tage oder
eine Jahreszeit



KLIMA



Durchschnitt aller
Wettererscheinungen an
einem Ort o. einer Region
über einen längeren
Zeitraum (min. 30 Jahre)



Was ist Klima?



WETTER



Momentaner Zustand
der Atmosphäre (zu
einer bestimmten Zeit,
an einem bestimmten
Ort)



WITTERUNG



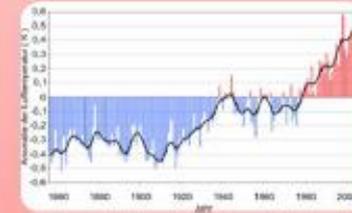
Charakter des Wetters
über einige Tage oder
eine Jahreszeit



KLIMA



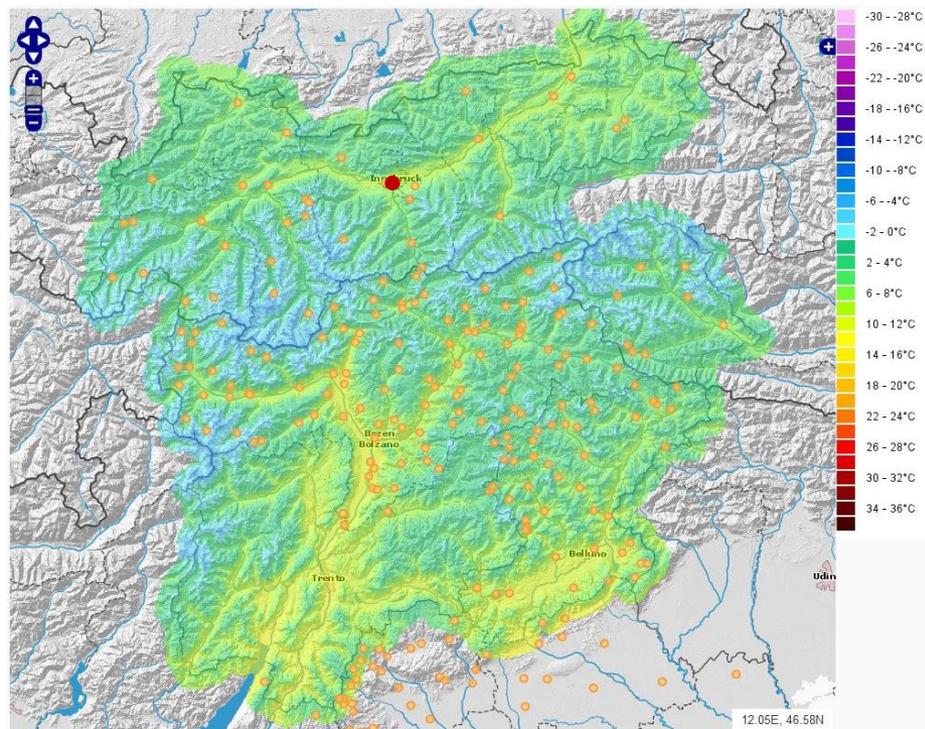
Durchschnitt
Wettererscheinungen an
einem bestimmten Ort
über einen längeren
Zeitraum (min. 30 Jahre)



Dieser Durchschnitt ist nicht „spürbar“

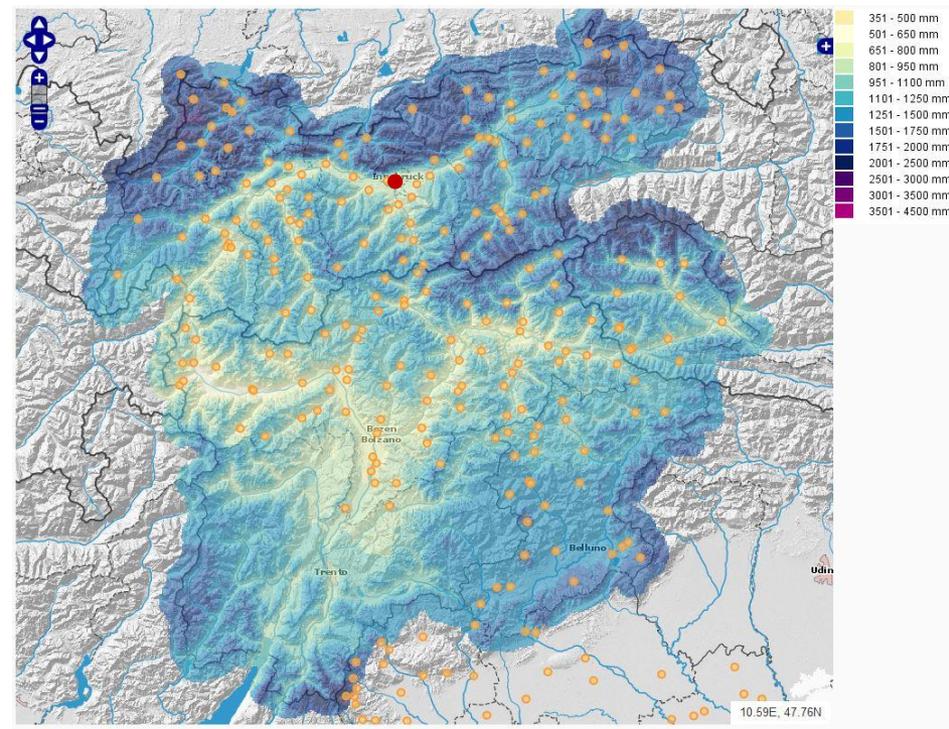
Temperatur und Niederschlag

Jahresmittel



Temperatur ist v.a. höhenabhängig:
sie nimmt mit der Höhe ab

Mittlere Jahressumme

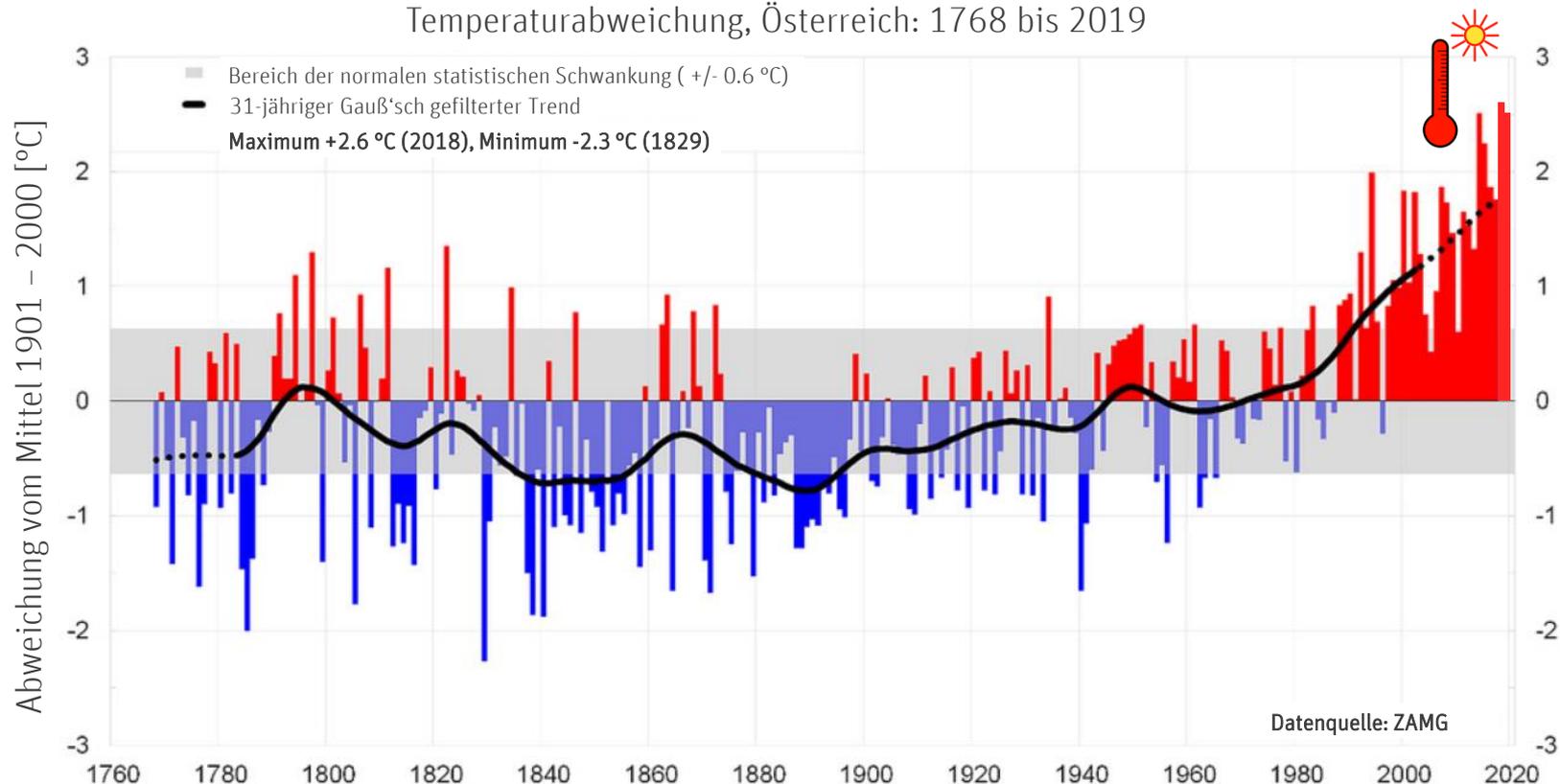


Niederschlag ist von der Höhe und der Lage im
Gebirge abhängig: er nimmt mit der Höhe zu,
Inneralpin ist es trocken, an den Rändern nass

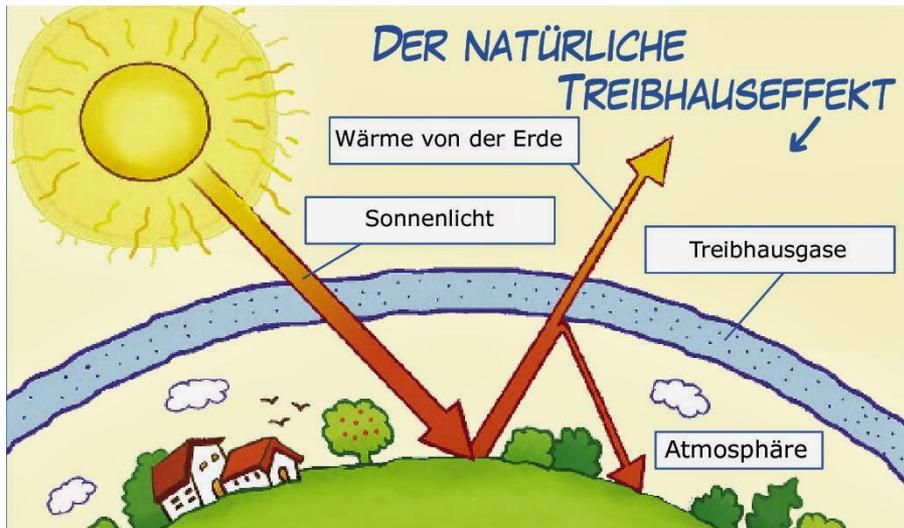
Wir sind mittendrin in der Erwärmung

In **Österreich** bereits ~ 2 °C wärmer (verglichen mit vorindustriellem Niveau)
Etwa doppelt so starker Anstieg wie global

Temperaturabweichung, Österreich: 1768 bis 2019



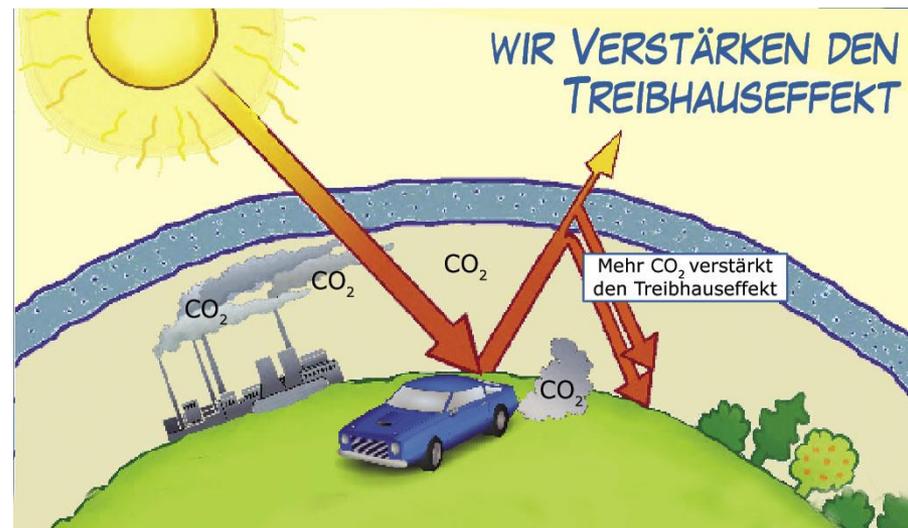
Die (Haupt-)Ursache: Verstärkung des Treibhauseffektes durch den Menschen



Treibhausgase wie CO_2 , N_2O , Methan und Wasserdampf sorgen für durchschnittlich 15°C auf der Erde (sonst -18°C !).

Aber: massive Erhöhung der Treibhausgase durch Verbrennen fossiler Brennstoffe, industrielle Rinderzucht und Landwirtschaft.

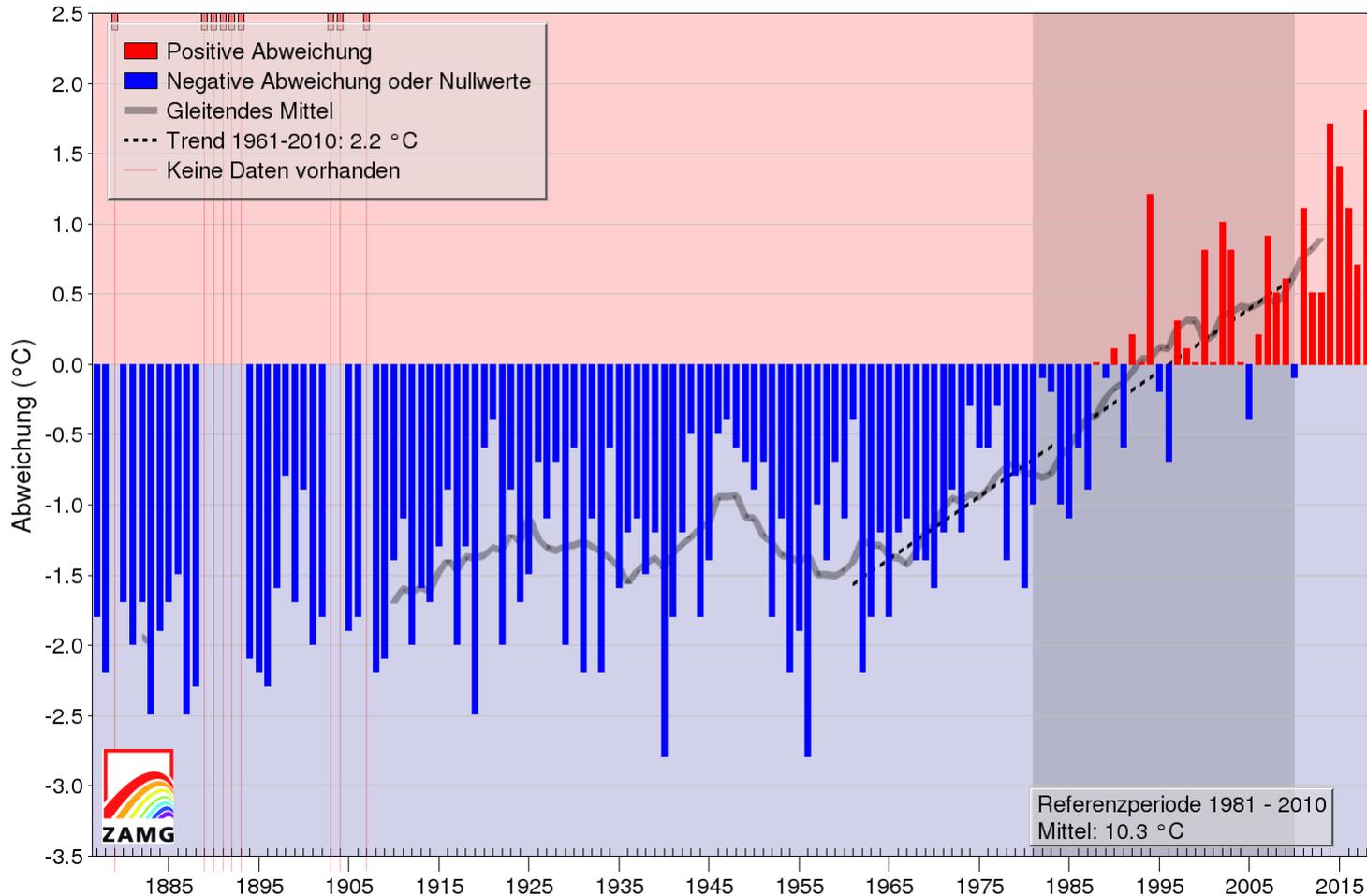
CO_2 -Konzentration heute höher als jemals in den letzten 3 Millionen Jahren!



Und in Tirol? Temperatur-Trend in Innsbruck



Jahresmittel der Temperatur INNSBRUCK UNIV. 1877 - 2019
Abweichung vom Mittel der Referenzperiode



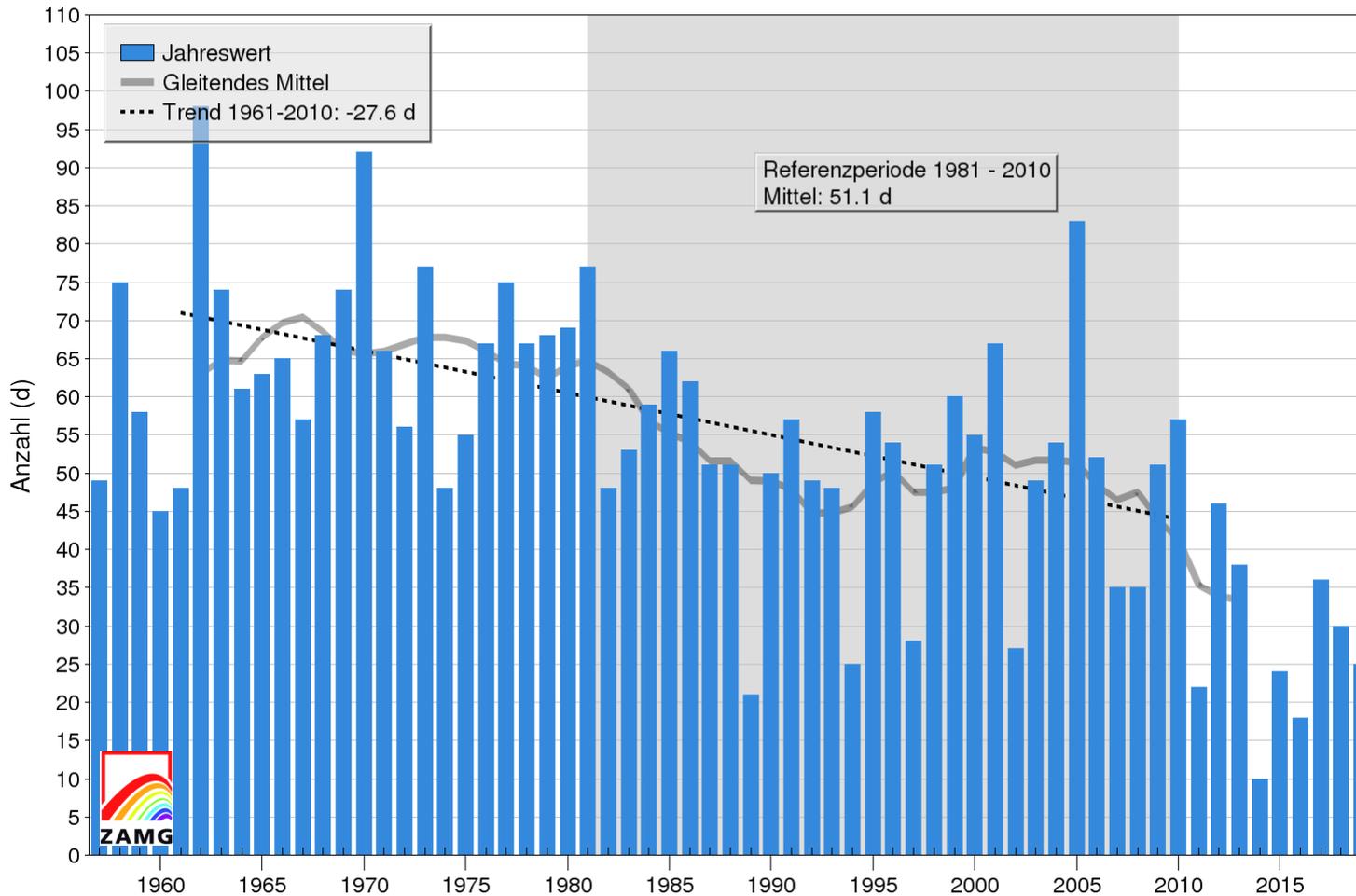
Heute gute 2 °
wärmer als vor
50 Jahren !
(Gilt für ganz
Tirol.)



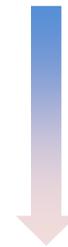
Anzahl der Eistage (ganztägig unter 0°C) in St. Anton



Eistage ST. ANTON AM ARLBERG 1957 - 2019



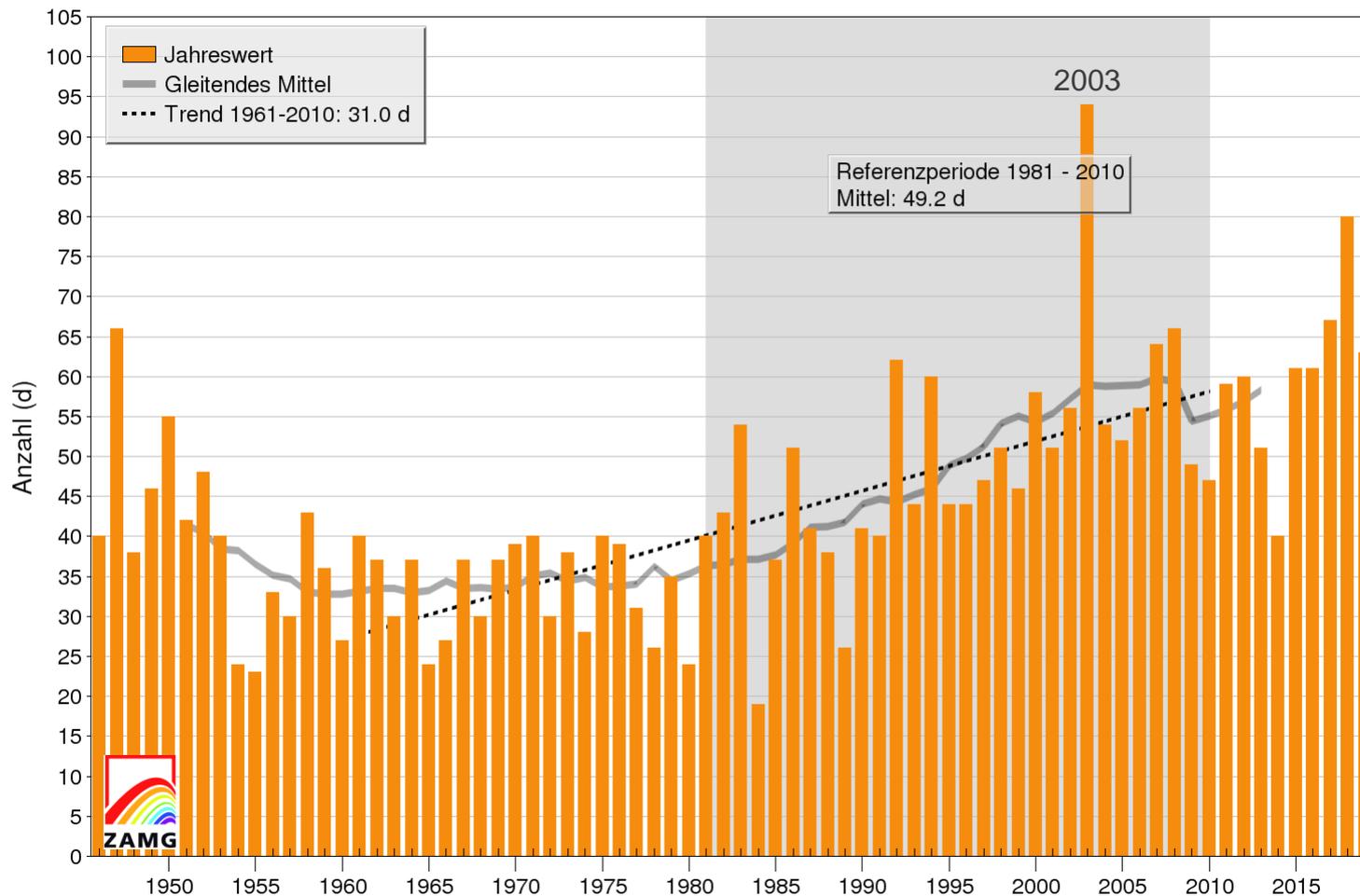
Heute etwa halb
so viele Eistage
in St. Anton als
vor 50 Jahren !



Anzahl der Sommertage ($T_{max} \geq 25^{\circ}C$) in Kufstein



Sommertage KUFSTEIN 1946 - 2019



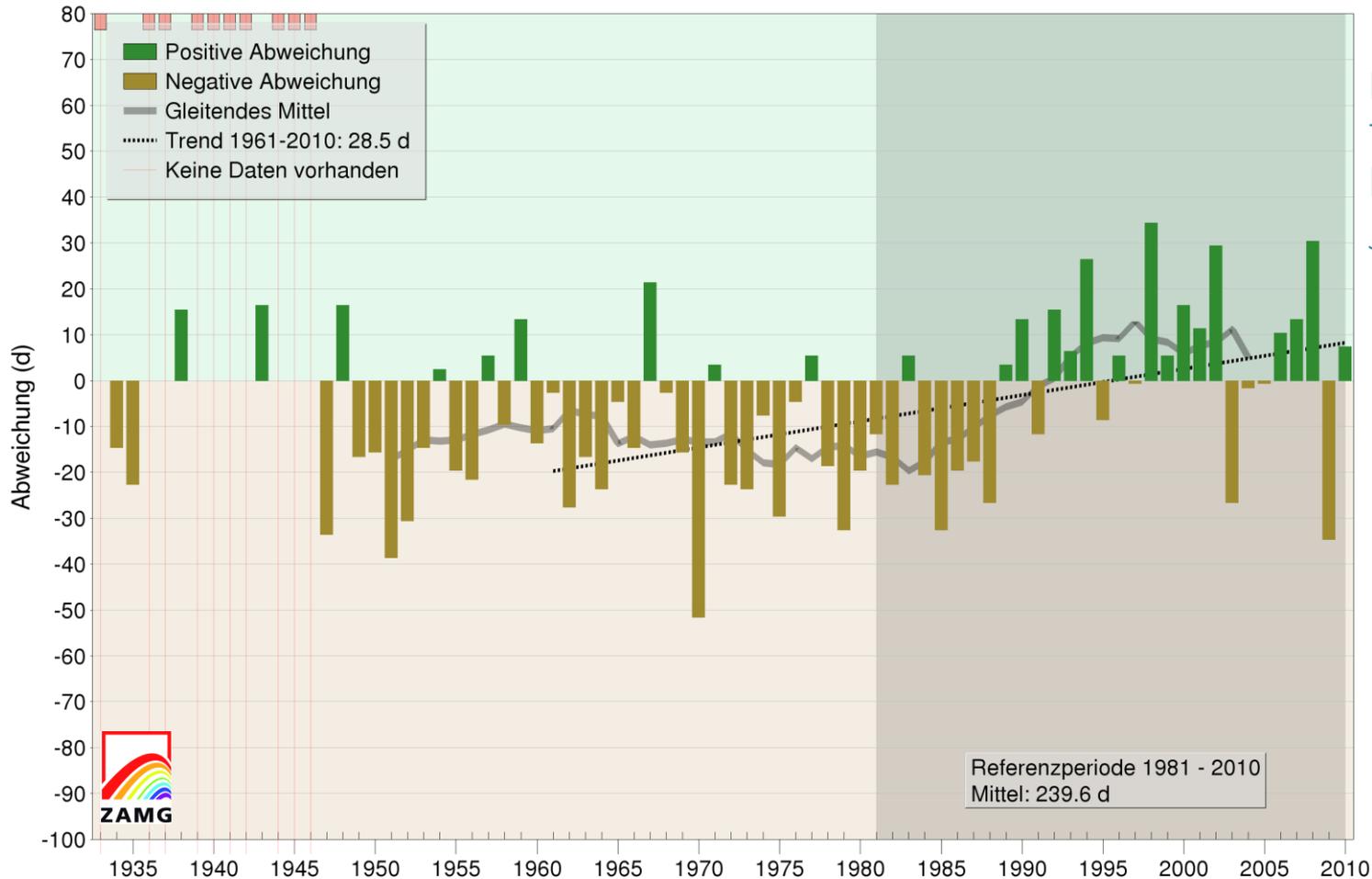
Heute zirka
doppelt so viele
Sommertage in
Kufstein als vor 50
Jahren !



Dauer der Vegetationsperiode an der Station Lienz



Dauer der Vegetationsperiode LIENZ 1933 - 2010
Abweichung vom Mittel der Referenzperiode

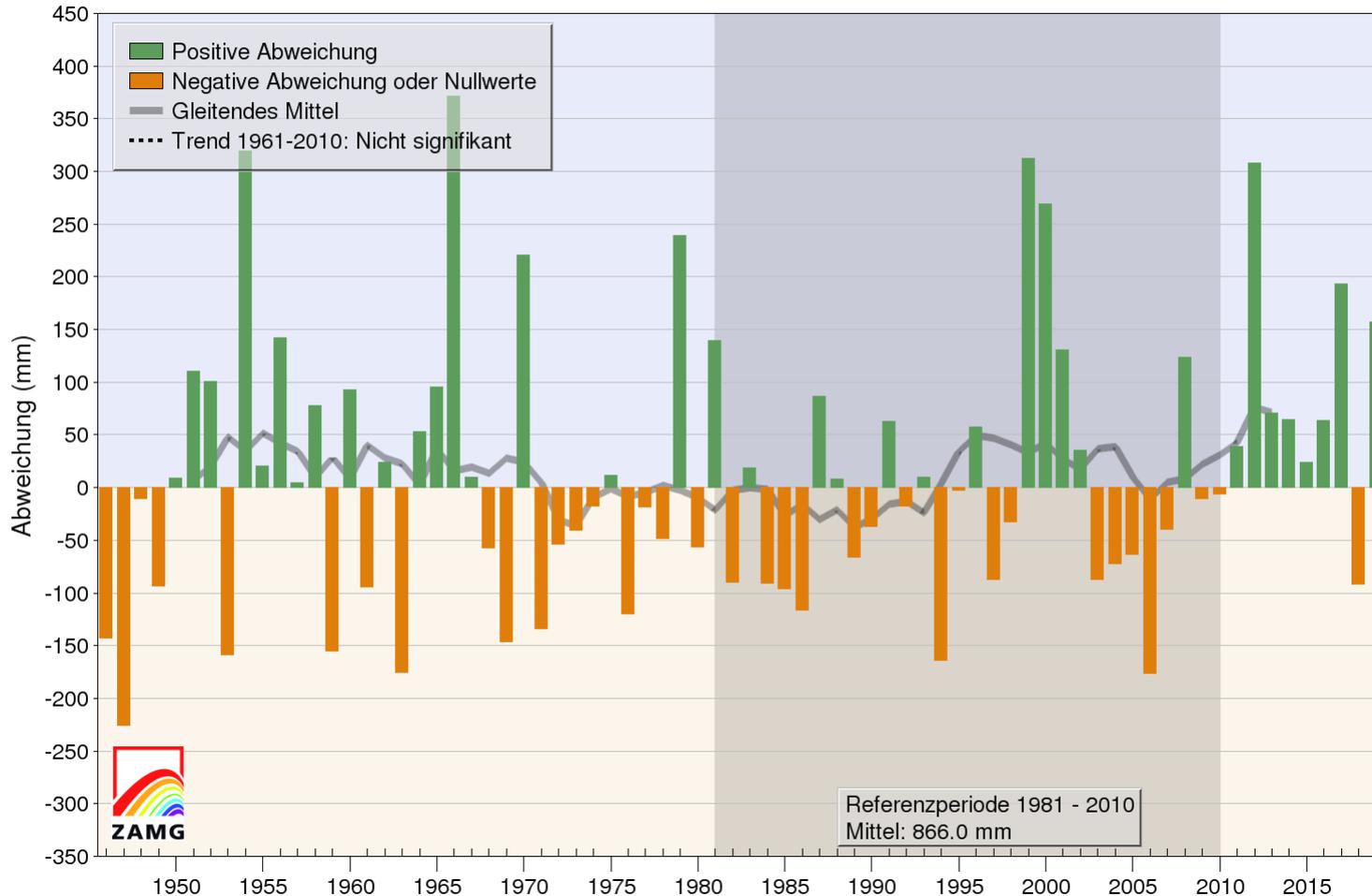


Heute Vegetationsperiode in Lienz fast einen Monat länger als vor 50 Jahren !



Jahresniederschlagssumme in Innsbruck

Jahresniederschlagsmenge INNSBRUCK UNIV. 1946 - 2019
Abweichung vom Mittel der Referenzperiode



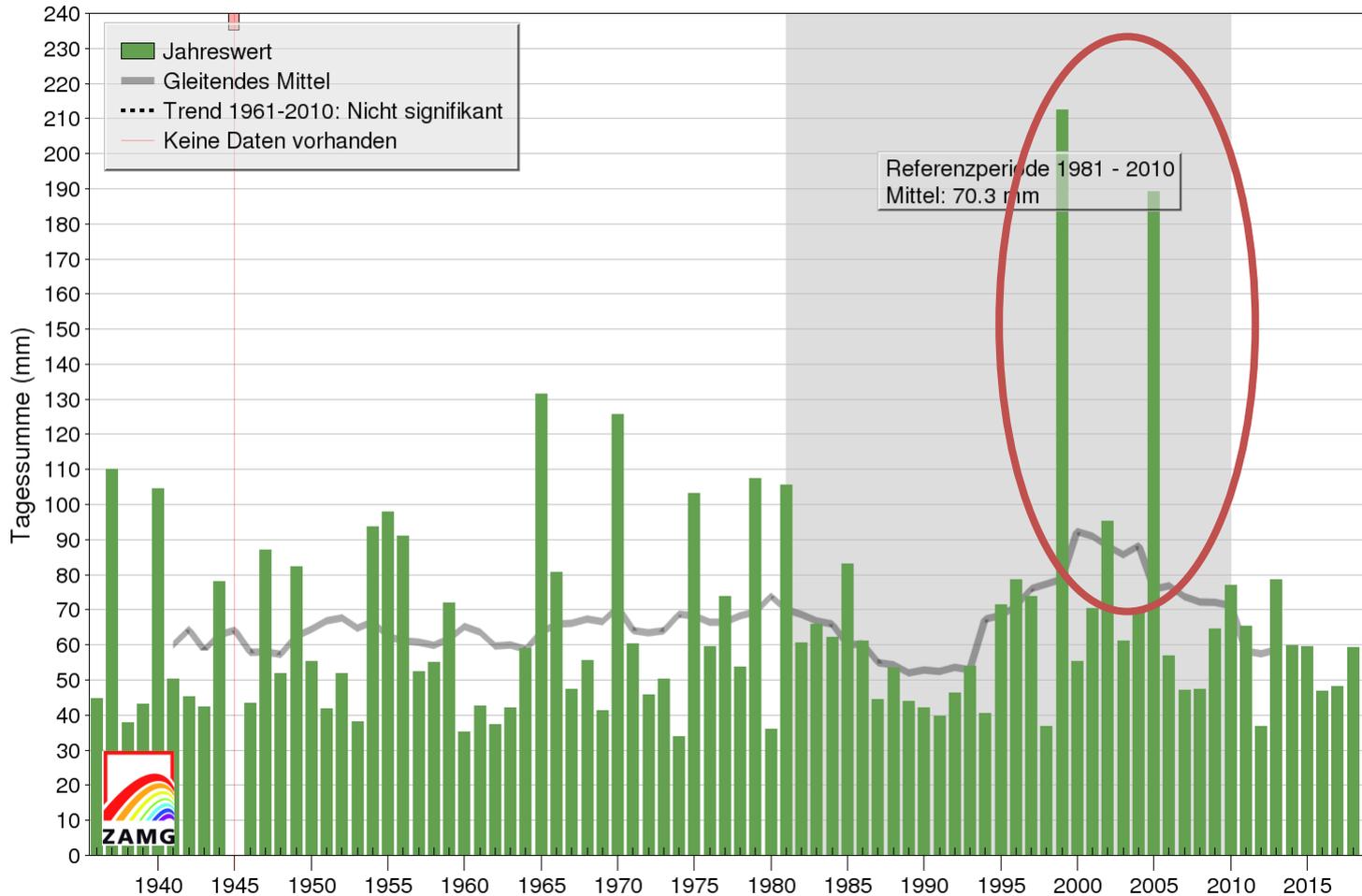
Starke Änderung
im Niederschlag
von Jahr zu Jahr
und dekadische
Variabilität!

Kein Trend!

Höchster Tagesniederschlag in Reutte



Höchster Tagesniederschlag REUTTE 1936 - 2019



Starke Änderung
von Jahr zu Jahr!

Kein Trend!

Potential für
extremere
Ereignisse?

Beobachtete Klimatrends in den Alpen: Zusammenfassung



- Bisherige Erwärmung in den Alpen ca. +2 Grad, global +1 Grad
Ursachen für stärkere Erwärmung: im globalen Mittel auch Ozeane berücksichtigt;
Alpen zunehmend im ‚Genuss‘ des subtropischen Hochdruckgürtels;
pos. Rückkoppelung, v. a. im Frühjahr in mittleren Höhenlagen wg. fehlendem Schnee
- Stärkster Anstieg seit 1980; saisonal v.a. im Frühjahr & Sommer; im Winter stärkere Schwankungen
- => Rückgang von Eis-/Frosttagen, Anstieg von Sommer-und Hitzetagen, Verlängerung der Vegetationsperiode
- Beim Niederschlag (fast) kein Trend, aber sehr hohe Variabilität
Ursache: Österreich liegt im Übergangsbereich zwischen dem Mittelmeerraum (der trockener wird) und nördlicheren Gebieten (die mehr Niederschlag bekommen)!
- Hinweise, dass kurzzeitige Regengüsse aus Gewittern heftiger werden

Regionale Konsequenzen – wird alles schlechter?

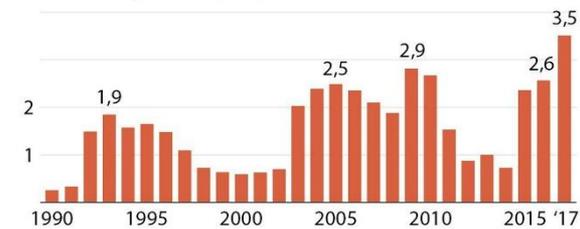
Auswirkungen der Erwärmung und hoher Niederschlags-Variabilität

- ✗ Zunahme der Naturgefahren, zB Auftauen von Permafrostgebieten, Muren, Hochwasserereignisse (Regen wo früher Schnee)
- ✗ Zunehmende Probleme in Landwirtschaft durch Dürren, Erosion, Schädlinge, Spätfrost in Vegetationsperiode
- ✗ Negative Effekte für Wintertourismus
- ✗ Zunehmender Hitzestress im Sommer

- ✓ Höhere landwirtschaftliche Produktivität durch längere Vegetationsperiode
- ✓ Verminderte Heizkosten (und Emissionen)
- ✓ Chancen für Sommertourismus

Die Auswirkungen werden alle schon beobachtet und werden sich in den nächsten Jahren und Jahrzehnten verstärken.

Schadholz durch Borkenkäfer
(Österreich, Mio. Festmeter)



Grafik: © APA, Quelle: APA/BFW



Auswirkungen im Hochgebirge



SONNBLICK



ZAMG

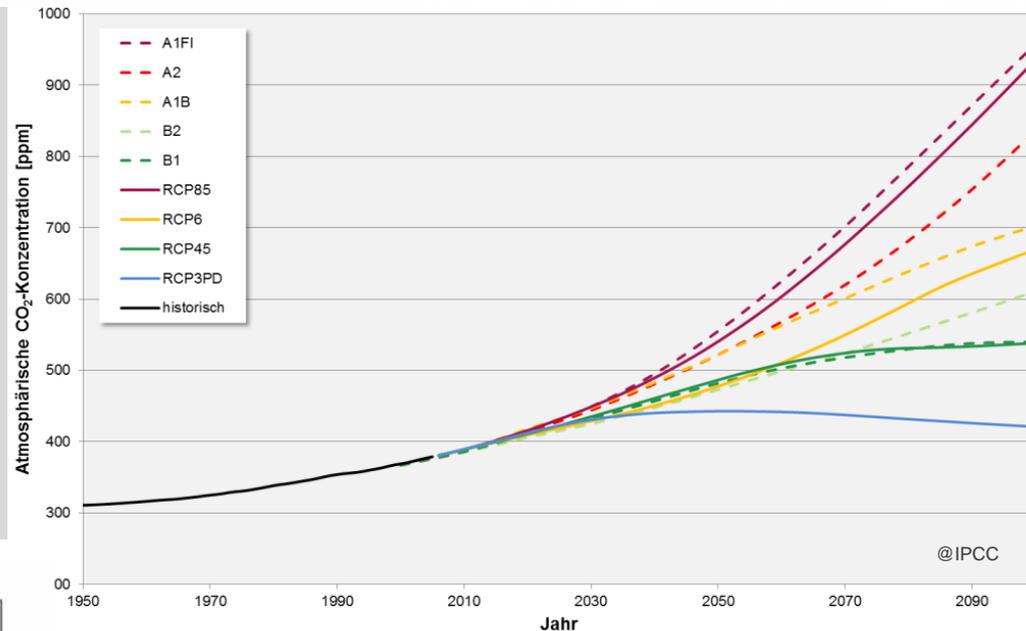
1. Das Klima und der bisherige Klimawandel in den Alpen
2. Wie geht es weiter?
3. Und was muss und kann getan werden?

Szenarien – CO₂-Konzentration - Temperaturänderung

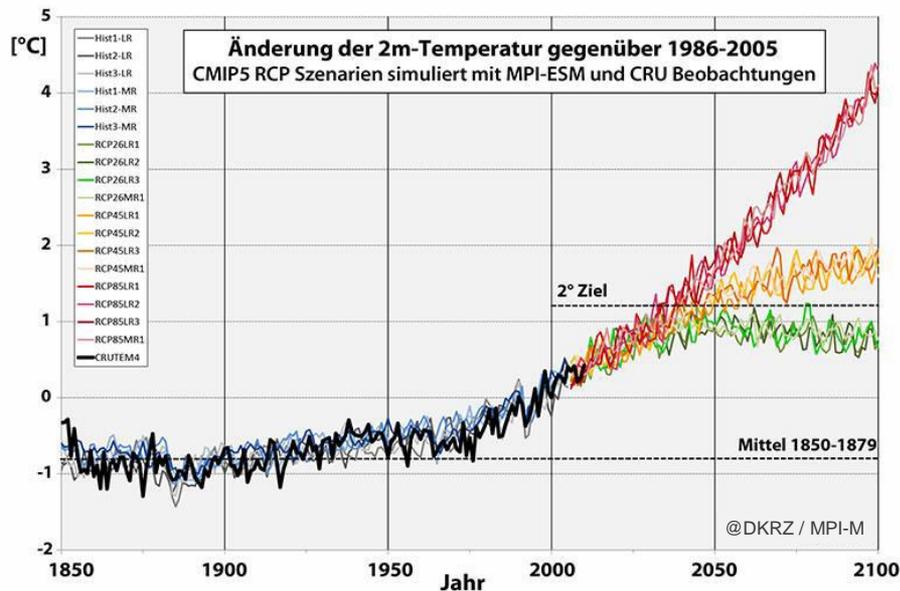
Unterschiedliche Szenarien für:

- Entwicklung der Weltbevölkerung
- Ernährung
- Energie- und Treibstoffgewinnung
- Konsumverhalten
- u.v.m.

⇒ Entwicklung des CO₂ – Gehalts (unter anderem)
 ⇒ Temperaturzunahme (nach Modellierung)



@IPCC



@DKRZ / MPI-M

Szenario	CO ₂ Konzentration im Jahr 2100	Temperaturzunahme 2081 - 2100 relativ zu 1850-1900	
		Mittel	Bandbreite
RCP2.6	421 ppm	1.6 °C	0.9 - 2.3 °C
RCP4.5	538 ppm	2.4 °C	1.7 - 3.2 °C
RCP6.0	670 ppm	2.8 °C	2.0 - 3.7 °C
RCP8.5	936 ppm	4.3 °C	3.2 - 5.4 °C

@IPCC

Szenarien – CO₂-Konzentration - Temperaturänderung



Unterschiedliche Szenarien für:

1000

--- A1FI

Szenario

**CO₂ Konzentration im
Jahr 2100**

**Temperaturzunahme
2081 - 2100 relativ zu
1850-1900**

Mittel

Bandbreite

RCP2.6

421 ppm

1.6 °C

0.9 - 2.3 °C

RCP4.5

538 ppm

2.4 °C

1.7 - 3.2 °C

RCP6.0

670 ppm

2.8 °C

2.0 - 3.7 °C

RCP8.5

936 ppm

4.3 °C

3.2 - 5.4 °C

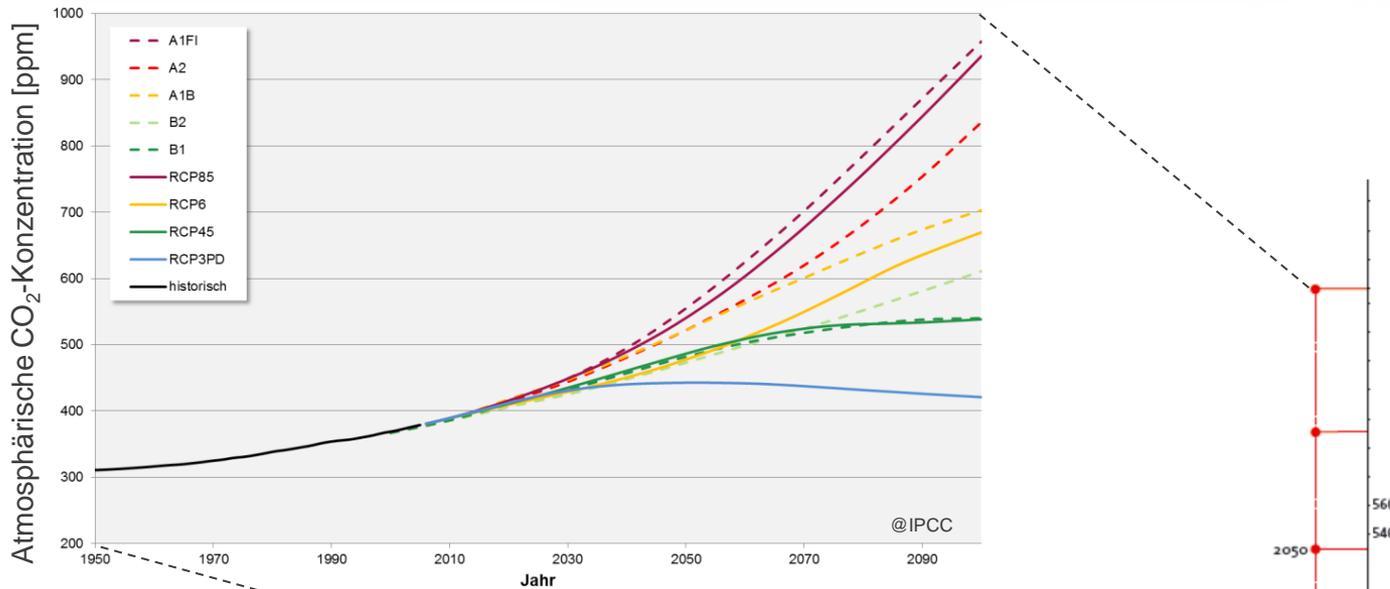
[°C]

1850 1900 1950 2000 2050 2100
Jahr

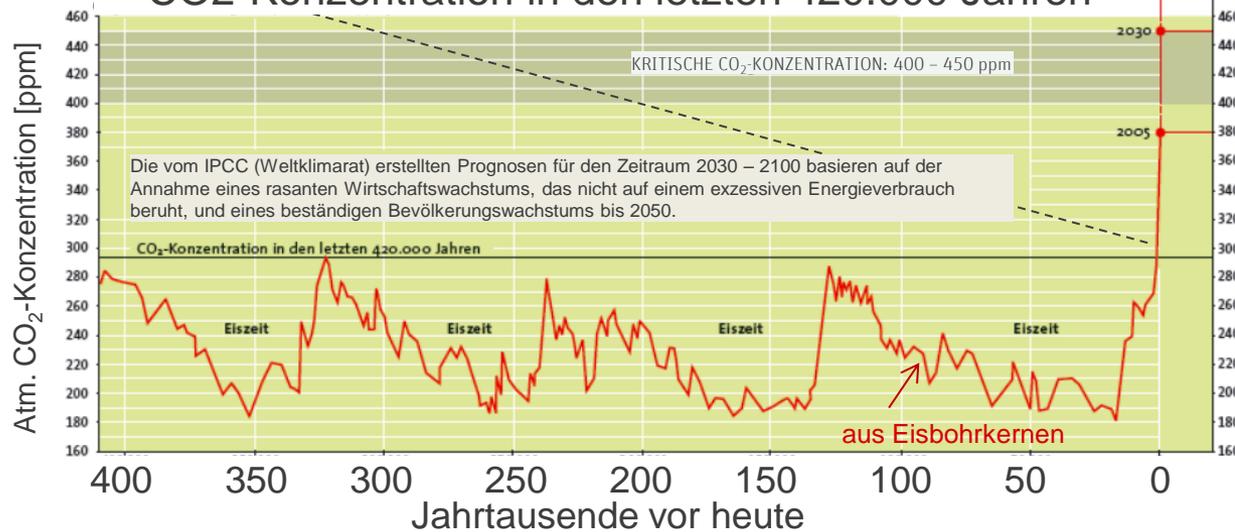
© DLRZ / MPI-M

Institut für
meteorologie und
Geodynamik

CO₂-Konzentration langfristige Einordnung



CO₂-Konzentration in den letzten 420.000 Jahren

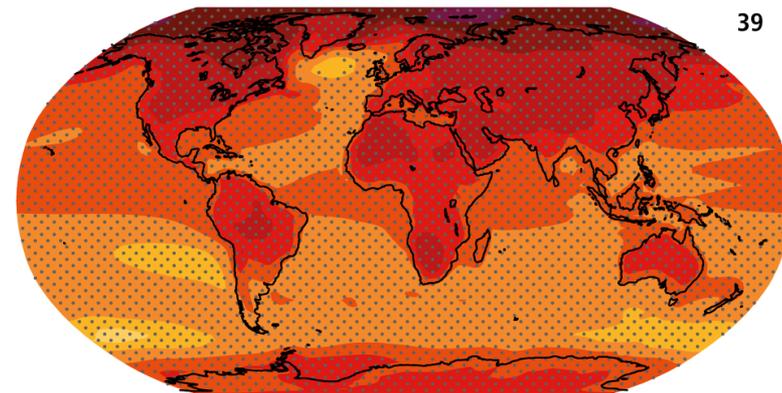
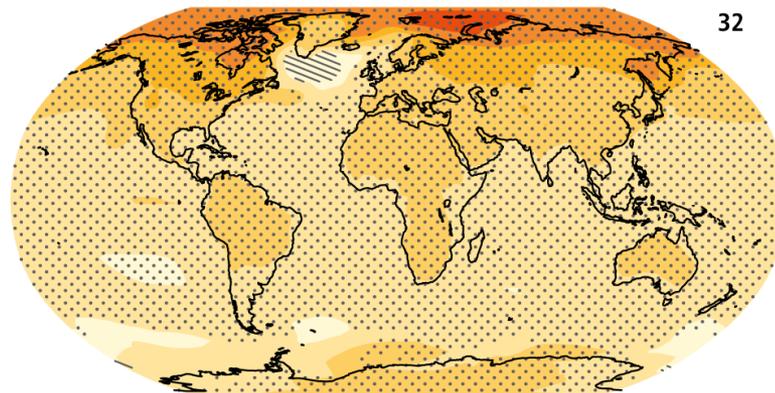




Im besten Fall (RCP2.6)

Im schlimmsten Fall (RCP8.5)

(a) **Change in average surface temperature (1986–2005 to 2081–2100)**



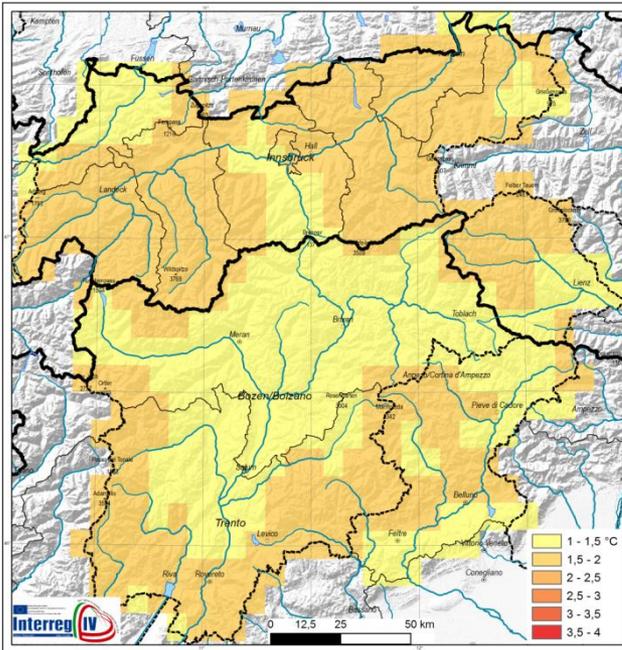
Änderungen der Verteilung der bodennahen Jahresmitteltemperaturen gegen Ende des Jh. (2081-2100) gegenüber der Periode 1986-2005 (IPCC 2013).

- Unabhängig vom Szenario findet man die stärkste Erwärmung in den hohen nördlichen Breiten (Arktis)
- Grund: Eis-Albedo-Rückkoppelung

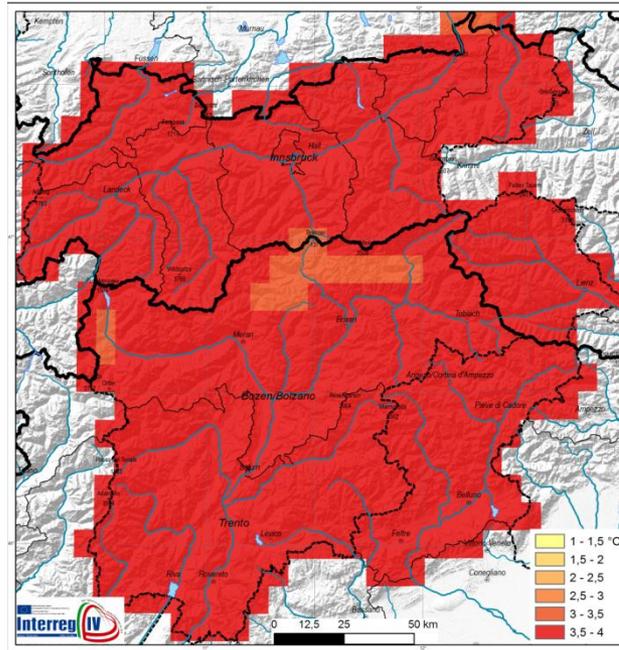
Alpenraum: Auswirkung auf die Jahresmitteltemperatur

Wahrscheinliches Szenario

Bis Mitte des 21. Jahrhunderts



Bis Ende des 21. Jahrhunderts



- Relativ homogenes Muster der Temperaturzunahme
- Bis Mitte des Jahrhunderts um weitere +1.5 bis +2 °C
- Bis Ende des Jahrhunderts um weitere +3.5 bis +4 °C

Werden die modellierten Änderungen bereits beobachtet? **JA.**

Vertrauenswürdigkeit der Abschätzungen: **HOCH.**

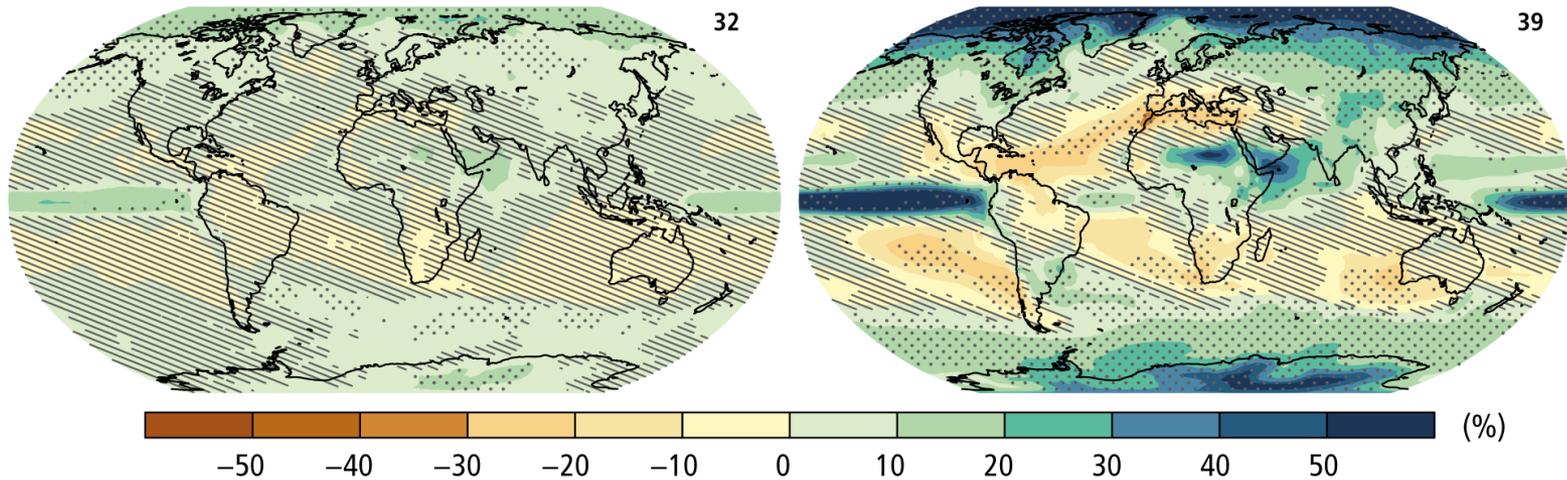
Globale Niederschlagsentwicklung



Im besten Fall (RCP2.6)

Im schlimmsten Fall (RCP8.5)

(b) Change in average precipitation (1986–2005 to 2081–2100)



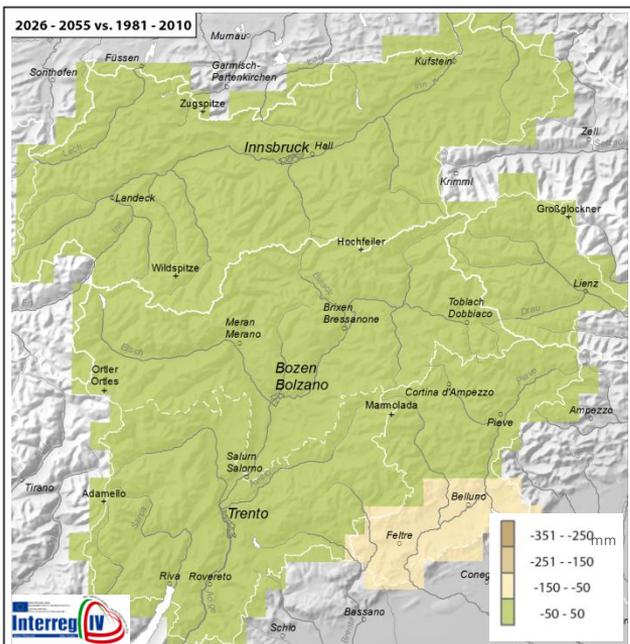
Änderungen der mittleren Niederschlagsverteilung gegen Ende des Jh. (2081-2100) gegenüber der Periode 1986-2005 (IPCC 2013).

- Verteilung/Zugbahnen von Hochs und Tiefs bestimmen räumliche Muster
- Äquator und hohe Breiten: Zunahme des Niederschlags
- Subtropen - mittlere Breiten: Niederschlags-Abnahme (Verlagerung der Tiefdruck-Zugbahnen polwärts)

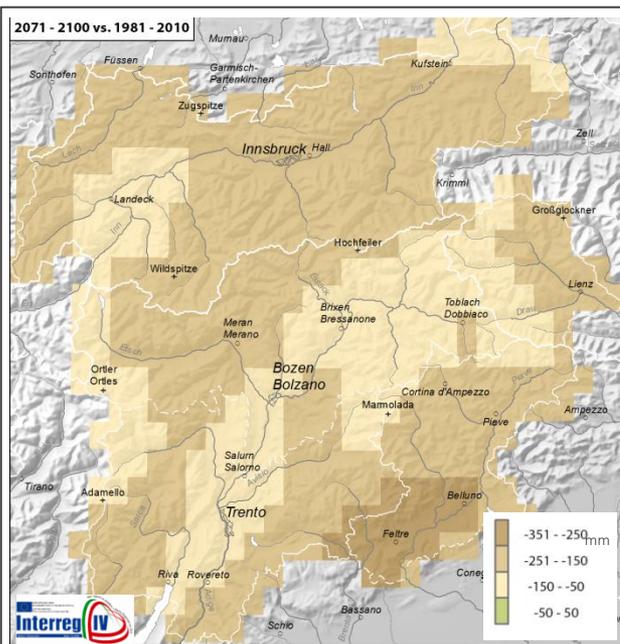
Alpenraum: Auswirkung auf den Jahresniederschlag

Wahrscheinliches Szenario

Bis Mitte des 21. Jahrhunderts



Bis Ende des 21. Jahrhunderts



- Uneinheitliches räumliches Muster.
- Bis 2050 wenig Änderung im Norden und im zentralen Bereich, im Süden leichter Rückgang.
- Bis 2100 zeigen die Simulationen eine allgemeine **Abnahme des Jahresniederschlags**.

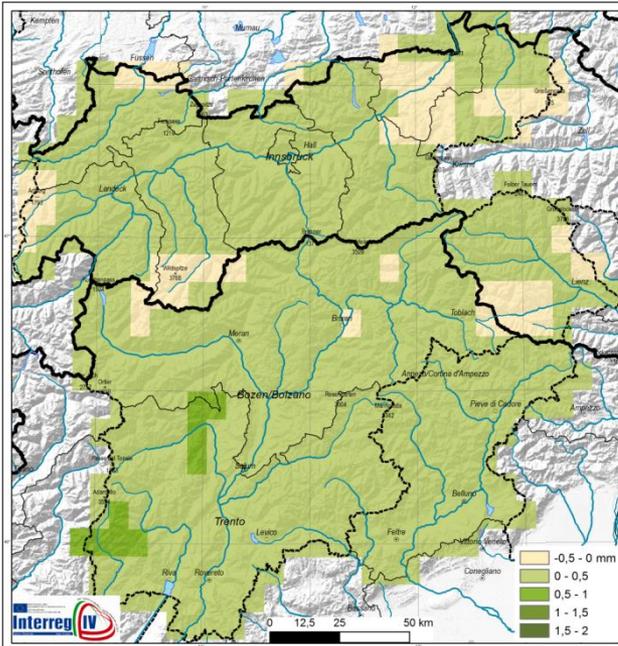
Werden die modellierten Änderungen bereits beobachtet? **JA und NEIN.**

Vertrauenswürdigkeit der Abschätzungen: **MITTEL bis GERING.**

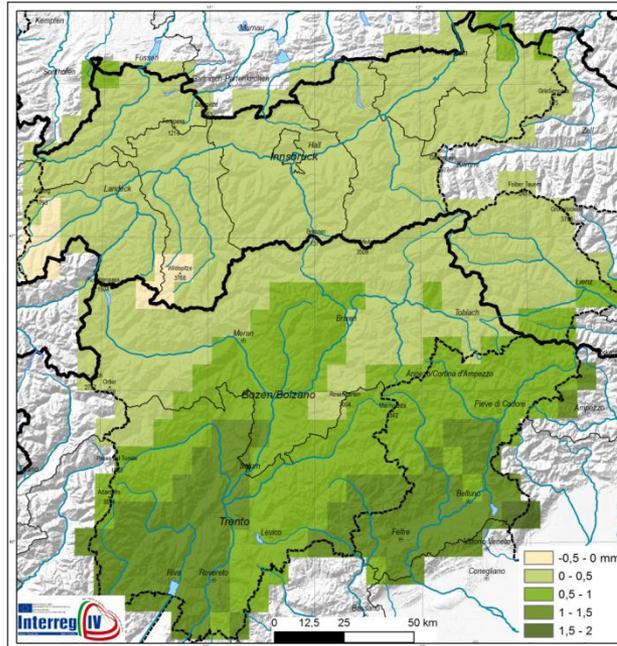
Alpenraum: Auswirkung auf die Niederschlagsintensität

Wahrscheinliches Szenario

Bis Mitte des 21. Jahrhunderts



Bis Ende des 21. Jahrhunderts



- Geringe Änderung der Niederschlagsintensität bis 2050.
- Bis Ende des Jahrhunderts **Zunahme der mittleren Intensität** vor allem in den südlichen Regionen (mehr Energie verfügbar).

Werden die modellierten Änderungen bereits beobachtet? **NEIN.**

Vertrauenswürdigkeit der Abschätzungen: **MITTEL bis GERING.**

Schlussfolgerungen



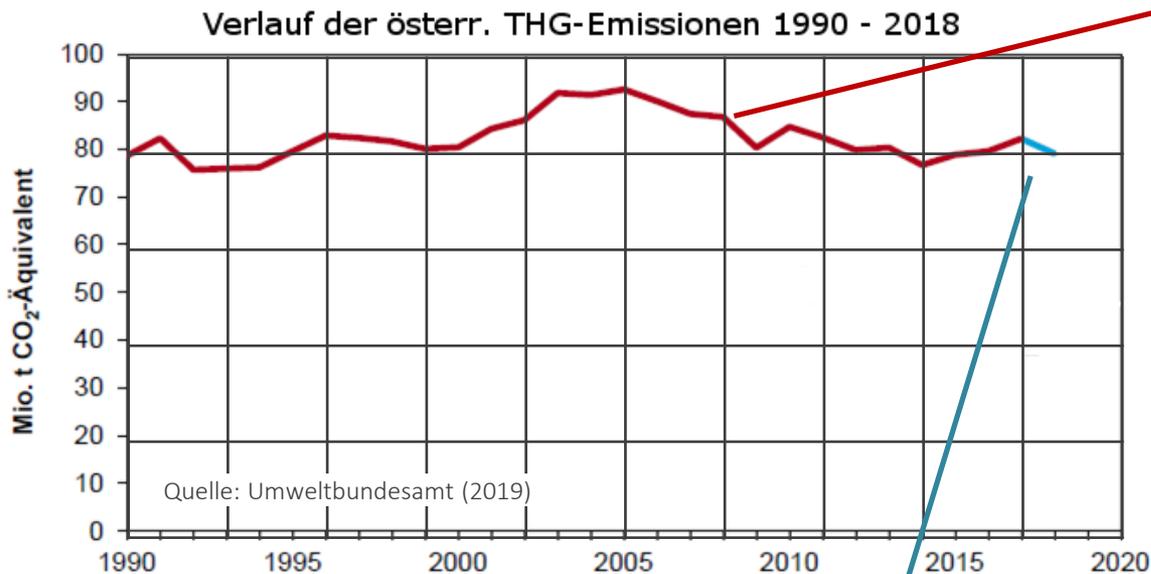
- Temperaturen werden im 21. Jahrhundert sehr wahrscheinlich weitersteigen, im Alpenraum ist der best-guess 3.5 bis 4 Grad weitere Erwärmung!
- Tendenz zu abnehmendem Gesamtniederschlag bei gleichzeitiger Zunahme der Intensitäten, ausgeprägter südlich vom Alpenhauptkamm.
- Mit der Vorhersage sind einige Unsicherheiten verbunden, am wichtigsten: welchem Entwicklungspfad wird die Menschheit folgen?
- Regional ist das steile alpine Gelände eine Herausforderung für die Modellierung, auch die Abschätzung von Extremereignissen ist schwierig (weil sie per Definition sehr selten sind)

1. Das Klima und der bisherige Klimawandel in den Alpen
2. Wie geht es weiter?
3. Und was muss und kann getan werden?

Entwicklung der österr. Treibhausgas-Emissionen



Ziel bis 2030: Reduktion um 36 % ggü. 2005 (nat. Umlegung des EU-Zieles)



Seit 1990 **KEINE** nachhaltige Reduktion der THG-Emissionen, seit 2005 (peak!) ca. 10 %

Verlauf bisher v.a. abhängig von Wirtschaftslage und Temperaturen im Winter

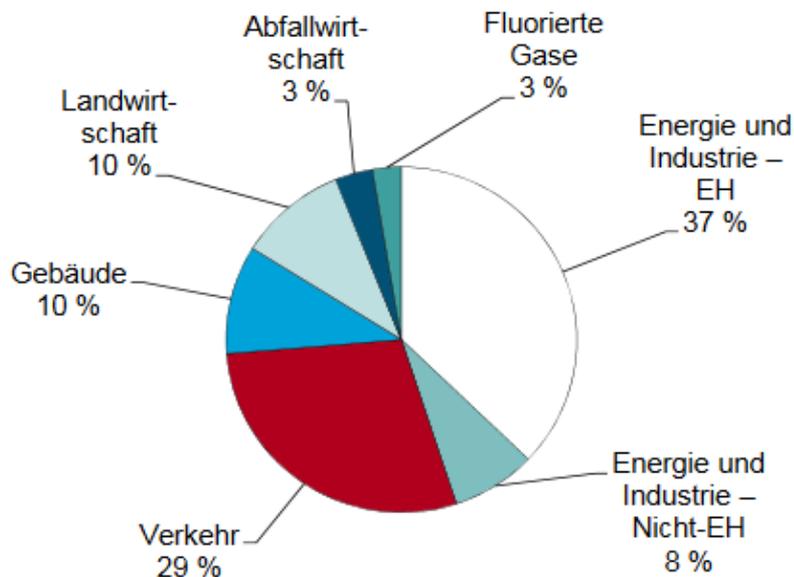
Änderung 2017/18:
- 3,8 % bzw. 3,2 Mio. t

Ursache v.a. milde Witterung und Rückgang in der Eisen- und Stahlproduktion und Wartungs-Stillstand VOEST-Hochöfen

Treibhausgasemissionen in Österreich: Sektorale Anteile und Trends

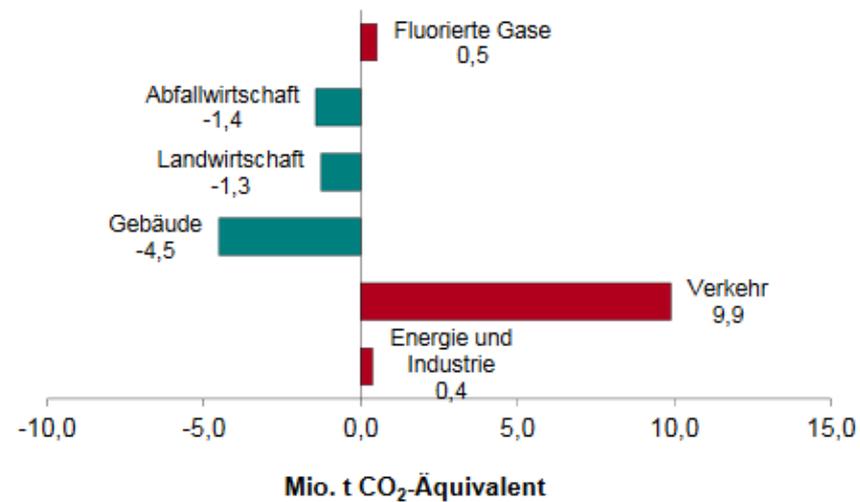


Anteil THG-Emissionen 2017



Quelle: Umweltbundesamt (2019)

Änderung der Emissionen zwischen 1990 und 2017 in Mio. t



umweltbundesamt



Der Klimawandel ist Fakt.

Der Mensch als Hauptverursacher ist Fakt.

Was also tun?

1. SÄULE:

KLIMAWANDEL-
ANPASSUNG

2. SÄULE:

KLIMASCHUTZ

Klimaschutz im Regierungsprogramm: Gebäude



- Erhöhung der Sanierungsrate (Zielwert: 3 % pro Jahr) und der Sanierungsqualität über Förderungen
- Weiterentwicklung der Standards in den Bauvorschriften in Zusammenarbeit mit den Bundesländern (Ausrichtung auf Niedrigstenergiestandards, e-Lademöglichkeiten bei Neubauten)
- Forcierung des Holzbaus und ökologischer Baumaterialien
- Klimaanpassung im Gebäudesektor (Berücksichtigung von Klimaerwärmung in Planung und Bau, hochwertige Quartiersentwicklung mit Grünräumen, Reduktion der versiegelten Flächen, Nutzung von Grauwasser, Dachbegrünungen, konstruktiver Überwärmungsschutz, Ausbau von Energienetzen und aktive Kühlmöglichkeiten)
- Phase-out-Plan für fossile Energieträger in der Raumwärme (Forcierung von Nah- und Fernwärme, Stufenplan für Öl-, Kohle- und Gasheizungen, Wärmestrategie, Festlegung von Versorgungszonen)

Mögliche Beiträge zum Klimaschutz in der Bauwirtschaft



- „Klimafreundliche“ **Wohnungs**standards: Altbausanierungen, Niedrigenergie bei Neubauten, Dachbegrünungen
- Berücksichtigen von **Stadtklima**-Aspekten in der Raumplanung / Stadtteilentwicklung

Hitze: Warum sind die Städte wärmer als die Umgebung?

Straßen, Gebäude
es wird mehr Energie absorbiert und
die Wärme länger gespeichert...



Urbane Hitzeinseln werden durch
Änderungen
in der Energiebilanz verursacht

Bäume, Flüsse, Wiese
weniger Energieabsorption,
Verdunstungskälte, Schatten...



Daher sind
Temperaturen...

... höher in der Stadt



... und niedriger im
Umland



Wie wir unsere Städte vor Hitze schützen können

Anpassungsmaßnahmen: Städte kühlen durch Änderung der Energiebilanz

- Dach- oder Fassadenbegrünung
- Entsiegelung
- Erhöhung der Albedo
- Parks
- Wasserflächen



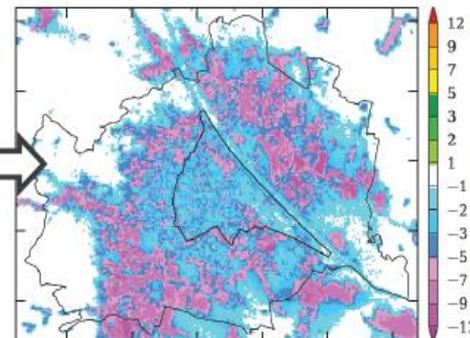
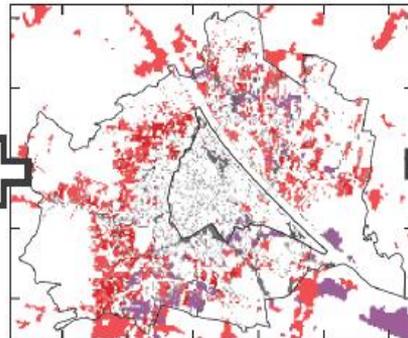
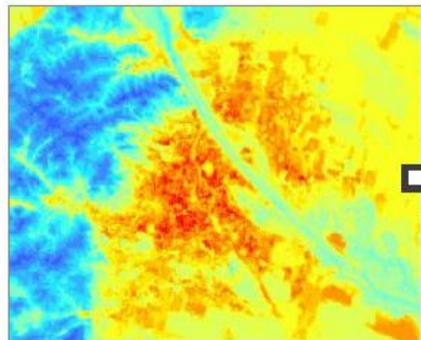
Klimareferenz

Änderung der
Landnutzung

Änderung in
Hitzebelastung

Weniger Bebauung und
Versiegelung, mehr Grün

Änderung in Zahl der
Sommertagen



Anwendung kombinierter Anpassungsmaßnahmen in Verkehrs- und Wohngebieten führen zum stärkeren Kühleffekt + Auswirkungen auf die Umgebung

Mögliche Beiträge zum Klimaschutz in der Bauwirtschaft



- „Klimafreundliche“ **Wohnungsstandards**: Altbausanierungen, Niedrigenergie bei Neubauten, Dachbegrünungen
- Berücksichtigen von **Stadtklima**-Aspekten in der Raumplanung / Stadtteilentwicklung
- Achten auf **Energieeffizienz** in den Büros, auf den Baustellen, ...
- Ersetzen von fossilen durch **erneuerbare Energiequellen**
- **Mobilität**: wo möglich Flüge vermeiden, bevorzugen von klimafreundlicheren Transporten (zB Bahn statt LKW), Anschaffen von Betriebsfahrrädern, ...
- Verwendete **Produkte** unter die Lupe nehmen: zB Integrieren von THG-Emissionsbetrachtung bei Lebenszyklusanalysen
- ...

Ich bin gespannt auf Eure Ideen!