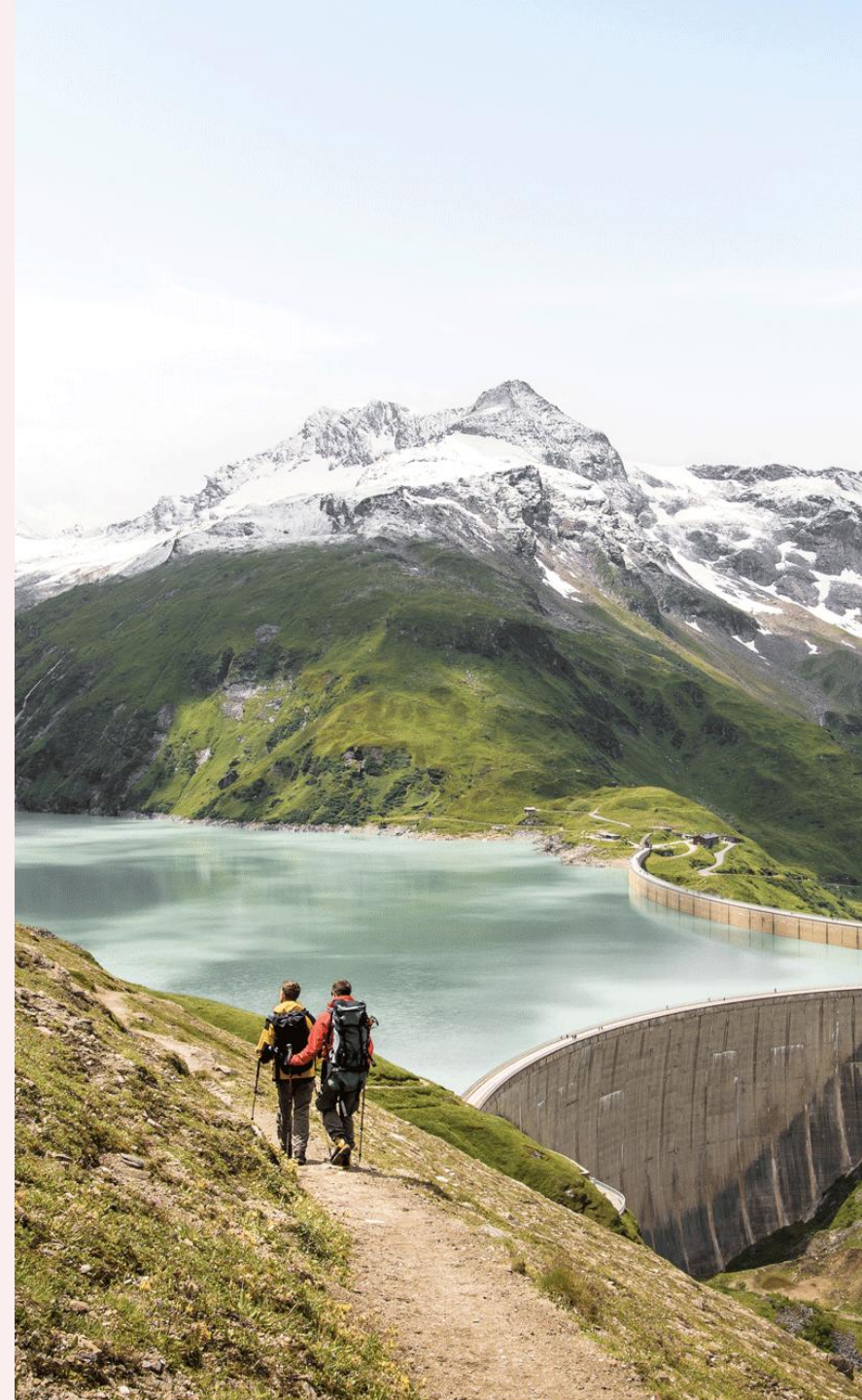


Wasserkraft und Klimawandel in Österreich

Update 2026

Präsentation erstellt von AFRY Austria
7. September 2026



Inhalt

- Ausgangssituation und Zielsetzung
- Update Beobachtungsdaten
- Neue wissenschaftliche Erkenntnisse
- Interpretation und Schlussfolgerungen

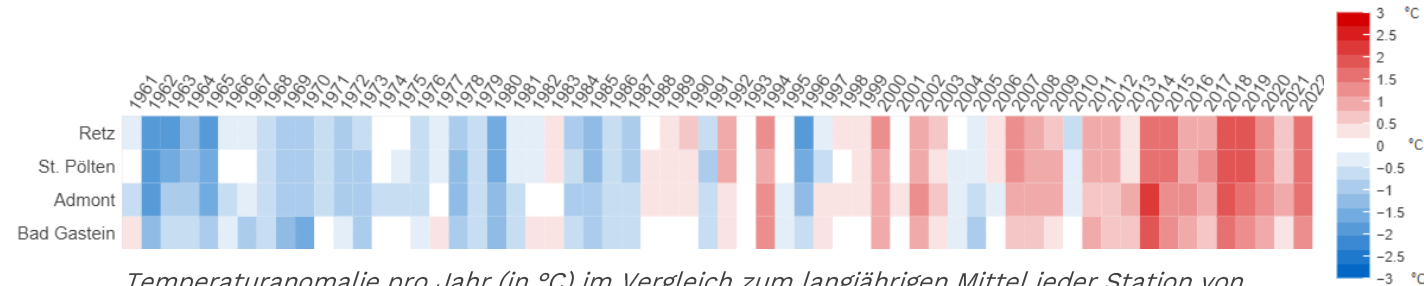
Ausgangssituation und Zielsetzung

- Studie zu den Auswirkungen des Klimawandels aus 2023
- Neue wissenschaftliche Erkenntnisse
- Extreme Trockenheit 2026

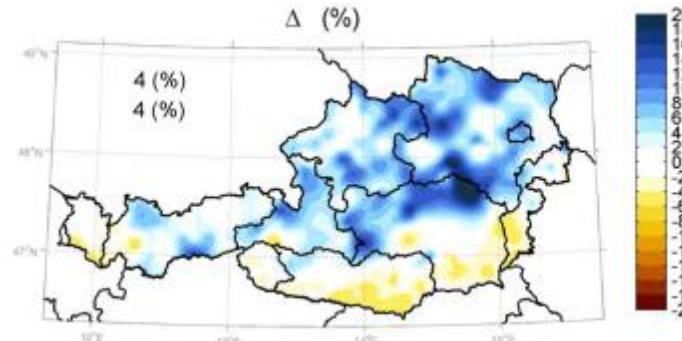


Studie zu den Auswirkungen des Klimawandels aus 2023 (1)

- Ergebnisse der Analyse von **Beobachtungen** der Vergangenheit:
 - Deutlicher Anstieg der Temperaturen zwischen 1960 und 2022
 - Leicht zunehmender Trend der Niederschläge, außer in Vorarlberg und im Süden
 - Abnehmende Schneemengen, Rückgang der Gletscherflächen
 - Nur geringe Veränderungen in den Jahresabflüssen, leichte Zunahmen im Zentrum, leichte Abnahmen im Westen und Süden Österreichs
 - Deutliche saisonale Verschiebung im Abfluss: Zunahme im Winter, Abnahme im Sommer
 - Keine relevanten Trends in der Wasserkrafterzeugung



Temperaturanomalie pro Jahr (in °C) im Vergleich zum langjährigen Mittel jeder Station von 1961-2022. Rot: überdurchschnittlich warme Jahre, Blau: kühlere Jahre



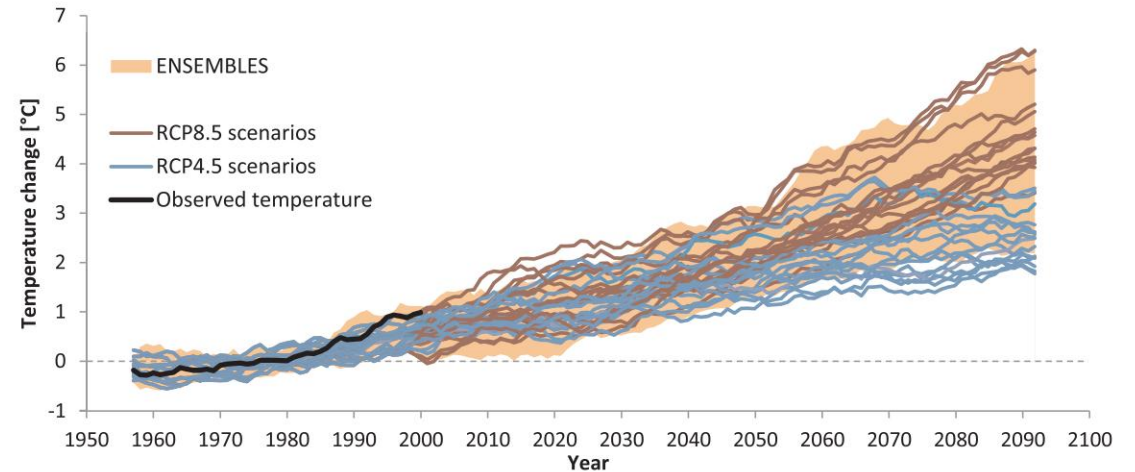
Beobachtete Veränderung des Niederschlags in Österreich in % zwischen 1961-1985 und 1986-2010 (Quelle: Chimani et al. 2016)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Donau @ Hofkirchen	14.8	-8.9	3.3	-11.2	-9.7	-9.2	-14.9	-12.2	-2.1	-2.3	9.4	-1.3
Donau @ Wien Nussdorf	10.2	-4	9.8	-8	-7.9	-8.9	-14.7	-9.9	6.5	6.5	12.5	-4.7
Inn @ Oberaudorf	12.7	10.4	11.5	4.7	3	-8.2	-17.2	-11.4	-2.7	9.6	18.8	12.7
Inn @ Scharding	14.4	3.9	16.6	3.2	-0.9	-4.6	-12	-8.8	8.3	14.3	18.9	6.3
Drau @ Oberdrauburg Ort	14.4	9.2	11.1	8.5	4.8	-6.7	-13.2	-11.7	-8.4	19.4	38.5	25.1
Mur @ Graz	26.8	15	9.3	2.2	-11.6	-14.8	-12.9	-4.3	15.8	26.2	50.1	31.6
Enns @ Steyr (Ortskai)	12.6	3.7	22.2	6	-7.9	-13.7	-14.4	-11.3	23.2	24	30.1	2.3
Salzach @ Oberndorf	18.1	6.9	19.8	3.8	-4.1	-7.9	-11.2	-11.2	14.4	13.8	16	0.7
Ill @ Gisingen	13.8	7.1	12.3	5	1.6	-11.8	-17.8	-12.1	3.1	18.5	25.1	9.8

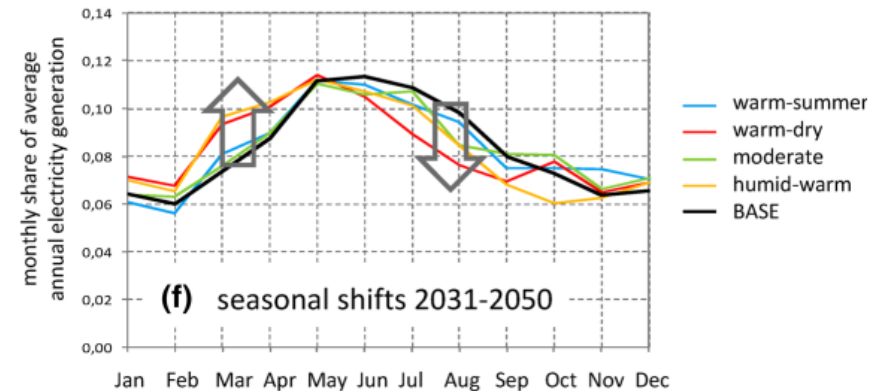
Änderung der mittleren monatlichen Abflüsse (in %) ausgewählter Pegel in Österreich zwischen den Perioden 1960 – 1990 und 1991 – 2019. Rot: Rückgang, Blau: Zunahme.

Studie zu den Auswirkungen des Klimawandels aus 2023 (2)

- Ergebnisse der Literaturstudie zu **Klimaprojektionen**:
 - Weitere Erwärmung, abhängig von Treibhausgasemissionen
 - Entwicklung des Niederschlags unsicher, tendenzielle leichte Zunahme nördlich der Alpen und im Winter (dabei aber weniger Schneefall)
 - Gletscherschmelze nimmt kurzfristig zu, längerfristig aufgrund geringerer Gletscherflächen ab
 - Projektionen für Jahresabfluss (und mittlere Wasserkrafterzeugung) sehr unsicher, tendenziell vorerst eher geringe Änderungen, längerfristig abnehmender Abfluss v.a. bei hohen Emissionen und im Süden
 - Saisonale Verschiebung verstärkt sich: deutliche Abnahme des Abflusses (und der Wasserkraftproduktion) im Sommer, weitere Zunahme im Winter



Projektionen der mittleren Temperaturänderung im Einzugsgebiet der Donau bis Wien in °C mit RCP4.5 und RCP8.5 und Schwankungsbreite der ENSEMBLES RCMs (Quelle: Stanzel und Kling 2018)



Mittlere monatliche Veränderung in der Energieerzeugung an Laufkraftwerken in Österreich für die Periode 2031-2050 in vier verschiedenen Klimaprojektionen in einem A1B-Emissionsszenario (Quelle: Wagner et al. 2016)

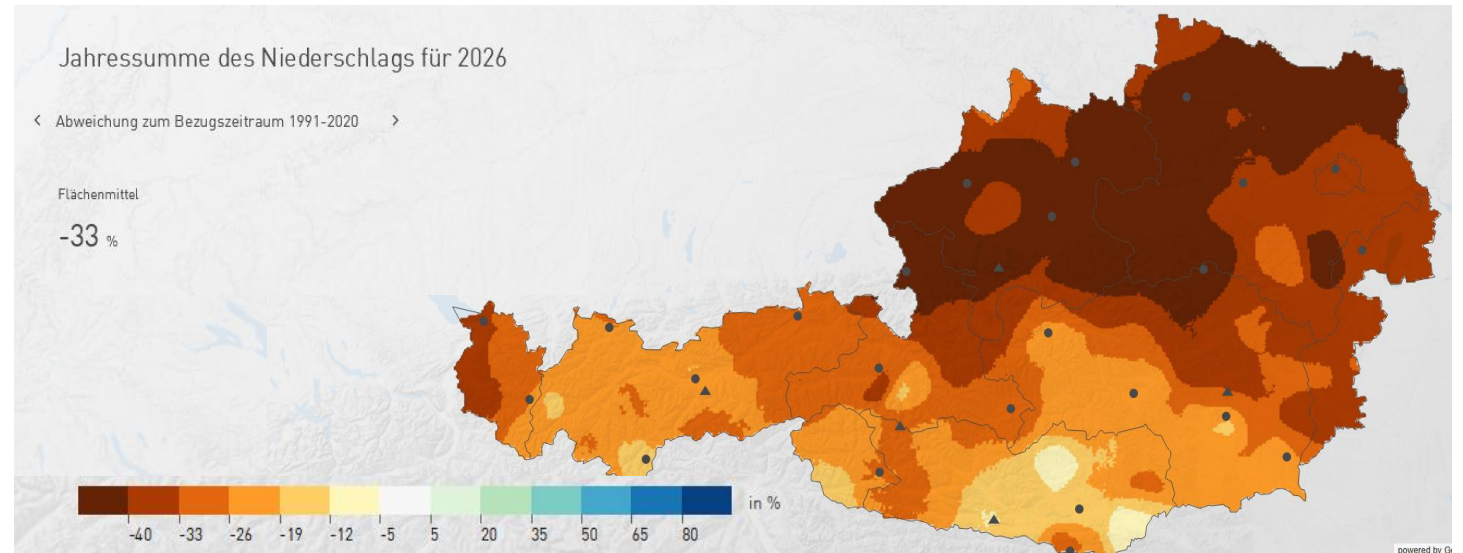
Neue wissenschaftliche Erkenntnisse

- Veröffentlichung des Zweiten Österreichischen **Sachstandsberichts zum Klimawandel** (AAR2) im Juni 2025
 - Angelehnt an die IPCC Reports, die in regelmäßigen Abständen den globalen Wissenstand zum Klimawandel zusammenfassen
 - Update des ersten AAR aus dem Jahr 2014
 - Interdisziplinärer Bericht, für den mehr als 200 Wissenschaftler*innen die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Klimawandel und seinen Auswirkungen in Österreich zusammenfassen
- Ergebnisse aus dem 2026 abgeschlossenen Forschungsprojekt **STREAM** – Storylines of Future Danube Streamflow
 - Vom ACRP geförderte Forschung zur Abflussführung der Donau unter Klimawandel, unter Verwendung der neuesten Klimamodelle (CMIP6)
 - Fokus auf Niederwasserphasen
 - Publikation in Journal of Hydrology: Regional Studies (Stanzel et al. 2026)
- Nature Paper zu Veränderungen in Starkniederschlägen in Österreich (Haslinger et al. 2025)
- Paper zu Projektionen für den Golfstrom (Drijfhout et al. 2025)



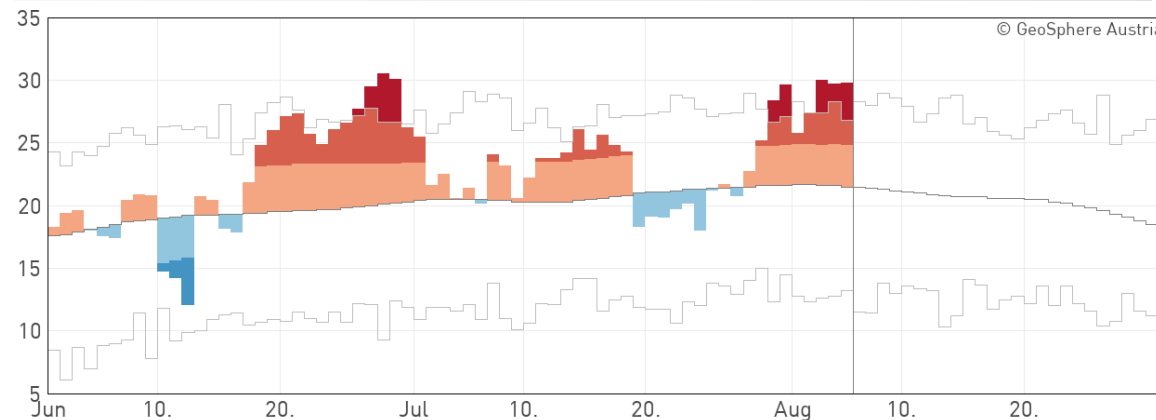
Extreme Trockenheit 2026

- Sehr geringe Niederschläge im Winter 2025 und im ersten Halbjahr 2026
- Sehr hohe Lufttemperatur im Sommer, 2 Hitzewellen mit vielen Tagen über 30°C
- Hohe Verdunstung führt zu weiterer Austrocknung
 - Geringe Bodenfeuchte, niedrige Grundwasserstände, Dürre
 - Ausgeprägtes Niedrigwasser an vielen Flüssen und an der Donau



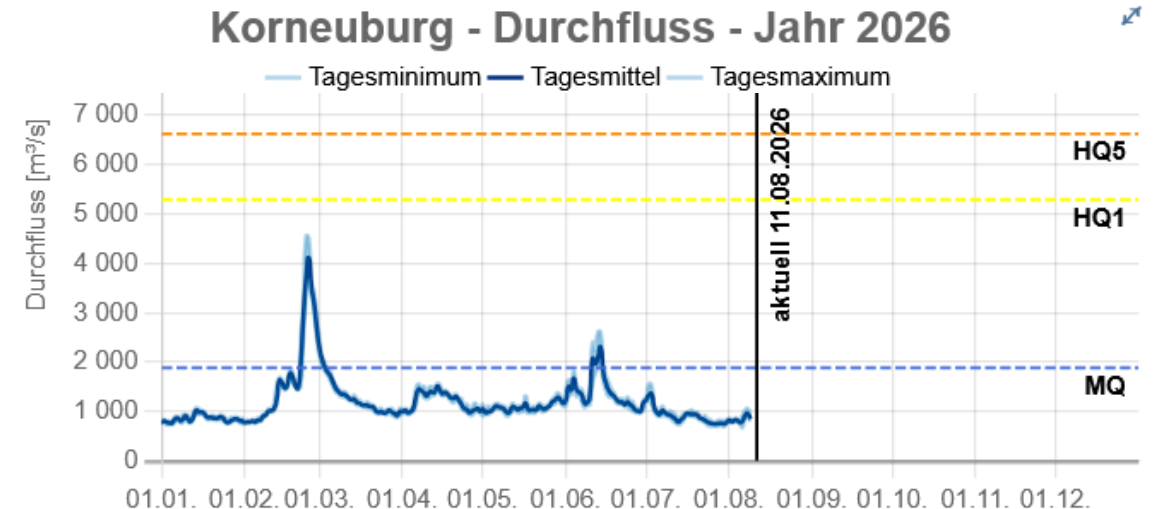
Station Linz-Stadt
Tagesmittelwerte der Lufttemperatur für Sommer 2026

Mittelwert Sommer 2026	Mittelwert Sommer 1991-2020
22,9 °C	20,1 °C



Extreme sommerliche Niedrigwasser 2026

- Niedrigwasser an der Donau
 - Bei Wien im Bereich der bisher niedrigsten sommerlichen Durchflüsse 2003, 2018, 2022
 - vermutlich der niedrigste Juli-Durchfluss der Messreihen (Pegelmessungen werden derzeit noch geprüft)
 - Typischerweise treten so niedrige (und auch noch niedrigere) Durchflüsse im Winter auf
- Einschränkungen der Schifffahrt
- Verringerte Wasserkrafterzeugung
- Noch extremere Niedrigwasser-Situation weiter flussabwärts:
 - Teilweise niedrigste je gemessene Wasserstände
 - Abschaltung von Atomreaktoren in Ungarn und Rumänien wegen fehlendem Kühlwasser



Zielsetzung

- Update der Studie zu den Folgen des Klimawandels auf die Wasserkrafterzeugung aus 2023
- Berücksichtigung der neuen wissenschaftlichen Publikationen aus Österreich, v. a. dem AAR 2 Bericht
- Interpretation und Schlussfolgerungen für die Wasserkraft

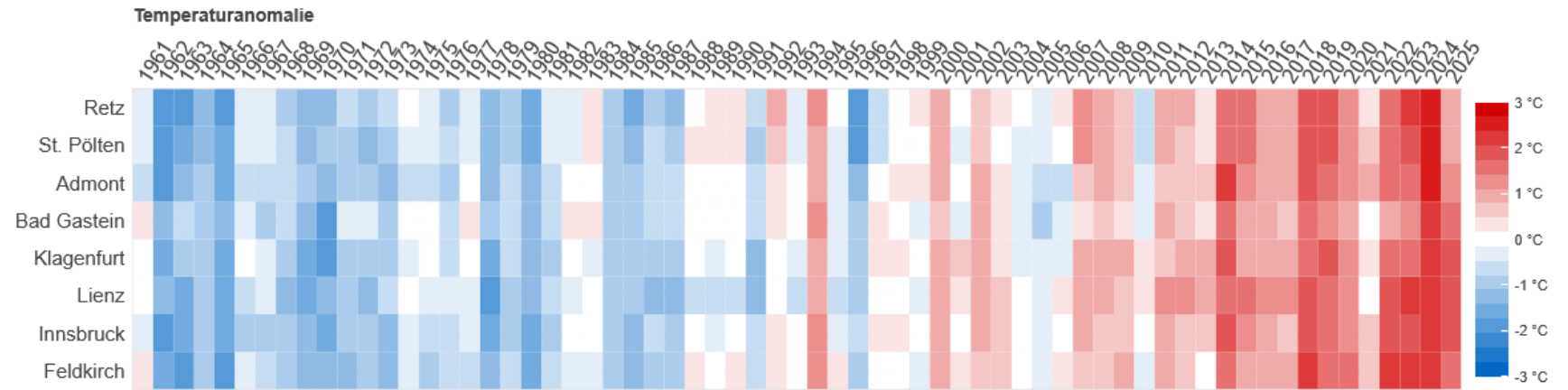
2

Update von Beobachtungsdaten

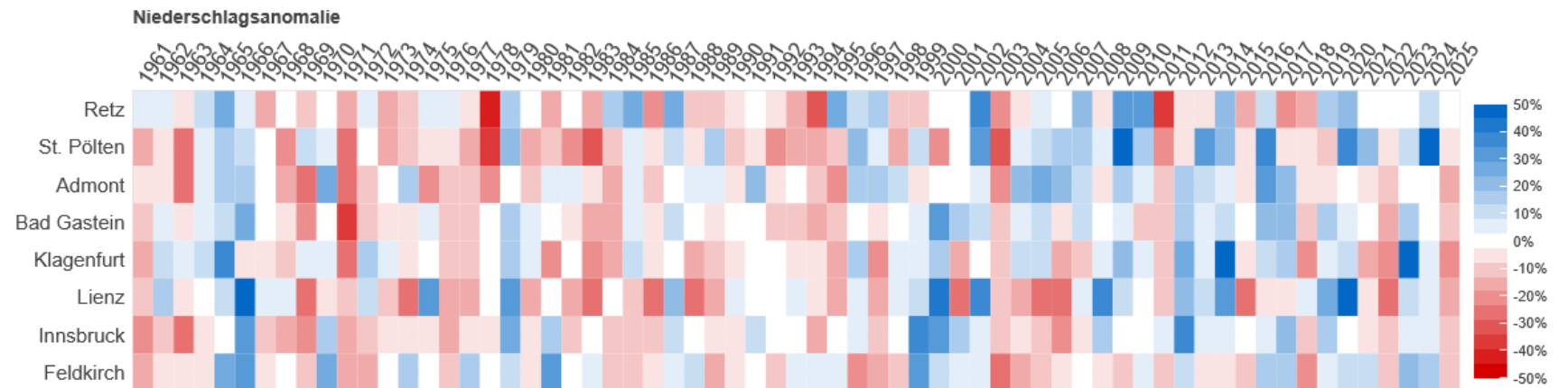


Temperatur- und Niederschlags-Anomalien

- Temperatur- und Niederschlagsanomalien wurden für 3 Jahre an 8 Stationen verlängert
- 2023, 2024, 2025 waren ebenfalls überdurchschnittlich warme Jahre
- V. a. 2024 war besonders heiß (an allen untersuchten Stationen um rund 3°C wärmer als das langjährige Mittel)
- 2023 und 2024 waren eher feuchte Jahre, 2025 trocken



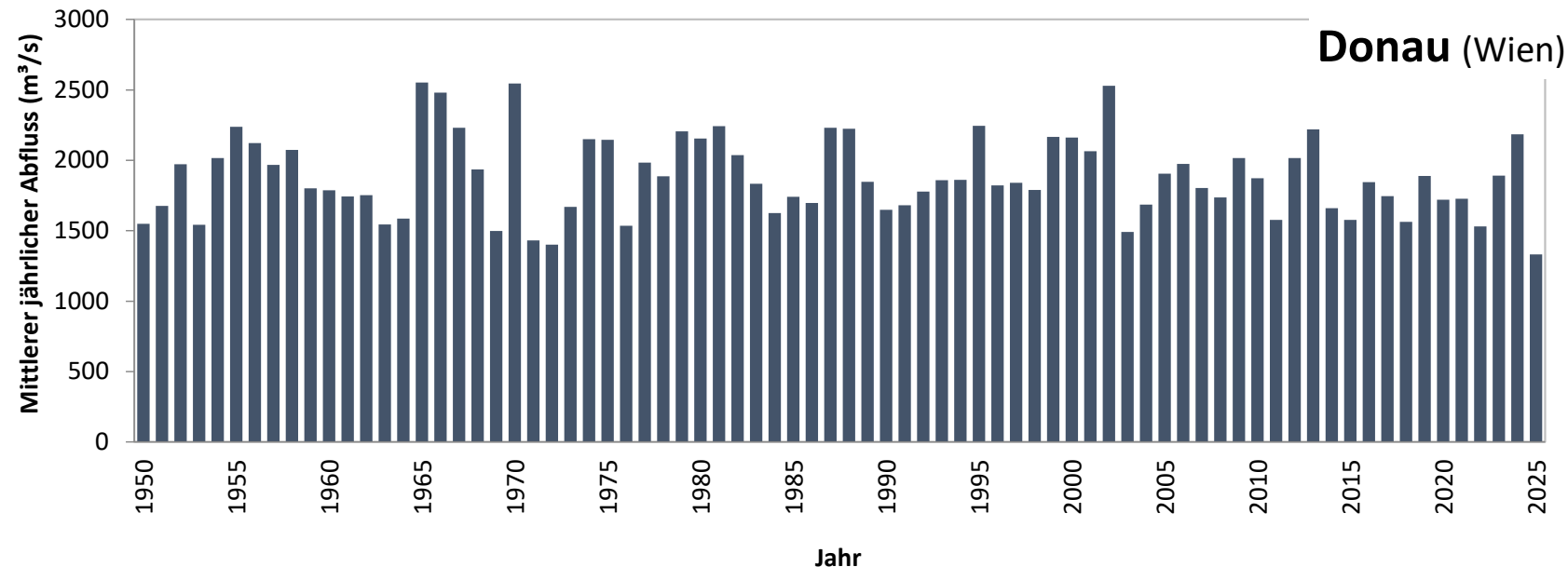
Temperaturanomalie pro Jahr (in °C) im Vergleich zum langjährigen Mittel jeder Station von 1961-2025. Rot: überdurchschnittlich warme Jahre, Blau: kühlere Jahre



Niederschlagsanomalie pro Jahr (in %) im Vergleich zum langjährigen Mittel jeder Station von 1961-2025. Rot: überdurchschnittlich trockene Jahre, Blau: feuchtere Jahre

Abfluss an der Donau: Mittelwasser MQ

- Die mittleren Jahresabflüsse wurden für den Pegel Korneuburg bis 2025 verlängert (wobei für 2024 und 2025 nur ungeprüfte Rohdaten des HD NÖ vorliegen)
- 2023 und 2024 traten höhere Abflüsse auf (2023 im Bereich des langjährigen MQ, 2024 darüber), 2025 sehr niedrige
- MQ der 30-Jahr-Periode 1996-2025 beträgt $1850 \text{ m}^3/\text{s}$, das ist nun um 3,6% niedriger als MQ der Periode 1961-1990 (zuvor war ein Rückgang von -2,3% für die Periode 1991-2019 berechnet worden)

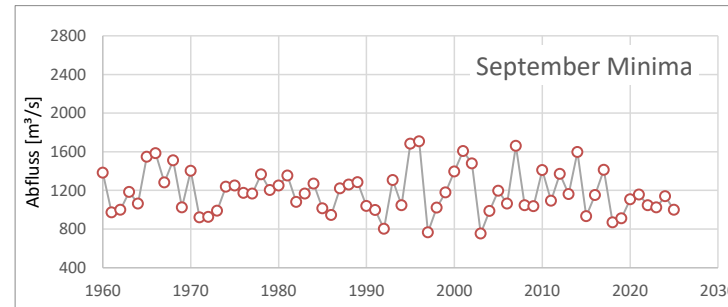
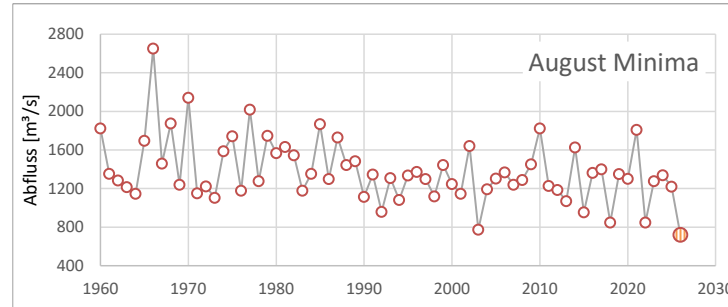
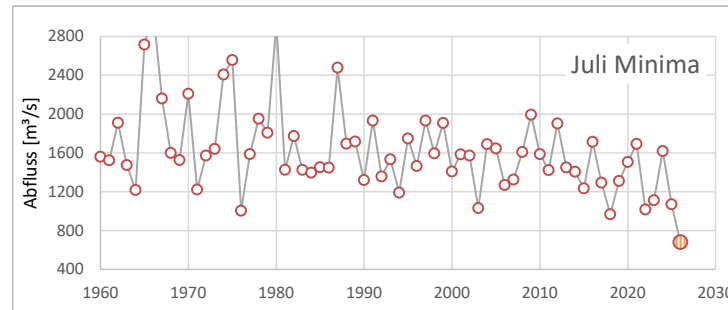


*Mittlere jährliche Abflüsse an der Donau
(bei Wien, Pegel Nussdorf/Korneuburg,
1950-2025)*

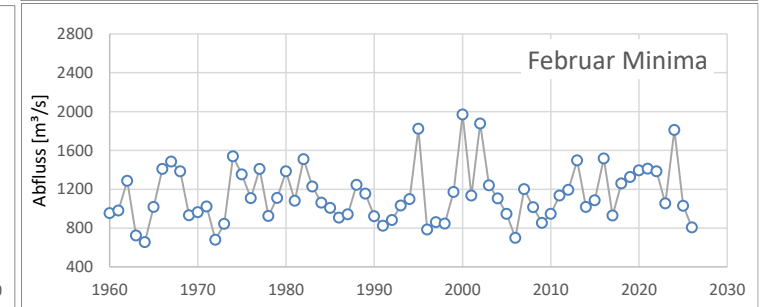
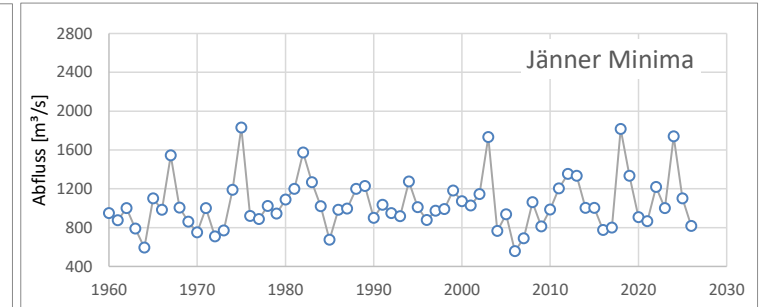
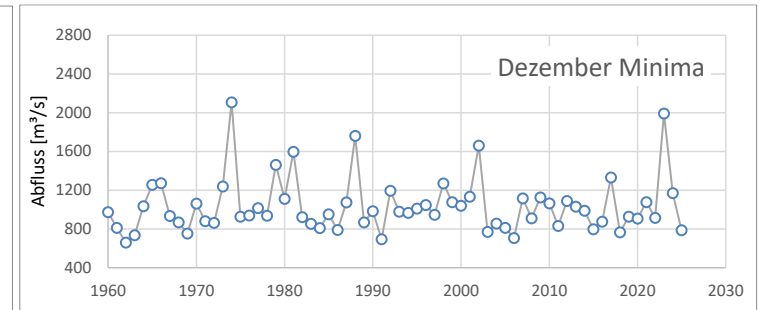
Abfluss an der Donau: Niederwasser (Monatsminima)

- Bei Wien (Korneuburg) lag das Juli-Minimum 2026 vermutlich unter $700 \text{ m}^3/\text{s}$ (Pegeldaten werden noch geprüft)
- Niedrigstes je gemessenes Juli-Minimum
- 2003 und 2018 vergleichbar niedrige August-Minimaldurchflüsse
- 1992, 1997 und 2003 sehr niedrige September-Minimaldurchflüsse
- Vor 1990 ausschließlich im Winter so niedrige Abflüsse
- In allen Wintermonaten aber mehrfach so niedrige und niedrigere Abflüsse in der Reihe 1960-2025

Sommer-NW



Winter-NW



Minimale mittlere Tagesabflüsse in den Monaten Juli, August, September und Dezember Jänner, Februar. Donau bei Wien, 1960-2025. 2024 und 2025 ungeprüfte Rohdaten.

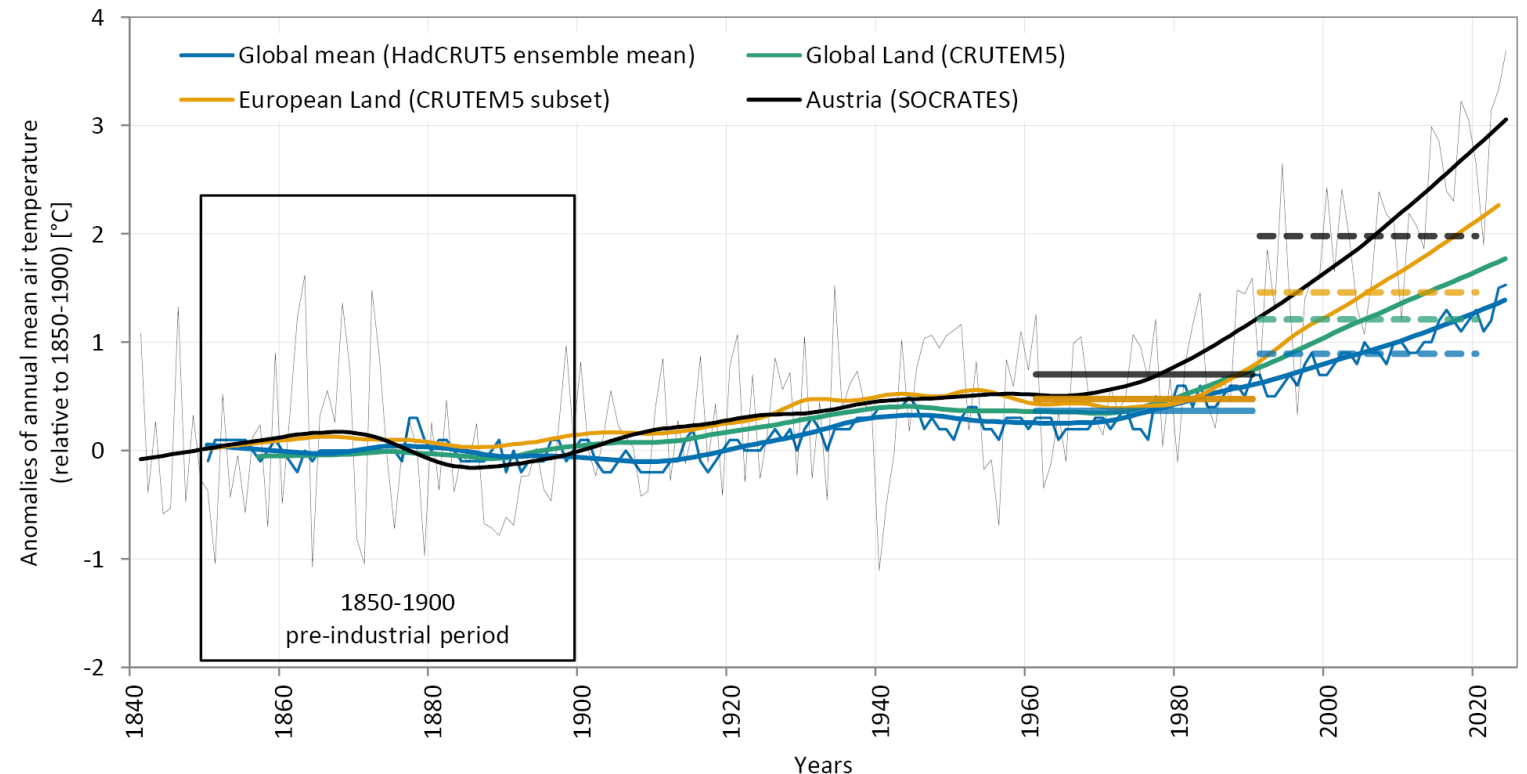
Neue wissenschaftliche Erkenntnisse

- Zweiter Österreichischen Sachstandsberichts zum Klimawandel
- Haslinger et al. 2025, Nature
- STREAM – Future Danube Storylines



Erwärmung in Österreich ist deutlich höher als im Globalen oder Europäischen Mittel

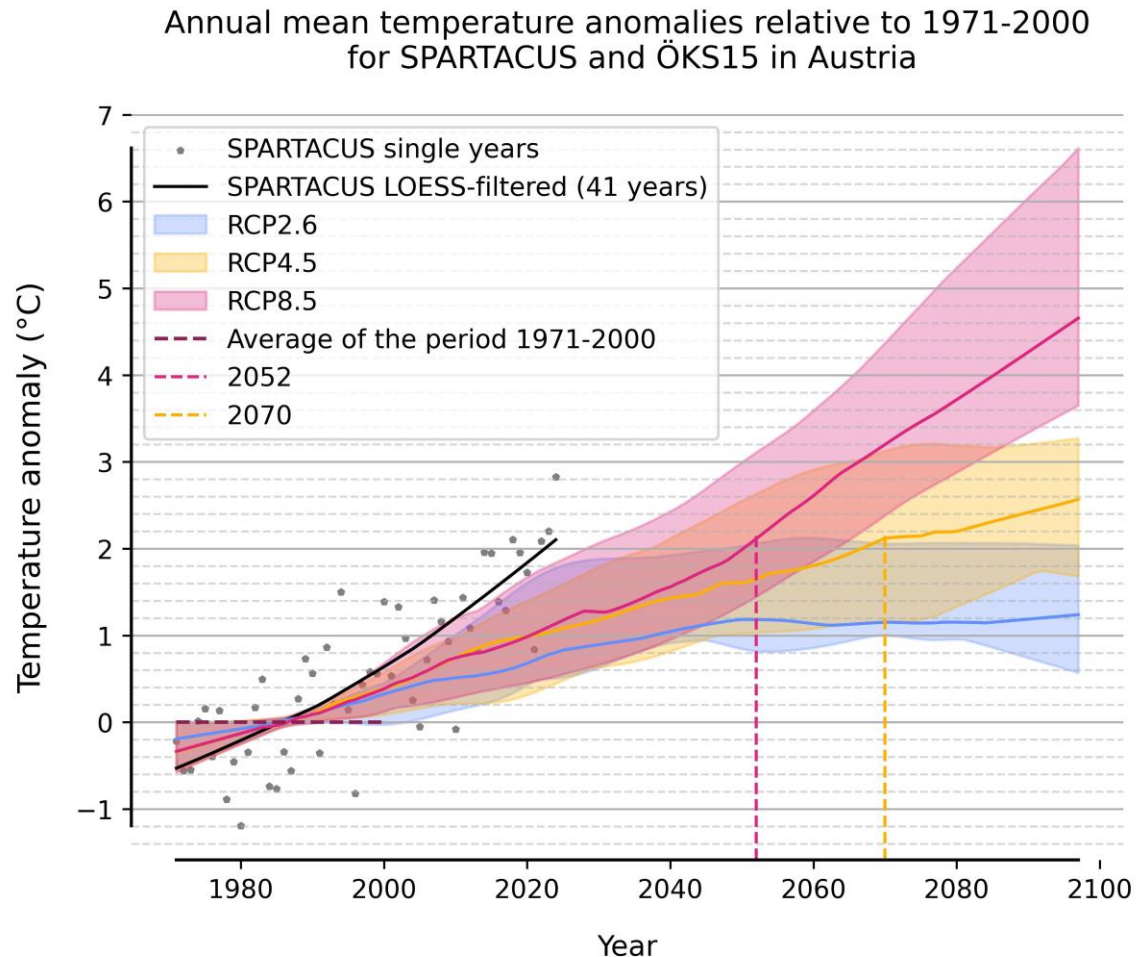
- Die bereits beobachtete Erwärmung ist in Österreich stärker als im europäischen oder globalen Mittel
- Im Vergleich zum vor-industriellen Mittel beobachtet man einen Anstieg von:
 - 2°C in der Periode 1991-2020
 - 2,7°C in der Periode 2019-2023
 - 3°C und 3,1°C in 2023 und 2024
- Hauptursache für die im globalen Vergleich höhere Erwärmung ist der Anstieg der Sonnen-Einstrahlung durch:
 - Rückgang der Luftverschmutzung (Aerosole)
 - Geringere Bewölkung
 - Mglw. auch großräumige Veränderungen im Klimasystem



Zeitreihe der Veränderung der mittleren Jahrestemperatur gegenüber dem vor-industriellen Mittel: Globales Mittel, Mittel über globalen Landflächen, Mittel über europäischen Landflächen (bounding box 25 °W – 40 °E, 34 °N – 72 °N), Mittel über Österreich für die Periode 1841–2024 (2023 for Europa). Dicke Linien sind mit einem 42-jährigen LOESS-Filter geglättet.
Bildquelle: AAR2

Klimamodelle haben die Erwärmung in Österreich bisher unterschätzt

- Bisherige Klimamodelle zeigen für Österreich eine zu langsame Erwärmung
- Beobachtete Erwärmungsrate von zuletzt 0,6°C pro Dekade wird auch in Szenarien mit hohen Emissionen unterschätzt
- ÖKS15 für Österreich beruht auf EURO-CORDEX-Ensemble für Europa
- beide sind für die vergangenen Dekaden zu kühl (cold bias)
- beide beruhen auf der vorangegangenen Generation der Globale Climate Models des CMIP5-Ensemble
- Studien korrigieren die allgemeine Unterschätzung der Temperatur, durch die zu geringe Erwärmungsrate sind die Zukunftsprojektionen aber dennoch zu niedrig



Beobachtete und modellierte Temperaturveränderungen in Österreich, im Vergleich zum Mittel der Periode 1971-2000. Farbflächen zeigen die Ensemble-Bandbreite, dicke Linien den Ensemble-Median für die drei Emissionsszenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5. Die vertikalen strichlierten Linien zeigen den Zeitpunkt, an dem der jeweilige Ensemble-Median die beobachteten Werte von 2024 erreicht. Bildquelle: AAR2

Neue Klimamodell-Generation CMIP6 zeigt raschere Erwärmung

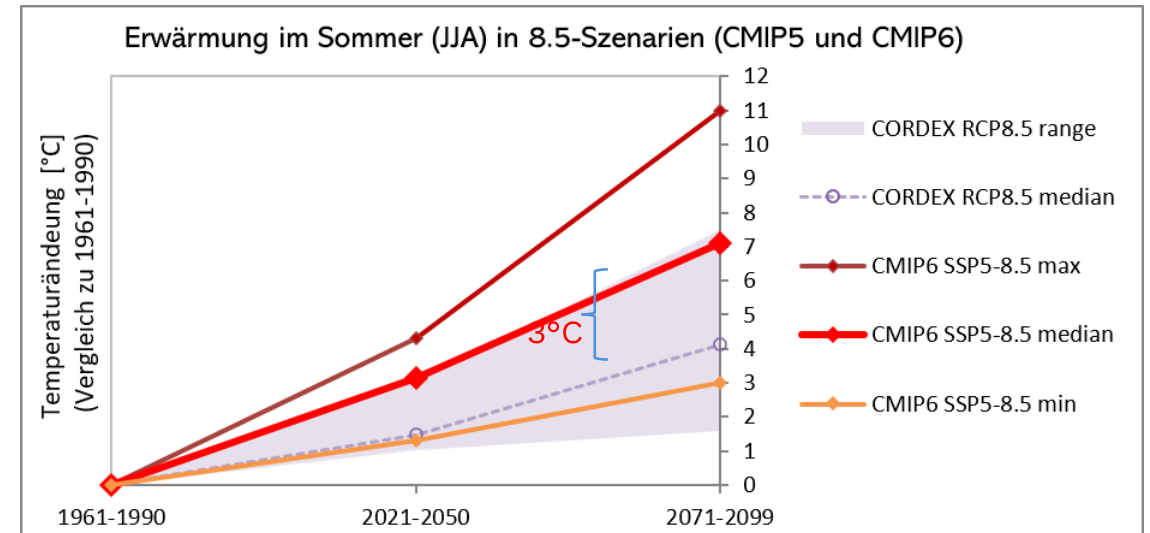
- Neue Globale Klimamodelle des CMIP6-Ensemble zeigen global eine raschere Erwärmung als CMIP5/CORDEX-Modelle
 - Vor allem auch stärkere Erwärmung im Sommer über Mitteleuropa/Donauegebiet (zu Ende des 21. Jhdt. im 8.5-Szenario um 3°C mehr)
 - Aufgrund der Fortschritte im Klimaschutz (insb. auch in China), ist das 8.5-Szenario aber aus heutiger Sicht als zu pessimistisch einzustufen

⇒ Ungünstige Entwicklungen:

Der Temperaturanstieg erfolgt insbesondere in Europa rascher als bisher von den Klimamodellen vorhergesagt

⇒ Günstige Entwicklungen:

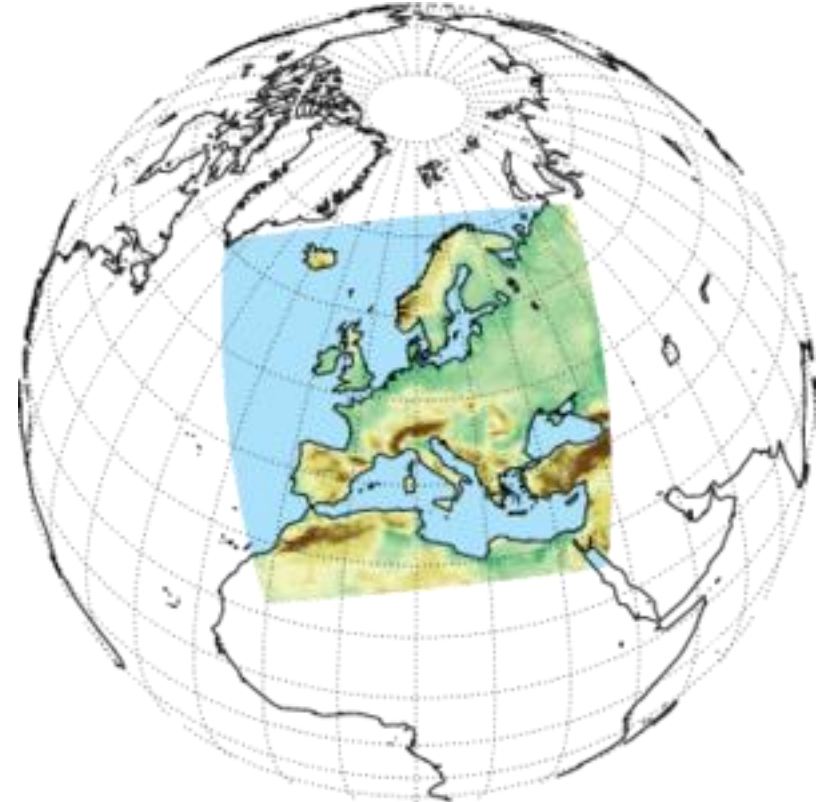
Die langfristige Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen wird wahrscheinlich günstiger sein, als bisher in den pessimistischen Szenarien angenommen



Unterschiedliche Erwärmung im Sommer, Bandbreiten der Projektionen in CORDEX- (CMIP5) und CMIP6-Projektionen für das Donauegebiet flussaufwärts von Wien, im Vergleich zum Mittel 1961-1990

Verfügbarkeit aktueller Klimaprojektionen für Europa

- Regionale Klimamodelle für Europa und Österreich, mit einer hohen räumlichen Auflösung, werden derzeit erstellt:
 - EURO-CORDEX: teilweise fertiggestellt, genauer Status unklar
 - Darauf aufbauende ÖKS26 sollen Ende 2026 oder, je nach Abschluss von CORDEX, wahrscheinlich erst 2027 verfügbar sein
- Mit diesen aktualisierten EURO-CORDEX und ÖKS26 Projektionen sollte eine bessere Einschätzung der lang-fristig zu erwartenden Klimaveränderungen möglich sein
- Aber auch die neuen Szenarien werden beträchtliche Unsicherheiten aufweisen und sind genau zu prüfen!
- Jede neue Modellgeneration ist aber ein weiterer Schritt zum besseren Verständnis des Klimasystems

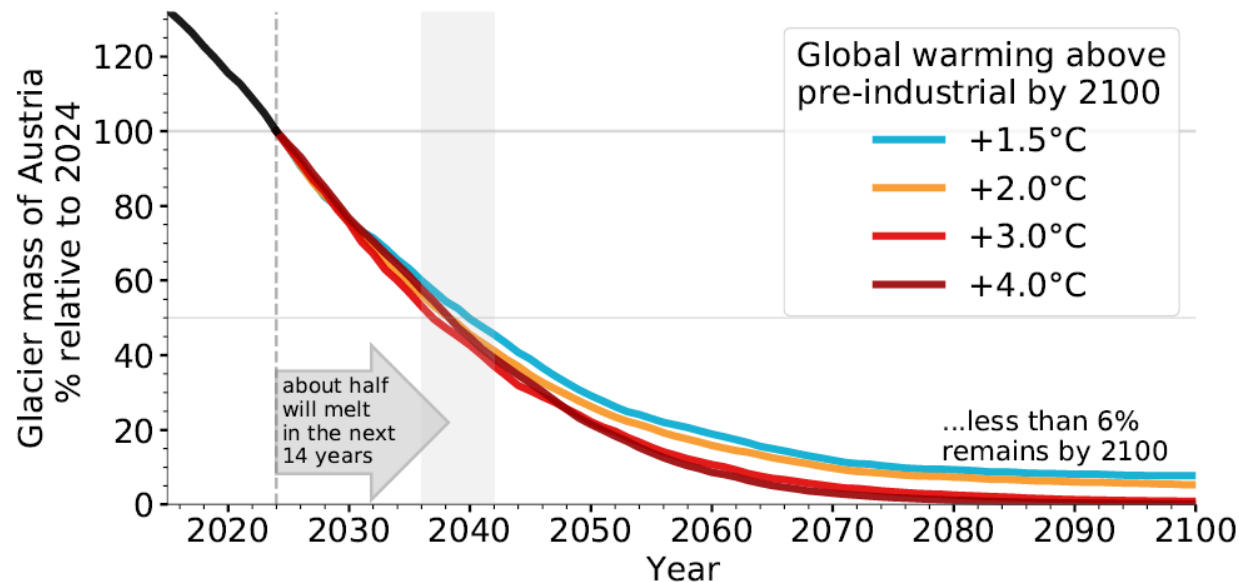


Auswertungen mit Bezug zu Global Warming Levels

- Viele Auswertungen im AAR2 (und in anderen wissenschaftlichen Studien) verwenden nun als Bezug ein Global Warming Level (GWL), also einen Zustand, bei dem die globale Erwärmung gegenüber der vor-industriellen Temperatur ein bestimmtes Niveau (2°C, 3°C, 4°C) erreicht hat.
- Vorteile:
 - Daten werden für jedes Modell aus jener Periode genommen, in der dieses Erwärmungs-Level erreicht wird.
 - Ermöglicht sinnvolle Verwendung von Modellen, die eine zu geringe Erwärmungsrate haben
 - Ermöglicht Vergleich oder gemeinsame Verwendung von Modellen verschiedener Generationen (CMIP5 & CMIP6) und sogar verschiedener Emissionsszenarien.
 - Ermöglicht Vergleich von Szenarien verschieden starker Erwärmung
- Nachteile:
 - Es können zwar zukünftige Veränderungen besser beurteilt werden, es kann aber nicht genau definiert werden bis wann diese Veränderungen zu erwarten sind (z.B bis Mitte oder Ende des 21. Jhdts)
 - Zusammenhang zwischen Entwicklung der Emissionen und Erwärmung kann nicht dargestellt werden.

AAR2-Auswertungen: Schnee und Gletscher

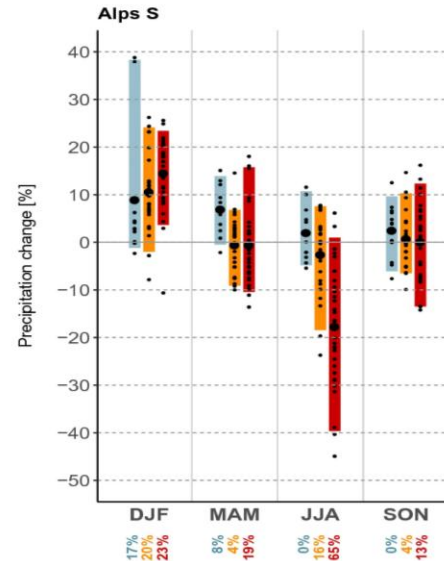
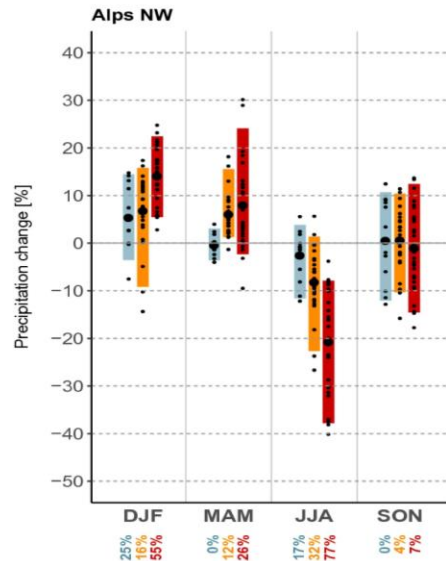
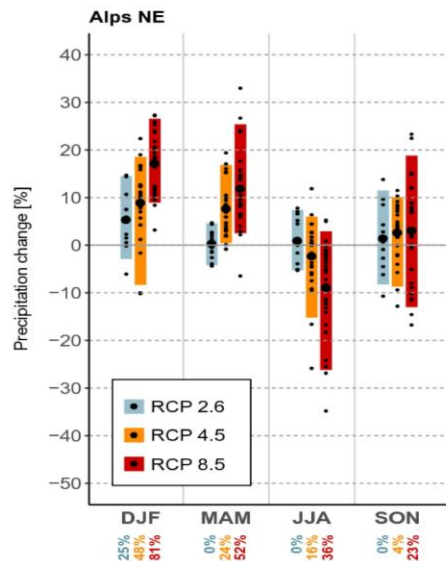
- Dauer der Schneedecke geht deutlich zurück (in der Beobachtung und auch in den weiteren Projektionen)
- Alle Gletscher in Österreich haben in den letzten Jahren an Masse verloren und schrumpfen immer schneller
 - zwischen 1969 und 2015 gingen in Österreich 40 % der Gletscherfläche verloren
- Rund die Hälfte der verbliebenen Gletschermasse wird bis um 2040 abschmelzen
- Bei geringen GWL am Ende des 21. Jahrhunderts verbleiben weniger als 6% der Gletschermassen, bei hohen GWL gar nichts
- (Auswertung mit Bezug zu GWL auf der Basis von CMIP5- und CMIP6-Daten)



Projektionen der Veränderung der Gletschermasse in in Österreich, für Pürojektionen mit verschiedenen GWL am Ende des 21. Jahrhunderts.
Bildquelle: AAR2

AAR2-Auswertungen: Niederschlag

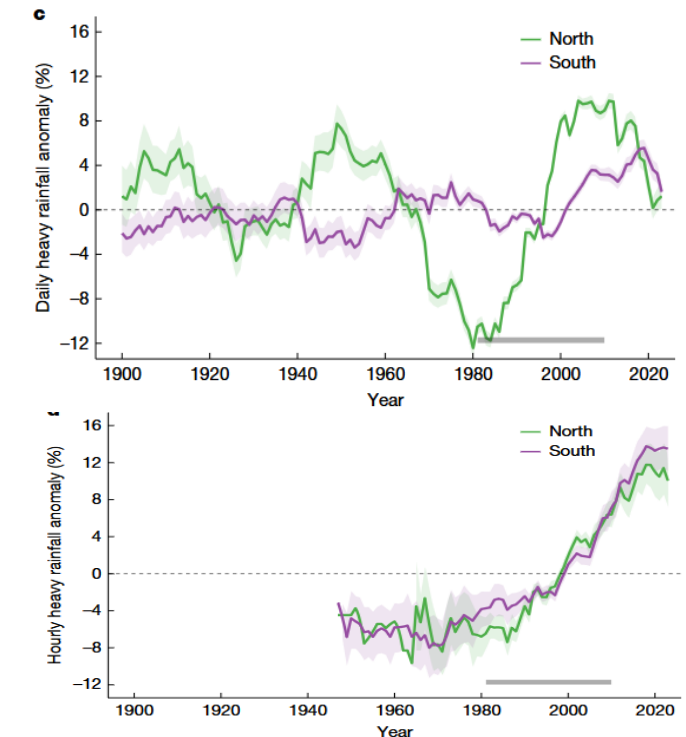
- Saisonale Niederschlagsprojektionen für das Ende des 21. Jahrhunderts:
 - Hohe Übereinstimmung zwischen Modellen und Szenarien: Tendenz zum Anstieg in Winter und Frühling, deutliche Tendenz zur Abnahme im Sommer
 - Änderung stärker in höheren Emissionsszenarien: je höher die Emissionen, umso höher die Erwärmung im Sommer, umso stärker auch der Rückgang der Sommer-Niederschläge
- (Auswertung auf der Basis von CORDEX-CMIP5-Daten)



Projektionen der Veränderung (in %) des mittleren saisonalen Niederschlags in drei Alpenregionen (Nordost, Norwest, Süd) zwischen 2070-2099 und 1981-2010.
Bildquelle: AAR2

Niederschlag und Hochwasser (Haslinger et al. 2025¹): Anstieg kurzer Starkregen und lokaler Hochwässer

- **Großflächige N-Ereignisse zeigen Schwankungen aber keinen klaren Trend**
- Tägliche Extremniederschläge
 - Schwankungen, deutlicher nördlich der Alpen, weniger deutlich südlich der Alpen
 - Zusammenhang mit Schwankungen und Veränderungen in Großwetterlagen
- **Kurze lokale Starkregenereignisse werden intensiver**
- Stündliche Extremniederschläge
 - Deutliche Zunahme in ganz Österreich seit 1980
 - Rund 15% höher 2003–2023, im Vergleich mit 1950–1970
 - Zusammenhang mit Erwärmung
- **Veränderungen in den Hochwasserspitzen entsprechen den N-Veränderungen**
- HW-Spitzen in größeren Einzugsgebieten (>500 km²) zeigen langfr. Schwankungen
- HW-Spitzen in kleineren Einzugsgebieten (<50 km²) werden überwiegend durch lokale Starkregen bestimmt und nehmen daher deutlich zu



Starkregen in Österreich:

c) Tägliche Extremniederschläge (99%-Quantil), Anomalie gegenüber der Referenzperiode 1981–2010, nördlich und südlich des Alpenhauptkammes

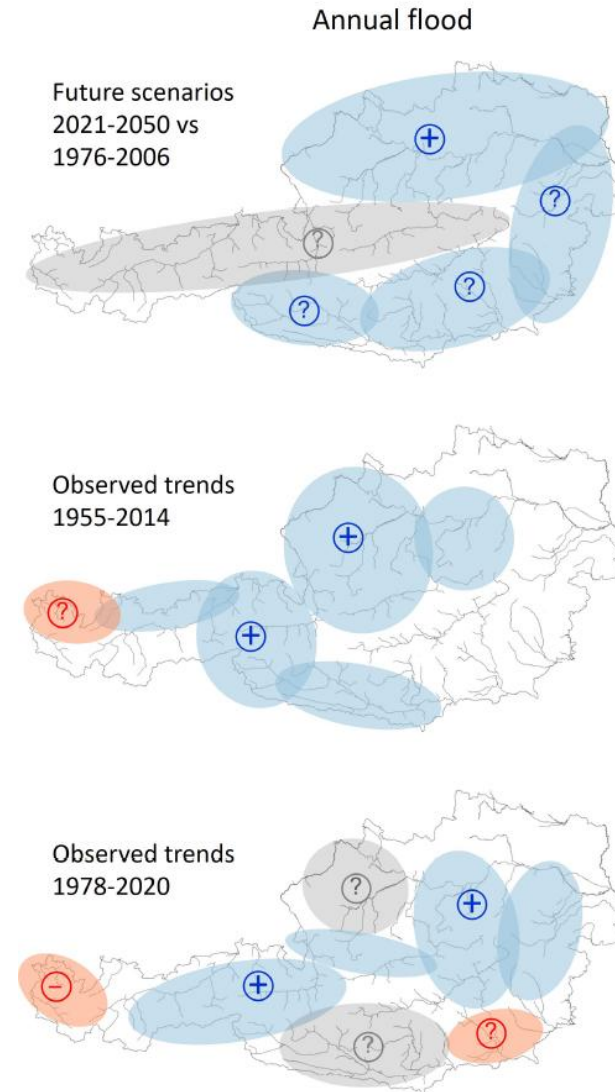
d) Stündliche Extremniederschläge

Bildquelle: Haslinger et al. 2025

1: Haslinger, K., Breinl, K., Pavlin, L., Pistotnik, G., Bertola, M., Olefs, M., Greilinger, M., Schöner, W., Blöschl, G. 2025. Increasing hourly heavy rainfall in Austria reflected in flood changes. *Nature* 639, 667–672. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08647-2>

AAR2-Auswertungen: Abfluss und Hochwasser

- Mittlerer und saisonaler Abfluss:
 - leicht abnehmender jährlicher Abfluss im Süden und Südosten
 - zunehmender Winterabfluss in den Alpen
- Hochwasser haben in Teilen Österreichs zugenommen:
 - Stärker in kleineren Einzugsgebieten als in größeren
 - Saisonale Verschiebung von Winter- und Frühjahrshochwasser zu Sommerhochwasser
 - Hochwasser, die durch starke Frühjahrsschneeschnmelzen verursacht werden, verschieben sich in frühere Monate
- Klimaprojektionen zeigen eine mögliche Zunahme von Hochwasserereignissen:
 - Sommerhochwasser in kleinen Einzugsgebieten infolge extremer Niederschläge
 - Rückgang der Frühjahrshochwasser wegen geringeren Schmelzwasserabflusses
 - Natürliche Variabilität bleibt dominant



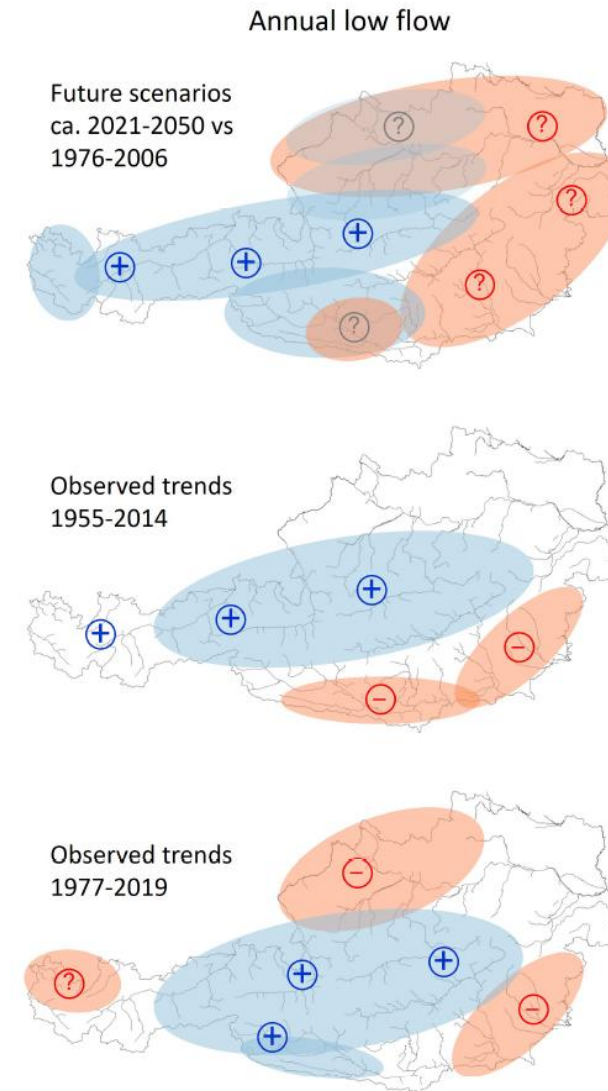
Tendenz der Veränderung im jährlichen Hochwassermaxima; aus Szenarioanalysen (oben); aus langfristigen beobachteten Trends für den Zeitraum 1955–2014 (Mitte) sowie für die Periode 1978–2020 (unten). Blaue Farben kennzeichnen Regionen mit zunehmenden Abflüssen, rote Farben Regionen mit abnehmenden Abflüssen, und graue Farben Regionen ohne eindeutigen Trend.

Die Zukunftsszenarien basieren auf einer Zusammenfassung der ÖKS15-Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 sowie auf Experten-szenarien, die sich auf Wirkmechanismen und Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge konzentrieren.

Bildquelle: AAR2

AAR2-Auswertungen: Niederwasser

- Trends im Niederwasser haben zugenommen:
 - Sommerlicher Niederwasserabfluss im Flachland hat in 16% der untersuchten Einzugsgebiete abgenommen, v.a. im Südosten und im Innviertel
 - In alpinen Einzugsgebieten haben winterliche Niederwasserabflüsse in 41% der Einzugsgebiete zugenommen
- Klimaprojektionen zeigen eine Weiterführung dieser Trends, mit Zunahmen in alpinen Gebieten und Abnahmen im Flachland
- Für Niederwasser an der Donau liegen Auswertungen aus dem Projekt STREAM vor

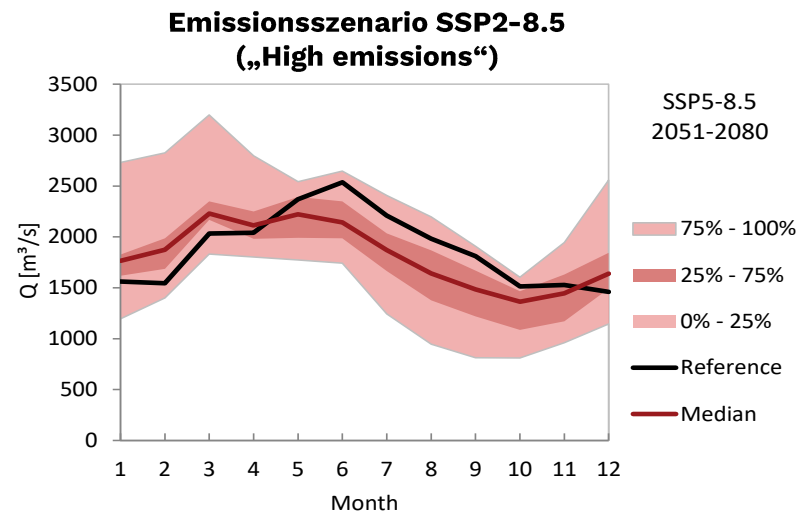
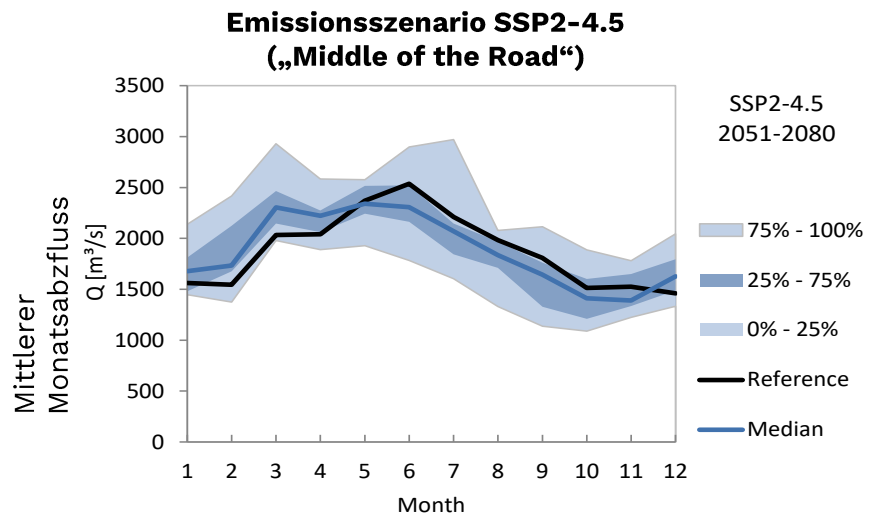


Tendenz der Veränderung im Niederwasserabfluss Q95; aus Szenarioanalysen (oben); aus langfristigen beobachteten Trends für den Zeitraum 1955–2014 (Mitte) sowie für die Perioden 1977–2019 (unten). Blaue Farben kennzeichnen Regionen mit zunehmenden Abflüssen, rote Farben Regionen mit abnehmenden Abflüssen, und graue Farben Regionen ohne eindeutigen Trend. Die Zukunftsszenarien basieren auf einer Zusammenfassung der ÖKS15-Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 sowie auf Experten-szenarien, die sich auf Wirkmechanismen und Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge konzentrieren.

Bildquelle: AAR2

Abfluss an der Donau (STREAM²): saisonale Abflussverteilung

- Forschungsprojekt STREAM: Hydrologische Klimafolgensimulationen der Donau von 1870–2100
- Verwendung der neuen CMIP6-Klimamodelle
- Schwerpunkt: Niederwasser
- Bestätigung früherer Projektionen für saisonale Abflussverteilung: Anstieg im Winter, Rückgang im Sommer
 - Stärkere Abnahme im Sommer (aufgrund stärkerer Erwärmung und geringerer Niederschläge in den CMIP6-Projektionen, im Vergleich zu CORDEX)
 - Einzelne Modelle, mit geringer oder keiner Niederschlagszunahme, zeigen sehr deutliche Abnahmen im Spätsommer und Frühherbst



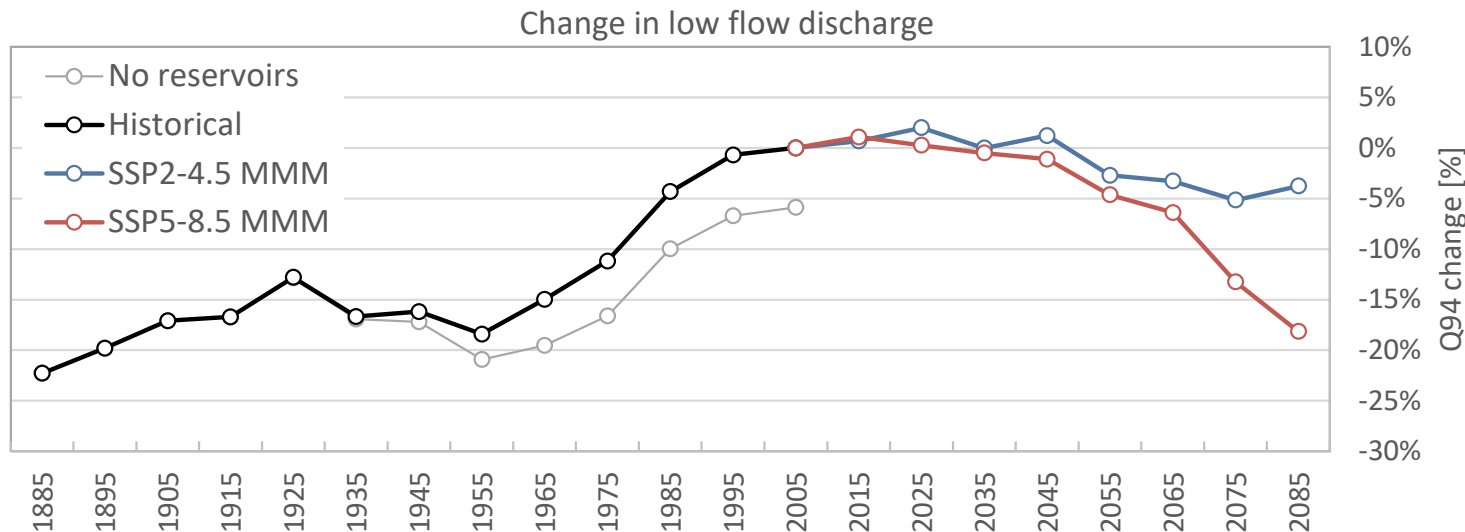
Simulierter mittlerer monatlicher Abfluss der Donau bei Wien: Verteilung innerhalb des Klimamodell-Ensembles für SSP2-4.5 und SSP5-8.5, für die Periode 2051–2081, verglichen mit dem Referenzzeitraum 1991–2021.

Bildquelle: Stanzel et al. 2026

2: Stanzel, P., Kling, H., Lerche, F., Weis, V.L., Ossó, A. 2026. Upper Danube low flow in the Anthropocene: Simulating impacts and changes from 1870 to 2100. Journal of Hydrology: Regional Studies 67, 103862. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2026.103862>.

Abfluss an der Donau (STREAM): Veränderungen im Niederwasser (Q94)

- Q94 als wesentlicher Niederwasserindex an der Donau (Abfluss, der in 94% der Zeit überschritten wird, Berechnung für 30-Jahr-Perioden)
- Langjährige Simulation zeigt eine Zunahme des Abflusses in den v.a. im Winter auftretenden Niederwasserphase seit den 1960er-Jahren:
 - Aufgrund von Speicherbetrieb in alpinen Speichern
 - Aufgrund der Erwärmung, die zu höheren flüssigen Niederschlägen im Winter und geringerer Schneespeicherung führt
- Zukunftsprojektionen zeigen einen Abfall des Niederwasserabflusses, der dann v.a. im Herbst und Winter auftritt

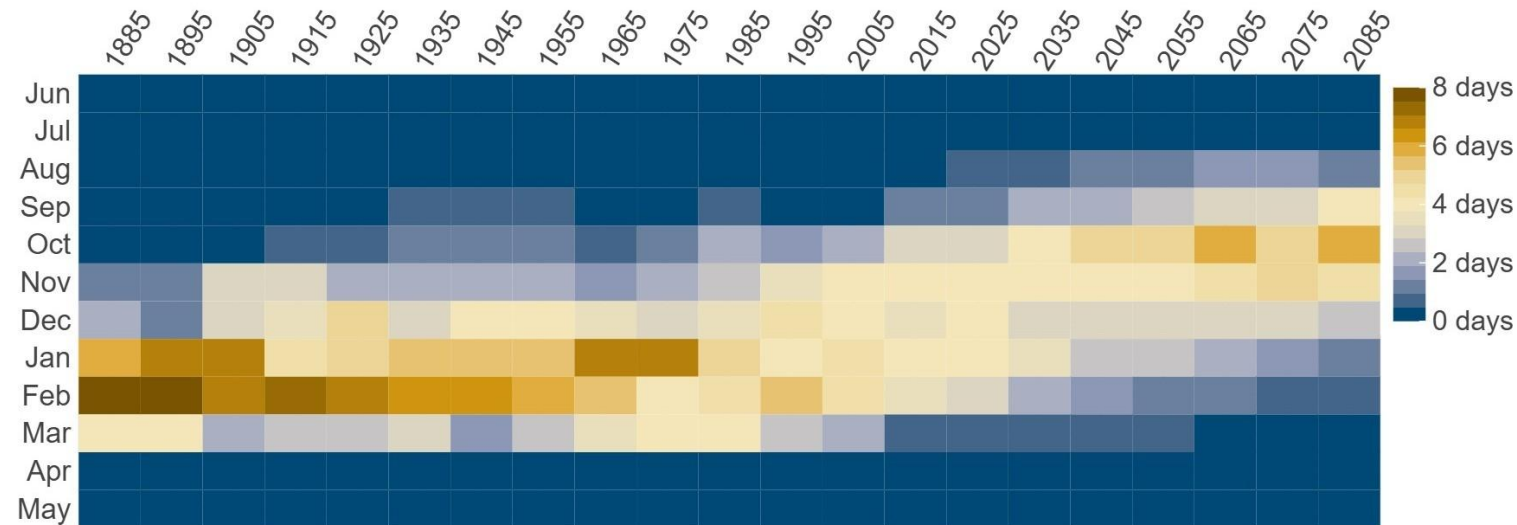


Veränderung im simulierten Niederwasserabfluss Q94 an der Donau bei Wien in aufeinanderfolgenden 30-Jahr-Perioden, im Vergleich zur Referenzperiode um 2005. Zukunftsprojektionen entsprechen dem Ensemble-Median der Emissionsszenarien SSP2-4.5 und SSP5-8.5.

Bildquelle: Stanzel et al. 2026

Abfluss an der Donau (STREAM): Veränderung im Auftrittszeitpunkt der Niederrassertage

- Auswertung des Auftrittszeitpunkts zeigt eine deutliche Verschiebung des Auftretens von Niederrassertagen (unter Q94)
 - Von vor allem im Winter in der Vergangenheit...
 - zu einer breiteren Verteilung, mit Auftreten im Winter und Herbst und selten auch im Sommer jetzt ...
 - zu einem Auftreten vor allem im Herbst in Zukunft, mit selteneren Niederrassertagen auch im Sommer und Winter

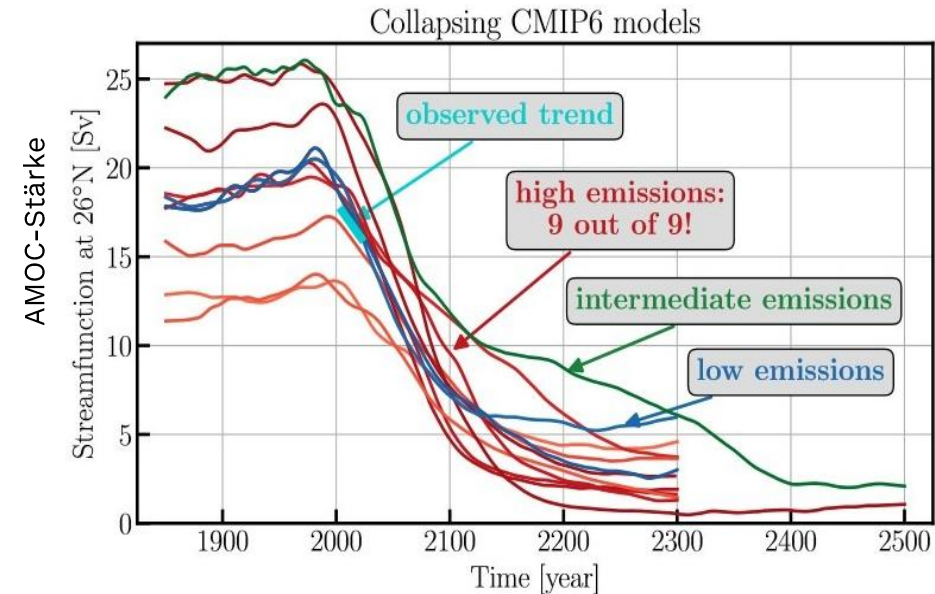


Durchschnittliche monatliche Anzahl von Tagen pro Jahr mit simuliertem Abfluss unterhalb von Q94 in aufeinanderfolgenden 30-Jahres-Zeiträumen zwischen 1870 und 2100. Für die zukünftigen Werte werden die Ensemble-Mediane des Emissionsszenarios SSP5-8.5 verwendet. Die Q94-Schwellenwerte werden für jeden jeweiligen Zeitraum separat berechnet, sodass die Gesamtzahl der Tage mit Abfluss unterhalb von Q94 in jedem Zeitraum gleich ist. Donau bei Wien.

Bildquelle: Stanzel et al. 2026

Bei fortgesetzten hohen Emissionen ist Zusammenbruch der atlantischen Umwälzzirkulation nach 2100 möglich

- In Szenarien mit hohen Treibhausgasemissionen könnte die Atlantische Meridional Umwälzströmung (AMOC) – ein zentrales System von Meeresströmungen, zu dem auch der Golfstrom gehört – nach 2100 zusammenbrechen:
 - Stärkere Sommertrockenheit in Europa
 - Extrem kalte Winter in NW-Europa
- Eine AMOC-Abschwächung wurde 2000-2025 bereits beobachtet
- Ob und wann ein Kipppunkt erreicht wird, ist aber sehr unsicher
- Für Szenarien mit günstiger Entwicklung der Treibhausgase (intermediate / low emissions) zeigen nur wenige Modelle ein Kippen
- => **Globaler Klimaschutz ist für Europa existenziell !!!**



Zeitliche Entwicklung der AMOC-Stärke bei 26° N (wo sie beobachtet wird) in den Modellsimulationen, in denen die AMOC zum Erliegen kommt. Die kurze cyanfarbene Linie zeigt den beobachteten Trend der Beobachtungen für 2005–2023, die Farbe der Linien gibt das für die Simulationen verwendete Emissionsszenario an. Grafik: Drijfhout et al.

Quelle: Sybren Drijfhout, Joran R. Angevaere, Jennifer Mecking, René M. van Westen, Stefan Rahmstorf (2025): Shutdown of northern Atlantic overturning after 2100 following deep mixing collapse in CMIP6 projections. *Environmental Research Letters*. DOI [10.1088/1748-9326/adfa3b]

Weblink: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/adfa3b>

Zusammengefasst in einem Web-Artikel des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
<https://www.pik-potsdam.de/de/aktuelles/nachrichten/moeglicher-zusammenbruch-der-atlantischen-umwaelzzirkulation-nach-2100-bei-hohem-emissionspfad>

4

Interpretation und Schlussfolgerungen



Schlussfolgerungen: Österreich erwärmt – und verändert – sich rascher als bisher erwartet

- Die hier berücksichtigten neuen Veröffentlichungen weisen auf keine qualitativ anderen Auswirkungen des Klimawandels auf Hydrologie und Wasserkraft hin als bisherige Untersuchungen.
- Allerdings gibt es mehrere Hinweise darauf, dass die Veränderungen rascher eintreten könnten als bisher angenommen:
 - Die beobachtete Erwärmung in Österreich und im Donauraum ist deutlich höher als im globalen oder europäischen Mittel.
 - Bisherige Klimamodelle (CMIP5, CORDEX) unterschätzen die derzeitige Erwärmung und unterschätzen daher vermutlich auch die zukünftigen Veränderungen.
 - Hitzewellen, Dürre und Niedrigwassersituation 2026 sind Extremereignisse, weisen aber viele Elementen der für eine fernere Zukunft erwarteten Veränderungen auf.

Schlussfolgerungen: Dürre 2026 extrem, aber im Bereich langfristig erwarteter Schwankungen und Veränderungen

- Hitzewelle, Dürre und Niedrigwasser des Jahres 2026 sind eine extreme Ausprägung, aber viele Elemente entsprechen dem Trend der beobachteten und aufgrund von Klimaprojektionen erwartbaren Veränderungen:
 - Heißere Sommertemperaturen
 - Geringere Sommerniederschläge
 - Niedrigere Bodenfeuchte am Beginn des Sommers aufgrund früherer und geringerer Schneeschmelze
 - Verschiebung von Niedrigwasserperioden vom Winter in den Herbst und Spätsommer
- Die geringen Winter- und Frühlingsniederschläge, die zu der derzeitigen Situation beigetragen haben, entsprechen nicht den generell erwartbaren Tendenzen.
 - Mehrzahl der Modelle zeigen eine Zunahme des Winter-/Frühlings-Niederschlags
 - Einige Klimamodelle zeigen aber auch keine Zunahmen des Winter-/Frühlings-Niederschlags, und es kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese Modelle stimmen (Worst Case Szenario mit starker Erwärmung und Trockenheit).
 - Auch wenn der von den meisten Modellen projizierte Trend zu mehr Winter/Frühlings-Niederschlägen sich als richtig herausstellt, können periodisch auftretende Jahre mit trockeneren Winter- und Frühlingsmonaten in der Zukunft vermehrt zu ähnlichen Dürre-Situationen wie 2026 führen.

Schlussfolgerungen: Warten auf neue Klimamodelle, aber Unsicherheit bleibt

- Bisherige Studien, die auf Klimamodellen der CMIP5-Generation basierten, haben die derzeitige regionale Erwärmung unterschätzt und unterschätzen daher vermutlich auch die zukünftigen Veränderungen.
 - Tendenziell kann vermutlich davon ausgegangen werden, dass viele der für eine fernere Zukunft berechneten Veränderungen schon früher eintreffen.
 - Neue Studien mit der neuesten Generation an Klimamodellen CMIP6 zeigen bereits die Tendenz zu schnelleren Veränderungen, verwenden aber noch die grob aufgelösten Globalen Klimamodelle.
- Regionale, hochaufgelöste Klimamodelle der CMIP6-Generation für Österreich, welche die historische hohe Erwärmung in Mitteleuropa adäquat abbilden, werden erst 2027 fertiggestellt werden (CORDEX, ÖKS26).
- Sobald diese Daten vorliegen sollten auch die Klimafolgenstudien für Österreich aktualisiert werden.
- Aufgrund der beobachteten stärkeren Erwärmung über Mitteleuropa sollte auch das Entwicklungsszenario mit den höchsten Emissionen und daher stärksten Erwärmung (SSP5-8.5) für Studien in diesen Regionen mitverwendet werden (auch wenn sich die globalen Emissionen vermutlich günstiger entwickeln werden).
- Trotz aller Verbesserungen in den nächsten Modellgenerationen sind viele für Mitteleuropa wesentliche Prozesse nicht vollständig berücksichtigt, sodass deren Ergebnisse weiterhin eine hohe Unsicherheit aufweisen werden.

Schlussfolgerungen: Wissenschaftsförderung statt Wissenschaftsskepsis – Klimaschutz ist essenziell

- Unsicherheiten in den Klimamodellen müssen berücksichtigt und kommuniziert werden
- Insbesondere Europa ist durch die Lage am Nortatlantik durch sehr komplexe und schwankende Klimaprozesse beeinflusst, die auch Kipppunkte aufweisen (z.B. AMOC)
- Wissen über das Klimasystem ist noch unvollständig – das darf aber nicht zu Wissenschaftsskepsis führen
- Eine weitere Intensivierung der Klimaforschung (mit Fokus auf der für Europa relevanten Prozesse in der Nordatlantikregion) sowie eine Stärkung der Schnittstellen zu Klimafolgenanalyse und Politik ist essenziell.
- Die Bedeutung des globalen Klimaschutzes steht außer Frage und ist insbesondere für das klimawandel-exponierte Europa von enormer Bedeutung.
- Vorbildrolle Europas im Klimaschutz muss erhalten und gestärkt werden!