

Einfluss des Klimawandels auf Stromverbrauch und -erzeugung in Europa

EnInnov 2024

14. Februar 2024 | TU Graz

Franziska Schöniger, Florian Hasengst | TU Wien, Energy Economics Group

Gustav Resch, Demet Suna, Gerhard Totschnig, Nicolas Pardo-Garcia, Peter Widhalm | AIT
Austrian Institute of Technology

Herbert Formayer, Philipp Maier, David Leidinger, Imram Nadeem | BOKU Met

Hintergrund

- **Dekarbonisierung** und **Elektrifizierung** erhöhen die Wetterabhängigkeit des Stromsystems
- **Klimawandel** verstärkt diese Herausforderung für das Energiesystem (z. B. häufigere Extremwetterereignisse, erhöhter Kühlbedarf, ...)

Energiesystemmodellierung

- **Vergangenheit:** Verwendung verschiedener historischer Wetterjahre in der Modellierung von Energiesystemen
- State of the Art: Verwendung von **Klimaszenarien** und Extremereignissen **für der Planung und dem Betrieb von Stromsystemen**



California, Sept. 2022
(MediaNews Group)

Methode und Kernpunkte SECURES

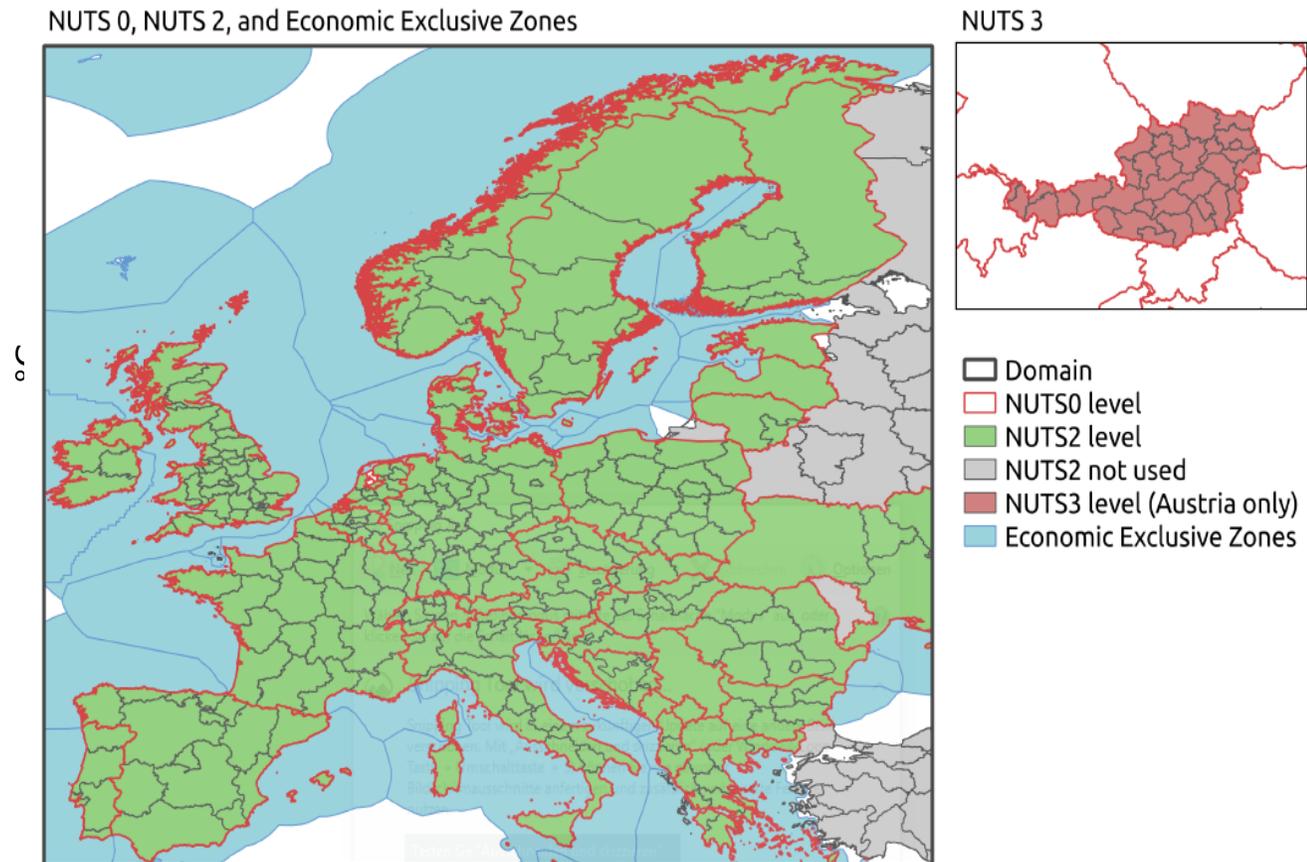


- Enge Kooperation zwischen Klima- und Energiesystemmodellierung
- Interdisziplinärer Prozess der **Datengenerierung** & Validierung mit dem Ziel einer konsistenten **open-source Datenbasis**
 - **historische** und **zukünftige** Erzeugungs- und Nachfrageprofile
 - alle **relevanten Komponenten** im Stromsystem
 - nutzbar als Inputs für Energiesystemmodelle in Bezug auf **zeitliche und räumliche Auflösung** und **Präzision**

Zugrundeliegende Klimamodellierung

- Zwei Emissionsszenarien: Mittlerer (RCP4.5) & starker (RCP8.5) Klimawandel
- Zwei **EURO-CORDEX** Klimaszenarien: ICHEC-EC-EARTH - KNMI-RACCMO22E (RCP4.5, RCP8.5) (**bis 2100**)
- Observations **for bias-correction/regridding (1981 – 2010)**
 - ERA5 und ERA5 Land
 - COSMO REA6 Reanalyse
- Scope: Europa
- Aggregationslevel: **Stündlich** auf NUTS0, NUTS2, NUTS3 (nur AT), EEZ (Wind offshore)

SECURES domain and aggregation levels



1. Klimadatenset: SECURES-Met

Formayer, H., Nadeem, I., Leidinger, D., Maier, P., Schöniger, F., Suna, D., Resch, G., Totschnig, G., & Lehner, F. (2023). SECURES-Met: A European meteorological data set suitable for electricity modelling applications. *Scientific Data*, 10(1), 590. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02494-4>

Herbert Formayer, Philipp Maier, Imran Nadeem, David Leidinger, Fabian Lehner, Franziska Schöniger, Gustav Resch, Demet Suna, Peter Widhalm, Nicolas Pardo-Garcia, Florian Hasengst, & Gerhard Totschnig. (2023). SECURES-Met - A European wide meteorological data set suitable for electricity modelling (supply and demand) for historical climate and climate change projections (1.0.0) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7907883>



Variable	Short name	Unit	Aggregation methods	Temporal resolution
Temperature (2m)	T2M	°C	spatial mean population weighted mean (recommended)	hourly
Radiation	GLO (mean global radiation) BNI (direct normal irradiation)	Wm-2	spatial mean population weighted mean (recommended)	hourly
Potential Wind Power	WP	1	normalized with potentially available area	hourly
Hydro Power Potential	HYD-RES (reservoir) HYD-ROR (run-of-river)	MW	summed power production summed power production normalized with average daily production	daily

The screenshot shows the Zenodo dataset page for "SECURES-Met - A European wide meteorological data set suitable for electricity modelling (supply and demand) for historical climate and climate change projections". The page includes a search bar, navigation links for "Communities" and "My dashboard", and a "Log in" button. The dataset is published on May 15, 2023, at version 1.0.0. It has 544 views and 112 downloads. The authors listed are Herbert Formayer, Philipp Maier, Imran Nadeem, David Leidinger, Fabian Lehner, Franziska Schöniger, Gustav Resch, Demet Suna, Peter Widhalm, Nicolas Pardo-Garcia, Florian Hasengst, and Gerhard Totschnig. A "Show affiliations" button is visible. The abstract describes the dataset's purpose for electricity production and demand modeling, highlighting its high temporal resolution (hourly) and spatial resolution (1 km). It also mentions that the dataset is aggregated to NUTS regions and includes information on power plants.

Meteorologische Variablen und deren Verwendung

2. Datenset: SECURES-Energy

- 1981-2100
- Stündliche Auflösung
- Europa, NUTS0

Generation	Hydro inflow	Wind speed (150 m)	Solar radiation*	Temperature (2 m)*
Wind		✓		
Hydro	✓			
Photovoltaics			✓	✓ (losses)

Representative turbine types, power curves, suitable land

Mean daily generation from run-of-river and reservoir plants (eHYPE river discharge) and location of historical hydropower plants

Consideration of temperature-related efficiency losses (also thermal)

Demand	Hydro inflow	Wind speed (150 m)	Solar radiation*	Temperature (2 m)*	Behavioural patterns
E-heating				✓	✓
E-cooling				✓	✓
E-mobility charging				✓	✓

} Hotmaps open data repositories (2019):
Temperature dependence of heating and cooling demand

Consideration of temperature-related efficiency losses

*population-weighted

HOTMAPS – Open Data Set for the EU28

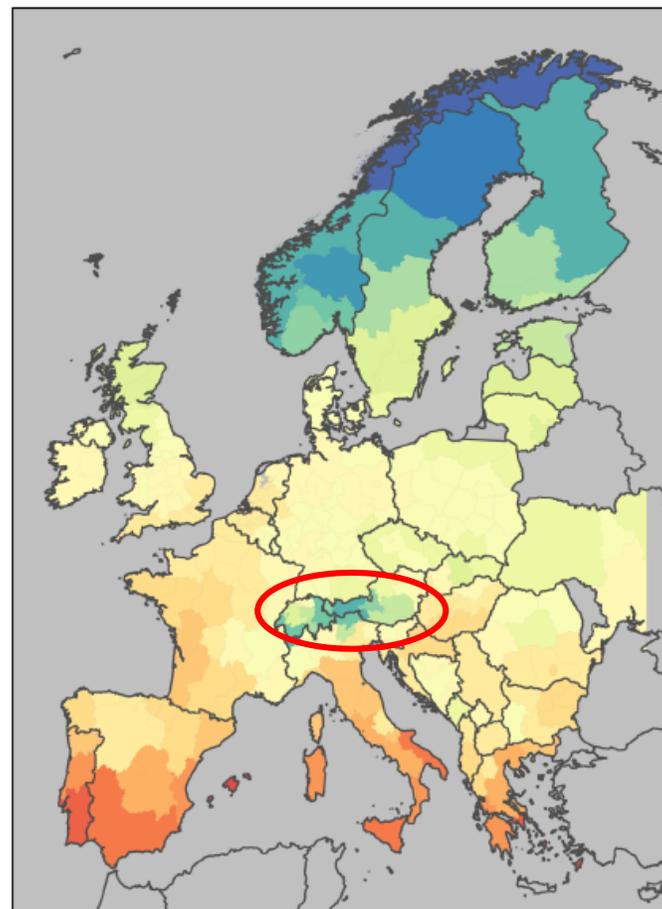
Mostafa Fallahnejad. (2019). Hotmaps-data-repository-structure. Retrieved from Hotmaps-Wiki website: <https://wiki.hotmaps.eu/en/Hotmaps-open-data-repositories>

Pezzutto, S., Zambotti, S., Croce, S., Zambelli, P., Garegnani, G., Scaramuzzino, C., ... Popovski, E. (2018). Open Data Set for the EU28. Retrieved from D2.3 WP2 Report. Load profile residential heating yearlong 2010. Reviewed by Lukas Kranzl, Sara Fritz. website: https://gitlab.com/hotmaps/load_profile/load_profile_residential_heating_yearlong_2010

Bevölkerungsgewichtung relevant für AT

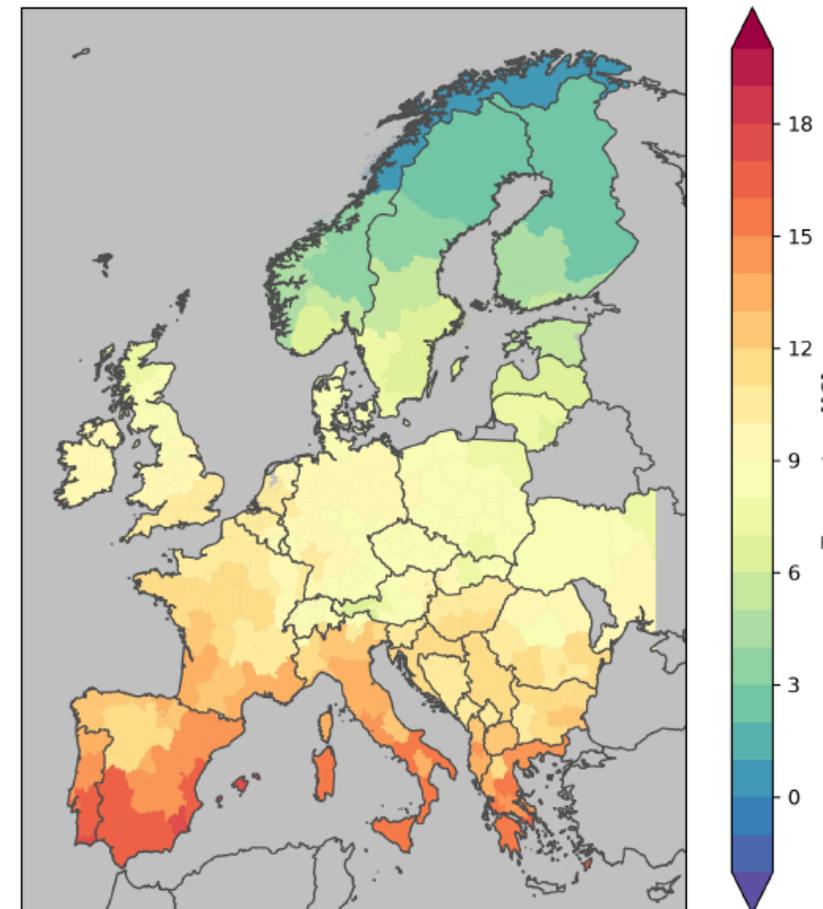
Arithmetic mean

Temperature (mean), NUTS2
Observation (1981-2010), ERA5-Land



Population weighting

Temperature (popweight), NUTS2
Observation (1981-2010), ERA5-Land



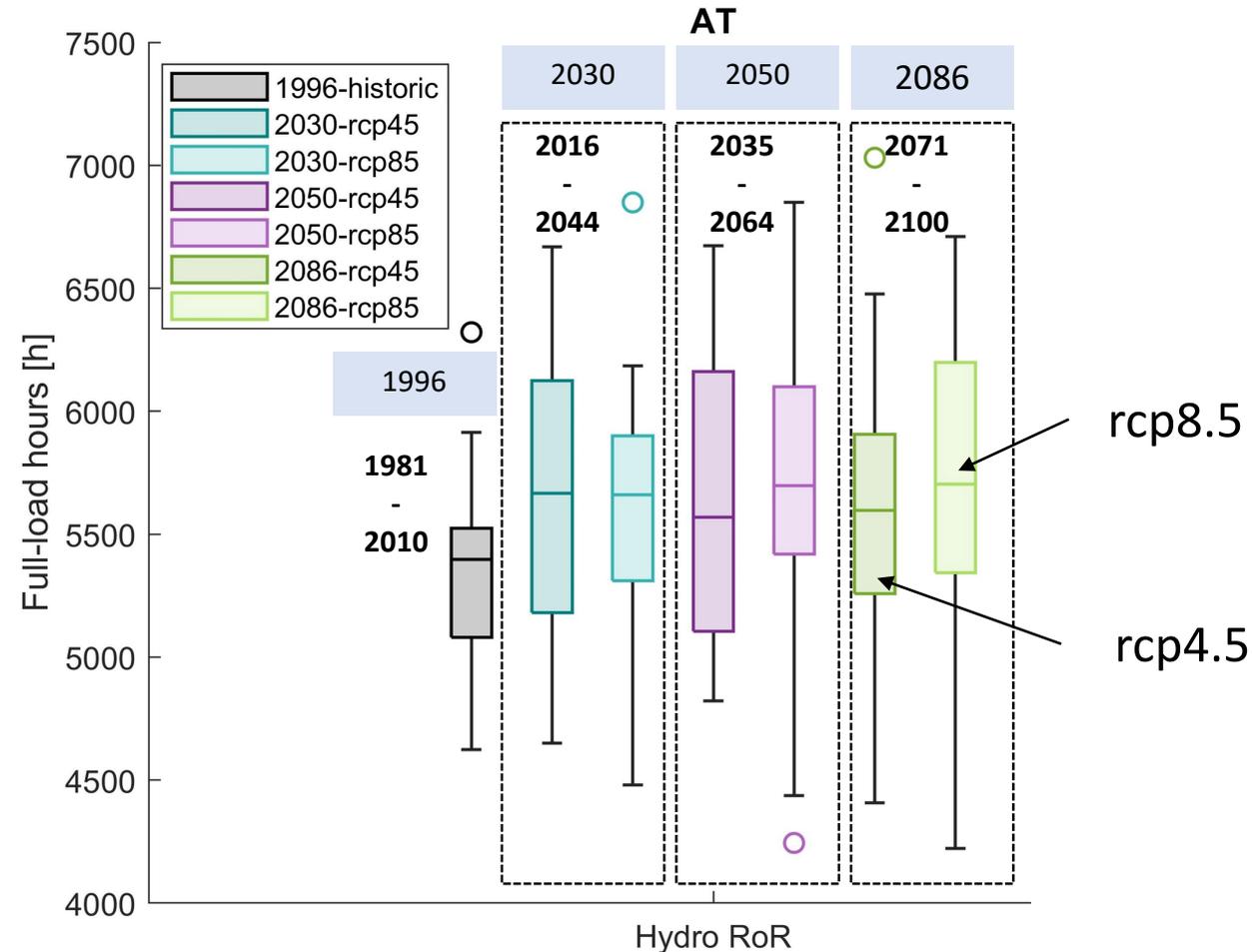
- Angewandt für Variablen Temperatur und Strahlung
- Der Strombedarf steigt mit der Bevölkerungsdichte (Heizen, Kühlen, E-Mobilität)
- Die Menschen leben eher in den Tälern (höhere Temperaturen)

Ergebnisse

Auswahl möglicher Analysen mit SECURES-Energy

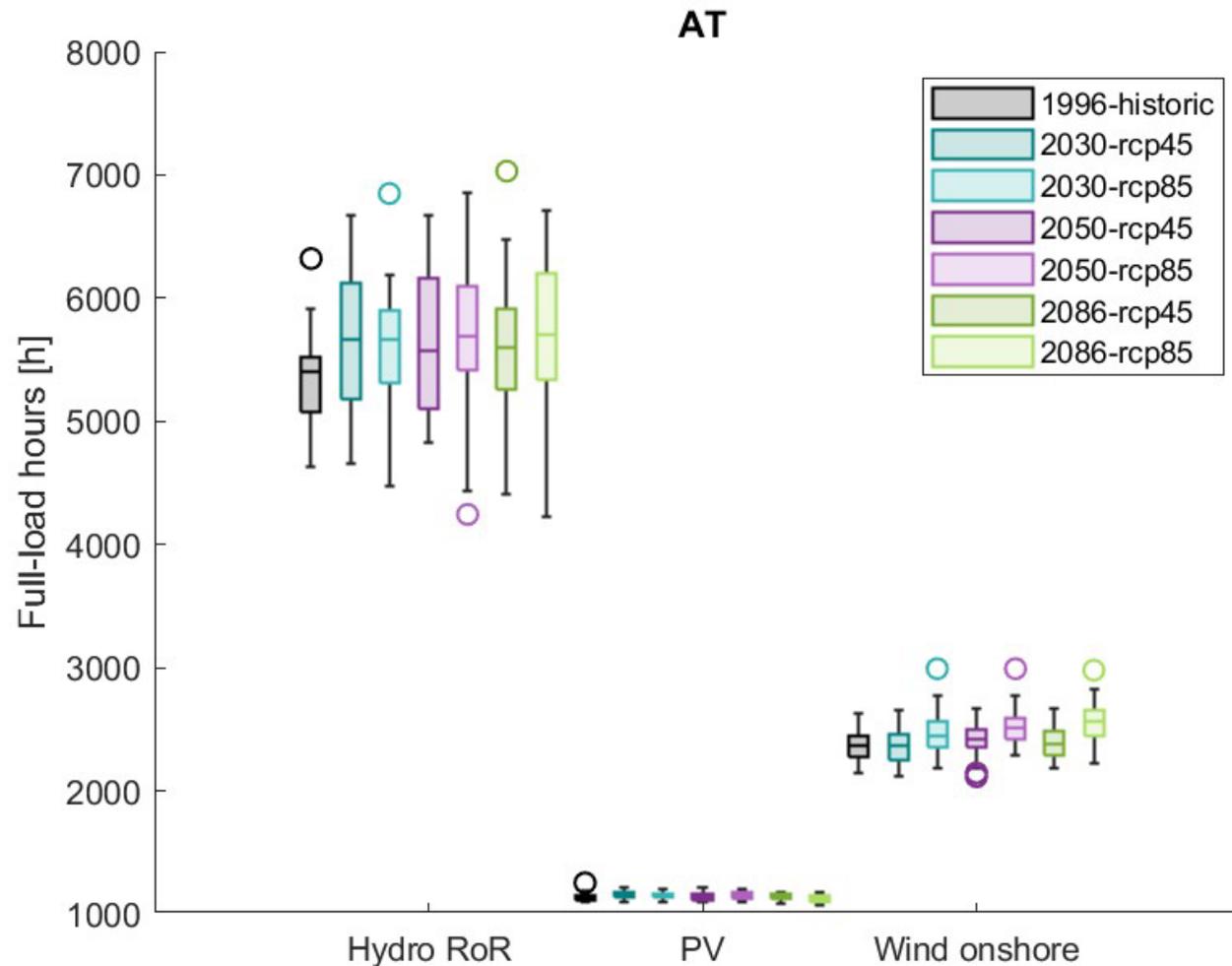
Auswirkungen des Klimawandels auf die Stromerzeugung: Laufwasserkraft

BoxChart: Jede Box repräsentiert **30 Wetterjahre** (um das Jahr 1996/2030/2050/2086)



- Starke **interannuelle** Schwankungen der Laufwassererzeugung (RoR): kein klarer Trend im Laufe der Zeit (leicht steigende VLH)

Auswirkungen des Klimawandels auf die Stromerzeugung: Überblick für Österreich

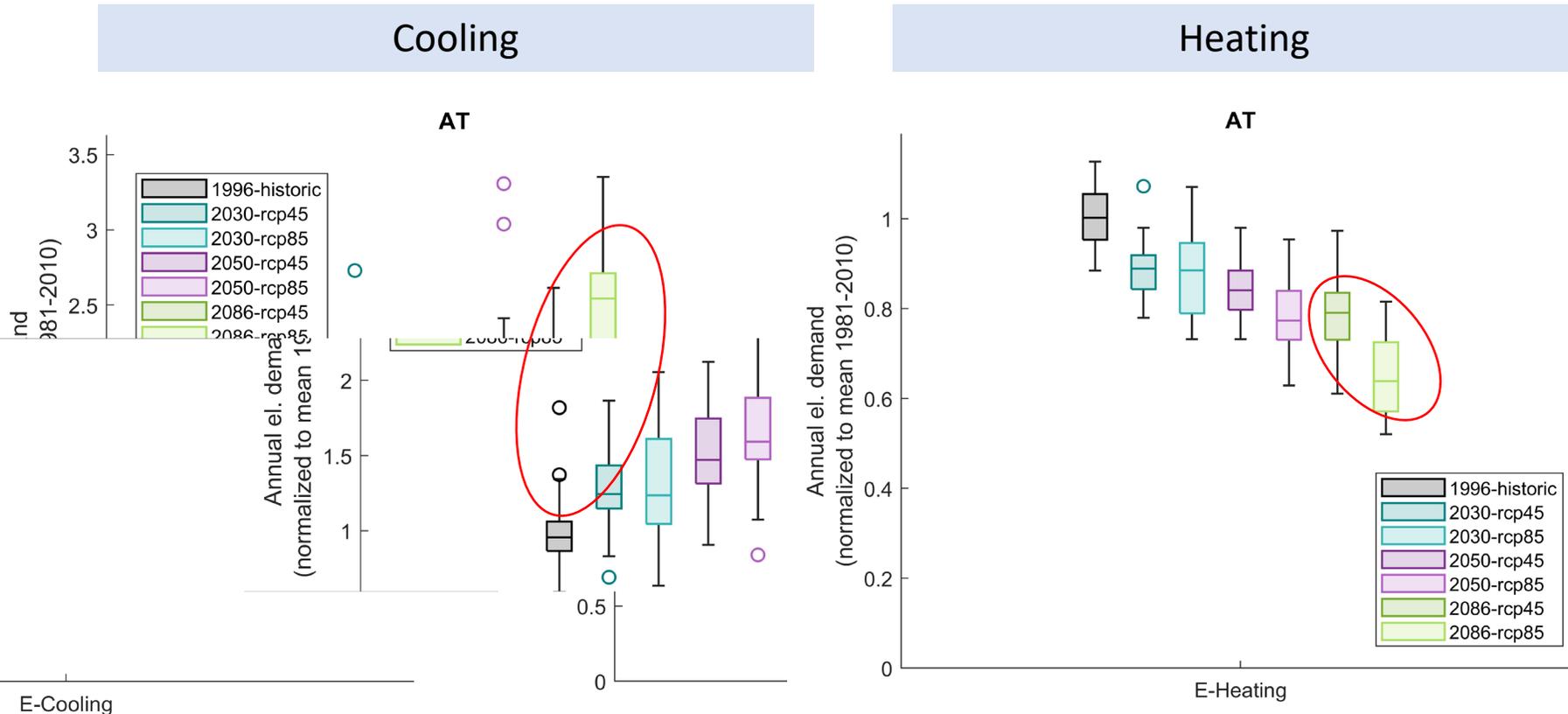


- Höchste **interannuelle Variabilität** bei der Wasserkraft (RoR) (auch historisch)
- hohes Risiko für Stromsysteme mit hohem Wasserkraftanteil (AT)

BoxChart: Jede Box repräsentiert **30 Wetterjahre** (um das Jahr 1996/2030/2050/2086)

Auswirkungen des Klimawandels auf die Stromnachfrage

Kühlen/Heizen in Österreich

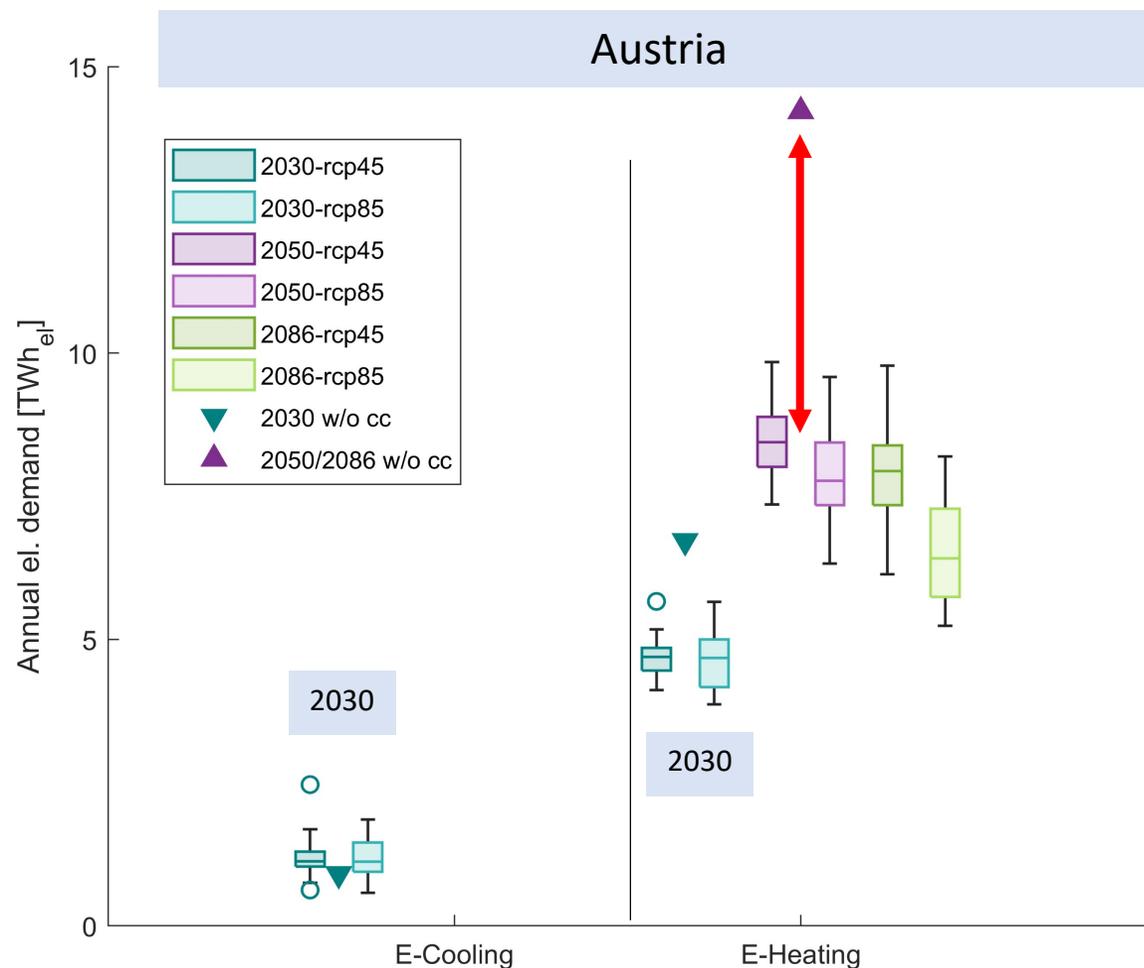


BoxChart: Jede Box repräsentiert **30 Wetterjahre** (um das Jahr 1996/2030/2050/2086)

- **Steigender Kühlbedarf + sinkender Heizbedarf** mit Zunahme der Klimaerwärmung
- **Unterschiede** zwischen RCP 4.5 und RCP 8.5 werden besonders **deutlich am Ende des Jahrhunderts**

Auswirkungen des Klimas auf die Stromnachfrage

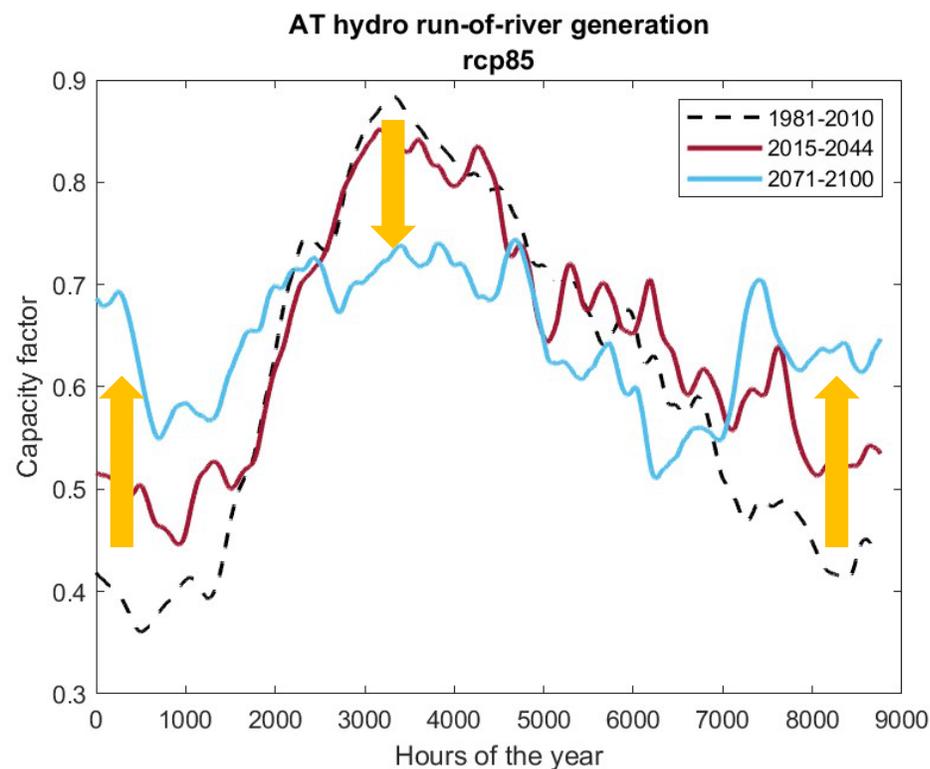
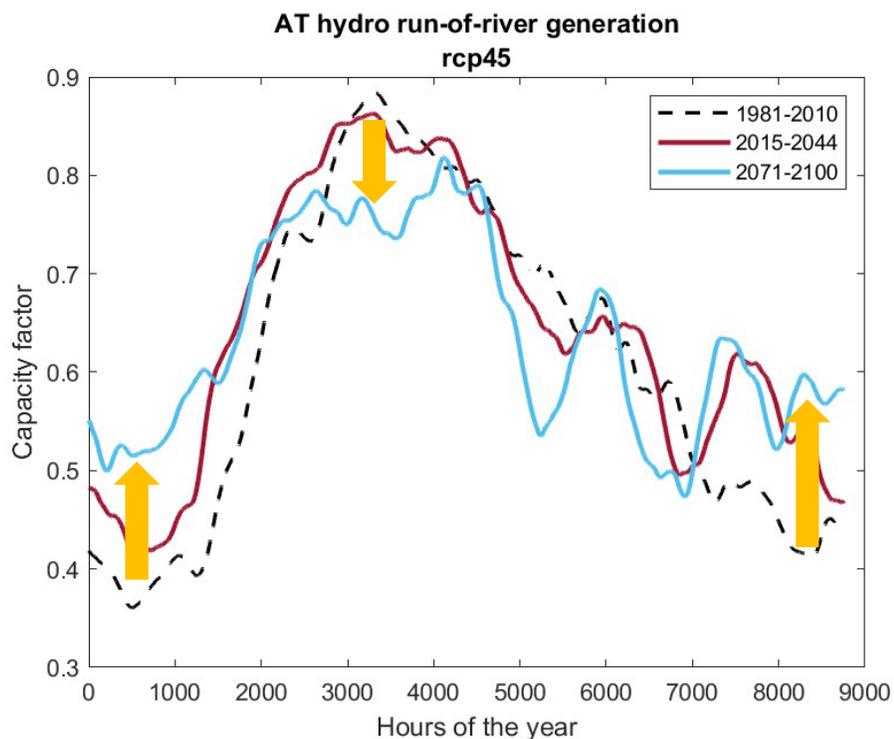
E-Cooling/E-Heating in Österreich



- Entwicklung von E-Kühlung und E-Heizung ist abhängig vom Verbreitungsgrad von Wärmepumpen und Klimaanlage
- Zum Vergleich: ▽ Nachfrage 2030/2050 ohne zusätzl. Auswirkungen des Klimawandels (Mittel 1981-2010)
- Anstieg des E-Heizbedarfs aufgrund der Elektrifizierung wird durch den Klimawandel **stark reduziert**

BoxChart: Jede Box repräsentiert 30 Wetterjahre (um das Jahr 2030/2050/2086)
 Zugrundeliegendes Szenario: SECURES "Decarbonisation needs" – vollständige Dekarbonisierung bis 2050)

Saisonale Schwankungen der Wasserkraft AT

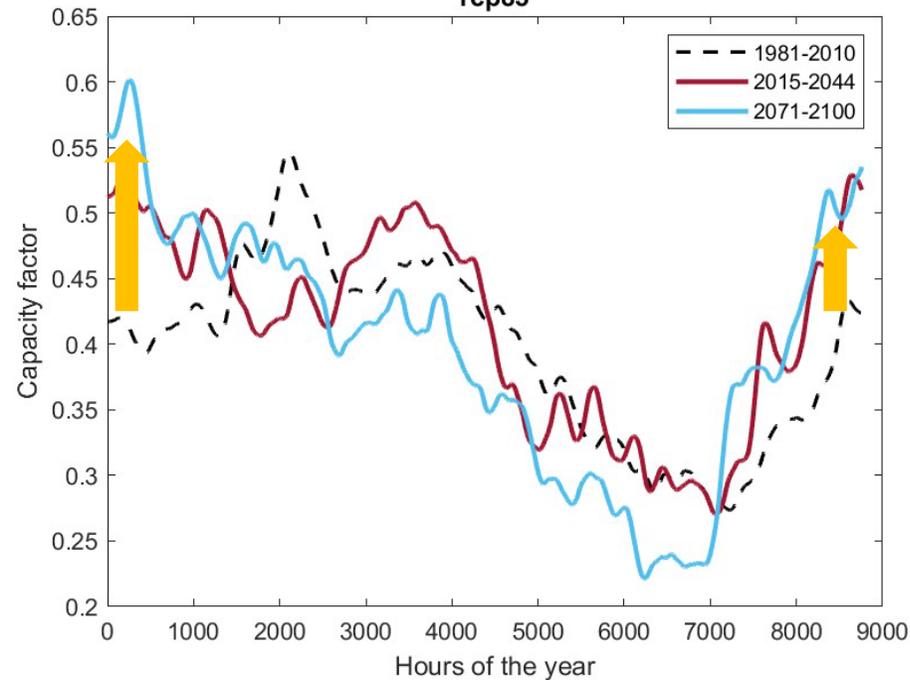


- **Zeitliche Verlagerung der Wasserkraftproduktion bei zunehmendem Klimawandel vom Sommer in den Winter**
- Unsicherheiten bzgl. Gletscherschmelzprozessen (HyMelt-CC)

Saisonale Schwankungen der Wasserkraft Deutschland/Italien

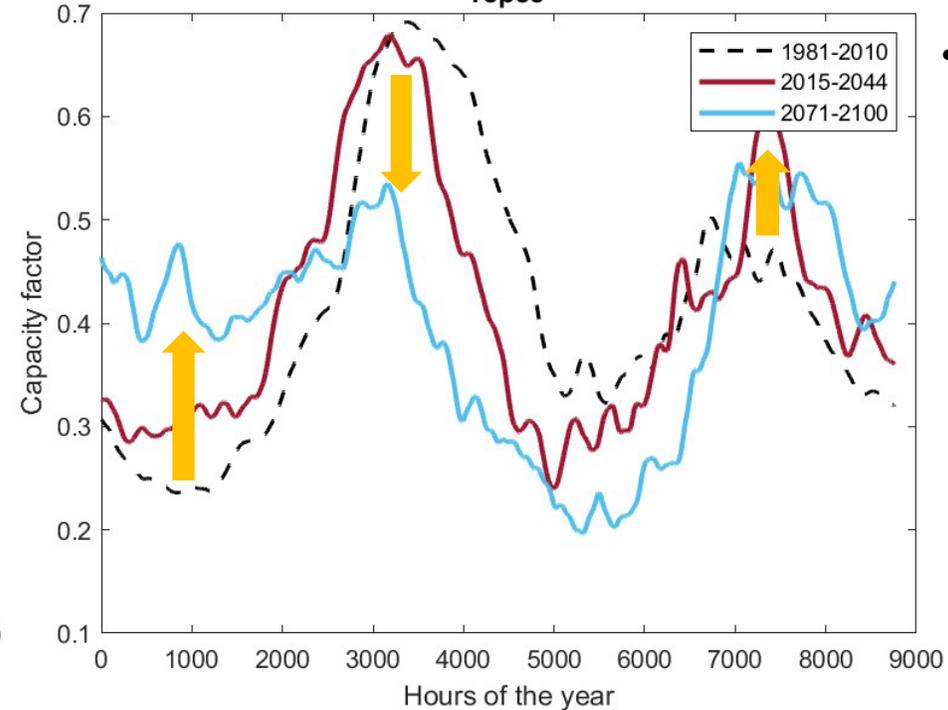
Deutschland

DE hydro run-of-river generation
rcp85



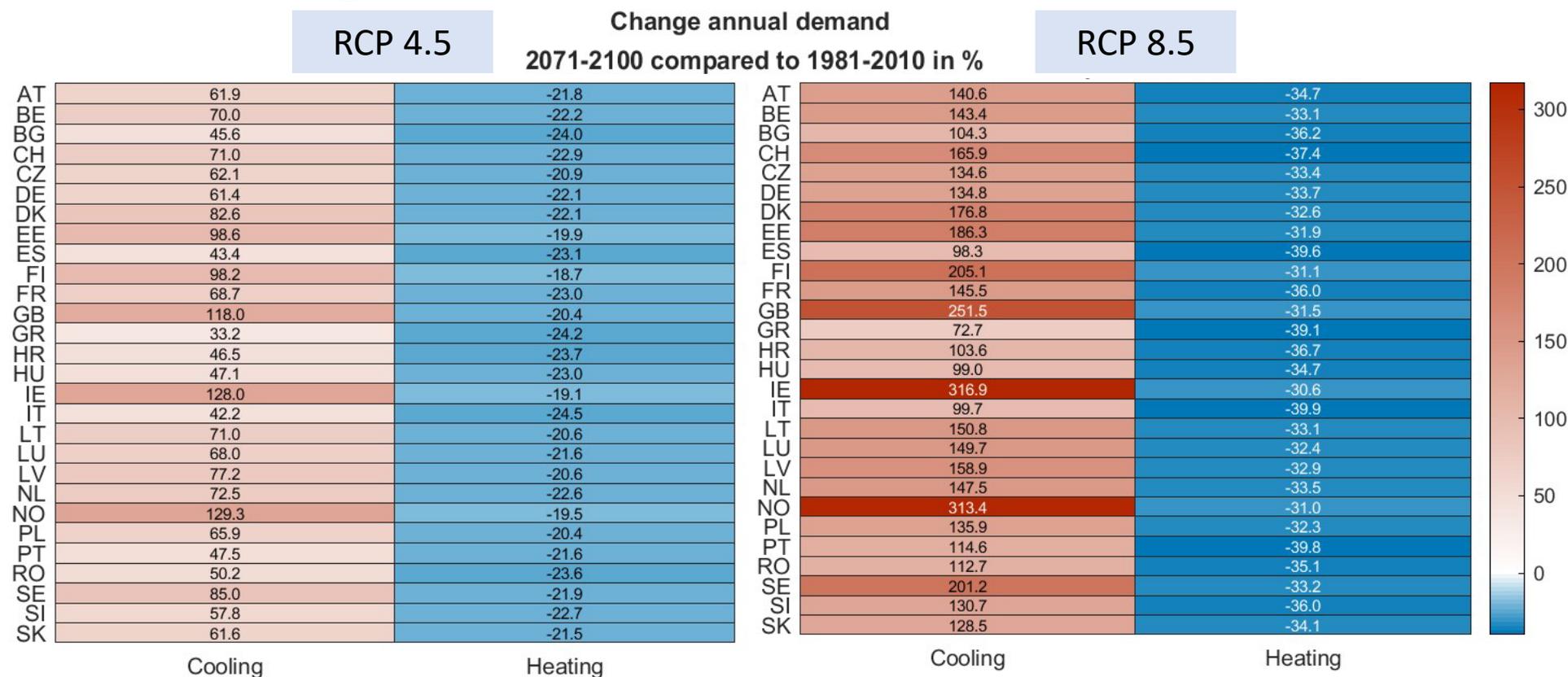
Italien

IT hydro run-of-river generation
rcp85



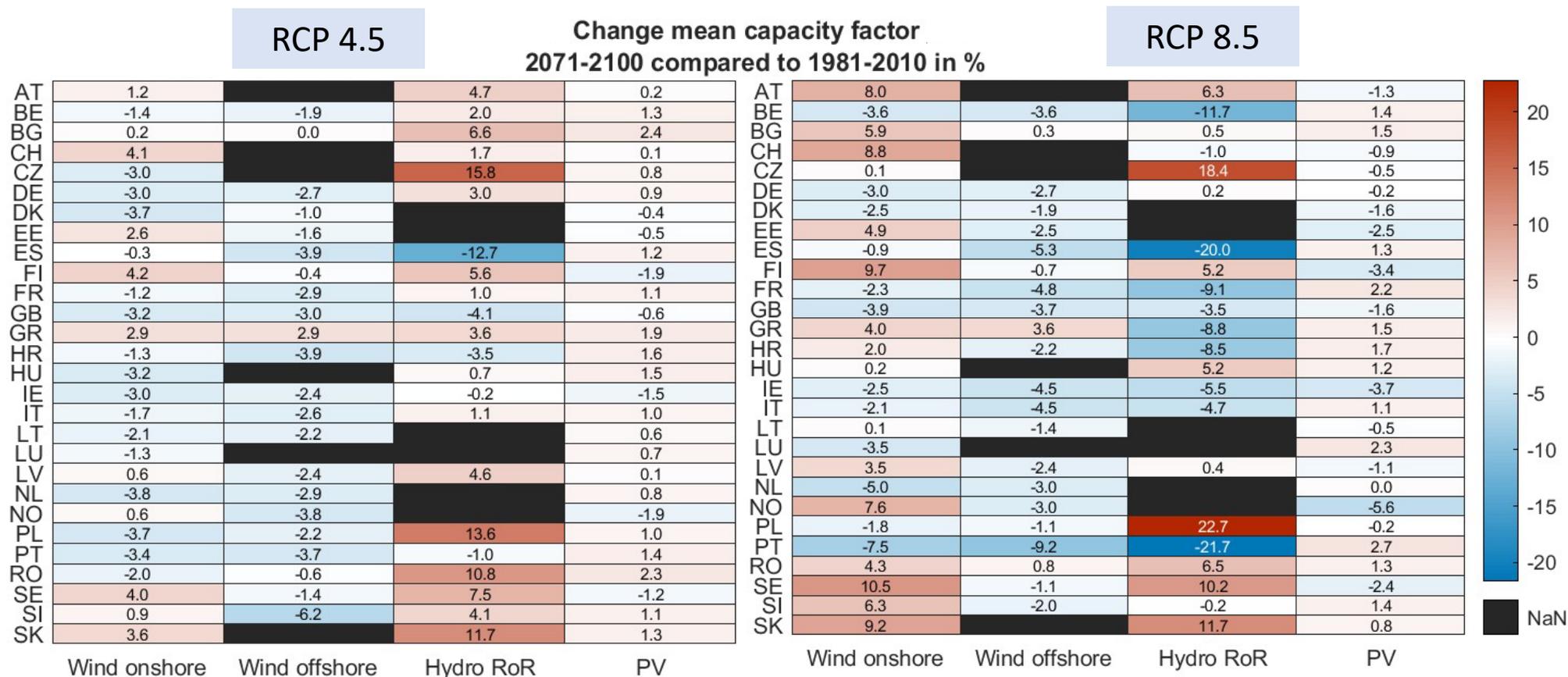
- **Deutschland:**
Verlagerung der RoR-Spitzenerzeugung aus Wasserkraft vom Frühjahr auf den Winter

Entwicklung des Verbrauchs bis 2071-2100



- Eindeutiger Trend: **erhöhter Kühlbedarf** (bis zu +317 %); **reduzierte Heizbedarf** (bis zu -40%)
- Relative Änderung am höchsten in kalten (Kühlen) und warmen (Heizen) Ländern → Anstieg der Gesamtnachfrage in warmen Ländern
- **Reines Temperatursignal**, ohne zusätzliche AC Durchdringung aufgrund von steigenden Temperaturen

Entwicklung der Erzeugung bis 2071-2100

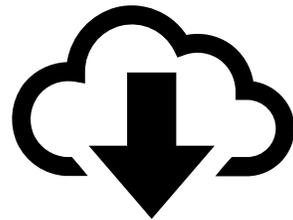


- **Geringster Einfluss** auf PV
- **Regionale Unterschiede** bei der Erzeugung bei **Wind onshore** und **Hydro RoR**
- Abnahme von **Wind Offshore** Erzeugung

Outlook

Updates, Berichte, Policy Briefs und neue Papers hier: <https://www.secures.at/>

Neue verfügbare Datensätze werden dort veröffentlicht.



Kontakt & Fragen
Franziska Schöniger
Projektleiterin SECURES
schoeniger@eeg.tuwien.ac.at
+43 1 58801 370378

Weitere Beiträge auf der EnInnov2024

- Session A1: Wettereinflüsse auf Energiesysteme (Mi, 17:00 – 19:00)

Suna et al.: Identifikation von Extremwetterereignissen aus Sicht des Stromsystems

- Session E3: Systemaspekte der Flexibilisierung (Do, 10:30 – 11:50)

Resch et al.: Der Einfluss des Klimawandels auf den **Flexibilitätsbedarf** im Stromsystem der Zukunft – ein Vergleich der Auswirkungen in Österreich und Europa