

# IDENTIFIKATION VON EXTREMWETTEREREIGNISSEN AUS SICHT DES STROMSYSTEMS

EnInnov 2024

14. Februar 2024 | TU Graz

**Demet Suna**

Competence Unit  
Integrated Energy Systems

Center for Energy, AIT Austrian Institute of Technology

[demet.suna@ait.ac.at](mailto:demet.suna@ait.ac.at)

Co-authors:

F. Schöniger (TU Wien)

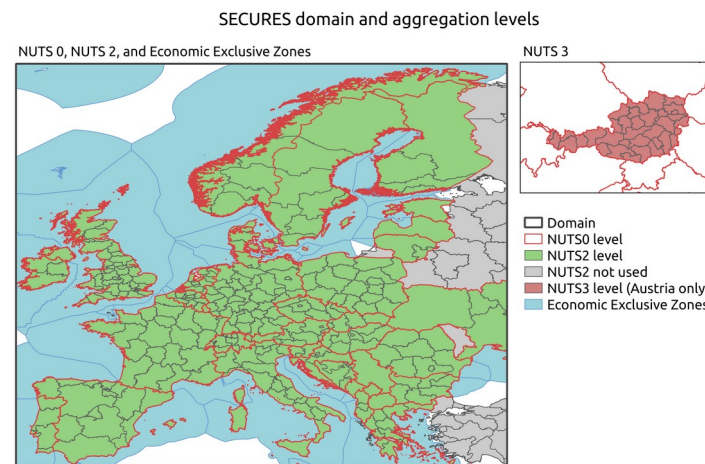
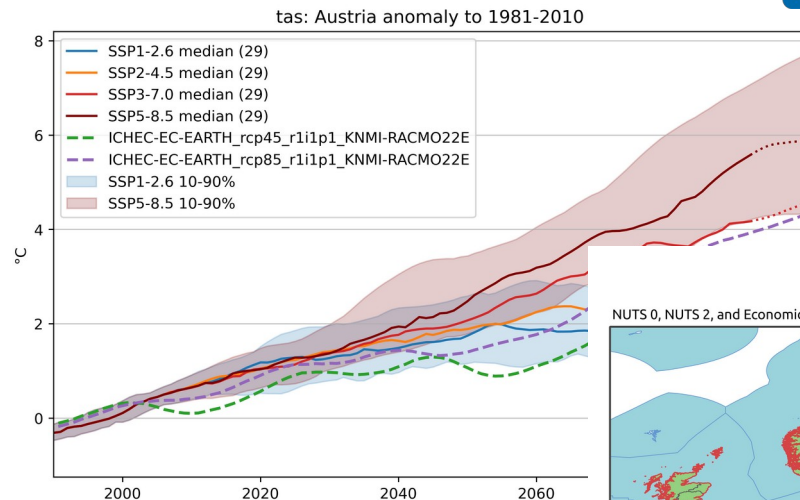
G. Resch, F. Hasengst, G. Totschnig,  
N. Pardo-Garcia, P. Widhalm (AIT)

H. Formayer, P. Maier, D. Leidinger,  
I. Nadeem (BOKU)



## Motivation

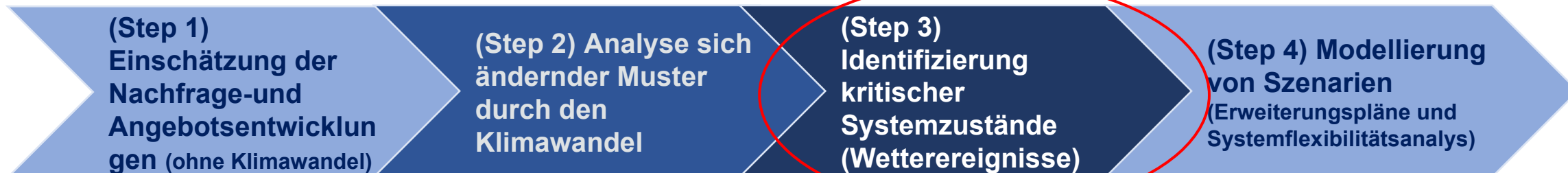
- Steigender Anteil variabler erneuerbarer Energien (VRE) in Energiesystemen → Wetterabhängigkeit
- Identifikation von extremen Wetterereignissen als Grundlage für eine versorgungssichere Systemauslegung



## Method

- **Residuallastanalyse auf Basis von Klimadaten**
  - Detaillierte Screening von Datensätze aus der Klimamodellierung (NUTS3 AT, NUTS0 EU) → RCP 4.5 (Moderater Klimawandel) und RCP 8.5 (Starker Klimawandel)
  - Ableitung der extreme Wetterjahre (Hitzewelle und Dunkelflaute) für weitere Analyse

## Ansatz:

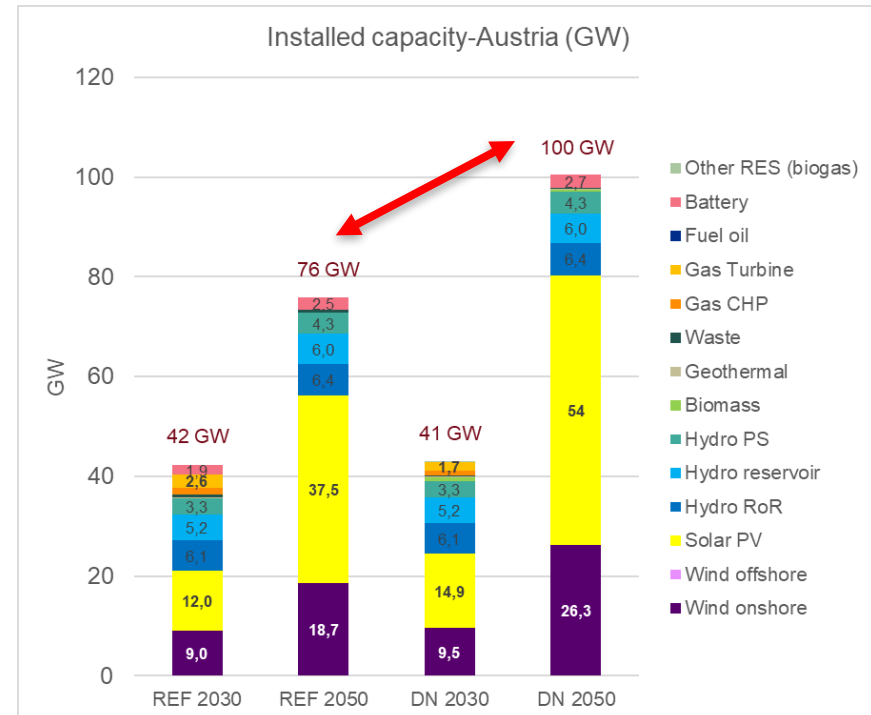
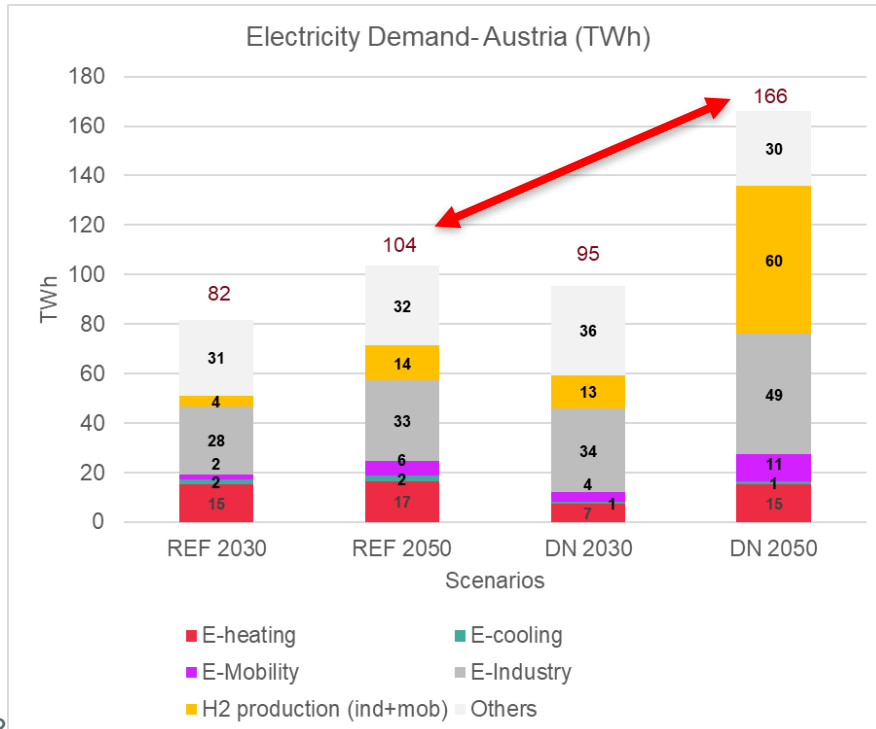


## Decarbonisierungsambitionen: Reference (REF) vs Decarbonisation Needs (DN)

Im Referenzpfad (REF) und entsprechenden Szenarien strebt Österreich eine EE-basierte Stromversorgung bis 2030 und darüber hinaus an. Allerdings stellt es in anderen Sektoren und EU-Ländern geringere Dekarbonisierungsambitionen dar und geht dementsprechend mit einem starken Klimawandelszenario einher (RCP 8.5).

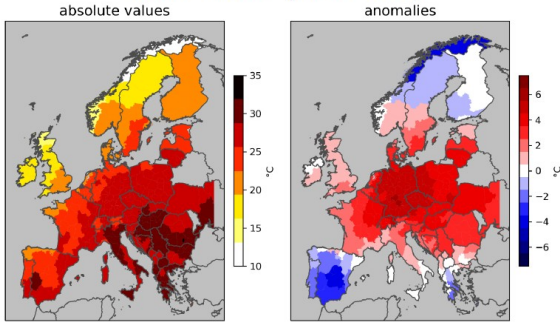


Der Decarbonisation Needs (DN)-Pfad stellt ein starkes (Volle-) Dekarbonisierungsziel in der gesamten EU dar bis 2050. Es wird ein starkes Wachstum der Stromnachfrage erwartet, angetrieben durch eine starke Sektorkopplung zur Dekarbonisierung anderer Sektoren wie Industrie und Mobilität. DN wurde mit einem moderaten Klimawandelszenario gekoppelt (RCP 4.5).



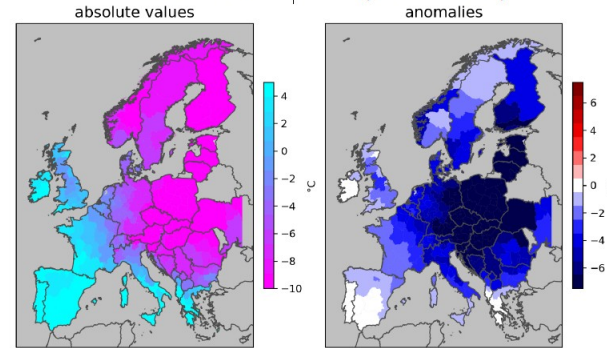
# IDENTIFIZIERUNG VON EXTREMEN WETTEREREIGNISSE AUS SICHT DER METEOROLOGIE

Monthly mean maximum temperature  
June 2039 (RCP 8.5)



Anomalies	Austria	Europe
T [°C]	5.3	4.0
Tmax [°C]	6.3	4.4
Tmin [°C]	4.0	3.4
WP [%]	56.3	95.5
WP offshore [%]	-	92.1
Radiation [%]	120.1	110.6
HP [%]	58.2	107.5

Monthly mean minimum temperature  
December 2047 (RCP 8.5)



Anomalies	Austria	Europe
T [°C]	-5.1	-3.3
Tmax [°C]	-5.0	-3.6
Tmin [°C]	-5.5	-2.9
WP [%]	117.1	90.0
WP offshore [%]	-	94.3
Radiation [%]	98.3	93.7
HP [%]	78.8	142.7

Hitzewelle vom Juni 2039 für RCP 8.5 mit absoluter Maximaltemperatur und dargestellter Anomalie (links). Anomalien für Temperatur (T), Windkraftpotenzial (WP), Strahlung und Wasserkraftpotenzial (HP) im Vergleich zum der historische Zeitraum (1991-2020) in der Tabelle angezeigt (rechts).

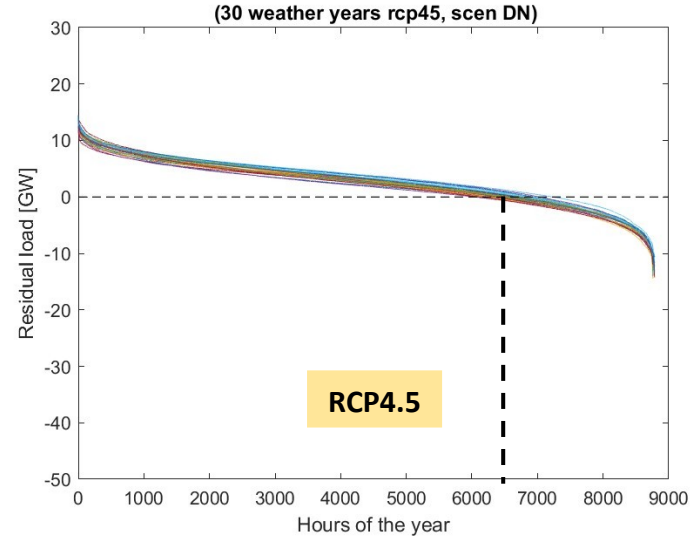
Kälteperiode im Dezember 2047 für RCP 8.5 mit absoluter Tiefsttemperatur und dargestellter Anomalie (links). Anomalien für Temperatur (T), Windkraftpotenzial (WP), Strahlung und Wasserkraftpotenzial (HP) im Vergleich zum der historische Zeitraum in der Tabelle (rechts).

RCP 4.5 / RCP 8.5	1991 - 2020	2016 - 2045	2036 - 2065	2071 - 2100
<b>Normal</b>	1997 / 1997	2043 / 2033	2062 / 2046	2073 / 2084
<b>Extreme Heat</b>	2016 / 2018	2028 / 2039	2059 / 2057	2085 / 2097
<b>Extreme Cold</b>	1992 / 1992	2037 / 2016	2040 / 2047	2096 / 2073

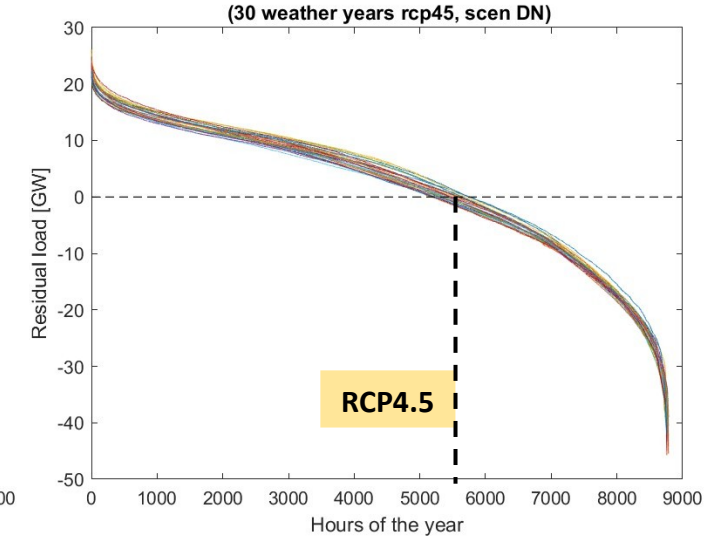
Residuallast = Last - PV - Wind - Laufwasser

- Darstellung von jeweils 30 Wetterjahren in zwei Klimawandelszenarien und Kombination mit DN-Welt
- Dekarbonisierung des Gesamtenergiesystems erhöht positive und negative Residuallastspitzen deutlich
- Anteil der Stunden mit positiver Residuallast verringert sich:
  - 2030: ca. 6500 h
  - 2050: ca. 5500 h
- Transformation des Energiesystems hat deutlich größere Auswirkungen auf die Residuallast als versch. Wetterjahre

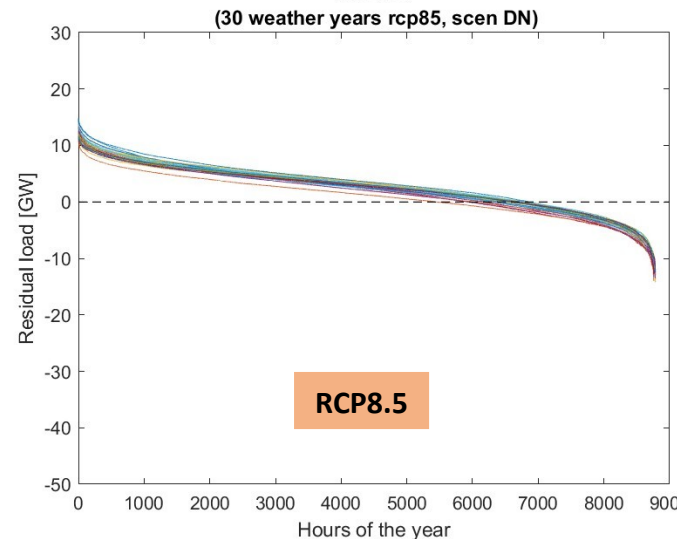
## Stromsystem 2030



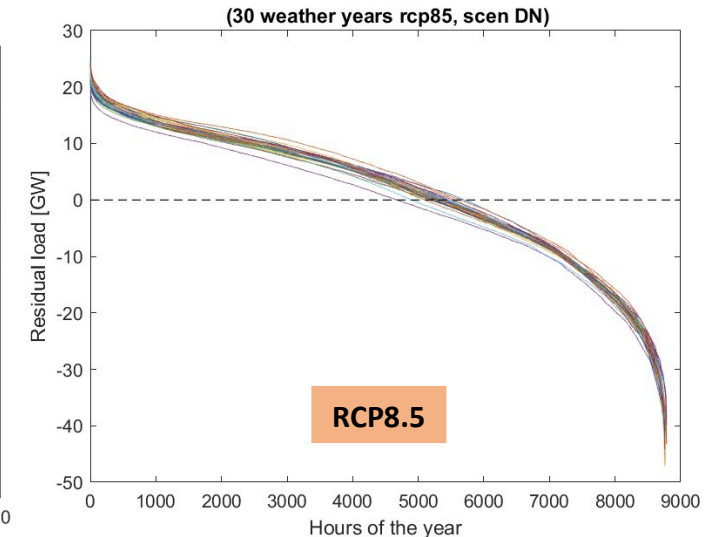
## Stromsystem 2050



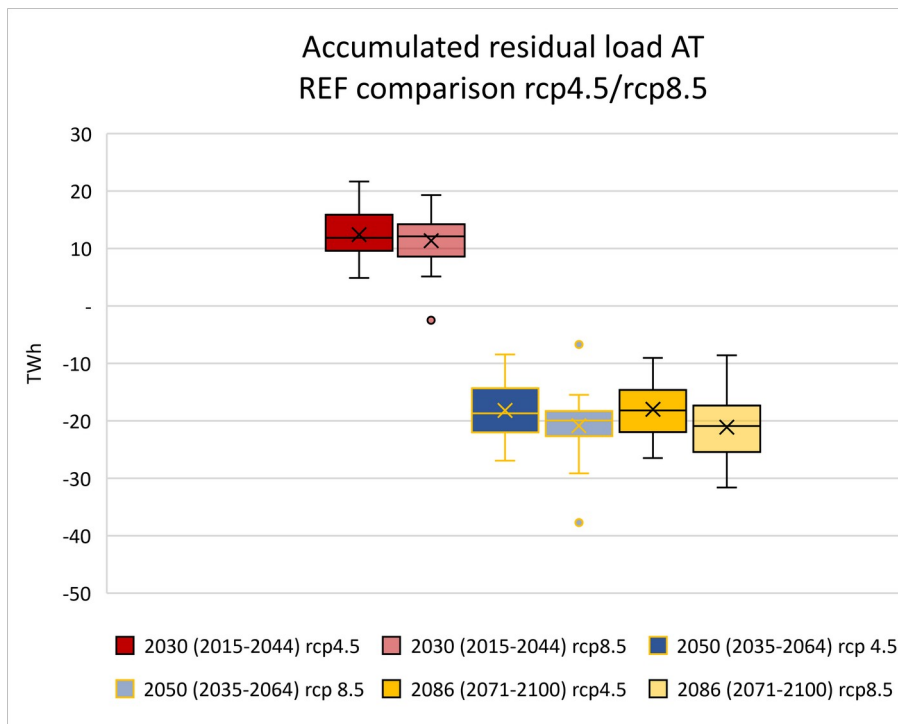
AT 2030



AT 2050



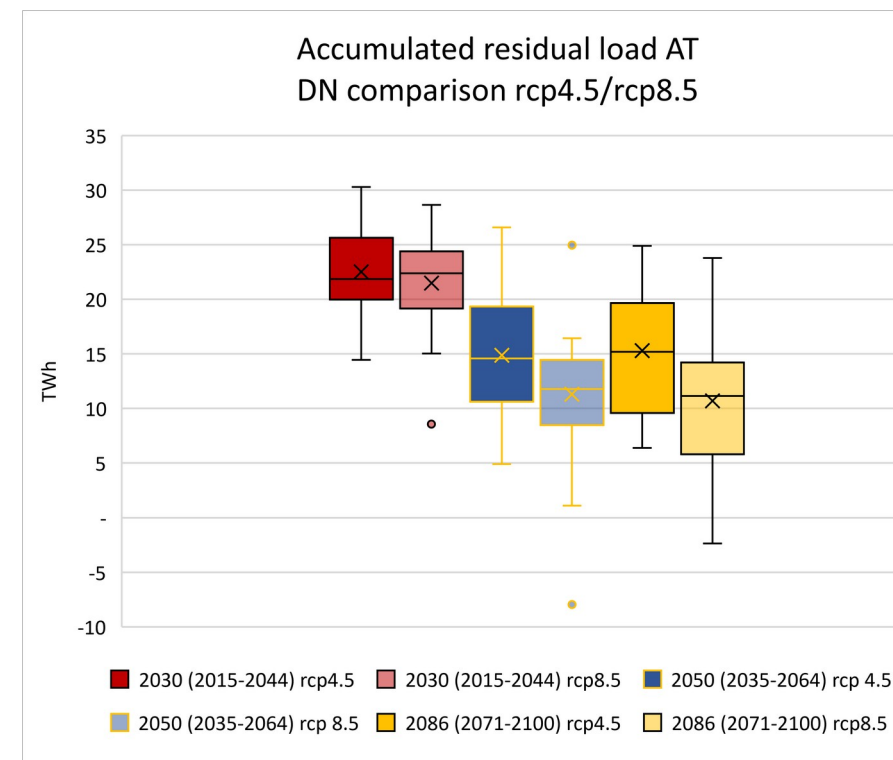
## REF- WELT



- Keine große Änderung zw. Klimawandelszenarien
- REF-2050-RCP8.5 → Ausreiserjahre treten auf

Jeder Balken stellt die 30 Wetterjahre dar (um das Jahr 2030/2050/2086)

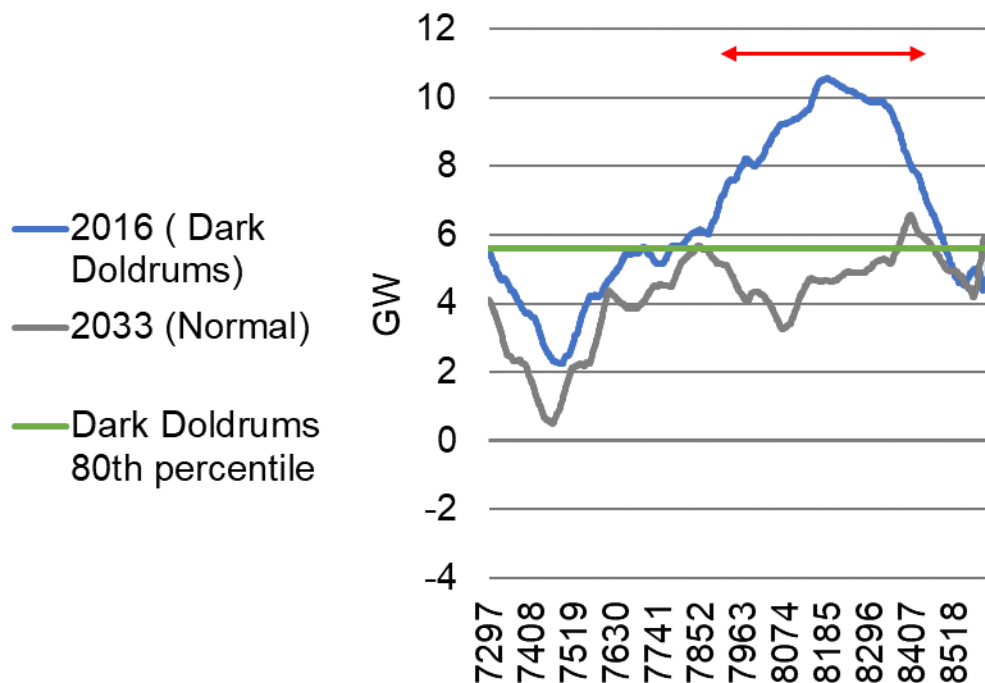
## DN-WELT



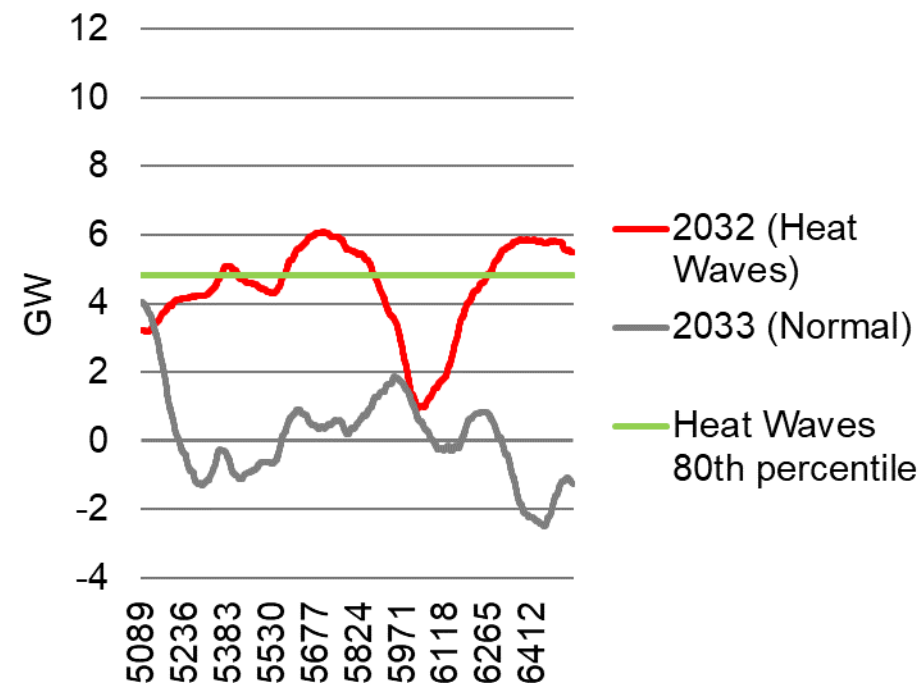
- Hohe positive RL
- Keine große Änderung zw. Klimawandelszenarien
- DN-2050-RCP8.5 → Ausreiserjahre treten auf

**Zentraler Indikator Residuallastspitzen:** mindestens 1 Woche sehr hohe Residuallast\* (hohe Last/geringe Erzeugung → Dunkelperioden/Hitzewellen)

Annual RL-REF 2030 –Austria (RCP 8.5)  
Weather years 2016 and 2033; Months: 11,12



Annual RL-REF 2030-Austria (RCP 8.5)  
Weather Years 2032 and 2033; Months: 8,9



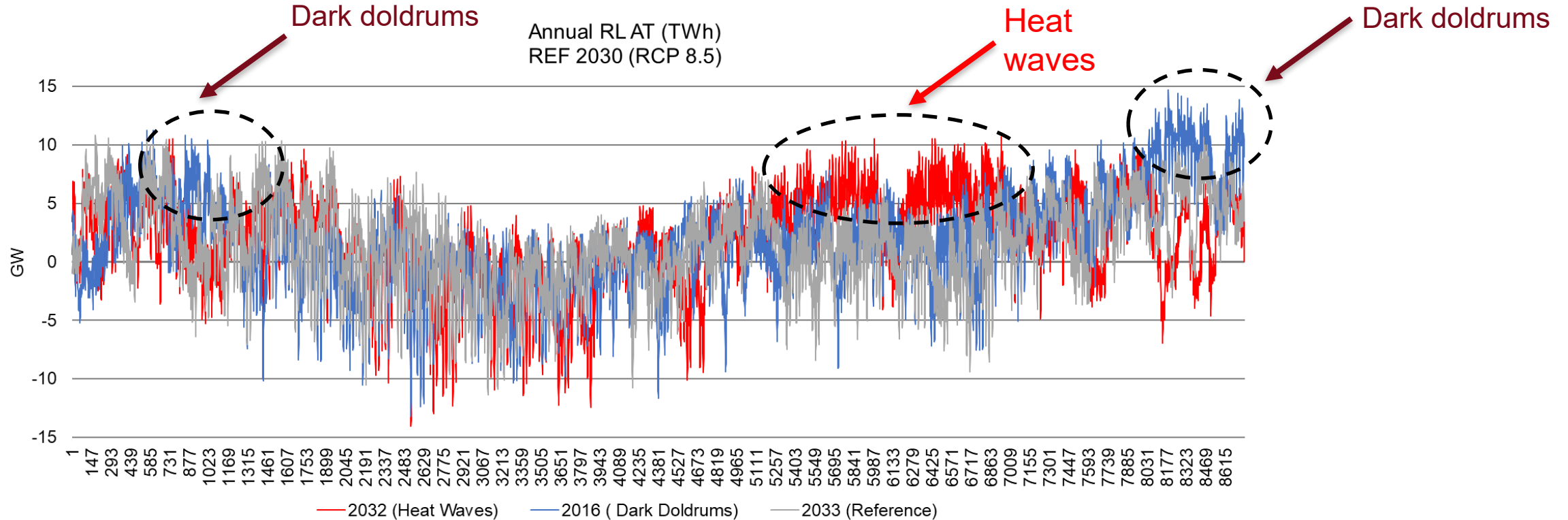
\*Identifizierte Zeiträume, in denen über eine Zeitspanne von mehr als sieben Tagen die durchschnittliche wöchentliche RL (gleitender Durchschnitt von 7 Tagen) über dem 80. Perzentil der positiven RL liegt.

## Identifizierte Wetterjahre: Repräsentatives Jahr und Jahre für Hitzewelle und Dunkelflaute

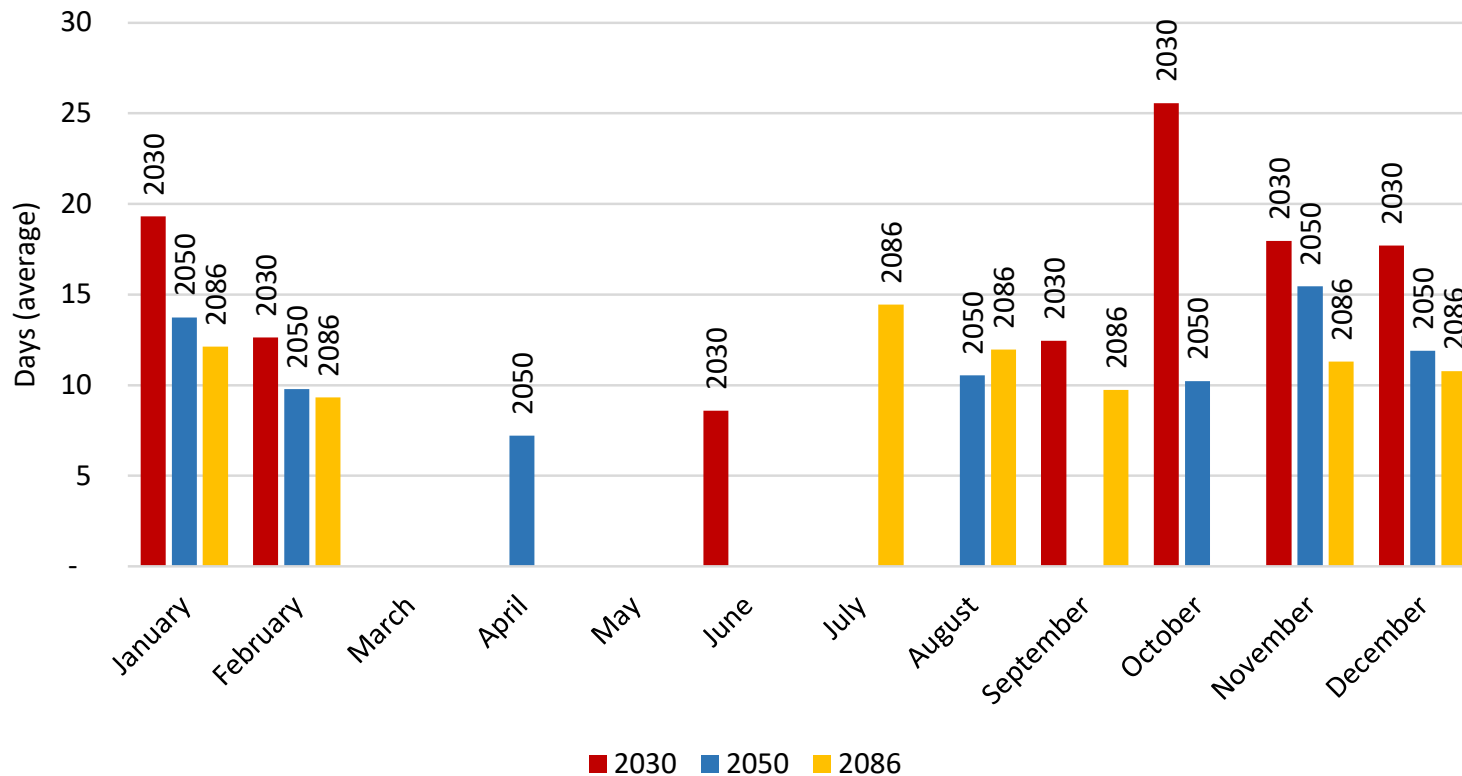
<b>RCP4.5 (DN-Szenarien)</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Repräsentatives Jahr (Normal)	2043	2062
Hitzewelle	2028 (23 Tage beginnend in Woche 27)	2046 (Woche 38 und 39)
Dunkelflaute	2037 (50 Tage beginnend in Woche 1)	2037 (49 Tage beginnend in Woche 2)
<b>RCP 8.5 (REF-Szenarien)</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Repräsentatives Jahr (Normal)	2033	2049
Hitzewelle	2032 (14 Tage beginnend in Woche 38)	2057 (40 Tage (CEU) beginnend in Woche 31)
Dunkelflaute	2016 (9 Tage beginnend in Woche 3; 30 Tage beginnend in Woche 47)	2047 (17 Tage (CEU) beginnend in Woche 47)



# JAHRESVERLAUF DES RESIDUALLAST BEISPIEL: REF-2030 SZENARIO



Residuallastspitzen Zentraleuropa  
rcp4.5, DN scenario

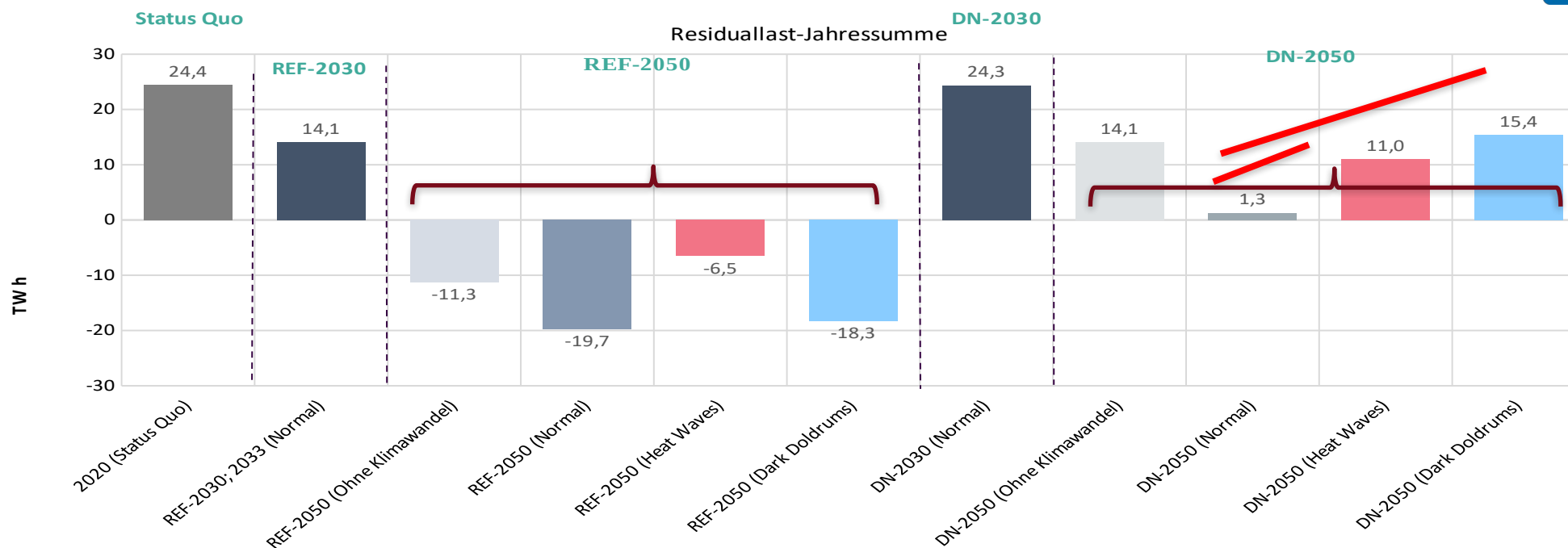


Mittleuropa = FR, DE, Benelux, AT, CZ, PL, HU, SI, SK

Jeder Balken stellt den Mittelwert von 30 Wetterjahren dar (um das Jahr 2030/2050/2086)

- Die Residuallast erreicht im Winterhalbjahr häufiger und länger ihren Höhepunkt, nimmt aber langfristig mit dem Klimawandel ab.
- Weitere Sommerspitzen kommen hinzu (Juli/August)
- Residuallastspitzen variieren regional (Erzeugungs- und Nachfragemix)

# INDIKATOREN: RL-JAHRESSUMME FÜR IDENTIFIZIERTE JAHRE

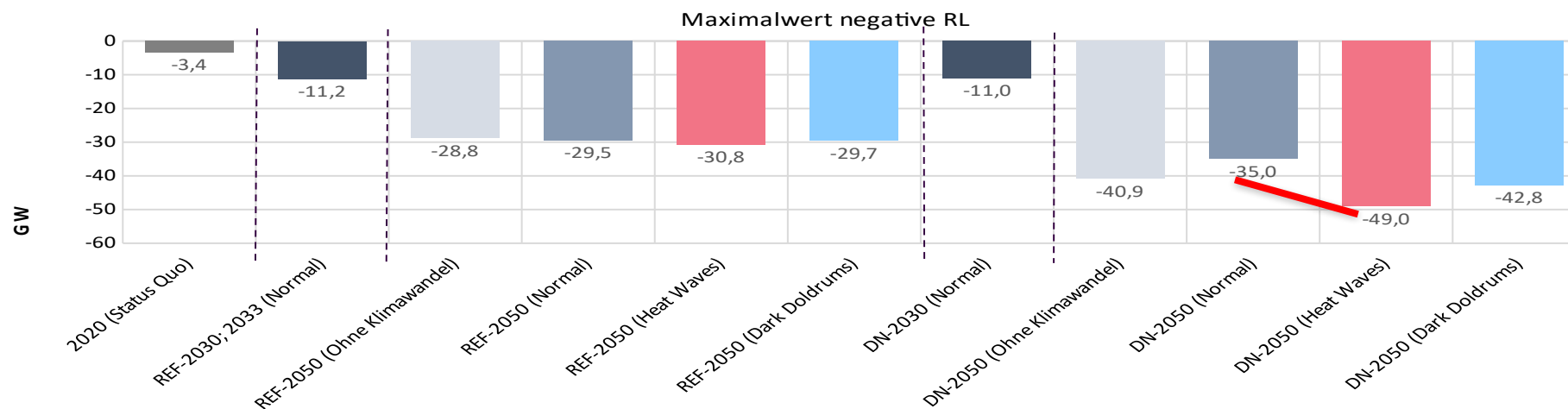
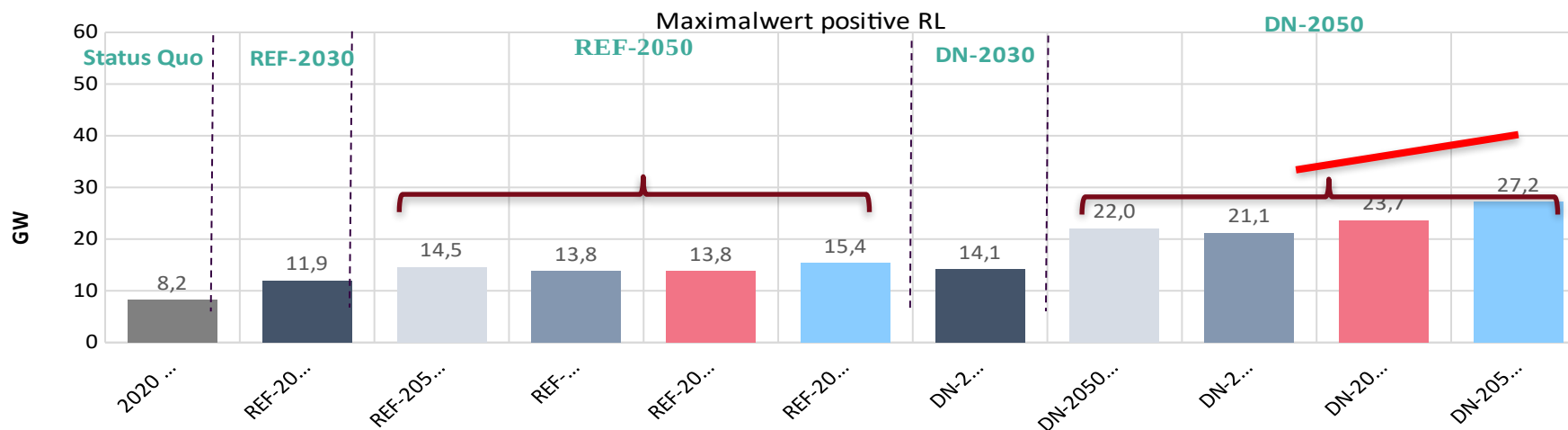


## Jahressumme der RL

- **in der REF-Welt:** im Jahr 2030 sinkt im Vergleich zum Status Quo (2030, 100% EE-Ziel in Österreich).
- Weiterer Ausbau der EE in 2050 (mit moderate Nachfragesteigerung) führt zu Überdeckung.

## In der DN-Welt:

- hoher Strombedarf durch starke Sektorkopplung.
- ändert sich extrem in Dunkelflute und Hitzewelle. In Dunkelflaute höchste Unterdeckung (ca. 14 MW mehr als im Normaljahr).



- Maximaler Wert der positiven Residuallast → Unterdeckung (GW) (Speicherentladung, Import...)
- Systemänderung hat signifikanten Einfluss (cf. DN-2050 vs. REF-2050)
- In DN-2050: Das Jahr mit Dunkelflaute hat den höchsten Maximalwert der Unterdeckung, (6 MW mehr RL im Vergleich zum normalen Jahr).

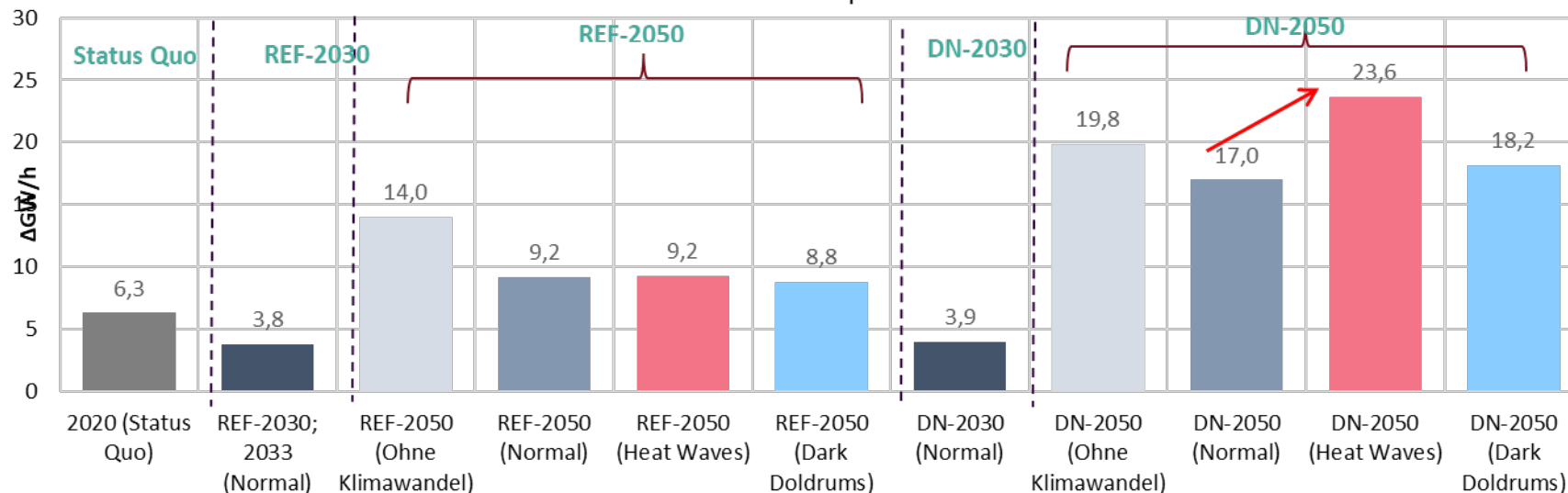
Maximale negative Residuallast (GW) (→ Überdeckung → Speicherladen, Export)

- Höchster Wert ist im Falle von Hitzewelle.
- Im Falle von DN-2050 → In Hitzewelle, 14 GW mehr Erzeugung im Vergleich zu normalem Jahr.

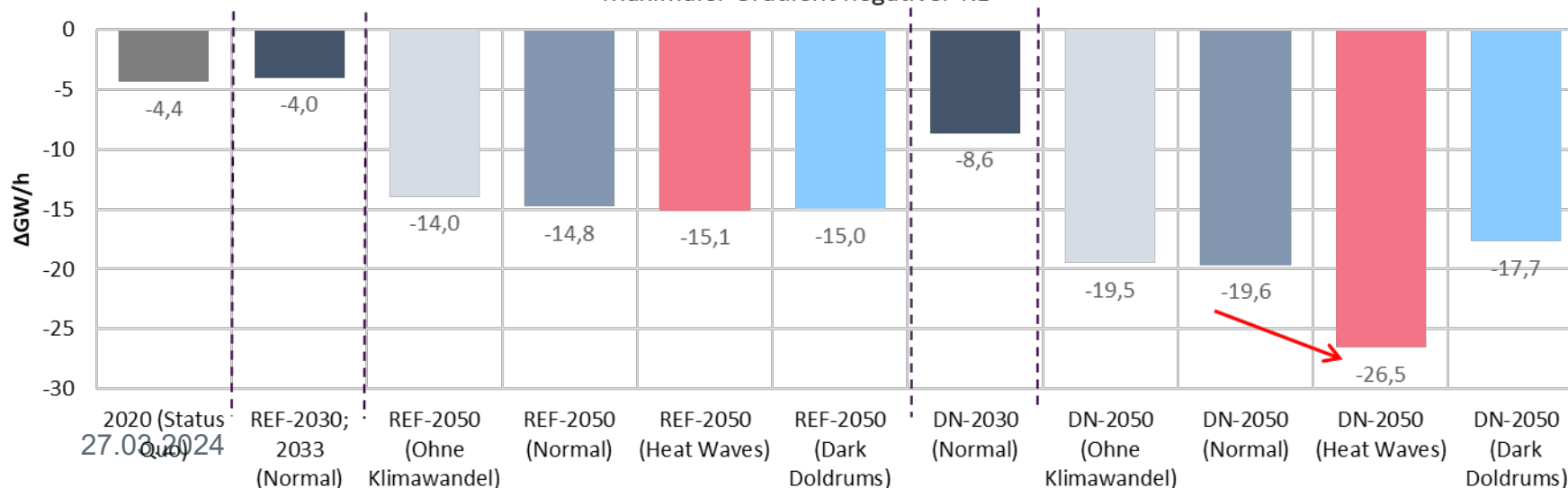
# INDIKATOREN : DYNAMIK DER RESIDUALLAST

## SECURES MAX GRADIENTEN

Maximaler Gradient positiver RL



Maximaler Gradient negativer RL

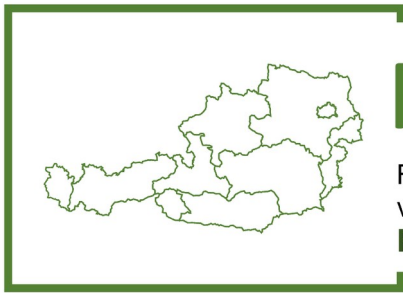


Dynamik bzgl. der Änderung der Residuallast ( $\Delta GW/h$ )

- Der kritischste Systemzustand erscheint bei einer Hitzewelle.
- Maximale Änderung der Unterdeckung in einer Stunde um ca. 7 GW mehr im Vergleich zu normalem Jahr

- Max. Änderung der Überdeckung in einer Stunde im Vergleich zu normalem Jahr ca. 7 GW  $\rightarrow$  kurzzeitiger Flex-Bedarf, z.B. Kurzzeitspeicheroptionen

- Die meteorologische Identifikation kritischer Wetterjahre liefert Hinweise, jedoch keine ausreichenden Informationen aus Sicht der Stromsysteme.
- Die Residuallast dient als nützlicher Indikator und kann frühzeitig Informationen über (kritische) Systemzustände und den Flexibilitätsbedarf liefern
- Nicht nur der Klimawandel, sondern auch Systemänderungen haben einen großen Einfluss (erhöhte Nachfrage und Ausbau wetterabhängiger erneuerbarer Energien).
- Die Analyse zeigt, dass kritische Systemzustände in einer vollständig dekarbonisierten Welt bei Dunkelflaute aber vor allem bei Hitzewellen auftreten (Dynamik bzw. Änderung der Residuallast).
- Für die Versorgungssicherheit in Zukunft sollen kritische Wetterereignisse in der Energieplanung mitberücksichtigt werden.



# ROBINE

Regionsspezifische Impactuntersuchung  
von Klimawandel für eine  
**ROB**uste und **IN**tegrale **E**nergieinfrastruktur



## ROBINE: PROJEKTZIELE

- **Sondierung des wesentlichen Basiswissens und der Datenbasis für Entwicklung einer standortspezifischen und integralen Energieplanung** in Österreich.
- **Untersuchung von Risiken und Chancen** für eine zukünftige sektorgekoppelte Energieinfrastruktur **in enger Abstimmung mit Stakeholdergruppen** in praxisorientierter und systematischer Art und Weise.
- **Identifizierung und Prozessierung von regionalen Klima-Modell-Datenquellen** und Ermittlung der Auswirkungen des Klimawandels
- **Vorselektion chancenreicher und risikobehafteter Standorte**, die im Rahmen eines weiteren möglichen Forschungsvorhabens im Fokus liegen könnten.
- **Identifizierung der methodischen Wege zur realistischen Abbildung** der Risiken (z.B. Betriebsausfälle) und Chancen in den langfristigen-Energieinfrastrukturplanungen



<https://projekte.ffg.at/projekt/4875808>

**Online – Stakeholderworkshop**  
(Identifikation der Klimawandeleffekten aus Sicht der Praxis zur integralen Energieinfrastrukturplanung)  
am **12. März von 09:30 – 12:00**  
**Bei Interesse:**  
[Demet.suna@ait.ac.at](mailto:Demet.suna@ait.ac.at)



# VIELEN DANK!

Demet Suna,  
AIT, Center for Energy,  
Integrated Energy Systems  
[demet.suna@ait.ac.at](mailto:demet.suna@ait.ac.at)