

# DER EINFLUSS DES KLIMAWANDELS AUF DEN FLEXIBILITÄTSBEDARF IM STROMSYSTEM DER ZUKUNFT - BLICK AUF ÖSTERREICH (UND EUROPA)

**Gustav Resch,**

**Florian Hasengst, Demet Suna, Nicolas Pardo-Garcia,  
Peter Widhalm, Gerhard Totschnig, Franziska Schöniger**

Senior Scientist, Thematic Coordinator  
for Energy Scenarios and System Planning

Competence Unit  
Integrated Energy Systems

Center for Energy, AIT

[gustav.resch@ait.ac.at](mailto:gustav.resch@ait.ac.at)

basierend auf Erkenntnissen aus  
der Studie SECURES ([www.secures.at](http://www.secures.at))



**SECURES**

# INHALT

1. SECURES ... die Studie im Überblick
2. Dekarbonisierung: Ausgangslage bei Energie und Treibhausgasen  
... Herausforderungen und Lösungsansätze
3. Was heißt Klimawandel für unser Energiesystem?
4. Blick auf die Versorgungssicherheit für Österreichs (und Europas)  
Stromsystem der Zukunft
5. Fazit

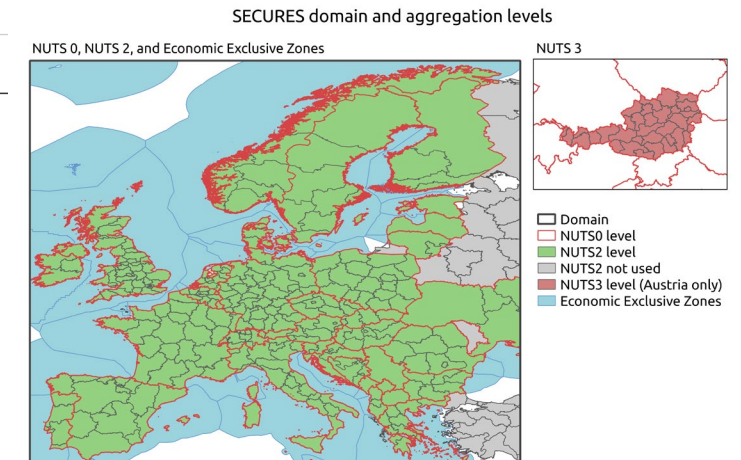
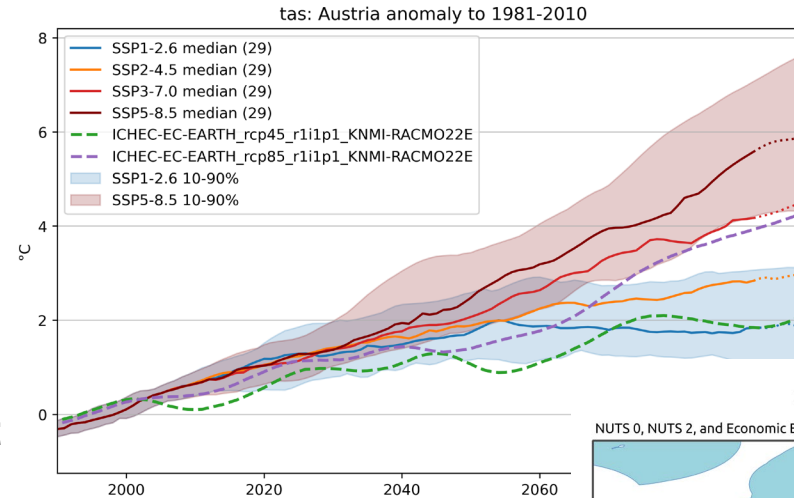
## Motivation Projekt SECURES

- Analyse der **Auswirkungen des veränderten Klimas/Wetters** auf optimale Investitionsentscheidungen für den Umbau des Energiesystems
- Abschätzung der benötigten **Systemflexibilität**

## Methode

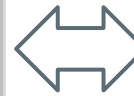
- **Kombination von Klima- und Energiesystemmodellierung**
- **Detaillierte Open-Source-Datensätze aus der Klimamodellierung** (NUTS3 AT, NUTS0 EU) als Input für die Modellierung des Energiesystems

## Vorgehensweise

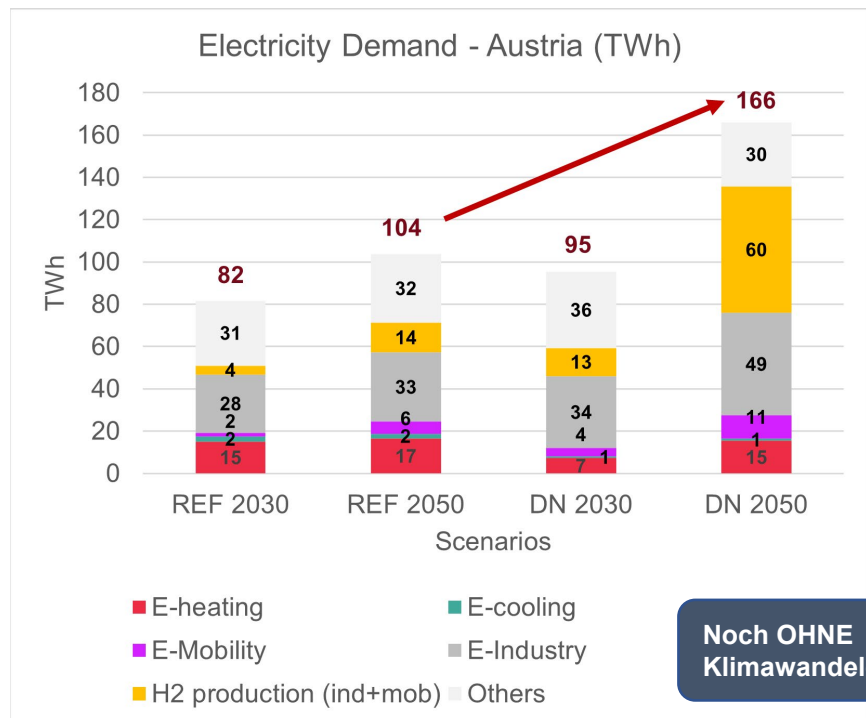


## Untersuchte Transformationspfade: Reference (REF) vs Decarbonisation Needs (DN)

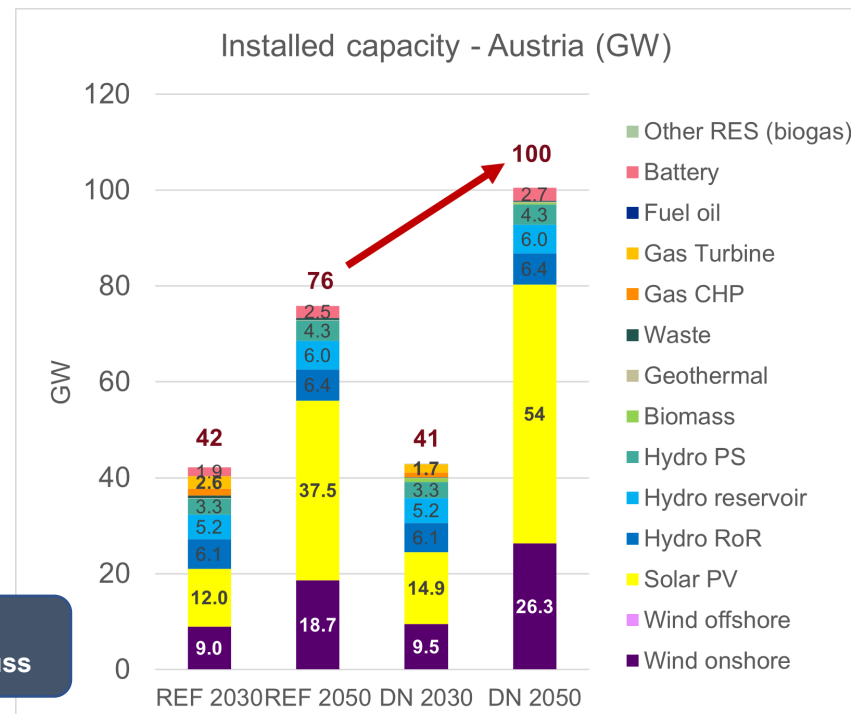
Im **Referenzpfad (REF)** und den entsprechenden Szenarien strebt Österreich bis 2030 und darüber hinaus eine EE-basierte Stromversorgung an. In anderen Sektoren und EU-Ländern werden jedoch **weniger ambitionierte Dekarbonisierungsziele** verfolgt. Dementsprechend wurde in REF ein **starker Klimawandel** unterstellt (Klimaszenario RCP 8.5).



Der Pfad „**Decarbonisation Needs**“ (DN) steht für ein ehrgeiziges Dekarbonisierungsziel in der gesamten EU, das bis 2050 einen Netto-Null-Wert vorsieht. Es wird ein starker Anstieg der Stromnachfrage erwartet, der durch eine starke sektorale Kopplung zur Dekarbonisierung anderer Sektoren wie Industrie und Mobilität angetrieben wird. Der DN-Pfad wurde mit einem **moderaten Klimawandelszenario (RCP 4.5)** gekoppelt.



**Noch OHNE Klimawandeleinfluss**



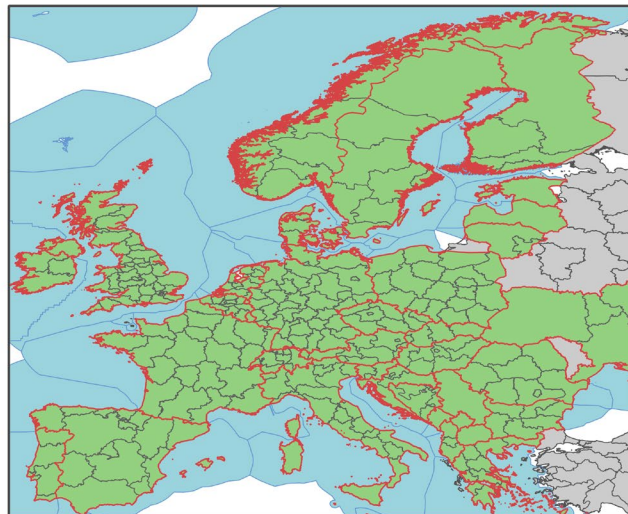
**SECURITY OF SUPPLY (SoS)**  
Für beide Pfade haben wir Wetterjahre analysiert, die **extreme Wetterbedingungen** (z. B. **Hitzewelle, Dunkelflaute**) für die mittlere Zukunft (2050) widerspiegeln

Zwei Klimaszenarien wurden analysiert:

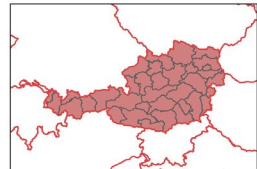
- **Starker Klimawandel (RCP 8.5)**  
... verknüpft mit Referenz-Szenario (REF)
- **Moderater Klimawandel (RCP 4.5)**  
... verknüpft mit Decarbonisation Needs Szenario (DN)

SECURES domain and aggregation levels

NUTS 0, NUTS 2, and Economic Exclusive Zones



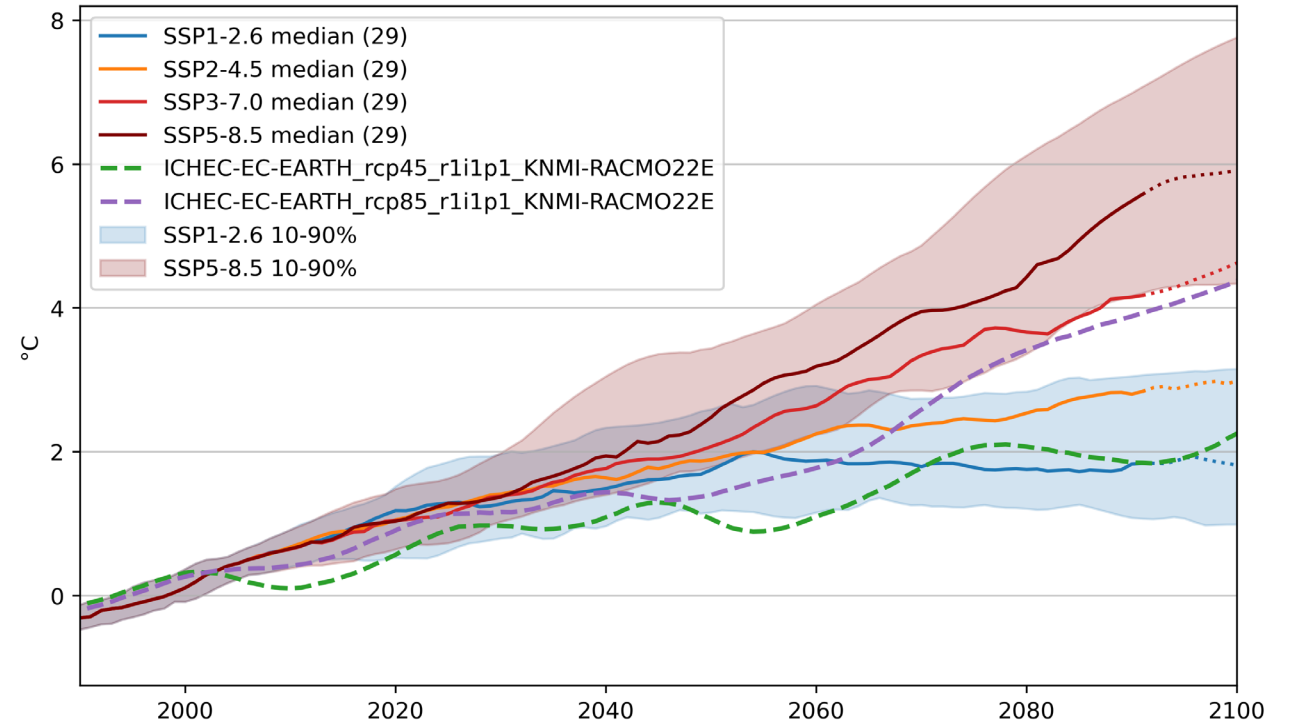
NUTS 3



- Domain
- NUTS0 level
- NUTS2 level
- NUTS2 not used
- NUTS3 level (Austria only)
- Economic Exclusive Zones

→ **Detaillierte Open-Source-Datensätze aus der Klimamodellierung (NUTS3 AT, NUTS0 EU)** als Input für die Modellierung des Energiesystems

tas: Austria anomaly to 1981-2010



### (3) Einfluss des Klimawandels auf die Energieversorgung: NACHFRAGE UND DARGEBOT IM WANDEL

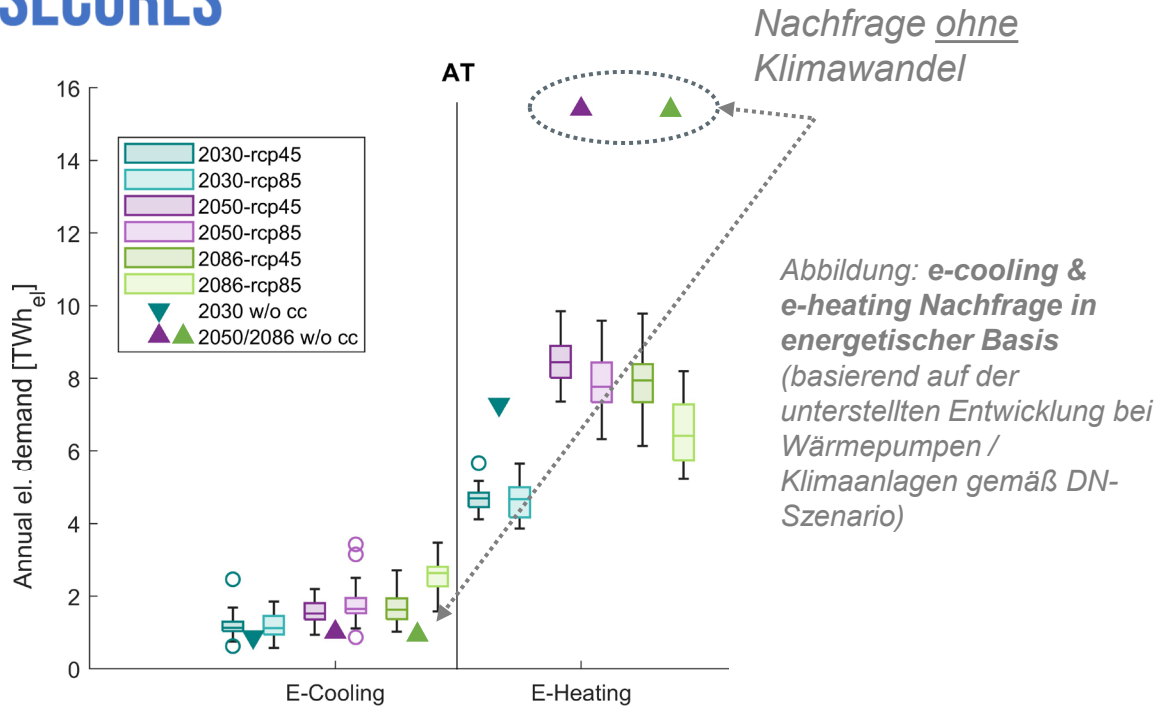
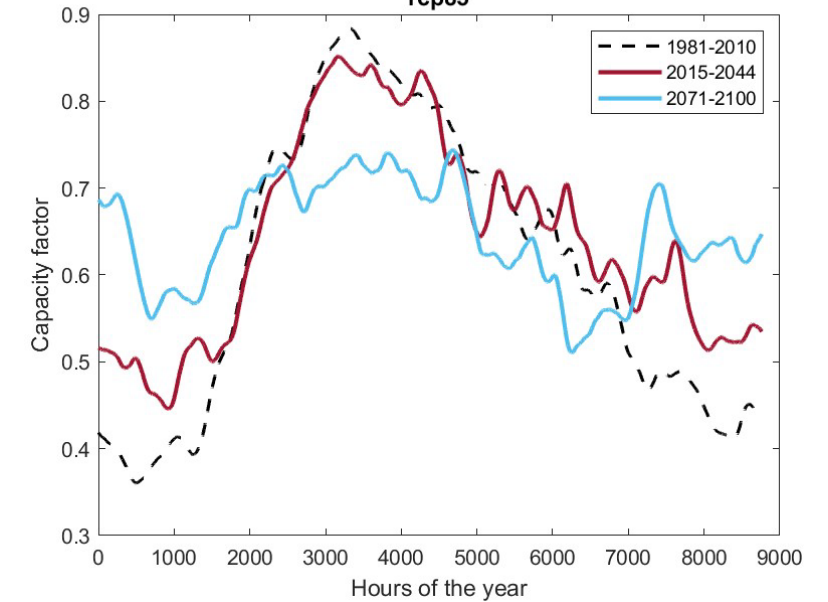


Abbildung: Änderungen der saisonalen Verfügbarkeit bei der Laufwasserkraft (RCP 8.5)



#### Nachfrage: Blick auf Wärme- und Kälte

- **Rückgang des jährlichen Wärmebedarfs** (um ca. 50 % bis zum Ende des Jahrhunderts)
- **Anstieg des Kühlbedarfs** (bis zu 350%)
- Da der E-Heizbedarf in Österreich höher ist als der E-Kühlbedarf, wird **insgesamt ein negativer Nettoeffekt** erwartet.

#### Dargebot

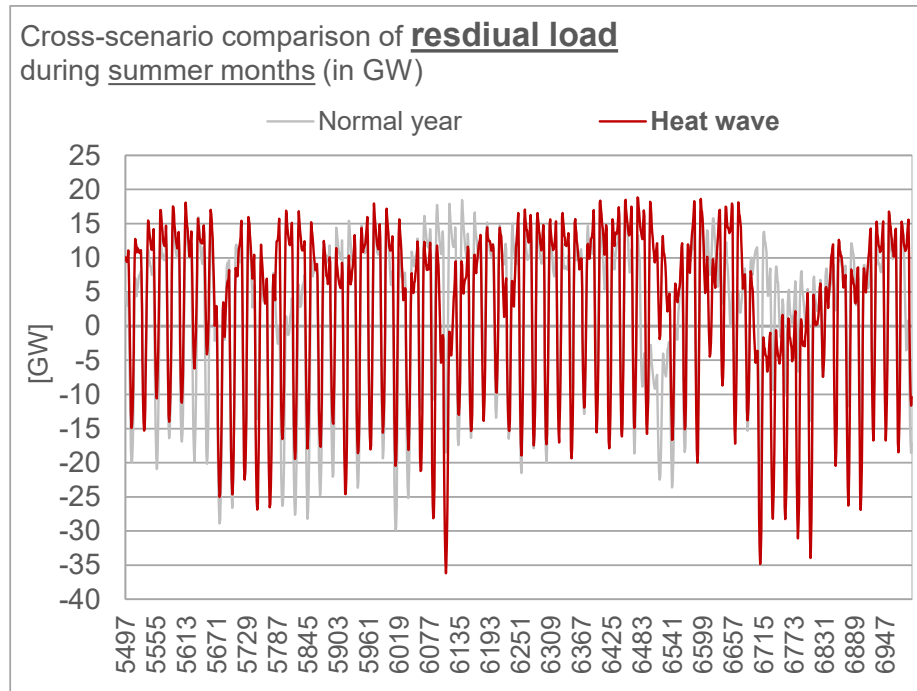
- **Temperaturbedingte Verluste verringern langfristig leicht die PV-Erträge** (RCP 8.5)
- **Leichter Anstieg der Windenergieerträge** bei stärkerem Klimawandel (RCP 8.5)
- **Höhere Variabilität der Laufwasserkraft** bei stärkerem Klimawandel (RCP 8.5) nach 2050; kein genereller Rückgang der Produktion, aber eine **Veränderung der saisonalen Verteilung**
- **Extremwetter (Hitzewellen): Auswirkungen auf Verfügbarkeit thermischer Kraftwerke** (Kühlbedarf!)

## Residuallast als Basis

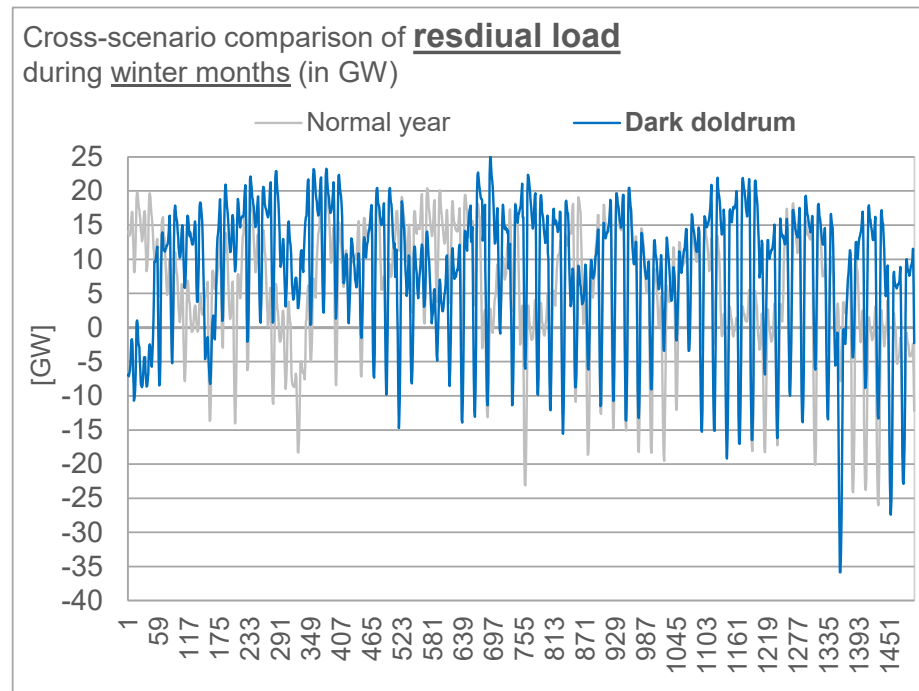
- **Residuallast (RL)** diene als Grundlage für die Identifizierung kritischer Systemzustände
- RL definiert als **(unflexible) Last abzüglich der Stromeinspeisung aus wetterabhängigen erneuerbaren Energien (Wind, Laufwasserkraft, PV)**

## Umfassende Voranalyse der Klimadaten (Wetterjahre)

- **Identifikation von kritischen Systemzuständen** wie **Hitzewellen** und **Dunkelflauten** durch ein **systematisches Screening der berechneten RL**, durchgeführt für alle Klimawetterjahre
- Ableitung der für die Modellierung verwendeten Wetterjahre



Abbild.: Vergleich der RL im Sommer

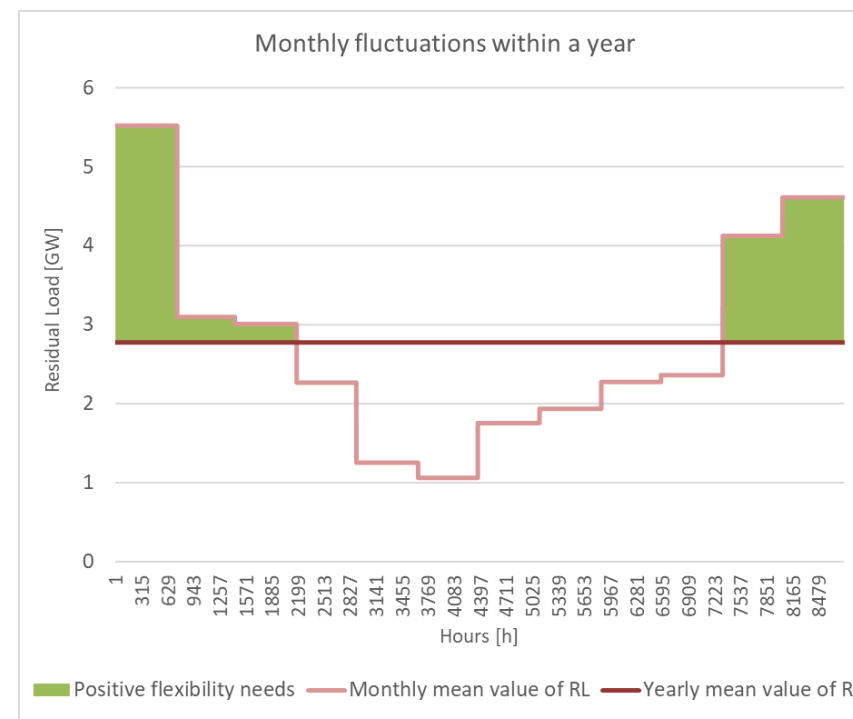
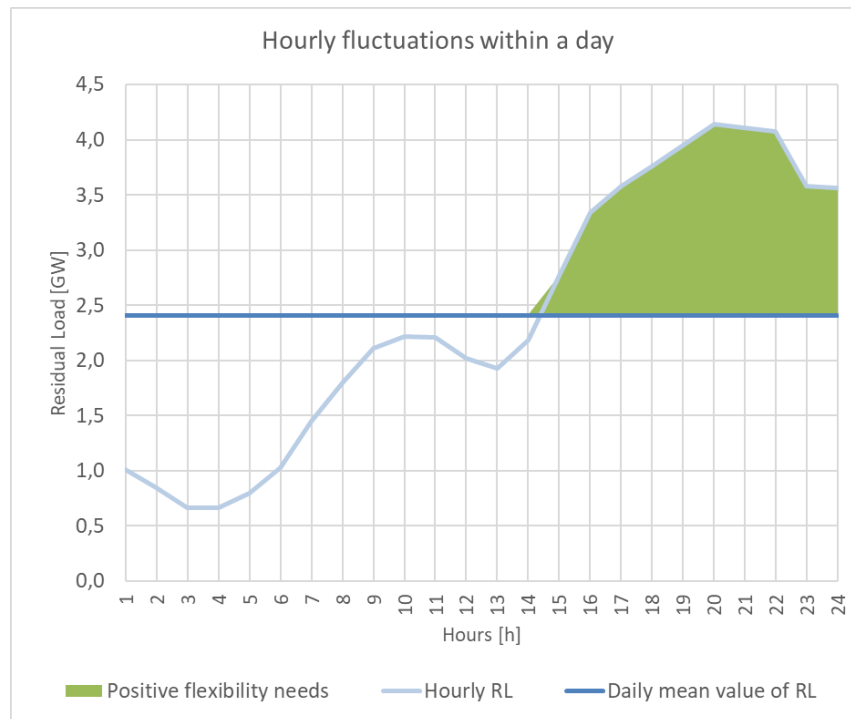


Abbild.: Vergleich der RL im Winter

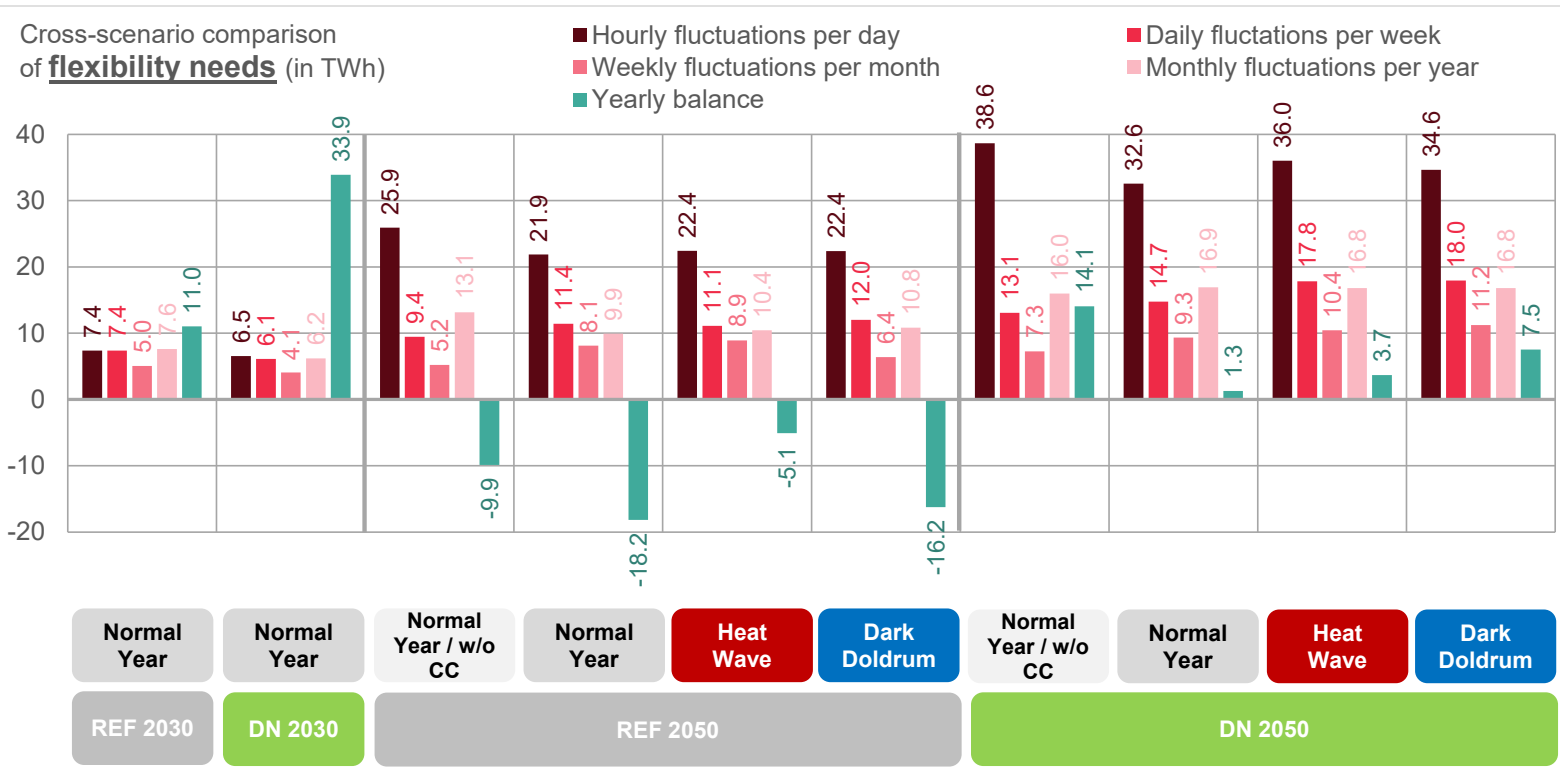
## Versorgungssicherheitsaspekte auf Systemebene

### Flexibilitätsbedarf und dessen Deckung:

- auf Basis der **Leistungsbereitstellung im Stromsystem** (kurzfristig, Ausgleich von stündlichen Schwankungen innerhalb eines Tages),
- und auf **elektrisch energetischer Systemebene** (u. a. mittelfristig, Ausgleich von Tages- und Wochenschwankungen, und langfristig, Ausgleich von Monatsschwankungen)







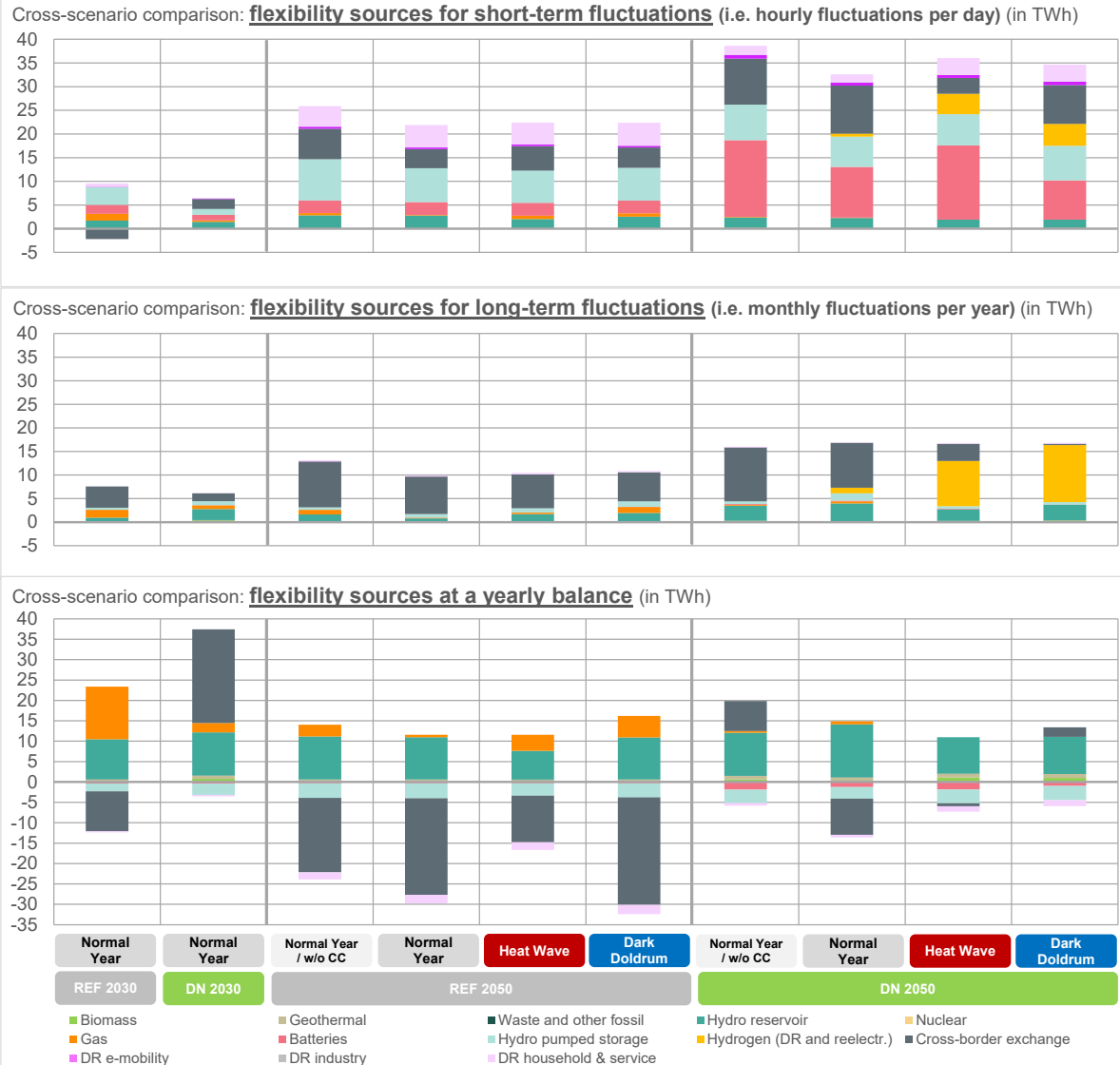
## Kernergebnisse:

- **DN vs REF: Energiewende als zentrale Herausforderung:**  
 → Mit einer massiv höheren Nachfrage und einem höheren Anteil an wetterabhängiger Erzeugung nehmen die kurzfristigen Schwankungen in der entsprechenden Stromerzeugung stark zu
- **Klimaauswirkungen: Extreme Wetterereignisse sind für die künftige Planung des Energiesystems von Bedeutung** und wirken sich insbesondere auf den kurzfristigen Bedarf an Flexibilität aus

Abbildung: Szenarienvergleich des **Flexibilitätsbedarfs** in unterschiedlichen Zeitperioden (kurz- bis langfristig) 2030 und 2050



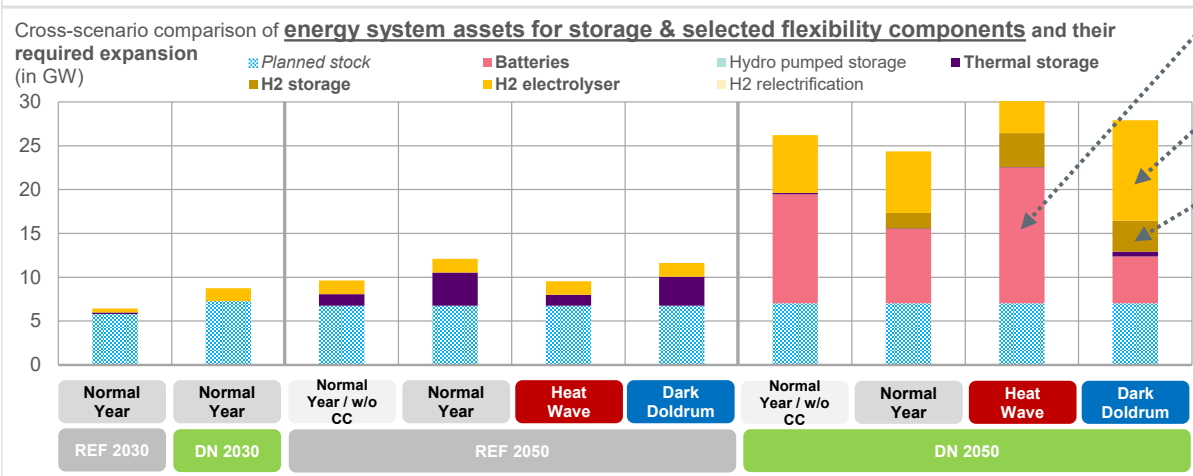
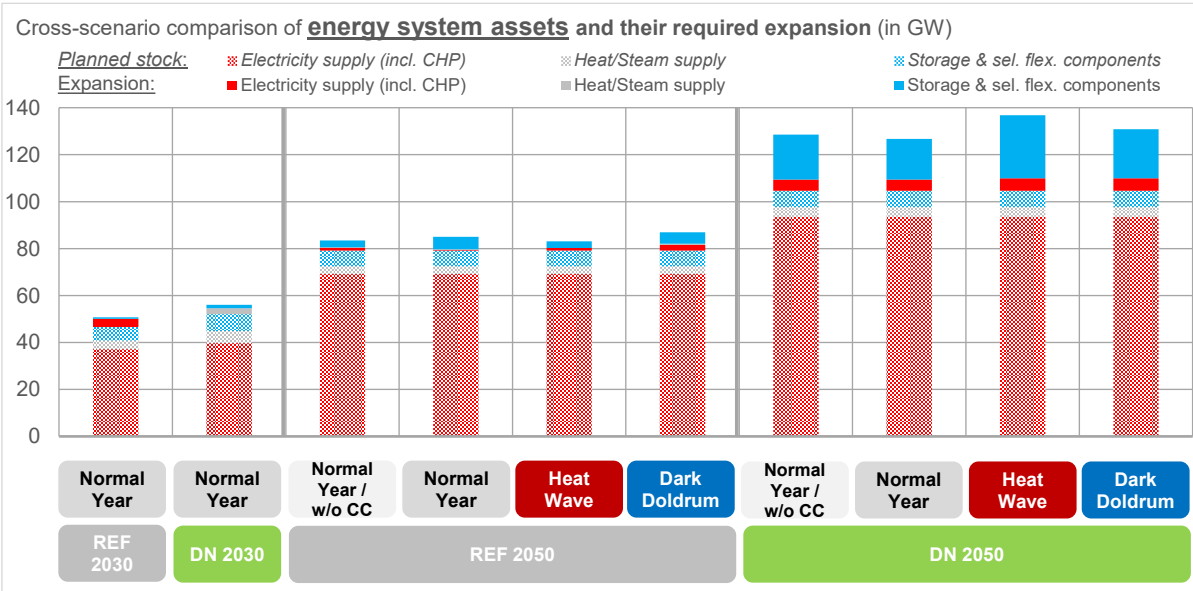
# (4) Energiesystemmodellierung mit Fokus auf Versorgungssicherheit: FLEXIBILITÄTSANALYSE: Bereitstellung der Flexibilität



## Ergebnisse:

**Unterschiedliche Systemkomponenten für unterschiedliche Bedarfe an Flexibilität:**

- **Demand response und Batterien** helfen auf der Kurzfristebene, insbes. bei sommerlichen Hitzewellen
- **Speicher- und Pumpspeicherwerkwerke** ermöglichen eine flexible Nutzung in allen Zeitbereichen - ein wichtiges heimisches Asset auch bei Extremwetterereignissen.
- **Grenzüberschreitender Stromaustausch** bleibt eine zentrale Flexibilitätssäule im zukünftigen Strommarkt Österreichs auf allen Zeitebenen - in modellierten Jahren mit extremen Wetterereignissen ist der Beitrag jedoch geringer als bei normalen Wetterverläufen.
- **Wärmespeicher und H2-Speicher** sind wesentliche Systemkomponenten eines dekarbonisierten österreichischen Energiesystems – dies hilft auf allen Zeitebenen, vermehrt langfristig.



### Ergebnisse bzgl. Klimafolgen:

Massiver zusätzlicher Ausbau von **Batteriespeichern** in Jahren mit **Hitzewellen**

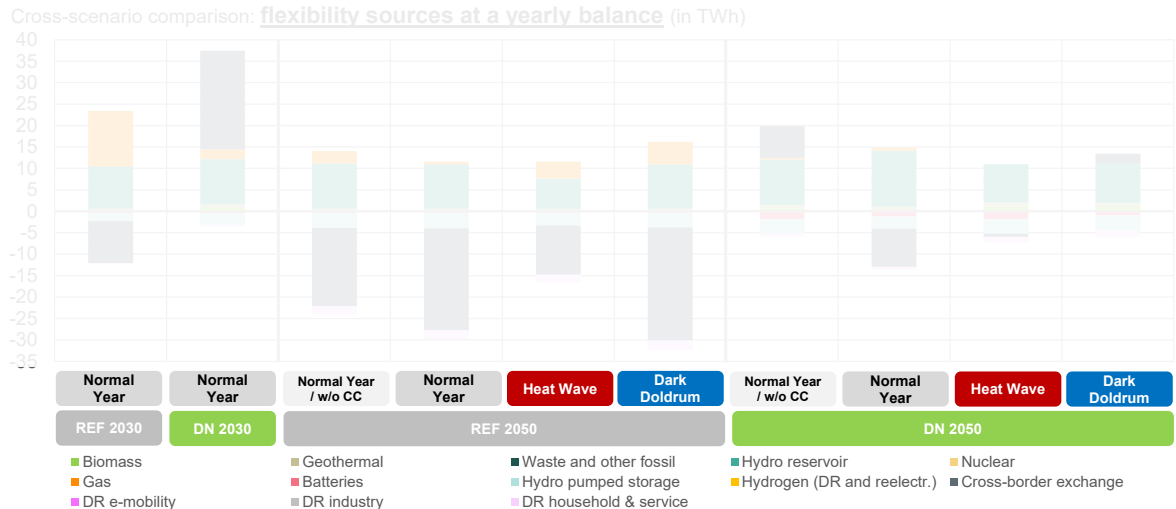
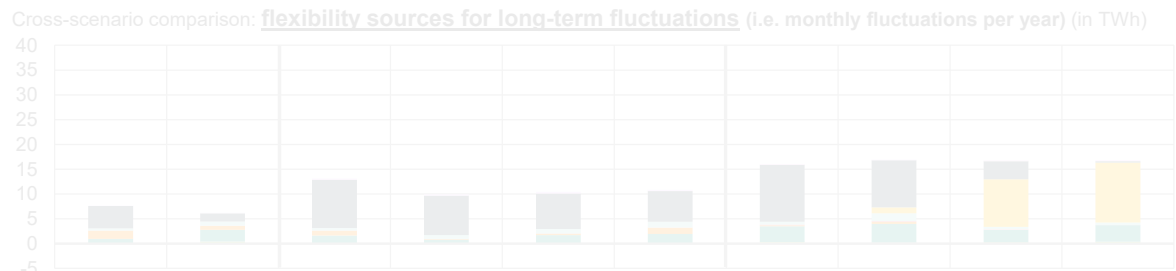
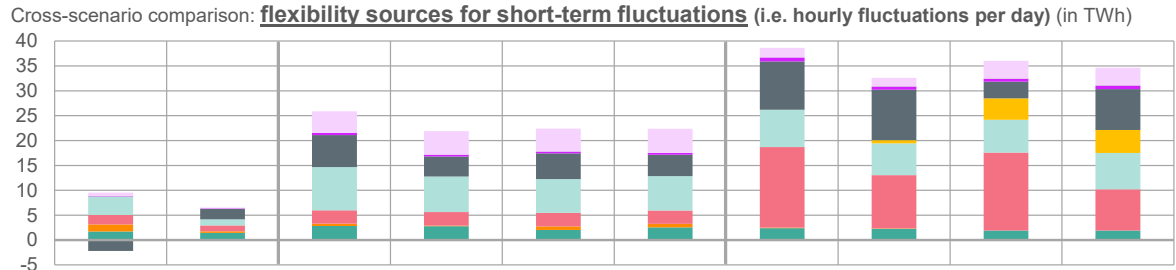
Deutlicher Zubau von **H2 Elektrolyseuren** bei Wetterjahren mit **Dunkelflauten**

Zusätzlicher Ausbau von **H2 Speichern** in Wetterjahren mit **Hitzewellen** und **Dunkelflauten**

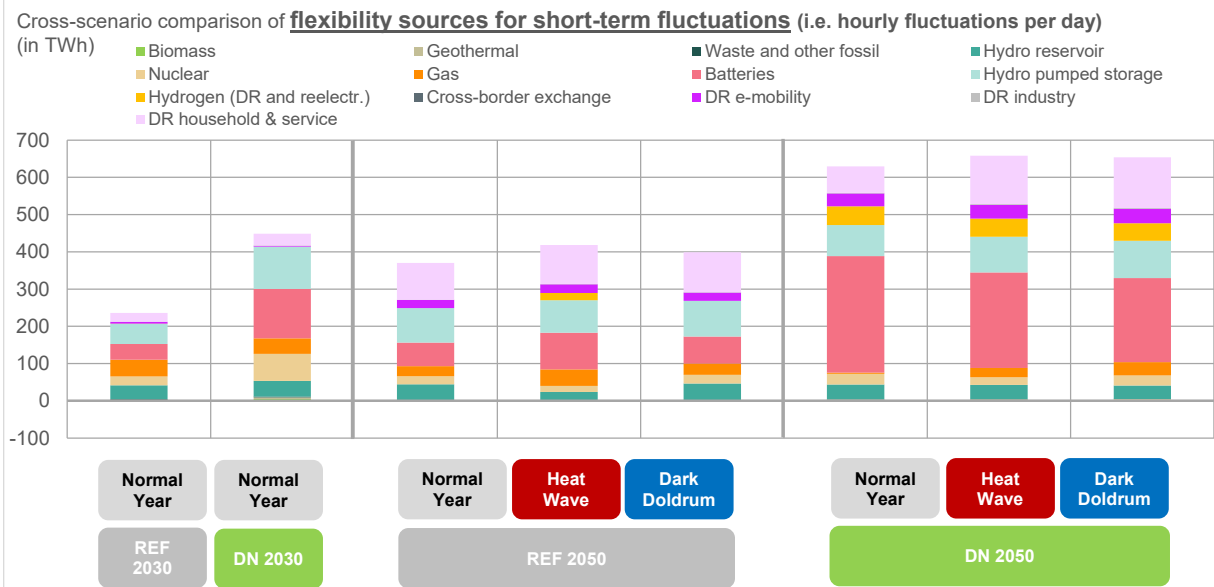
14.02.2024 Abbildung: Szenarienvergleich von **Energiesystemkomponenten im Überblick** (oben) sowie im Hinblick auf **Speicher und andere Flexibilitätselemente** (unten) bis 2030 und 2050

# (4) Energiesystemmodellierung mit Fokus auf Versorgungssicherheit: FLEXIBILITÄTSANALYSE: Europavergleich

## Österreich



## Europa



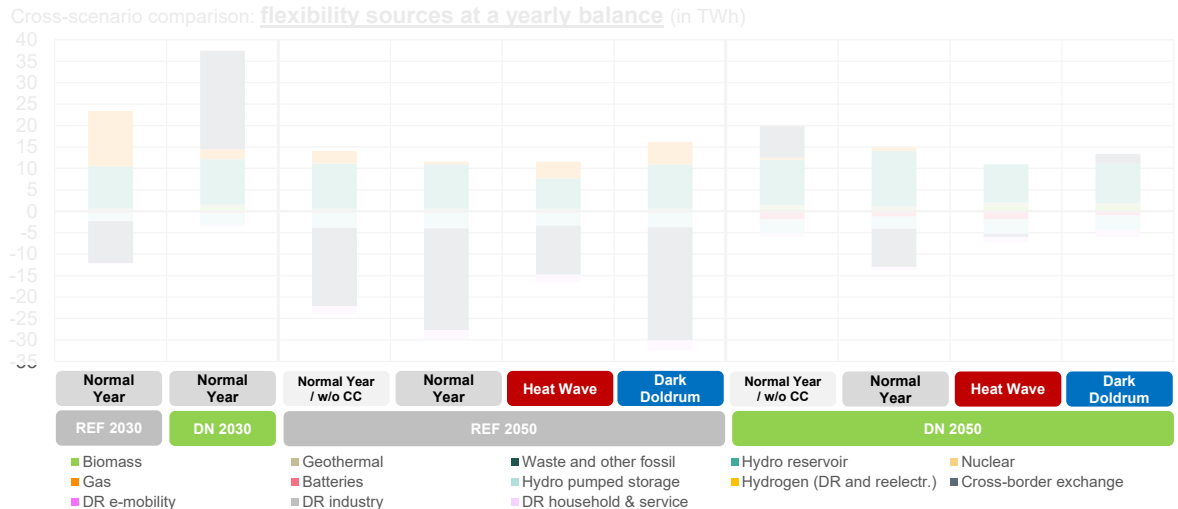
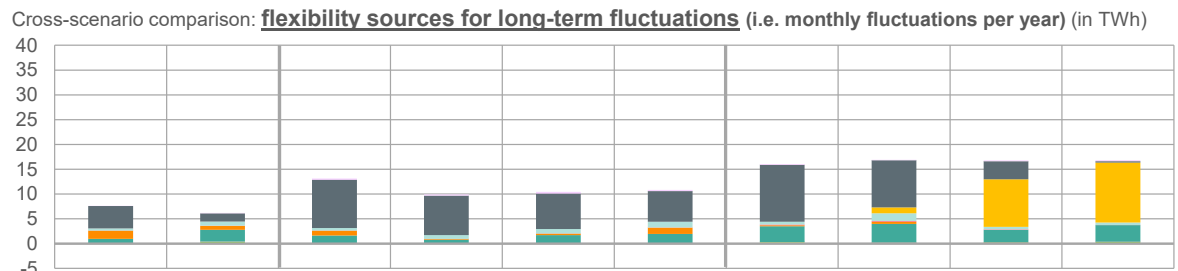
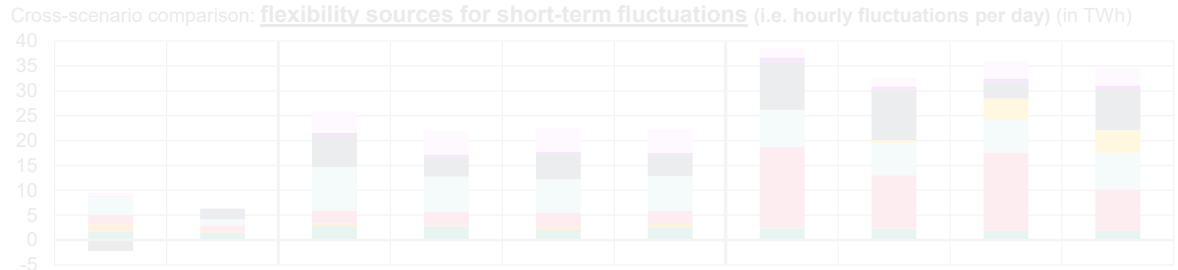
**Blick auf die kurze Frist:  
Stündliche Schwankungen im  
Vergleich zum Tagesmittel**

- Ähnliche Muster: **Batterien** und **Demand response** zentral, aber auch Beiträge von (Pump)speicher-wasserkraft
- Grünes Gas als zusätzliche Option in Europa

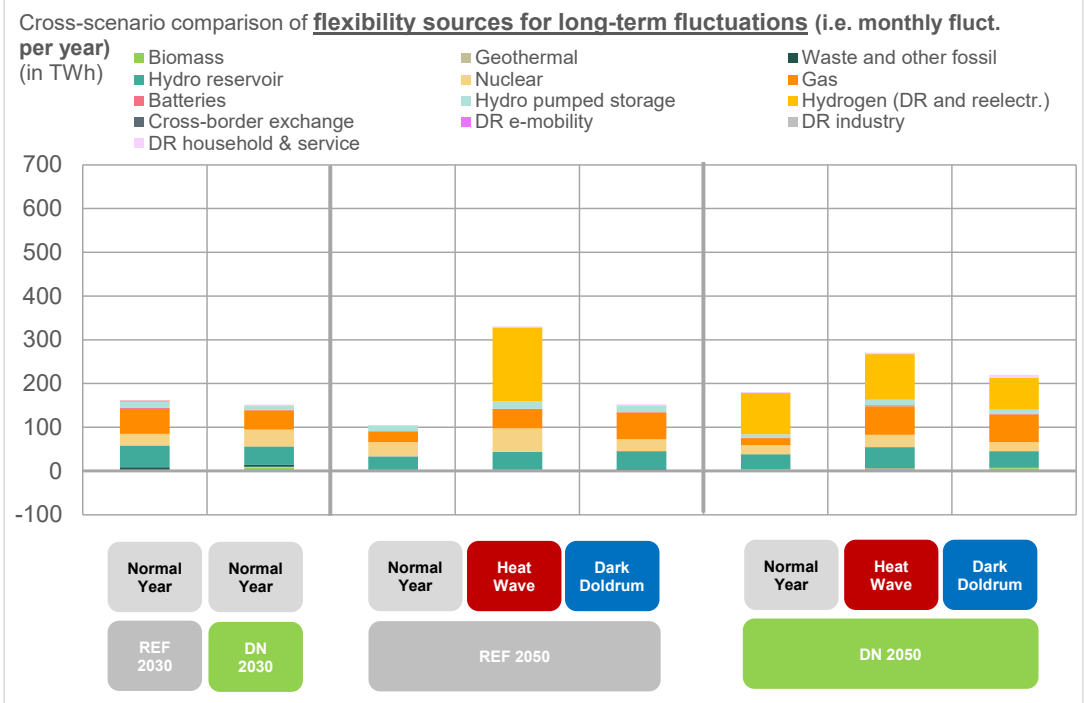
Abbild.: Szenarienvergleich des Flexibilitätsbereitstellung in unterschiedlichen Zeitperioden (kurz- bis langfristig) 2030 und 2050

# (4) Energiesystemmodellierung mit Fokus auf Versorgungssicherheit: FLEXIBILITÄTSANALYSE: Europavergleich

## Österreich



## Europa



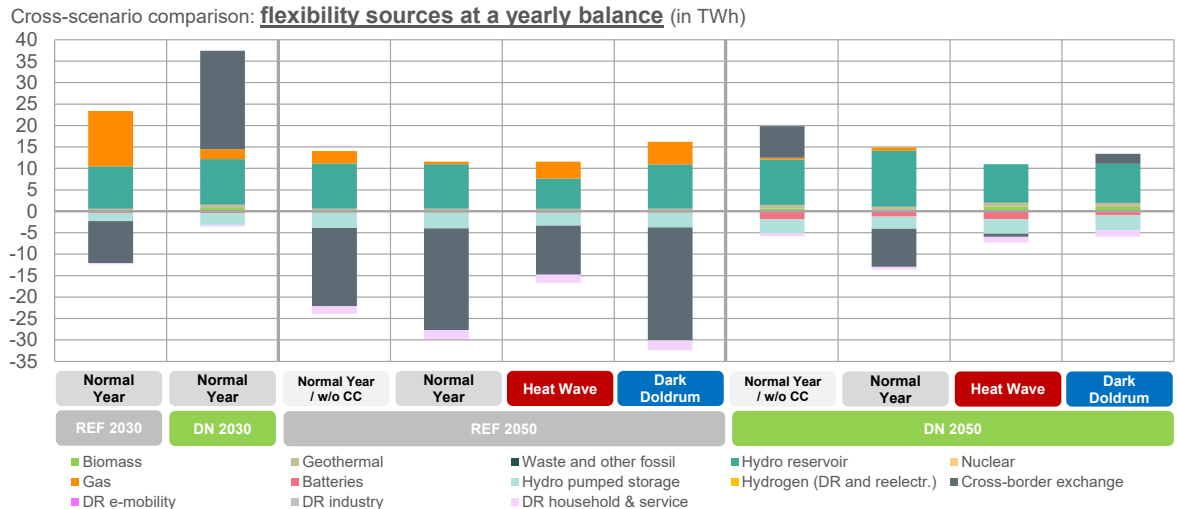
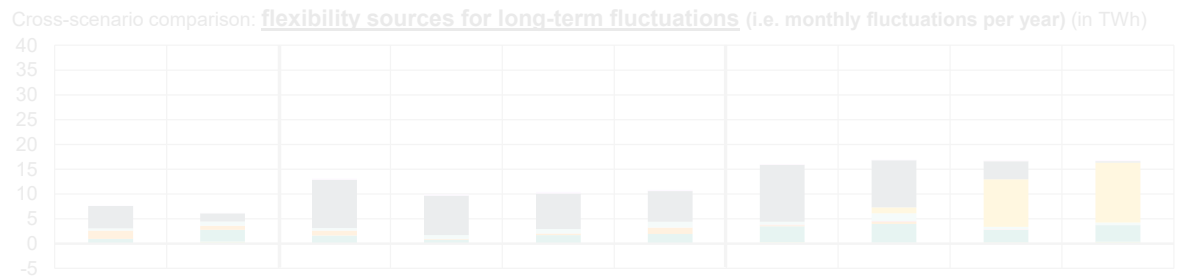
**Blick auf die lange Frist:  
Monatliche Schwankungen im  
Vergleich zum Jahresmittel**

- Teils ähnliche Muster: **H2 Elektrolyseure und Speicherwasserkraft**
- **Grünes Gas** als zusätzliche Option in Europa

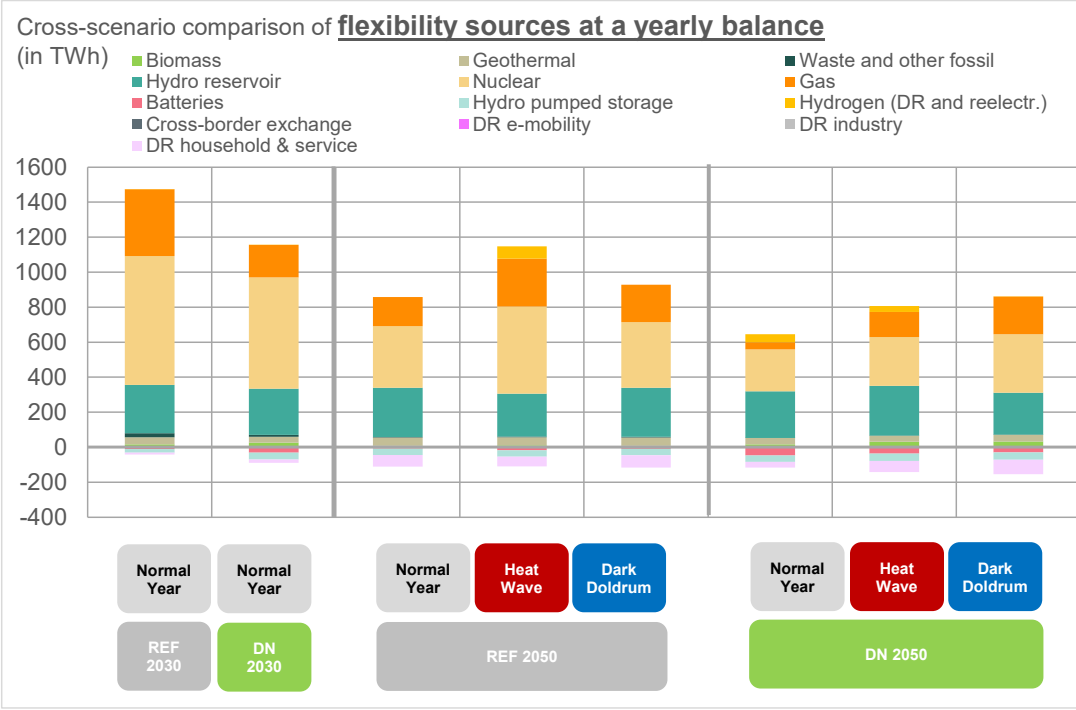
Abbild.: Szenarienvergleich des Flexibilitätsbereitstellung in unterschiedlichen Zeitperioden (kurz- bis langfristig) 2030 und 2050

# (4) Energiesystemmodellierung mit Fokus auf Versorgungssicherheit: FLEXIBILITÄTSANALYSE: Europavergleich

## Österreich



## Europa



**Die Jahresbilanz der Residuallast**

- Analogie: Wesentliche Beiträge der **Speicherwasserkraft**
- **Grünes Gas** und **Kernkraft** als zusätzliche Option in Europa

Abbild.: Szenarienvergleich des **Flexibilitätsbereitstellung** in unterschiedlichen Zeitperioden (kurz- bis langfristig) 2030 und 2050

- ▶ **Die Dekarbonisierung von Industrie, Wärme und Verkehr bedingt starke Zuwächse im Stromverbrauch**
- ▶ **„Sowohl als auch“: Energieeffizienz & Erneuerbare-/Speicher-Ausbau & Netzausbau & Wasserstoff & ...**  
→ **Erneuerbare Gase sind wertvoll** und sollten nur dort eingesetzt werden, wo **dringlich benötigt**
- ▶ **Klimawandel hat zusätzlich große Auswirkung auf den zukünftigen Verbrauch, optimalen Erzeugungsmix sowie die benötigte Systemflexibilität (zur Wahrung der Versorgungssicherheit)**
  - Neben dem Wind- & PV-Ausbau und dem Netzausbau sind in Österreich **Speicher** (Batterien, Wärme- & Wasserstoffspeicher, Pumpspeicher), die **Flexibilisierung der Nachfrage** und **systemdienliche H<sub>2</sub>-Elektrolyseure** von zentraler Bedeutung für die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit
  - Die Berücksichtigung von **Extremereignissen** hat großen Einfluss auf **optimale Investitionsentscheidungen**
- ▶ **Ambitionierte energie- und klimapolitische Ziele erfordern aktive, zielgerichtete Energiepolitik**
  - Will man die **Energiesystemtransformation zeitnah umsetzen**, so braucht es **klare Maßnahmen und Anreize**
  - Für erneuerbare Energien im Strombereich bietet das EAG ein sehr guten Bundesrahmen – es bedarf aber weiterer Schritte, um **aktuelle Problemfelder (Raumordnung/Flächenwidmung auf Länderebene, Genehmigungsverfahren, Netzausbau) zu beseitigen**.

# VIELEN DANK!

Gustav Resch,  
AIT, Center for Energy  
[gustav.resch@ait.ac.at](mailto:gustav.resch@ait.ac.at)

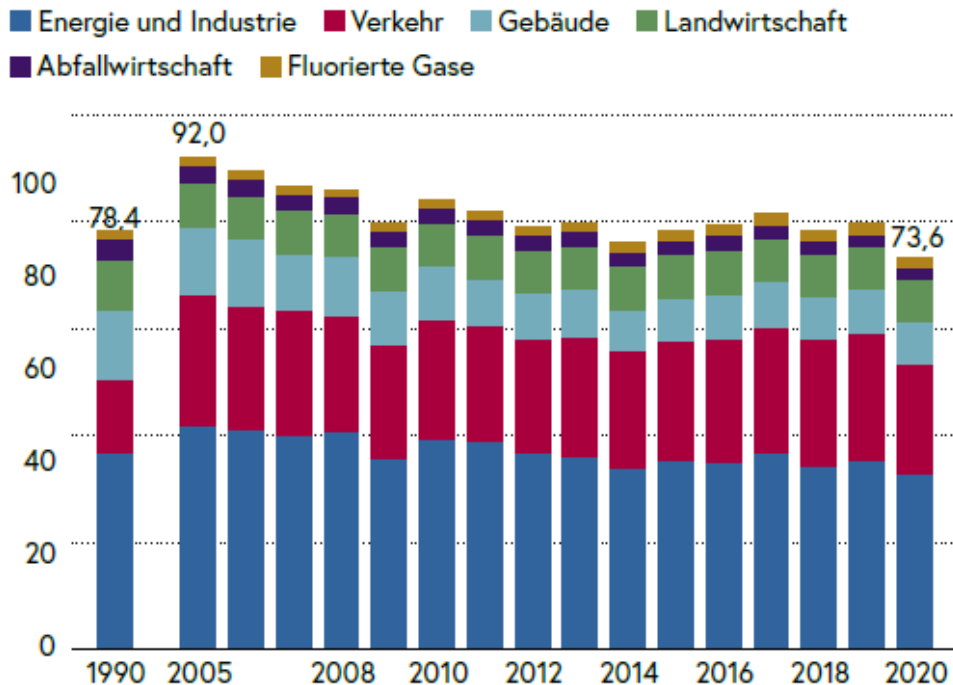


# (2) Anhang Dekarbonisierung: Ausgangslage in Österreich

## TREIBHAUSGASEMISSIONEN 1990 BIS 2020

Abb.: Treibhausgas-Emissionen gesamt

nach Verursachern in Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent 1990 und 2005–2020



Quelle: Umweltbundesamt

Quelle: Energie in Österreich 2022 – Zahlen, Daten, Fakten, BMK, erhältlich unter: <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/zahlen.html>

### Veränderung

von 1990 bzw. 2005 zu 2020

#### Gesamt:

1990–2020 ..... -6,2%  
 2005–2020 ..... -20,0%

#### Energie und Industrie:

1990–2020 ..... -11,1%  
 2005–2020 ..... -22,1%

#### Verkehr:

1990–2020 ..... +50,7%  
 2005–2020 ..... -15,8%

#### Gebäude:

1990–2020 ..... -37,5%  
 2005–2020 ..... -36,7%

### Status & Trends:

- **Energie und Industrie sowie Verkehr für mehr als zwei Drittel der Emissionen verantwortlich**
- **Deutlicher Anstieg in den Jahren 1990 bis 2005**
- **Nach 2005 Rückgang um 20% bis 2020**  
(Achtung: Corona-Pandemie Effekt!)
- **Gebäude und Energieversorgung sowie Industrie zeigen deutlich (Gebäude) bzw. eine leicht (Energie & Industrie) positive Entwicklung,**
- **Verkehr als Problemzone**