

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

basierend auf Erkenntnissen aus
der Studie SECURES (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

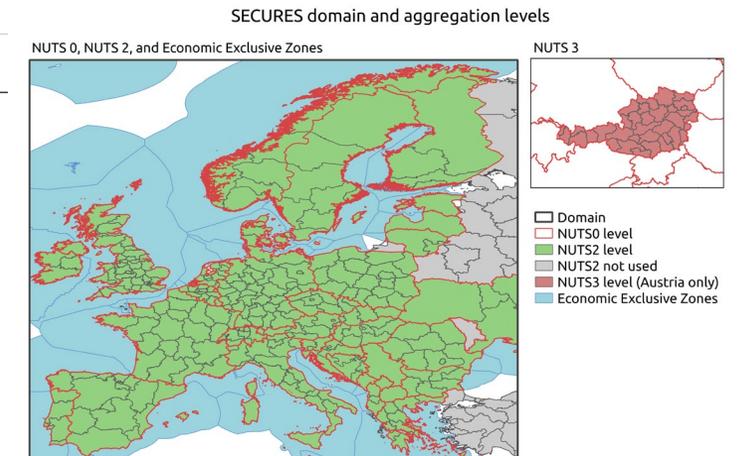
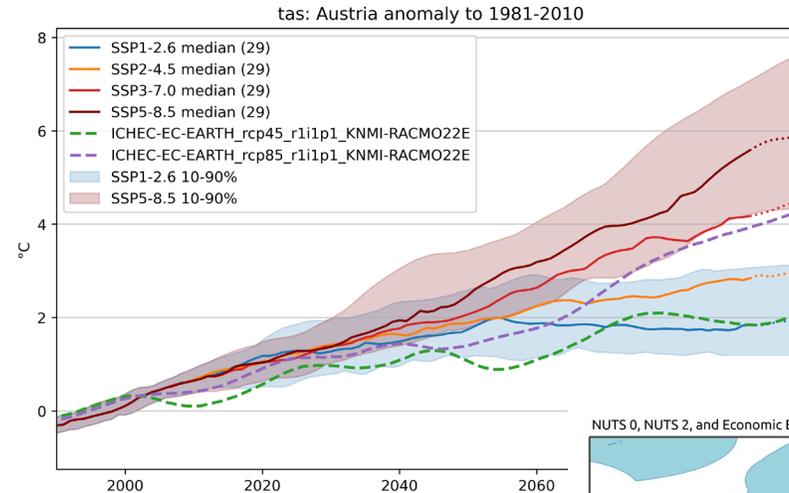
Motivation Projekt SECURES

- 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

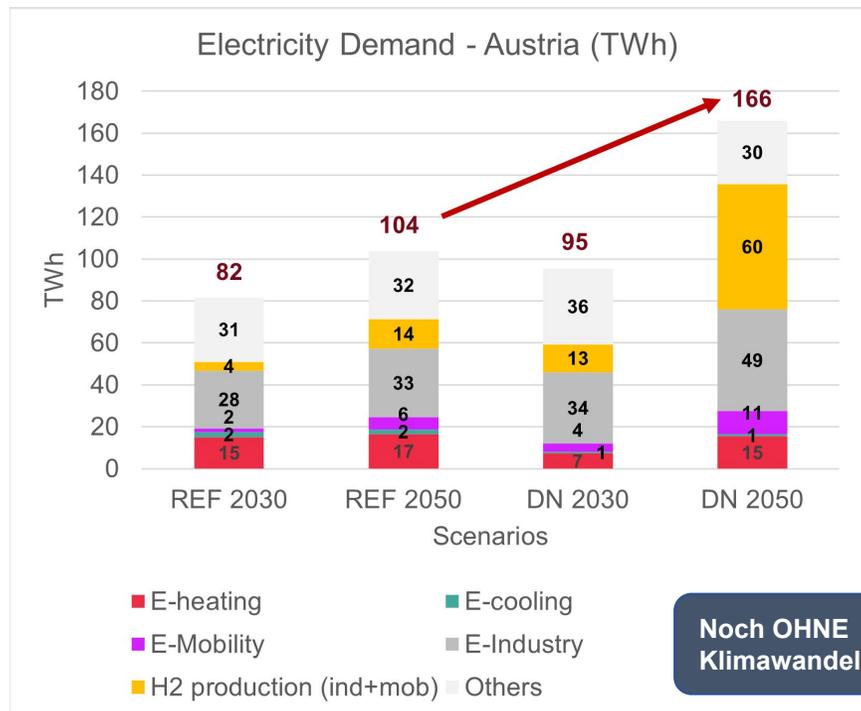


Untersuchte Transformationspfade: Reference (REF) vs Decarbonisation Needs (DN)

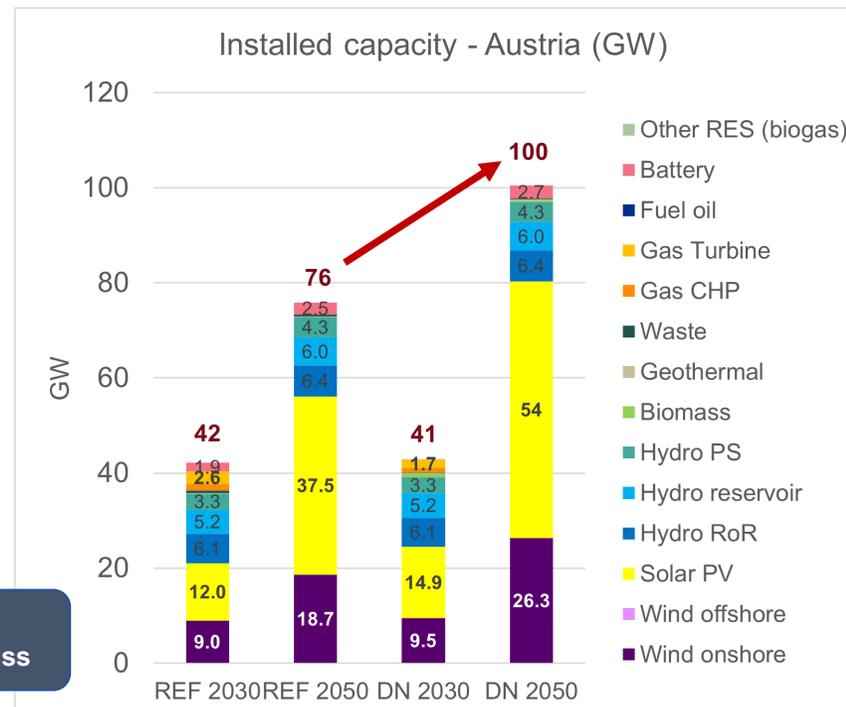
Im **Referenzpfad (REF)** und den entsprechenden Szenarien strebt Österreich bis 2030 und darüber hinaus eine EE-basierte Stromversorgung an. In anderen Sektoren und EU-Ländern werden jedoch **weniger ambitionierte Dekarbonisierungsziele** verfolgt. Dementsprechend wurde in REF ein **starker Klimawandel**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



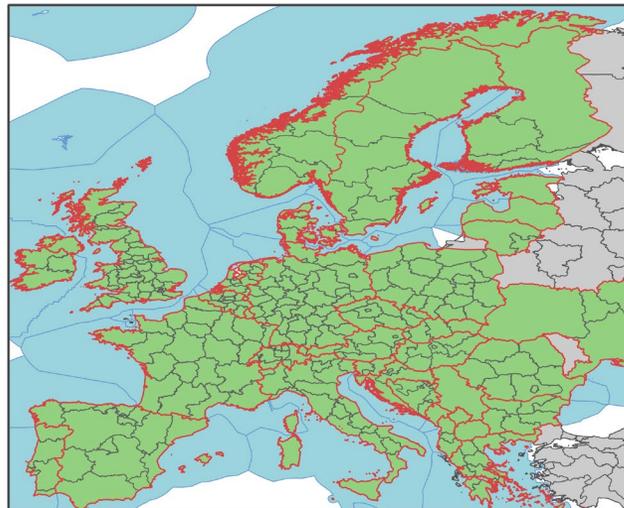
SECURITY OF SUPPLY (SoS)
Für beide Pfade haben wir Wetterjahre analysiert, die **extreme Wetterbedingungen** (z. B. **Hitzewelle, Dunkelflaute**) für die mittlere Zukunft (2050) widerspiegeln

Zwei Klimaszenarien wurden analysiert:

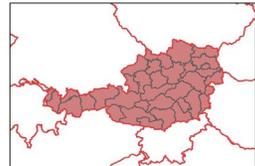
- **Starker Klimawandel (RCP 8.5)**
... verknüpft mit **Referenz-Szenario (REF)**
- **Moderater Klimawandel (RCP 4.5)**
... verknüpft mit **Decarbonisation Needs Szenario (DN)**

SECURES domain and aggregation levels

NUTS 0, NUTS 2, and Economic Exclusive Zones



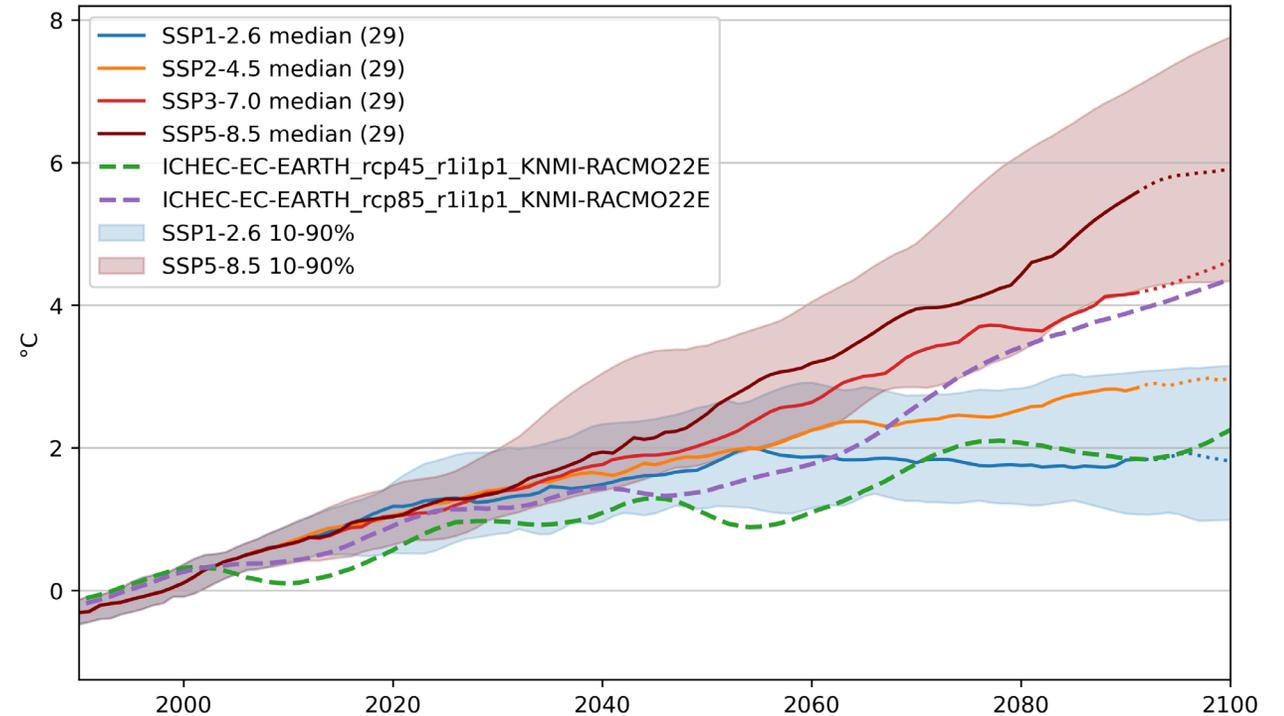
NUTS 3



- 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

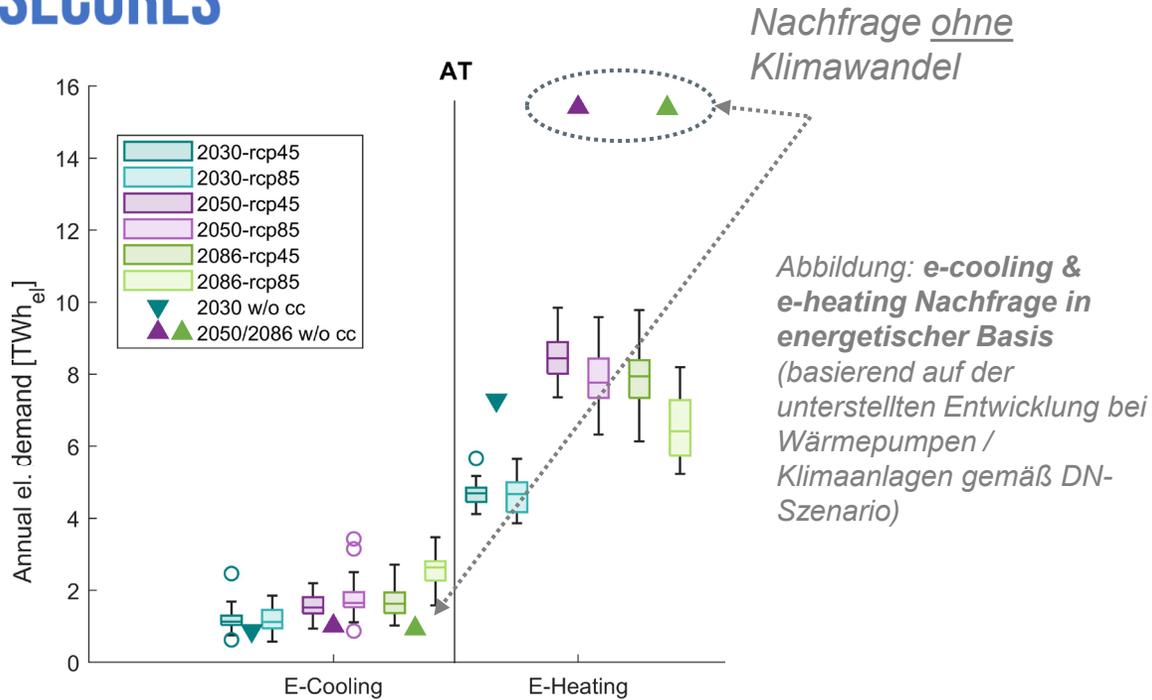
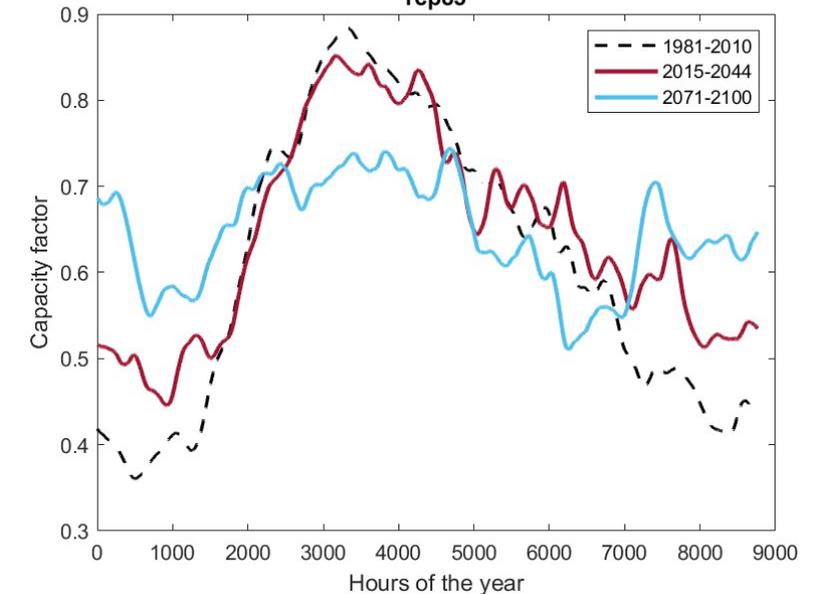


Abbildung: Änderungen der saisonalen Verfügbarkeit bei der Laufwasserkraft (RCP 8.5)



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

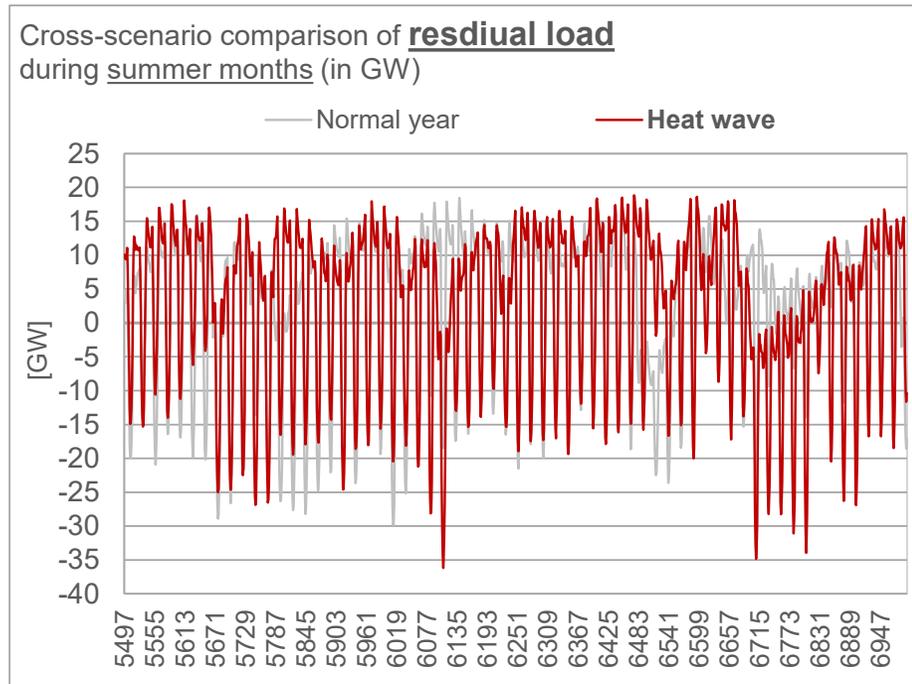
- **Temperaturbedingte Verluste verringern langfristig leicht die PV-Erträge** (RCP 8.5)
- **Leichter Anstieg der Windenergieerträge** bei stärkerem Klimawandel (RCP 8.5)
- **Höhere Variabilität der Laufwasserkraft** bei stärkerem Klimawandel (RCP 8.5) nach 2050; kein genereller Rückgang der Produktion,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

Residuallast als Basis

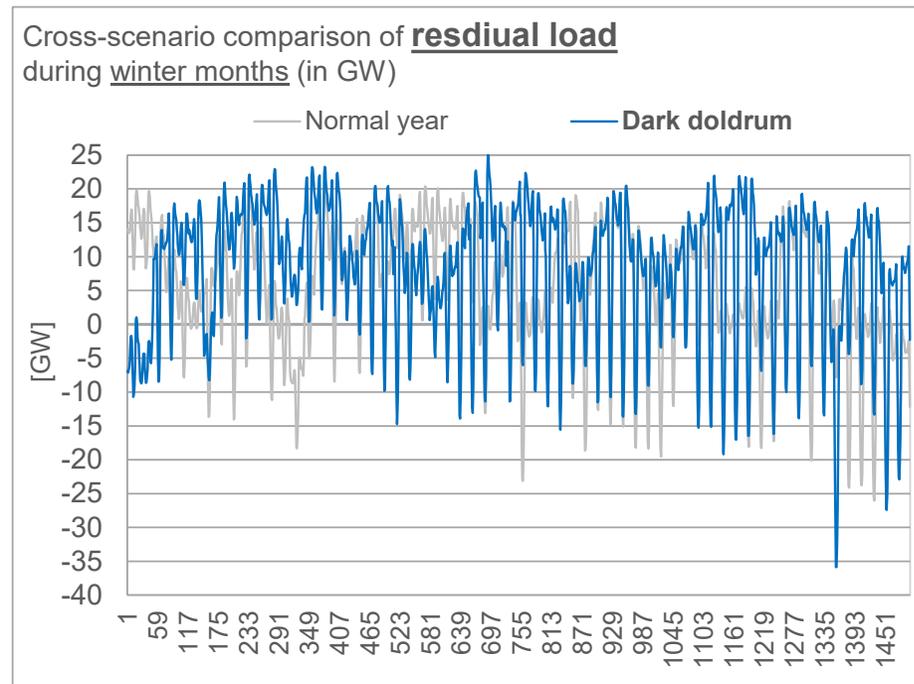
- **Residuallast (RL)** diene als Grundlage für die Identifizierung kritischer Systemzustände
- RL definiert als **(unflexible) Last abzüglich der Stromeinspeisung aus wetterabhängigen erneuerbaren Energien (Wind, Laufwasserkraft, PV)**

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

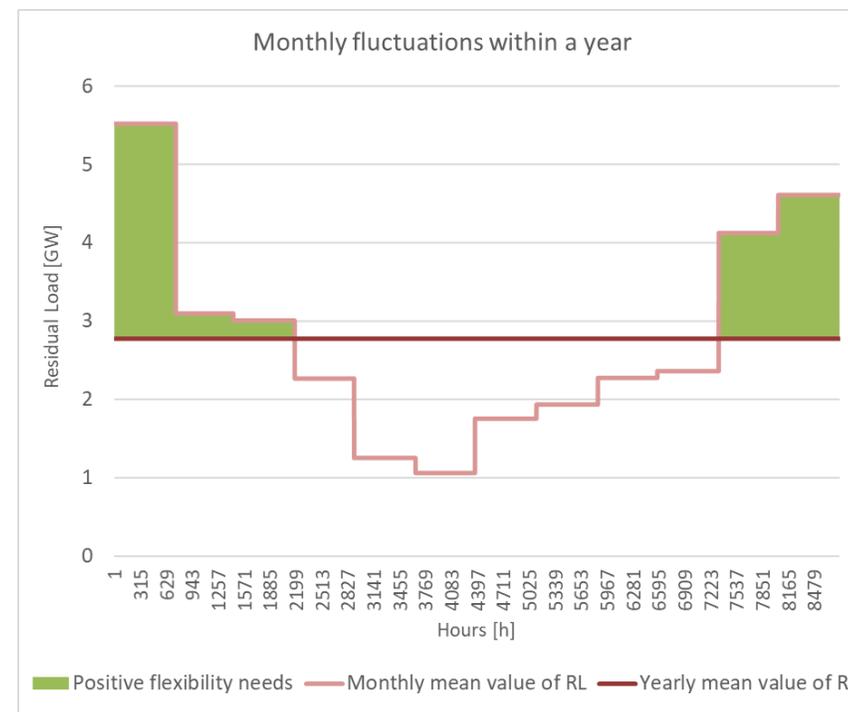
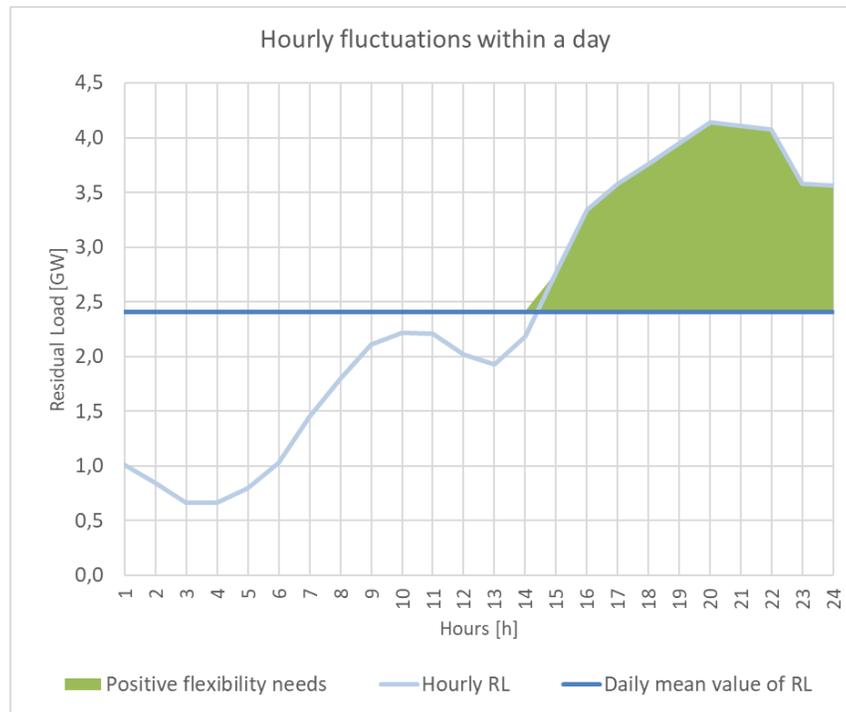


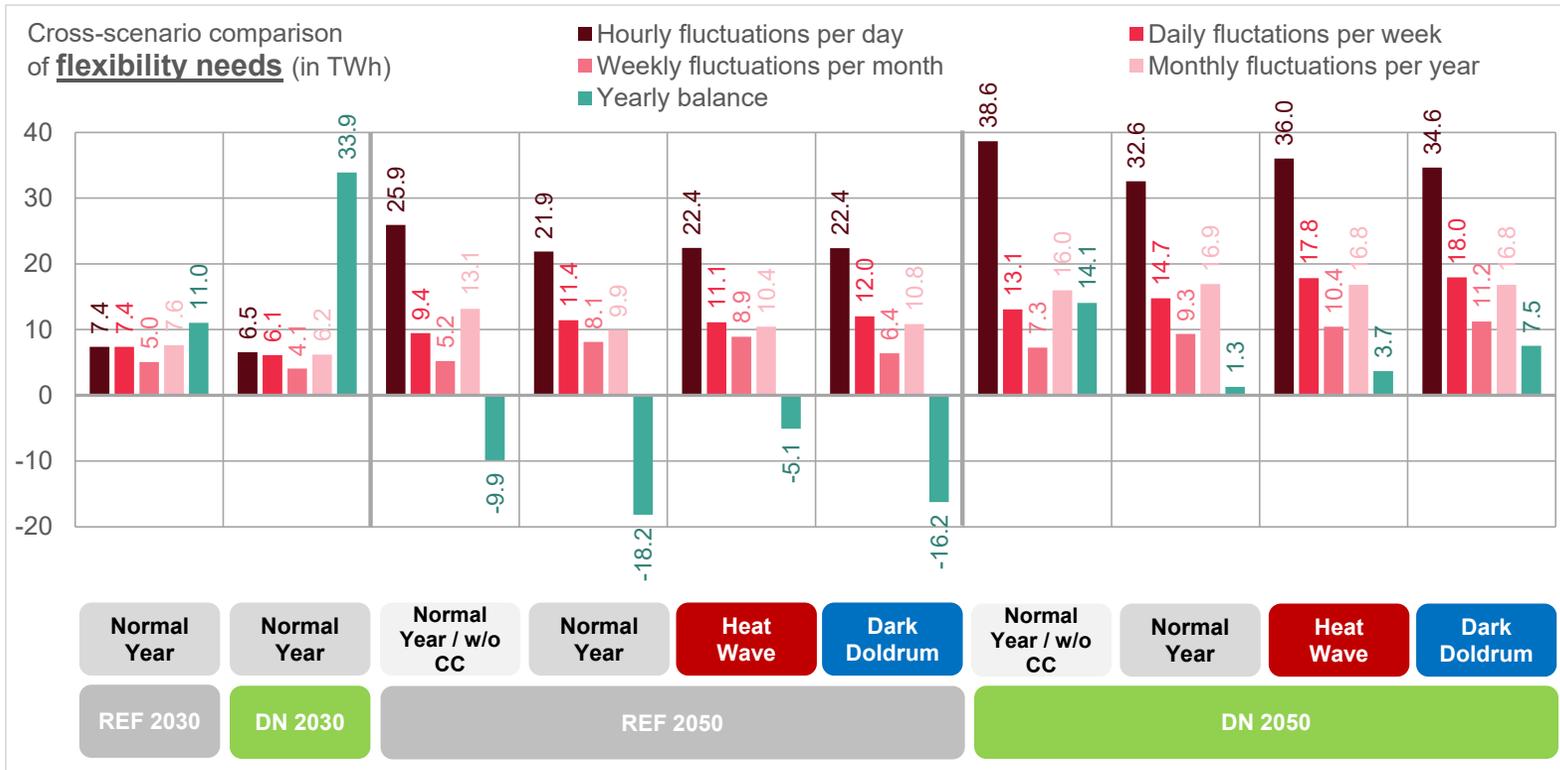
Abbild.: Vergleich der RL im Winter

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)





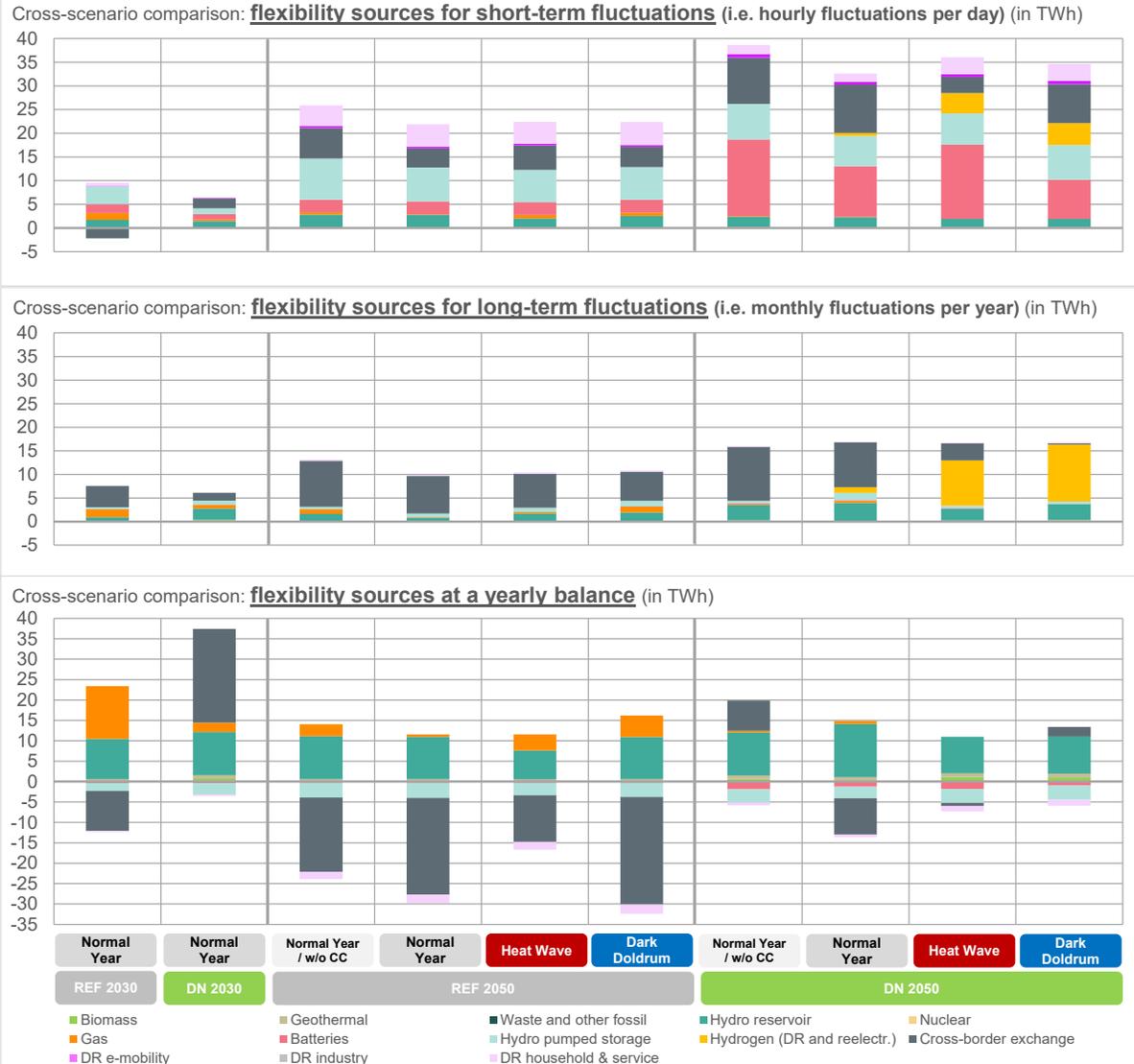
Kernergebnisse:

- **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



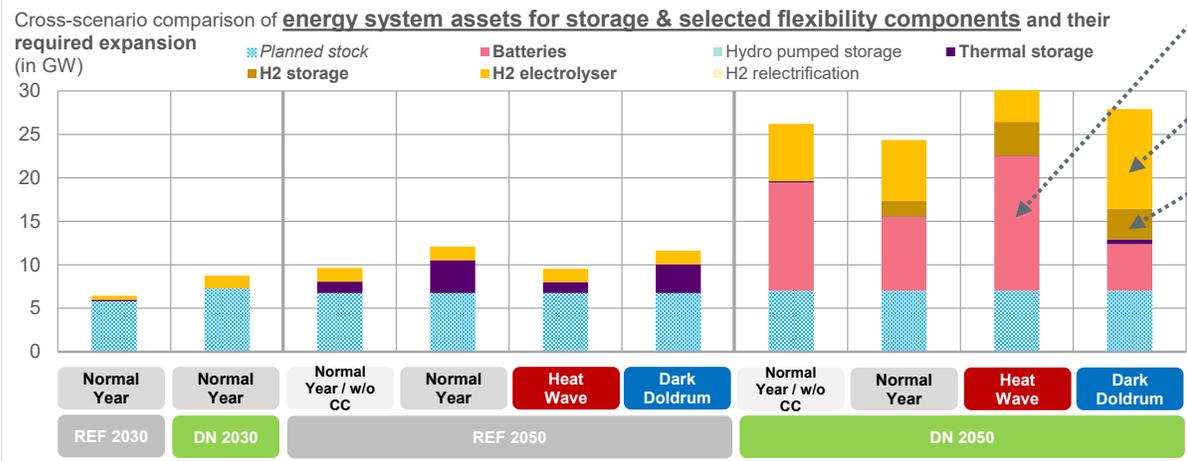
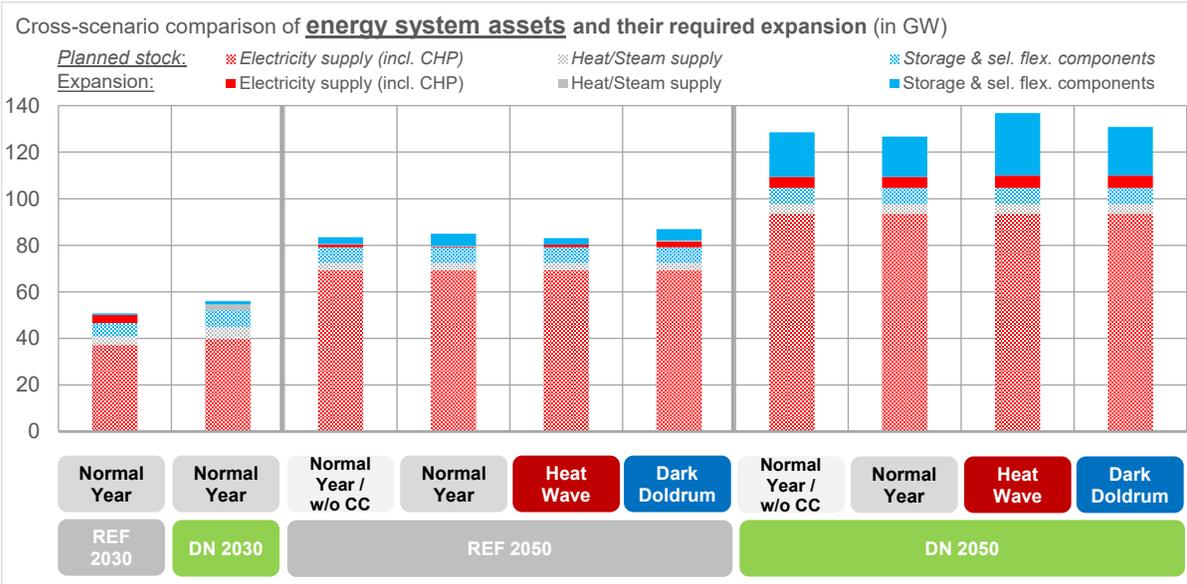
(4) Energiesystemmodellierung mit Fokus auf Versorgungssicherheit: FLEXIBILITÄTSANALYSE: Bereitstellung der Flexibilität



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:

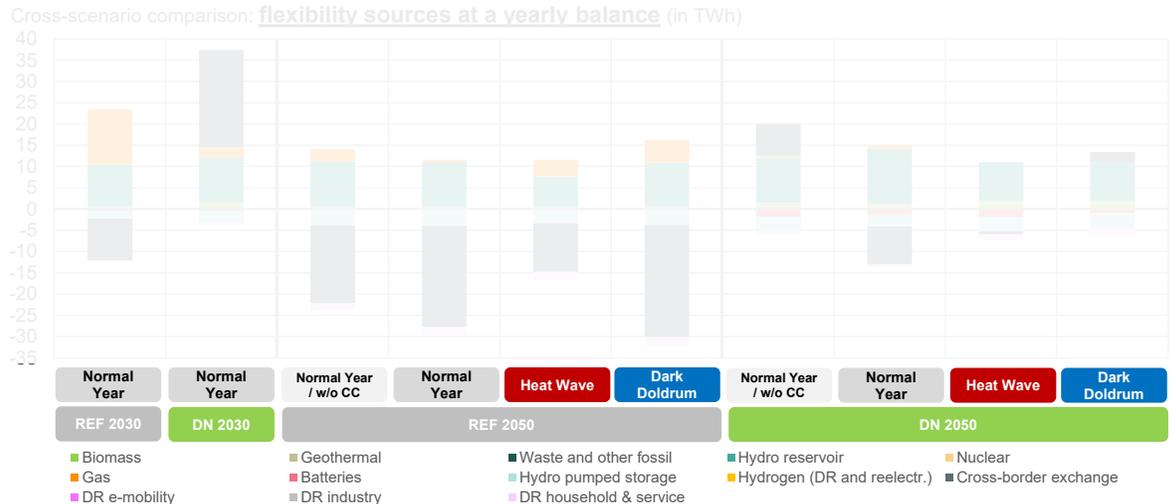
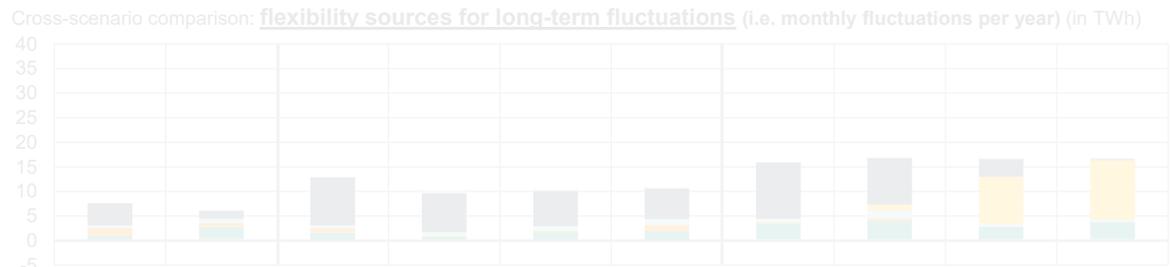
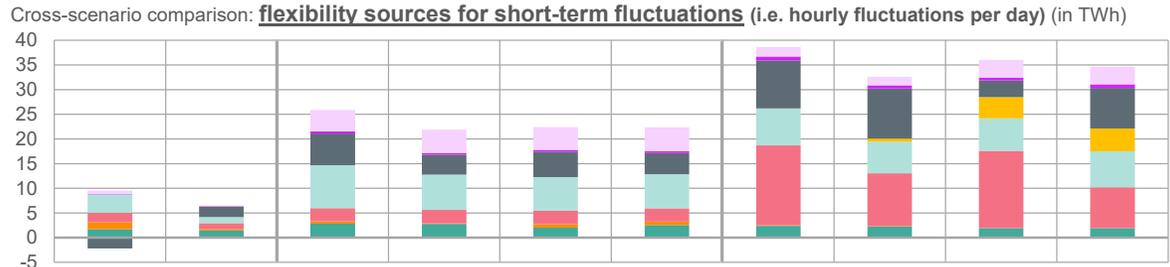
Massiver zusätzlicher Ausbau von **Batteriespeichern** in Jahren mit **Hitzewellen**

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

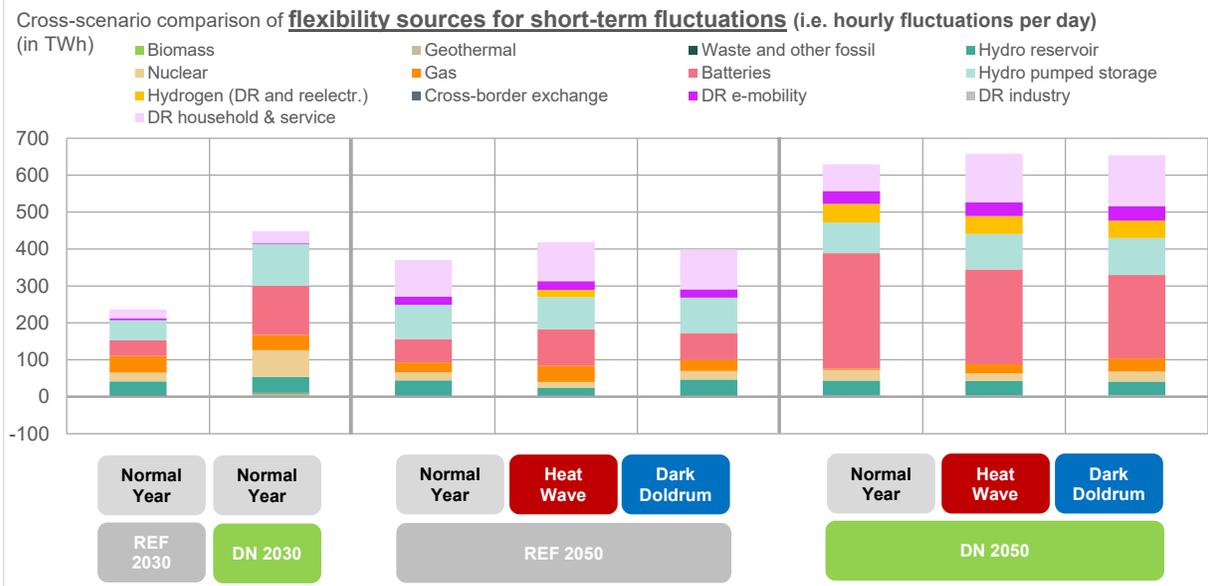
Zusätzlicher Ausbau von **H2 Speichern** in Wetterjahren mit **Hitzewellen** und **Dunkelflauten**

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

Österreich



Europa



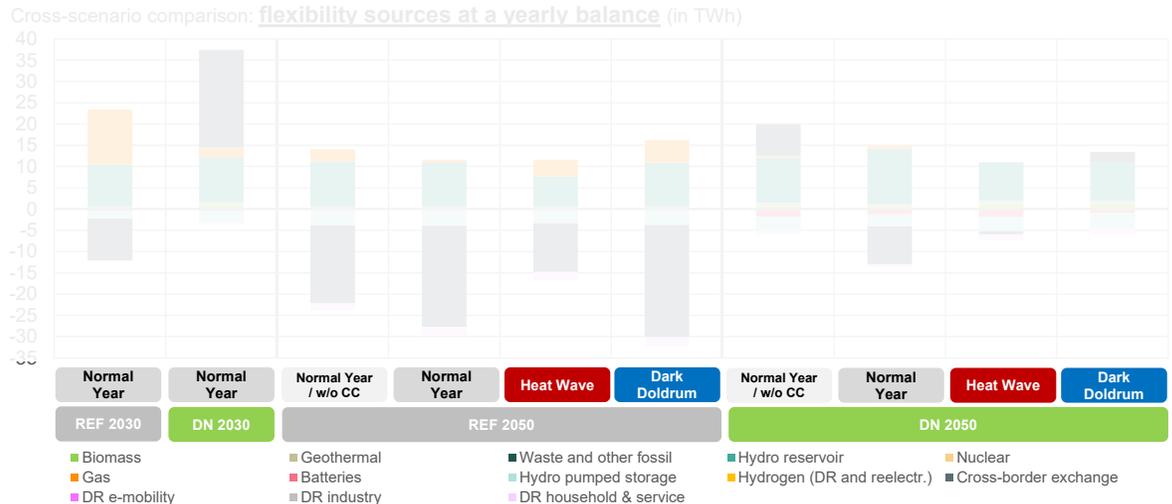
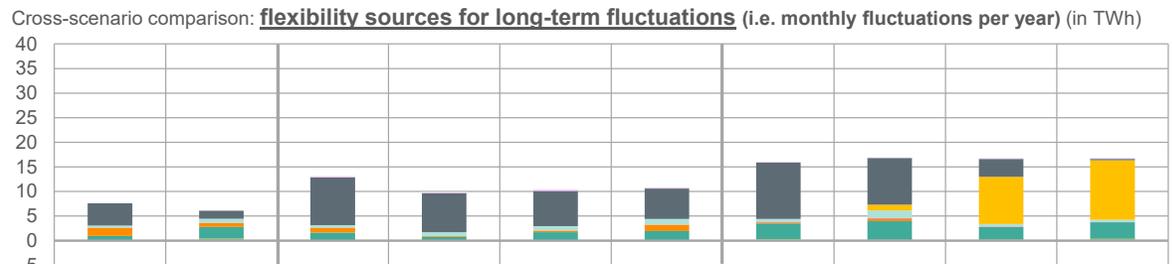
**Blick auf die kurze Frist:
Stündliche Schwankungen im
Vergleich zum Tagesmittel**

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

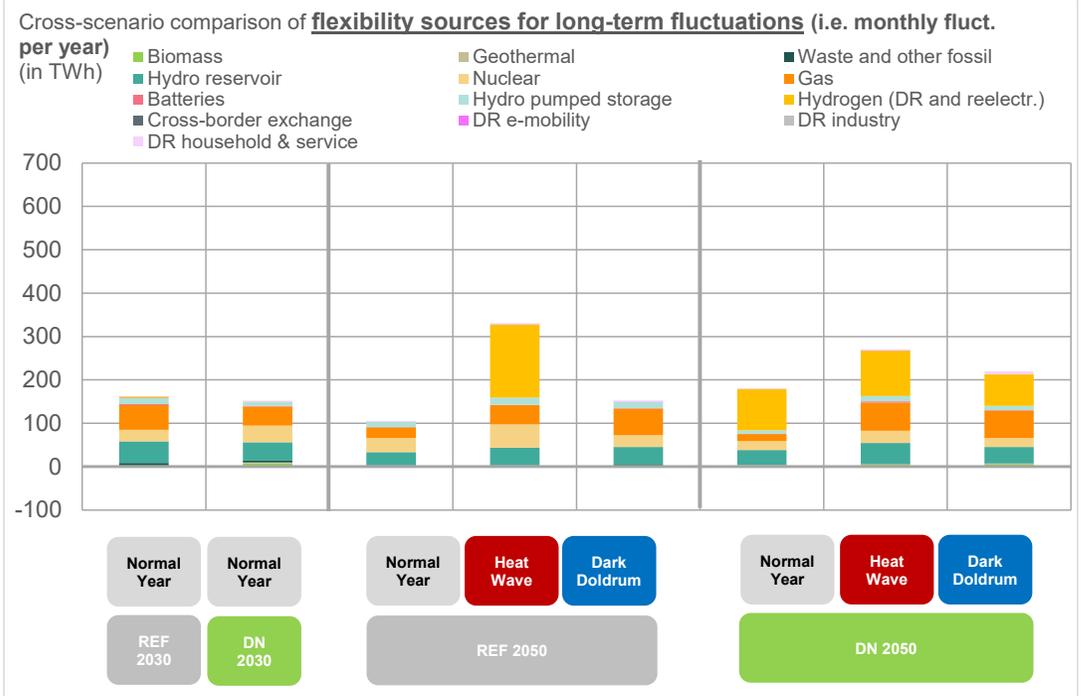
Abbild.: Szenarienvergleich des Flexibilitätsbereitstellung in unterschiedlichen Zeitperioden (kurz- bis langfristig) 2030 und 2050

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

Österreich



Europa



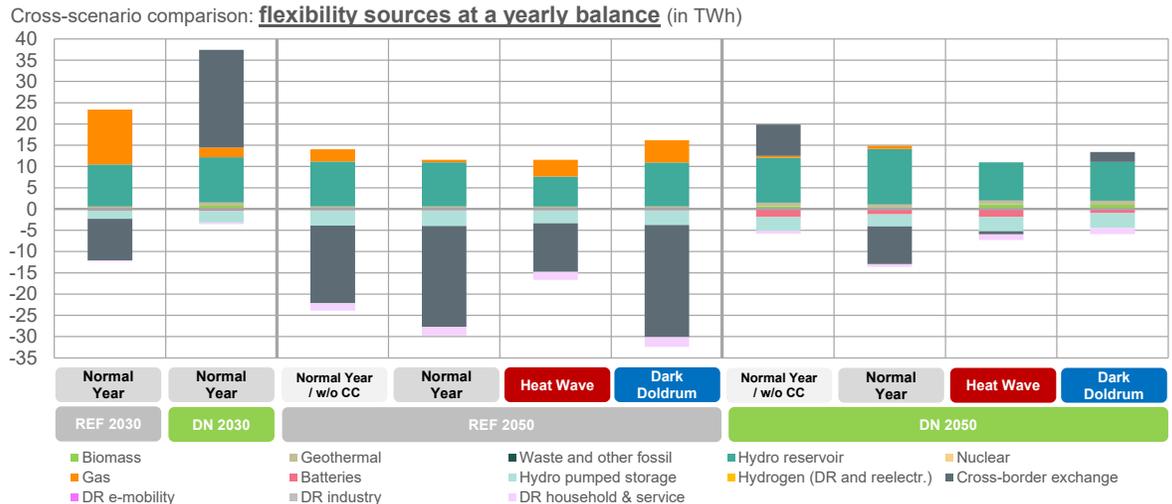
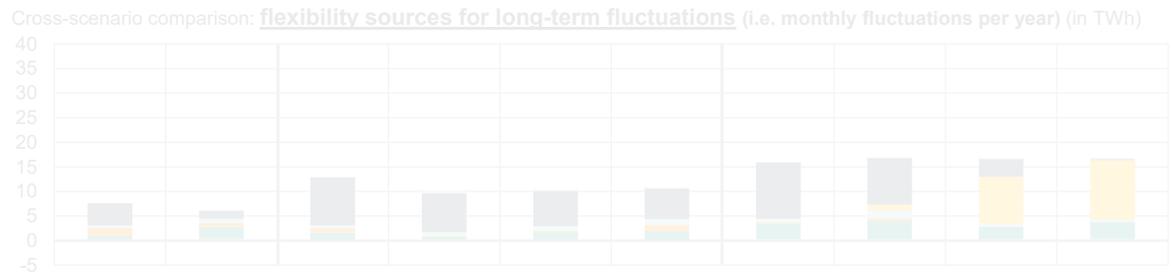
**Blick auf die lange Frist:
Monatliche Schwankungen im
Vergleich zum Jahresmittel**

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

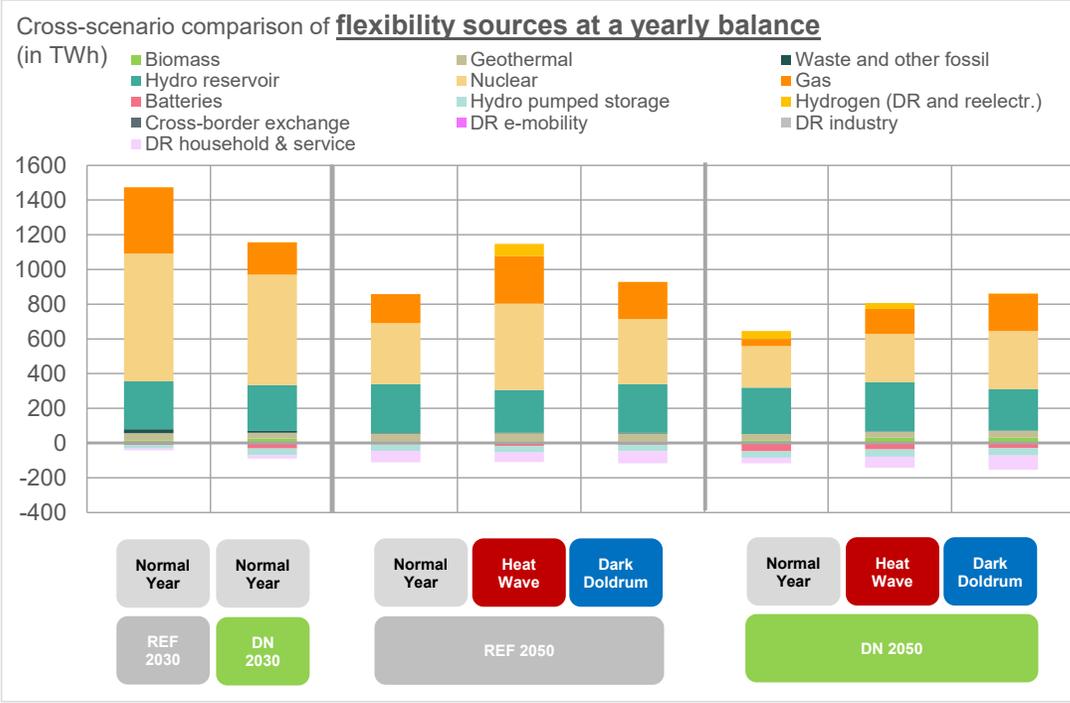
Abbild.: Szenarienvergleich des Flexibilitätsbereitstellung in unterschiedlichen Zeitperioden (kurz- bis langfristig) 2030 und 2050

(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 H₂-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!

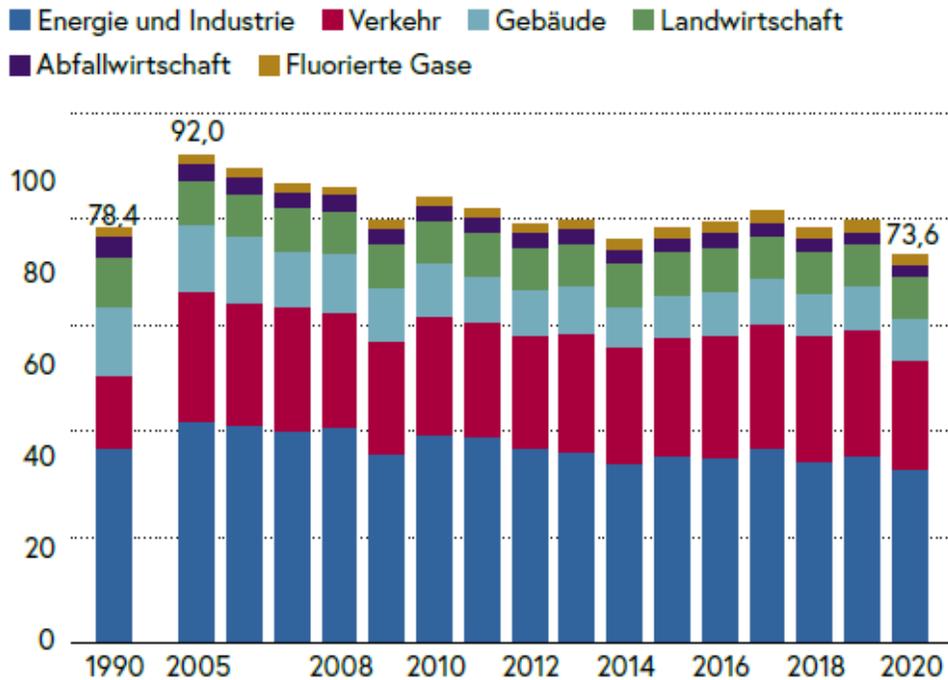
Gustav Resch,
AIT, Center for Energy
gustav.resch@ait.ac.at

(2) Anhang Dekarbonisierung: Ausgangslage in Österreich

TREIBHAUSGASEMISSIONEN 1990 BIS 2020

Abb.: Treibhausgas-Emissionen gesamt

nach Verursachern in Mio. Tonnen CO₂-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**