

DeRisk-E: Derisking the Austrian Electricity Sector Transformation Towards Decarbonization

Austrian Climate Research Programme (ACRP)-Call 2023/01

Dekarbonisierung des österreichischen Stromsektors unter Unsicherheiten: **Konzept und Eingangsdaten**

Demet Suna, Daniel Schwabeneder, Nicolas Pardo-Garcia, Lukas Liebmann, Milena Sipovac, Gustav Resch; **AIT Austrian Institute of Technology: Center for Energy**

Philipp Maier, Herbert Formayer: **BOKU University, Institut für Meteorologie und Klimatologie**

Josef Baumüller: **TU Wien Institut für Managementwissenschaften**

19. Symposium Energieinnovation, 11.-13.02.2026, Graz/Österreich

Motivation & Fragenstellung

- Zunehmend häufige **Extremwetterereignisse** infolge des Klimawandels, **kombiniert** mit unvorhersehbaren **geopolitischen** Krisen, zeigen deutlich: **Mehrere Belastungsfaktoren können gleichzeitig auftreten** und das Stromsystem erheblich unter Druck setzen.
- Im Übergang zu einer dekarbonisierten Energieversorgung mit mehr **wetterabhängigen Erneuerbaren** und **stärkerer Sektorkopplung** wird ein **widerstandsfähiges Energiesystem** wichtiger denn je.

Zentrale Fragestellung:

Wie kann die **Widerstandsfähigkeit** und **Robustheit** eines zukünftigen dekarbonisierten **Elektrizitätssystems** in Österreich gegenüber relevanten Unsicherheiten bewertet und **gesteigert** werden?

Sommer 2022

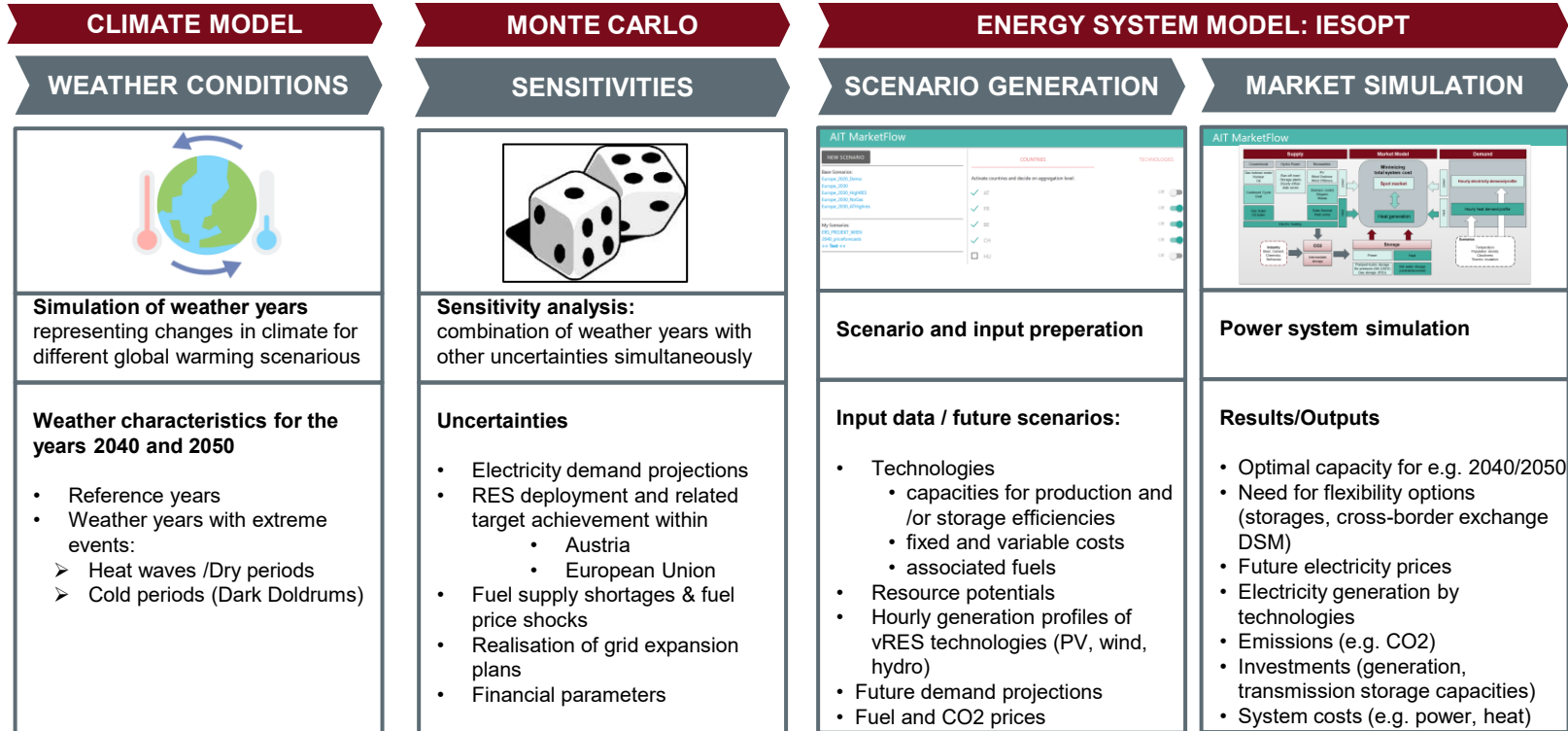
Gasversorgungskrise: Die Unsicherheit infolge des Russland-Ukraine-Krieg führte zu einem starken Anstieg der Energiepreise.

Weniger Wasserkraft: Anhaltende **Trockenperioden** und niedrige Pegelstände **minderten die Stromproduktion** aus **Wasserkraft** – auch in Österreich.

Thermische Kraftwerke unter Druck: Hitze **(zu warme Flüsse)** und **Wassermangel** beeinträchtigten den Betrieb kühlwasserabhängiger Kraftwerke.

Kernkraft eingeschränkt: Kernkraftwerke in Frankreich waren teilweise aufgrund Wartungsarbeiten außer Betrieb.

Konzept I: Überblick



Konzept II: Unsicherheiten



Klimaszenarien GWL 1, 2, 3, 4 ° C: Einfluss des Klimawandels auf Erzeugung und Nachfrage, extreme Systemzustände (Hitzewelle, Dunkelflaute)



Geopolitische Unsicherheiten: Engpässe bei der Brennstoffversorgung/ Brennstoffpreisschocks mittels Rohstoff- und CO₂-Preise



Projektionen zur **Stromnachfrage**



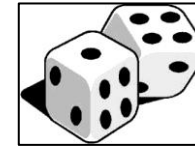
Projektionen zum **Ausbau erneuerbarer Energien**



Netzausbaupläne: Übertragungsnetzausbau:
Verwirklichung der Netzausbaupläne

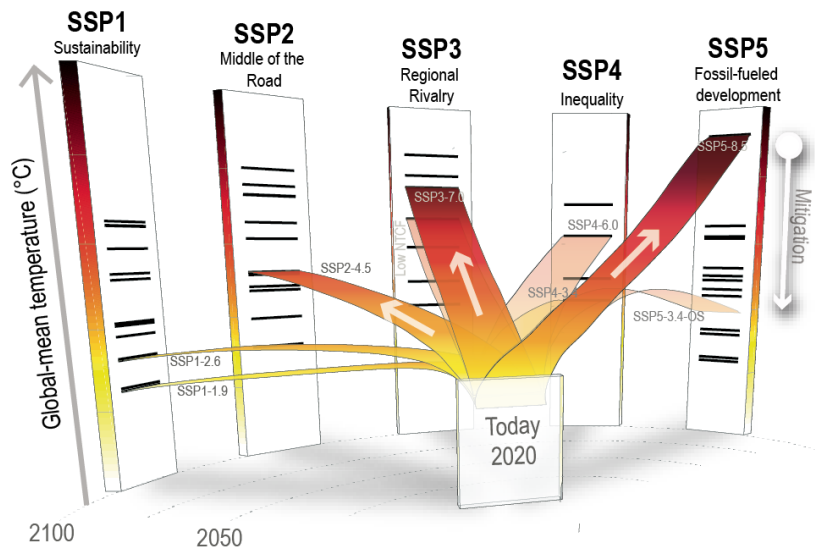


Unsicherheiten in Kapitalmärkten: WACC-
Weighted Average Cost of Capital



- Kombinationen der Sensitivitäten
- Manifold Simulations (über hunderte Szenarien) mit Monte-Carlo Ansatz

Unsicherheiten: Klima I



Global Warming Levels (GWLs):

- Die Vielzahl an Emissions- und Anpassungsszenarien (~9) und Zeitscheiben erschwert die Interpretation → **GWL für Auswirkungsorientierte, vereinfachte Kommunikation**
- GWLs bezeichnen die **20-jährige Periode**, in der die **globale Mitteltemperatur einen bestimmten Wert** über dem vorindustriellen Niveau (1850–1900) erreicht
- In der **Periode 2001-2020** wurde **GWL-1.0°C** erreicht.
- Prognose der Perioden-Zentren: **GWL-1.5°C ~2025** und **GWL-2.0°C ~2040**

- Wie verändern sich die **mittleren Wetterbedingungen** für das Energiesystem unter verschiedenen GWLs?
- Wie verändern sich Häufigkeit und Intensität **kritischer Wetterperioden und Extremereignisse** ?

Unsicherheiten: Klima II - Definition & Analyse von Wetter-Stressereignissen im österreichischen Stromsystem

Herausforderung:

Identifikation Systembelastungen in Energiesystemen.

- Es gibt **keinen einheitlichen Ansatz** zur Definition von Extremereignissen in Energiesystemen.
- **Kriterien und Methoden variieren** je nach Region, Technologie und Systembedingungen.
- Betrachtung der **Erzeugungsrückgänge oder des Kapazitätsfaktors unter einen bestimmten Prozentsatz** der installierten Leistung über eine vorgegebene Dauer.

Ausgangslage: Identifikation und Charakterisierung historischer Stressereignisse im österreichischen Stromsystem als Basis für zukünftige Klimarisiko-Analysen.

Analysierte Ereignistypen:

Dunkelflaute: Mehrtägig sehr geringe Wind- und PV-Erzeugung

Ende Januar – Anfang Februar 2017
(10-Tage-Ereignis)

Hitzewellen / Trockenperioden: Hohe Temperaturen, geringe Niederschläge– Reduzierte Wasserführung → geringere Wasserkrafterzeugung

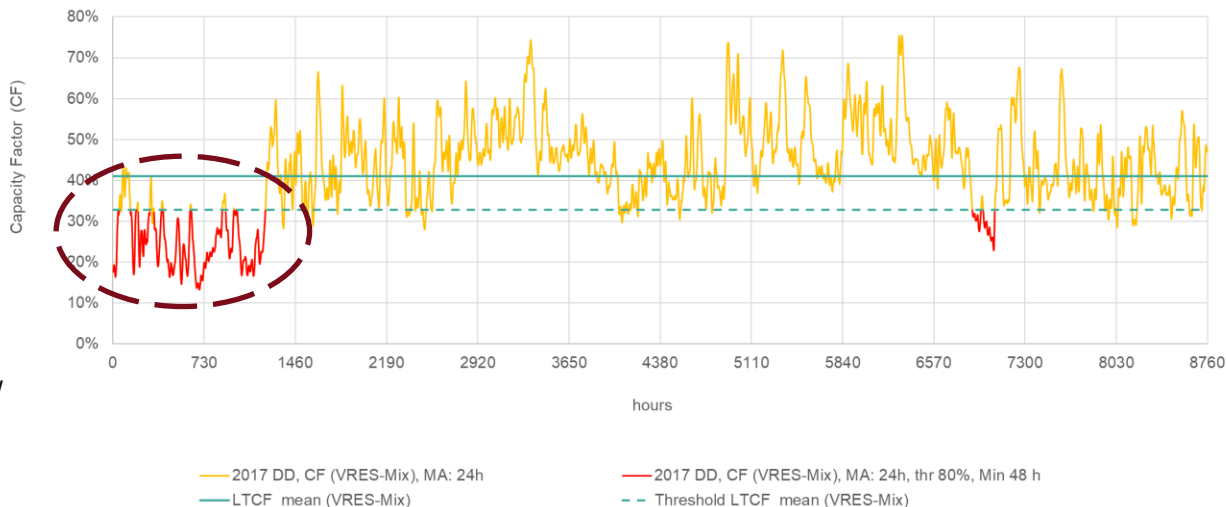
Sommer (Juli, August) 2022

Unsicherheiten: Klima II - Definition & Analyse von Wetter-Stressereignissen im österreichischen Stromsystem

Dunkelflaute in 2017

Daten & Methodik:

- VRES-Kapazitätsfaktoren in Österreich (Wind, PV, RoR) für 2017 & 2022
- Vergleich mit Mittelwert 2015–2022
- Multi-Schwellenanalyse: 50%–90 % des langjährigen Mittelwerts
- Gleitender Durchschnitt (um kurzfristige Schwankungen zu glätten): 24 h / 168 h / 720 h Mindestdauer von Event: ≥ 48 h
- **Perioden unter Schwellenwert =** potenzielle systemrelevante Low-Renewable-Ereignisse



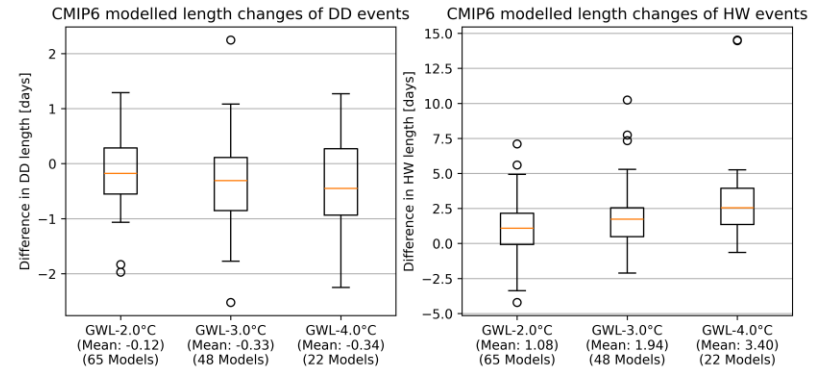
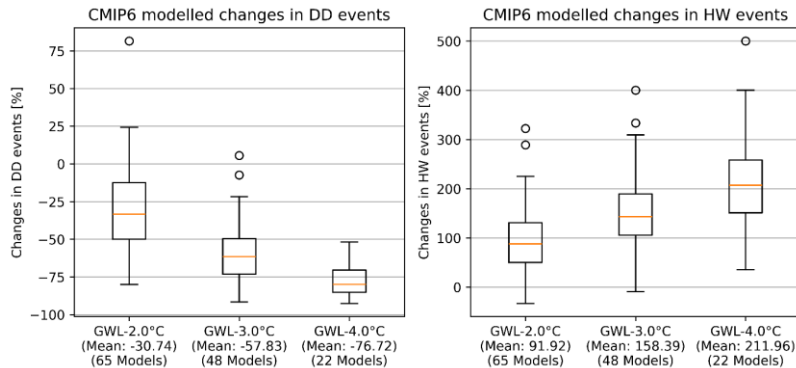
Bekannte Dunkelflaute zwischen **27.01.2017–06.02.2017** identifiziert bei 80% Schwellenwert & 24h gleitendem Durchschnitt

Unsicherheiten: Klima III

Trends in GWLs im Vergleich zu GWL-1°C

Änderungen (%) in der Anzahl von DD- und HW-Ereignissen in den GWLs im Vergleich zu GWL-1 (2001-2020)

Änderungen (Tage) in der Länge von DD- und HW-Ereignissen in den GWLs im Vergleich zu GWL-1 (2001-2020)



Häufigkeit (Vorläufige Analyse)

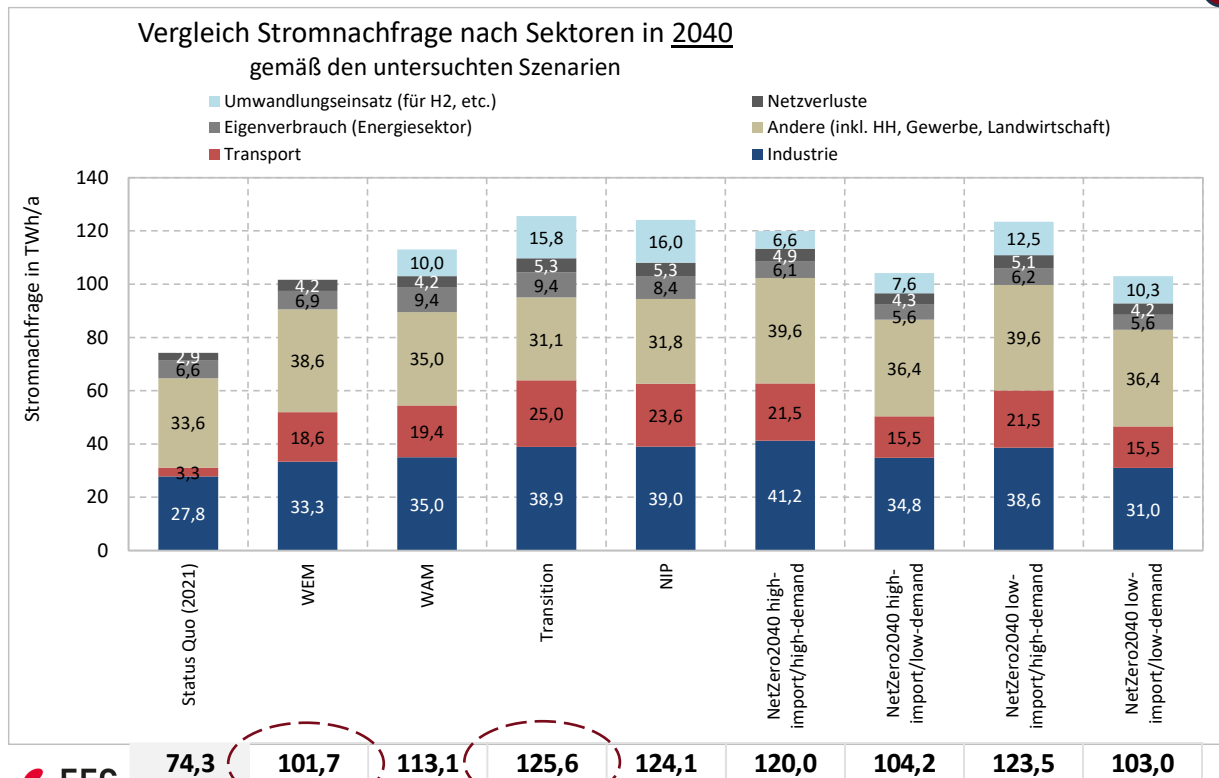
32 DD-events in GWL 1 über 20 Jahre (2001-2020)
Dark Doldrums Häufigkeit sinkt um -75 %,
Hitzewellen- Häufigkeit steigt um +210 % in GWL-4.0°C

Länge (Vorläufige Analyse)

- DD-Ereignisse werden leicht kürzer (4,5 Tagen in GWL-1.0°C)
- HW-Ereignisse werden länger (von 11 Tagen in **GWL-1.0°C** auf etwa **13,5 Tage bei GWL-4.0°C**), $\approx +2,5$ Tage

DeRisk-E Stromverbrauchsbandbreite 2040:
102 bis 126 TWh

Unsicherheiten: Stromnachfrage



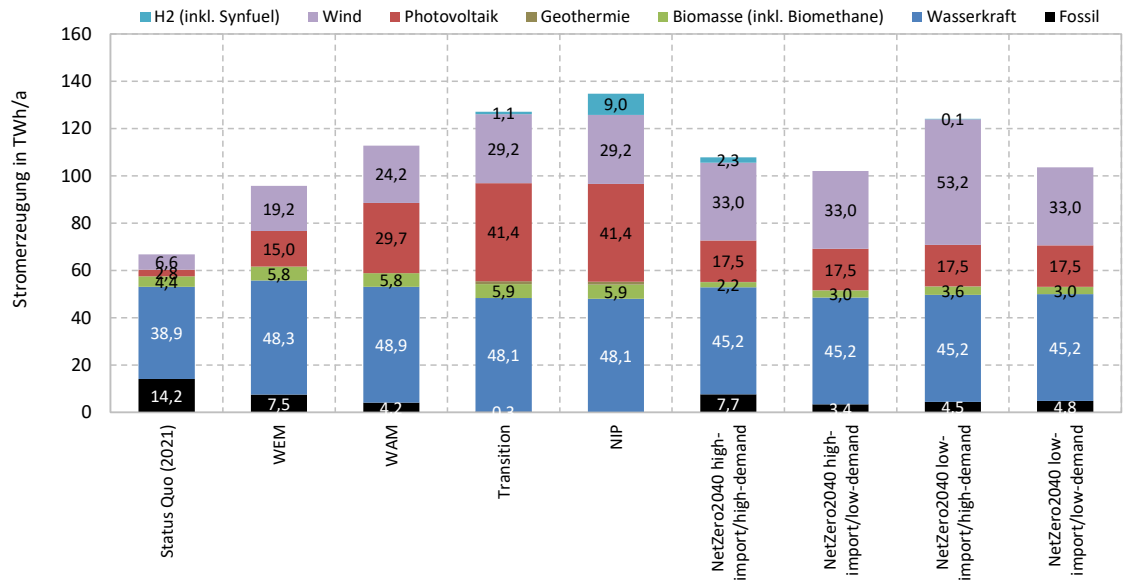
- Die Elektrifizierung unterstützt die Dekarbonisierung von Verkehr, Gebäuden und Industrie durch zunehmende Sektorkopplung.
- In allen betrachteten Szenarien wird ein deutlicher Anstieg des Strombedarfs bis 2040 erwartet, sichtbar im Vergleich mit dem Status Quo von 2021.
- Stromnachfragewachstum variieren je nach Szenario erheblich – von **+37 % (UBA-WEM)** bis **+69 % (UBA-Transition)** – bedingt durch unterschiedliche Annahmen.

Unsicherheiten: EE-Ausbau

DeRisk-E EE-Zubau 2021 bis 2040:

- PV: 12 bis 39 TWh
- Wind: 13 bis 47 TWh

Vergleich Stromerzeugung nach Energieträgern in 2040
gemäß den untersuchten Szenarien

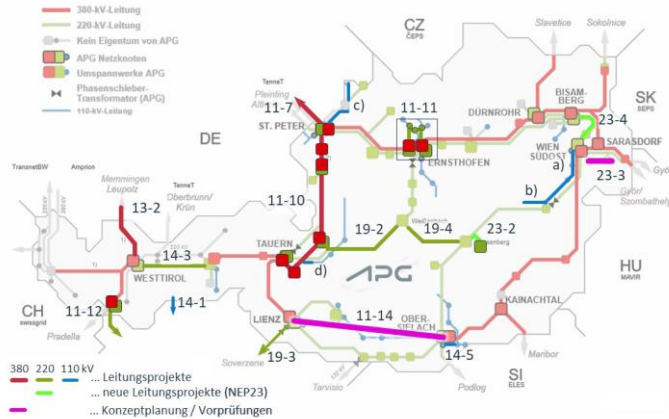


- Angebotsseitig gehen die Szenarien von einer **starken Nutzung erneuerbarer Energien** bis 2040 aus.
- Neben der Wasserkraft werden vor allem **Wind- und Photovoltaik** zentrale Säulen für den steigenden Strombedarf sein.
- Die Literatur bestätigt den Trend – mit **unterschiedlichen Ausbauzielen** bis 2040..

DeRisk-E EE-Erzeugung 2040:
100 (WEM) bis 128 (Transition)TWh

66,8	95,8	112,8	127,2	134,8	107,9	102,1	124,1	103,6	Erzeugung
7,4	5,8	0,4	-1,7	-10,7	10,6	1,9	-0,8	-0,8	Nettoimporte
	12,2	26,9	38,6	38,6	14,7	14,7	14,7	14,7	Zubau PV
	12,6	17,6	22,6	22,6	26,4	26,4	46,6	26,4	Zubau Wind

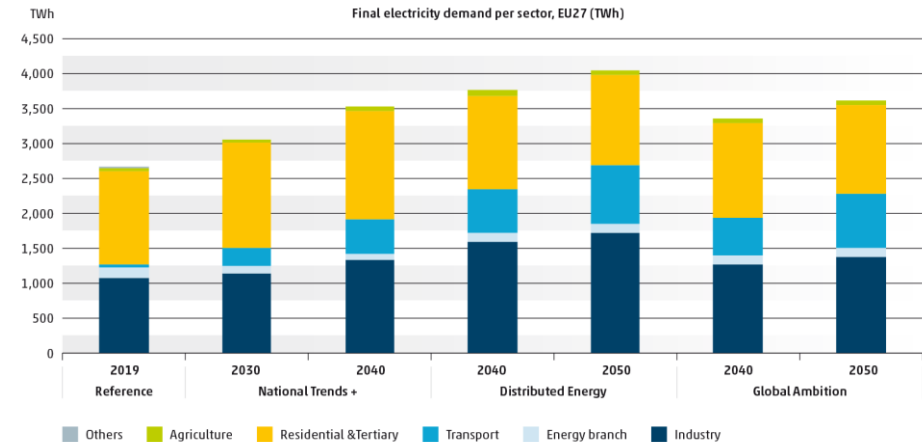
Unsicherheiten: Übertragungsnetzausbau und europäische Entwicklungen



Quelle: APG, Netzentwicklungsplan 2023

DeRisk-E Europatrend gemäß TYNDP 2024 Szenarien:

- **National Trends:** Referenz, analog zu WAM
- **Distributed Energy:** Ambitioniert, dezentrale EE, EU stärkt europäische Position, aber global entkoppelt
- **Global Ambition:** Ambitioniert, zentrale EE, EU im Gleichklang mit dem Rest der Welt



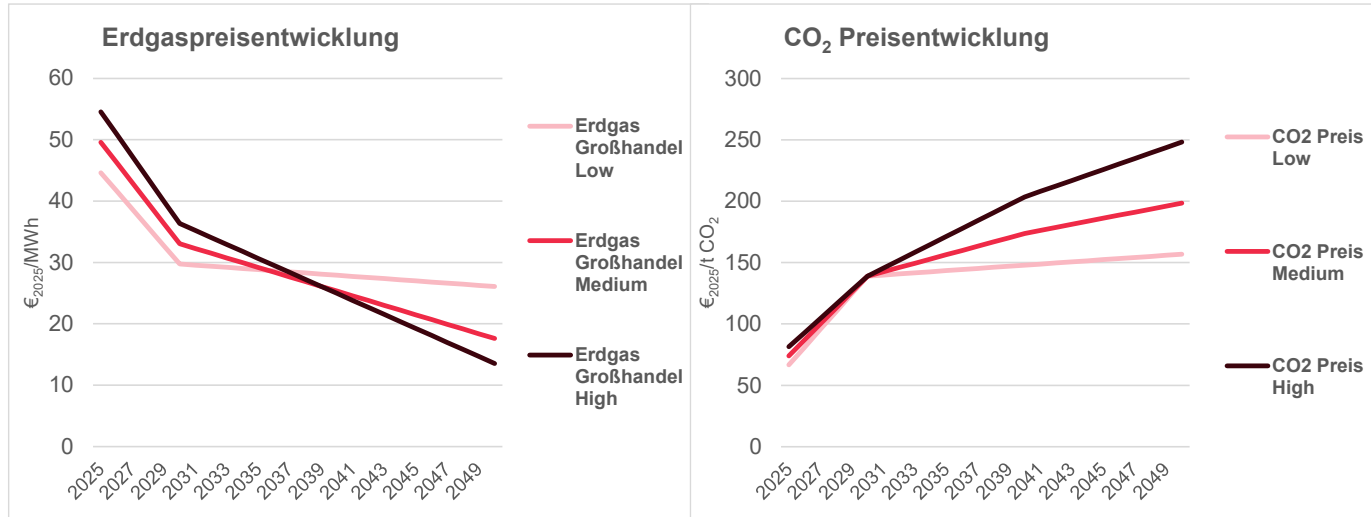
Quelle: ENTSO-E, TYNDP 2024, Scenario Report

- **Das Stromnetz muss** in Österreich, aber auch in anderen europäischen Ländern **ausgebaut werden**, um Verbrauchswachstum und mehr Erneuerbare zu bewältigen.
- Der aktuelle (2024) TYNDP (ENTSO-E) zeigt die europäischen Netzausbaupläne für die nächsten 10 Jahre und Szenarien bis 2050.

Unsicherheiten: Geopolitik Erdgas- und CO₂-Preise

DeRisk-E Preisbandbreiten 2050:

- Erdgas: **14 bis 26 EUR₂₀₂₅/MWh**
- CO₂: **157 bis 248 EUR₂₀₂₅/t CO₂**



Quelle: basierend auf IEA, World Energy Outlook 2024

- **Trendannahmen**
Erdgaspreise und CO₂-Emissionsrechten basieren auf den **Einschätzungen der Internationalen Energieagentur**, gemäß aktuellem (2024er) **World Energy Outlook**
- Die **untere Bandbreite widerspiegelt eine "Business-As-Usual" Welt**, während die **obere Bandbreite weltweite Klimaneutralität** unterstellt
- **Anmerkung:** Bei Erdgas ist in der langen Frist (2050) ein gegenläufiger Trend zu erkennen - globale Klimaneutralität bedingt niedrige Preise, da die Nachfrage wegbricht

Unsicherheiten: Kapitalmärkte

WACC: gewichtete durchschnittliche Kapitalkosten.

- Schätzung des Referenz WACC auf Länderebene für die Jahre 2040/2050
- Bestimmung von Korridoren (untere, mittlere, obere Grenzen) auf Basis stochastischer Modellierung.

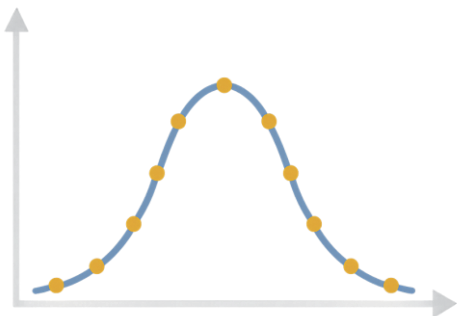
Der WACC (Weighted Average Cost of Capital)

$$c^{WACC} = r(FK) \cdot (1 - s) \cdot \frac{FK}{GK} + r(EK)_v \cdot \frac{EK}{GK}$$

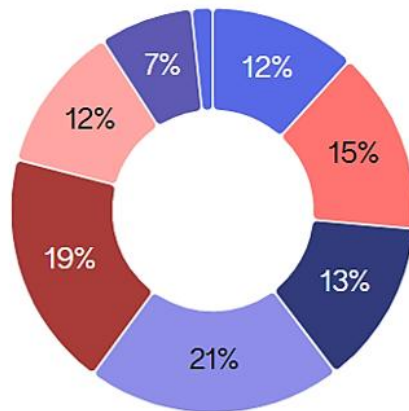
- c^{WACC} = WACC (=Weighted Average Cost of Capital)
- FK = **Marktwert** des verzinslichen Fremdkapitals
- EK = **Marktwert** des Eigenkapitals
- GK = **Marktwert** des Gesamtkapitals (WACC-Ansatz)
- s = Unternehmenssteuersatz
- r(FK) = Kosten des Fremdkapitals bzw. Renditeforderung der Fremdkapitalgeber
- r(EK)_v = Renditeforderung der Eigenkapitalgeber für das verschuldete Unternehmen

Erwartete Ergebnisse

Wahrscheinlichkeitsverteilung der Ergebnisse



Stakeholderantworten zu der Frage: Welche der folgenden KPIs sollten wir Ihrer Meinung nach bei den Ergebnissen besonders hervorheben?



- 12% Installierte Leistung per Technologie (GW)
- 15% Jahreserzeugung per Technologie (GWh)
- 13% Investitionskosten für neue Anlagen und Netzinfrastruktur (€)
- 21% Systemkosten (€)
- 19% Strompreise (€/MWh)
- 12% Energy not served (ENS) (MWh oder GWh)
- 7% CO₂-Emissionen (t)
- 1% Weitere KPIs (bitte im Chat nennen): _____

VIELEN DANK!

Demet Suna

AIT Austrian Institute of Technology

Center for Energy, Integrated Energy Systems

demet.suna@ait.ac.at

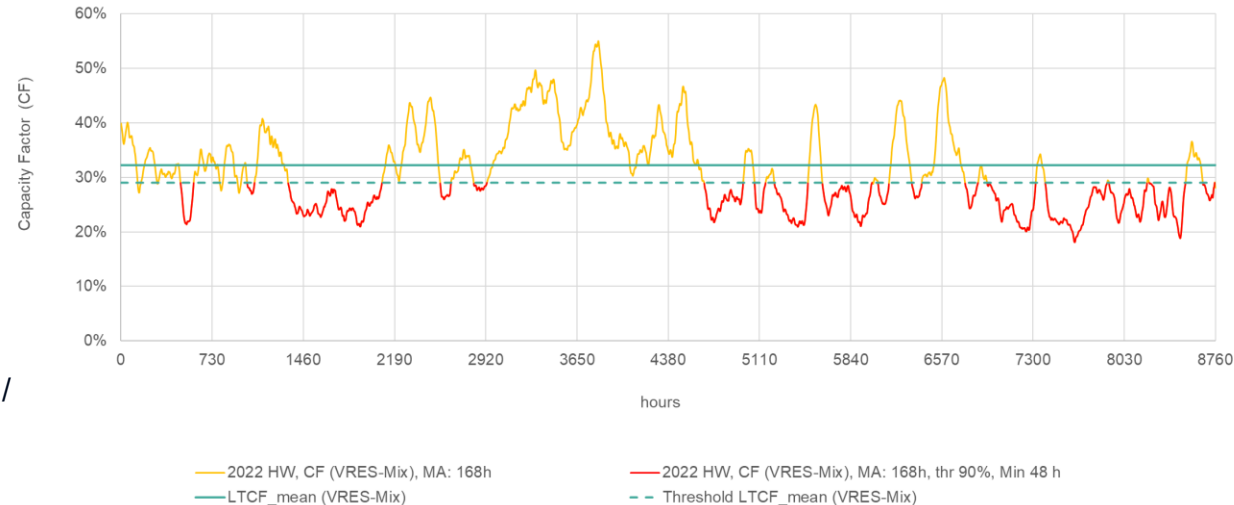
BACKUP

Unsicherheiten: Klima II - Definition & Analyse von Wetter-Stressereignissen im österreichischen Stromsystem

Hitzewelle in 2022

Daten & Methodik:

- VRES-Kapazitätsfaktoren in Österreich (Wind, PV, RoR) für 2017 & 2022
- Vergleich mit Mittelwert 2015–2022
- Multi-Schwellenanalyse: 50%–90 % des langjährigen Mittelwerts
- Gleitender Durchschnitt (um kurzfristige Schwankungen zu glätten): 24 h / 168 h / 720 h Mindestdauer von event: ≥ 48 h
- **Perioden unter Schwellenwert =** potenzielle systemrelevante Low-Renewable-Ereignisse



Bekannte Hitzewelle im Juli, August 2022 identifiziert bei

- 90% - Schwellenwert und
- 168h -gleitendem Durchschnitt

Konzept III: Multiple Simulationen mit Monte-Carlo Ansatz

- **Statistische Methode basieren auf Zufallsstichproben** (random sampling) für den Umgang mit Unsicherheiten um die Bandbreite möglicher Ergebnisse zu fassen
- **Risikobewertung /Auswertung von Unsicherheiten:** wie stark verändern sich die Ergebnisse wenn die Eingangsparameter unsicher sind

