



## SECURING AUSTRIA'S ELECTRICITY SUPPLY IN TIMES OF CLIMATE CHANGE



### Policy brief

#### Energiesysteme werden zunehmend vom Klimawandel beeinflusst

Der Klimawandel beeinflusst zunehmend die Planung und den Betrieb von Stromsystemen, da dessen Auswirkungen einerseits intensiver, andererseits die Wettereinflüsse aufgrund des steigenden Anteils erneuerbarer Stromerzeugung immer relevanter werden. Das Projekt SECURES (Securing Austria's Electricity Supply in Times of Climate Change) analysierte Herausforderungen und Chancen für das zukünftige Stromsystem Österreichs in Zeiten des Klimawandels und der Dekarbonisierung.

#### Kombination von Klimamodellierung und Energiesystemmodellierung

In einem interdisziplinären Ansatz zwischen Energie- und Klimamodellierung wurde ein umfassender meteorologischer Datensatz (SECURES-Met) für Österreich und Europa erstellt, um den Anforderungen der Energiesystemmodellierung gerecht zu werden (NUTS0-NUTS3-Ebene, stündliche Auflösung). SECURES-Met deckt die Jahre 1981–2020 für den historischen Zeitraum und bis 1981–2100 für zwei Treibhausgasemissionsszenarien ab (RCP 4.5/8.5). Basierend auf den untersuchten meteorologischen

Variablen Temperatur, solare Einstrahlung sowie Windkraft- und Wasserkraftpotenzial, wurden stündlichen Profile aller relevanten, wetterabhängigen elektrischen Erzeugungs- und Nachfragekomponenten abgeleitet. Weiters wurden Extremereignisse und Wetterjahre aus meteorologischer und energiesystemischer Sicht identifiziert und verglichen.

#### Drei open-access Datensätze: SECURES-Met, SECURES-Energy und SECURES-EMod

Diese Profile (SECURES-Energy) bildeten die Grundlage für die durchgeführte Energiesystemmodellierung und können an viele weitere Kontexte angepasst werden. In den betrachteten Emissionsszenarien zeigt sich kein starker Trend bzgl. der Volllaststunden von Solar-, Wind- und Laufwasserkraft in Österreich. Die stärkste interannuelle Variabilität der Volllaststunden jetzt und in der Zukunft wurde für die Laufwasserkraft beobachtet, wobei diese mit zunehmendem Klimawandel in Österreich steigt. Darüber hinaus zeigte sich aus den Klimaprojektionen, dass die Laufwasserkrafterzeugung im Sommer ab- und im Winter zunimmt, was eine Abflachung des saisonalen Profils und des damit verbundenen Speicherbedarfs im Vergleich zu heute bedeutet (s. Abbildung 1).

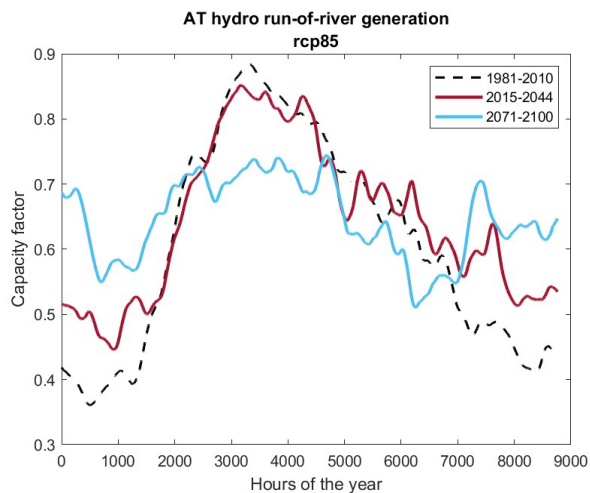


Abbildung 1: Verschiebung des saisonalen Erzeugungsmusters der Laufwasserkraft im Szenario mit starken Emissionen (RCP8.5); es ist eine Vergleichsmäßigung über das Jahr zu beobachten, wobei die Erzeugung im Winter steigt und im Sommer sinkt.

Am Ende des Jahrhunderts (2071-2100) wird ein stark sinkender Wärmebedarf (-35 %) und ein stark steigender Kühlbedarf (+144 %) im starken Emissionsszenario (RCP 8.5) im Vergleich zum Referenzzeitraum (1981-2010) sichtbar (reines Temperatursignal). In den Szenarien nehmen kritische Residuallastsituationen im Sommer zu, was die steigende Bedeutung von Hitzewellen zeigt, während im mitteleuropäischen Stromsystem weiterhin mit den meisten kritischen Situationen im Winterhalbjahr zu rechnen ist.

### Modellierung des zukünftigen Energiesystems: Dekarbonisierung und Klimawandel

Geografisch und zeitlich umfasste die Energiesystemmodellierung Österreich und Europa in der nahen (2030) bis mittleren Zukunft (2050). Der zentrale Aspekt der Szenariogestaltung bestand in der Kombination zweier unterschiedlicher Energiesektorpfade für Österreich/Europa bis 2050 mit den oben beschriebenen Klimaszenarien. Im Referenzpfad (REF) und entsprechenden Szenarien strebt Österreich eine erneuerbare Stromversorgung bis

2030 und darüber hinaus an. Allerdings repräsentiert er in anderen Sektoren und EU-Ländern geringere Dekarbonisierungsambitionen und geht dementsprechend mit einem starken Klimawandelszenario einher (RCP 8.5). Der Decarbonisation Needs (DN)-Pfad stellt ein starkes Dekarbonisierungsziel in der gesamten EU dar und impliziert Netto-Null bis 2050. Folglich wird ein starkes Wachstum der Stromnachfrage erwartet, angetrieben durch eine starke Sektorkopplung zur Dekarbonisierung anderer Sektoren wie Industrie und Mobilität. DN wurde mit einem mittleren Klimawandelszenario (RCP 4.5) gekoppelt. Aufgrund des analytischen Schwerpunktes auf der Versorgungssicherheit wurden für beide beschriebenen Pfade zusätzlich Wetterjahre analysiert, die extreme Wetterbedingungen (z. B. Dunkelflaute und Hitzewellen) für die mittlere Zukunft (2050) widerspiegeln.

Ein Vergleich der Ergebnisse beider Energiesektorpfade (REF vs. DN) zeigt, welche Herausforderungen die aus klimatischer und gesellschaftlicher Sicht unverzichtbare Energiewende mit sich bringt (s. Abbildung 2). In REF steigt der Bruttoendstrombedarf bis 2050 im Vergleich zu heute (2021) um 55 %, während der DN-Pfad ein Wachstum von 140 % impliziert. Folglich ist auch ein deutlich stärkerer Ausbau von Wind und Photovoltaik (PV) auf der Erzeugungsseite notwendig. Mit zunehmender wetterabhängiger Erzeugung nehmen die kurzfristigen Schwankungen der entsprechenden Stromerzeugung stark zu und erfordern ein hohes Maß an Systemflexibilität, um die Übereinstimmung von Stromnachfrage und -angebot in jeder Stunde sicherzustellen. Somit zeigt ein Vergleich zwischen DN und REF, dass bis 2050 deutlich mehr flexible Speicher- und Erzeugungsanlagen sowie nachfrageseitige Flexibilität benötigt wird. Laut Modellierung ist der Gesamtbestand an Speichern und ausgewählten nachfrageseitigen Flexibilitätskomponenten in Bezug auf die Kapazität in DN bis 2050 ca. 170 % höher als in REF.

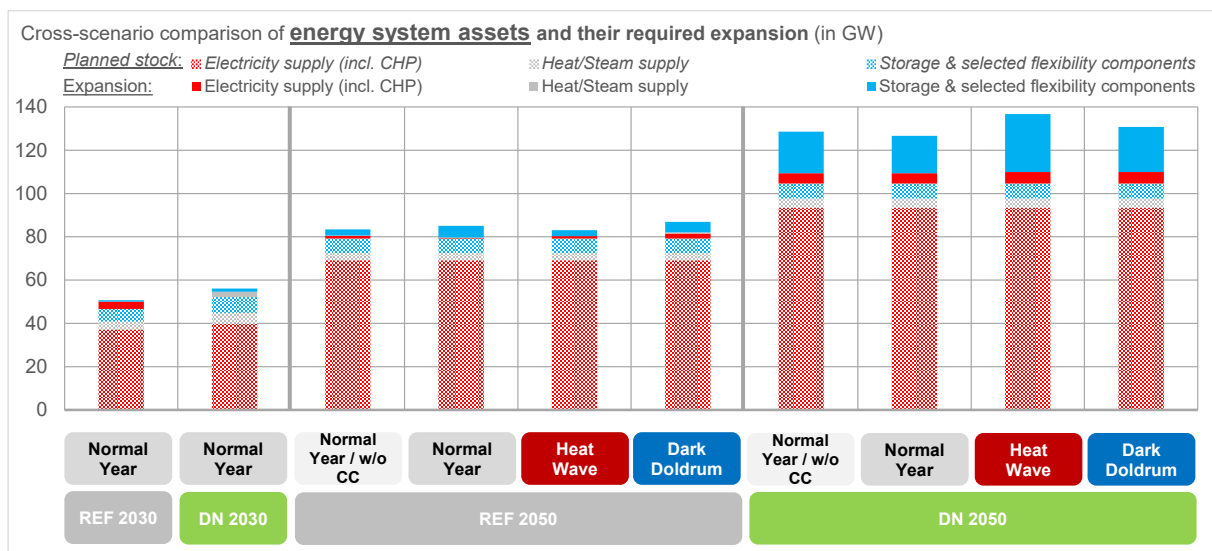


Abbildung 2: Szenarienvergleich von installierten Erzeugern im Strom- und Fernwärmebereich und Speichern und anderen Flexibilitätsoptionen, sowie deren Ausbau.

Auf der Nachfrageseite zeigen sich bei normalen Wetterbedingungen nur marginale aggregierte Auswirkungen des Klimawandels, was zum Teil auf die sich kompensierenden Effekte von Heiz- und Kühlbedarf und zum Teil auf den geringen Anteil der wetterabhängigen Last am gesamten Strombedarf in dekarbonisierten Energiesystemen zurückzuführen ist. Auf der Angebotsseite sind starke interannuelle Schwankungen erkennbar und die Auswirkungen hängen stark vom gewählten Wetterjahr ab. Im Einklang mit den langfristigen Klimaprojektionen weisen bei normalen Wetterbedingungen mit Klimawandel Wind- und Laufwasserkraft eine leicht höhere jährliche Erzeugung auf, während bei PV in den modellierten Normalwetterjahren vernachlässigbare Unterschiede zu beobachten sind. Von zentraler Bedeutung ist die Berücksichtigung extremer Wetterbedingungen, da mit fortschreitendem Klimawandel die Häufigkeit und Dauer solcher Ereignisse gemäß der Klimaprojektionen zunimmt. In der Analyse dienten eine Hitzewelle und eine Dunkelflaute als Stresstest für die Versorgungssicherheit. Ergebnisse aus 2050-DN-Szenarien zeigen, dass für die Sicherstellung der Stromversorgung unter diesen extremen Bedingungen im Vergleich zu einem normalen Wetterjahr eine stärkere Nutzung der Windenergie aus Gesamtkostensicht sinnvoll erscheint. Für Speicher und nachfrageseitige Flexibilitätsanlagen zeigen sich sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede zwischen einer

Hitzewelle und einer Dunkelflaute: Für beide Ereignisse erhöht sich in der Modellierung der Bestand an Elektrolyseuren sowie begleitenden Wasserstoffspeichern. In der Dunkelflaute erscheinen thermische Speicher aufgrund der zunehmenden Sektorkopplung sowohl auf der Wärme- als auch auf der Stromseite zur Lastverschiebung sinnvoll. Während einer Hitzewelle mit wenig Laufwasser- und Winderzeugung erweisen sich Batterien zentral für das System, um die hohe PV-Einspeisung tagsüber in die Abendstunden zu verlagern.

Die Ergebnisse von SECURES sollen österreichische politische Entscheidungsträger\*innen und Interessengruppen dabei unterstützen, mögliche Konflikte in den politischen Zielen für die Notwendigkeit der Dekarbonisierung, eine sichere Energieversorgung und die Folgen für die österreichische Wirtschaft, die alle von den zunehmenden Auswirkungen des Klimawandels betroffen sind, zu überwinden.

### Auswirkungen auf die Politik

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass es für eine angemessene Modellierung zukünftiger dekarbonisierter Energiesysteme äußerst wichtig ist, die Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen. Im Projekt SECURES wurden drei europaweite open-access Datensätze (SECURES-Met, SECURES-Energy und SECURES-EMod) für historische Klima- und Klimawandelprojektionen erstellt.

Dies ermöglichte die Überprüfung und Weiterentwicklung methodischer Ansätze zur Identifizierung und Bewertung von extremen Wetterjahren für die Modellierung von Energiesystemen aus meteorologischer und energiewirtschaftlicher Sicht anhand stündlicher Zeitreihen. Schlussendlich geben die modellierten Energiesystemszenarien Einblick in verschiedene Dekarbonisierungspfade und deren Versorgungssicherheit unter dem Einfluss des Klimawandels in Österreich.

### Zentrale Politikempfehlungen

- Um die Energiewende hin zur Dekarbonisierung aller Sektoren voranzutreiben, sind hohe Investitionen in die verschiedenen Komponenten des Energiesystems unerlässlich, sei es auf der Erzeugungs-, Nachfrage- oder Flexibilitätsseite. Die im Rahmen von SECURES durchgeführten Modellierungen zeigen, dass insbesondere die Speicherung und die Einbeziehung der Nachfrageseite von zentraler Bedeutung zu sein scheint, um das Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage im Elektrizitätssektor auf allen zeitlichen Skalen sicherzustellen.
- In den kommenden Jahren wird der Großteil der Stromversorgung sowohl in Österreich als auch in anderen Teilen Europas auf wetterabhängigen erneuerbaren Energiequellen wie Wind, Sonne oder Wasser beruhen. Um mit den zukünftigen Klimaauswirkungen bestmöglich umgehen zu können, ist es notwendig, Österreichs Stromsektor zukunftssicher und klimafit zu machen. In der Praxis bedeutet dies, dass für die Planung nicht nur Standardwetterbedingungen berücksichtigt werden müssen. Vielmehr soll die Bewältigung von extremen Wettersituationen, insbesondere Hitzewellen und Dunkelflauten, zum neuen Standard in der Energiesystemplanung werden.
- Neben den oben aufgeführten Investitionen im Energiesystem ist es von zentraler Bedeutung, Märkte zu schaffen und eine breitere Palette von Akteuren einzubeziehen. Derzeit gibt es eine Lücke auf den Märkten für Flexibilitätsdienstleistungen. Sobald sie etabliert sind, müssen die Regeln für die Teilnahme der verschiedenen Marktteilnehmer einfach und transparent sein, um deren Reichweite zu erhöhen.

Weitere Informationen, Berichte & Veröffentlichungen und Datensätze finden Sie unter <https://www.secures.at/publications>.

#### Kontakt

##### Technische Universität Wien, Energy Economics Group

Dr. Franziska Schöniger, [schoeniger@eeg.tuwien.ac.at](mailto:schoeniger@eeg.tuwien.ac.at)

##### AIT Austrian Institute for Technology AIT, Integrated Energy Systems

Dr. Demet Suna, [Demet.Suna@ait.ac.at](mailto:Demet.Suna@ait.ac.at)

##### Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Meteorologie und Klimatologie (BOKU-Met)

Prof. Dr. Herbert Formayer, [herbert.formayer@boku.ac.at](mailto:herbert.formayer@boku.ac.at)

