

A photograph of a large, modern building with a prominent triangular pediment and several tall, narrow windows. The building is light-colored and surrounded by greenery. The image is partially obscured by a yellow and grey horizontal bar at the bottom.

Versorgungssicherheit in Deutschland

Herausforderungen im Transformationsprozess bis 2045

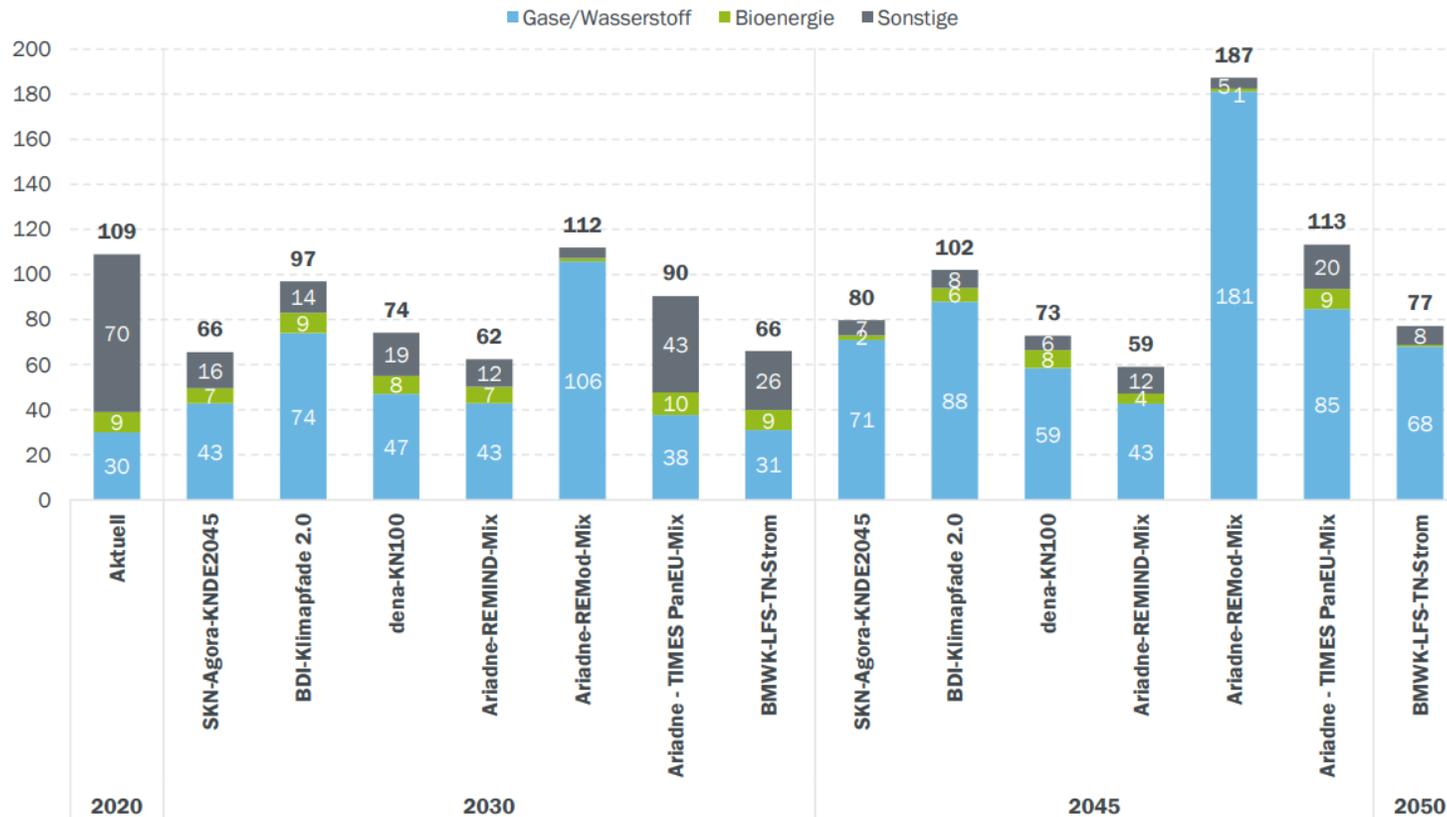
Philip Schnaars

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) gGmbH | Stuttgart, 26.09.2022

1

Einleitung

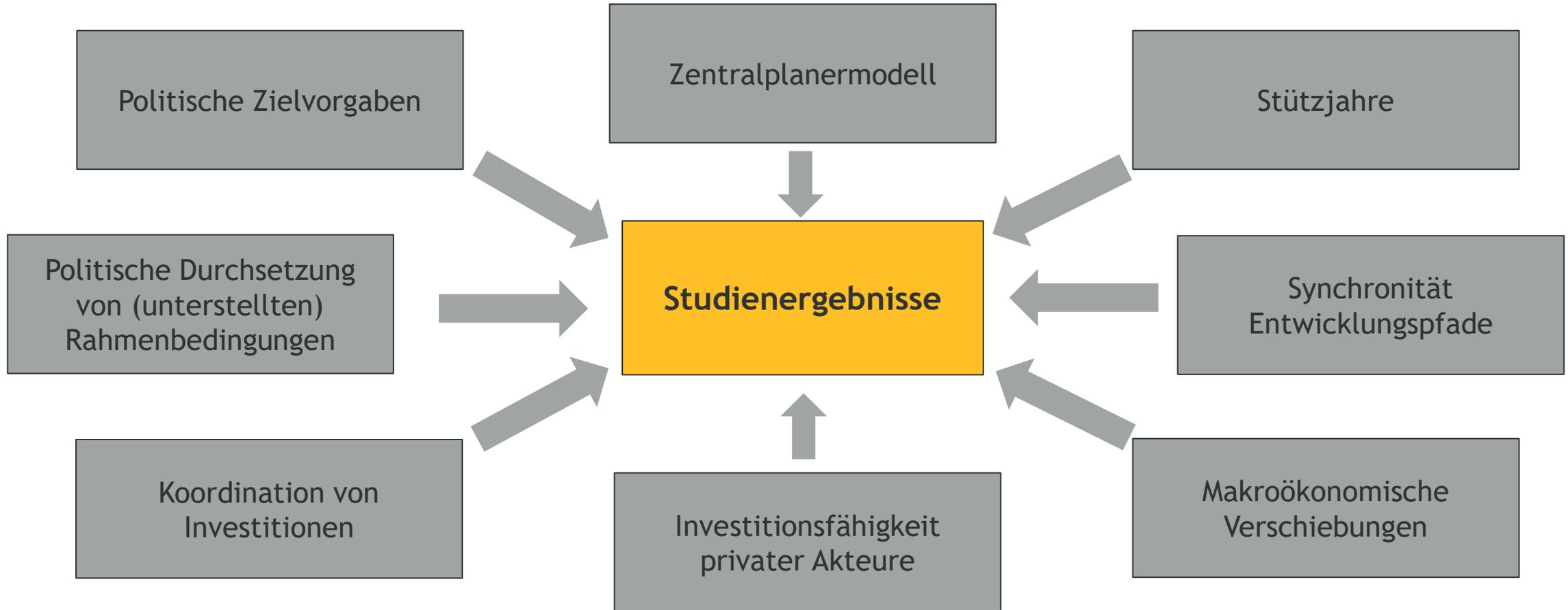
Installierte Leistung steuerbare Kraftwerke in den Big5-Energiesystemstudien [GW]



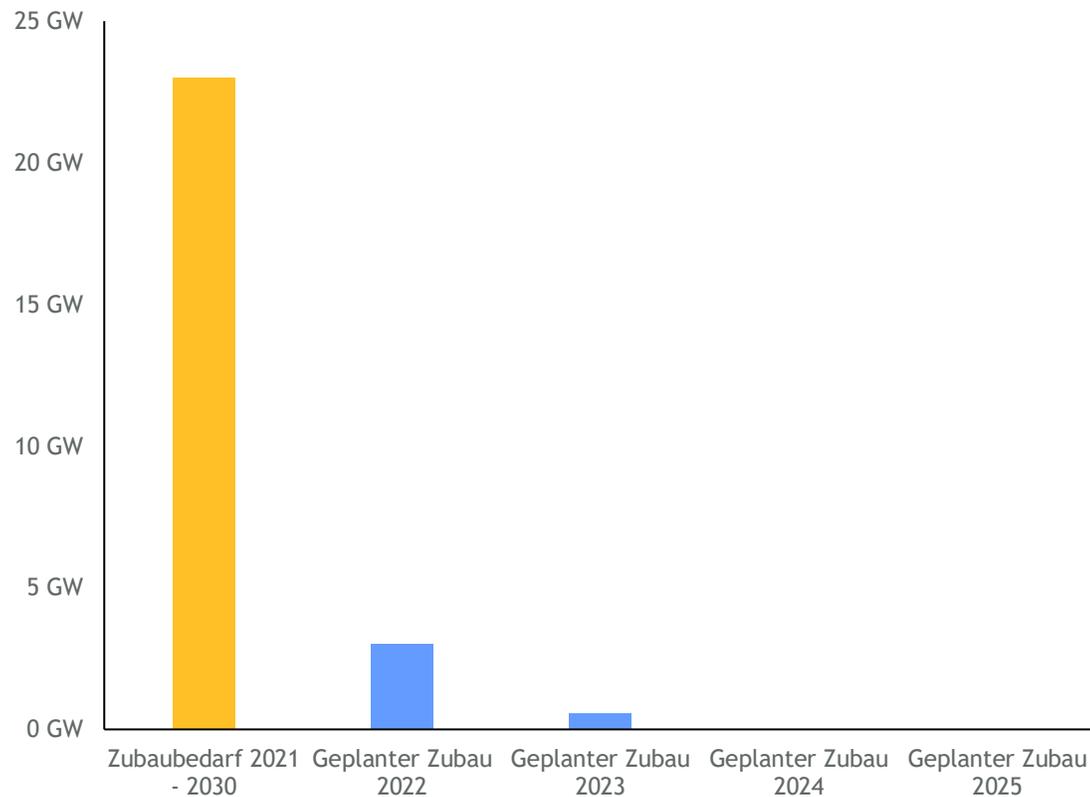
- In allen größeren Energiesystemstudien wird ein Zubau von Gaskraftwerken simuliert.
- Ausgehend vom aktuellen Bestand liegen diese Erwartungen zwischen 13 GW bis 101 GW bis 2045.
- Dies geht mit einem spürbaren Rückbau an Kohlekraftwerken einher.
- Diese Entwicklung beginnt bereits im Laufe dieses Jahrzehnts.

Quelle: Gierkink et al. (2022)

Wie übersetzen sich Studienergebnisse in die Realität?



Zubaubedarf nach dena-KN100 und registrierter Zubau



- In Deutschland liegt der erwartete Zubau derzeit bei etwa 3,5 GW.
- Dieser Zubau beinhaltet neben Kraftwerken zur allgemeinen Stromversorgung auch kleinere Industrieanlagen.
- Kompletter Wasserstoffbetrieb erfordert meist zusätzliche Investitionen.
- Die Bauzeit ab Genehmigung beträgt im Durchschnitt 3-4 Jahre, der gesamte Zyklus deutlich länger.
- Neuinvestitionen stehen vor unsicheren Betriebs- und Refinanzierungsaussichten
- Es ist derzeit nicht absehbar, ob der Zubaubedarf bis 2030 gedeckt werden kann.

Quelle: Gierkink et al. (2022), Bundesnetzagentur (2022), Stand: 31.05.2022

Einflussfaktoren auf die Versorgungssicherheit in Deutschland

Stetig steigender Anteil Erneuerbarer Energien	Zubau von (H2-ready) Erdgaskapazität
Zunehmende Stromnachfrage durch Sektorenkopplung	Zuwachs Speicherkapazitäten
Rückbau gesicherter Leistung: Kernenergie, Braun- und Steinkohle	Verfügbarkeit von Importen

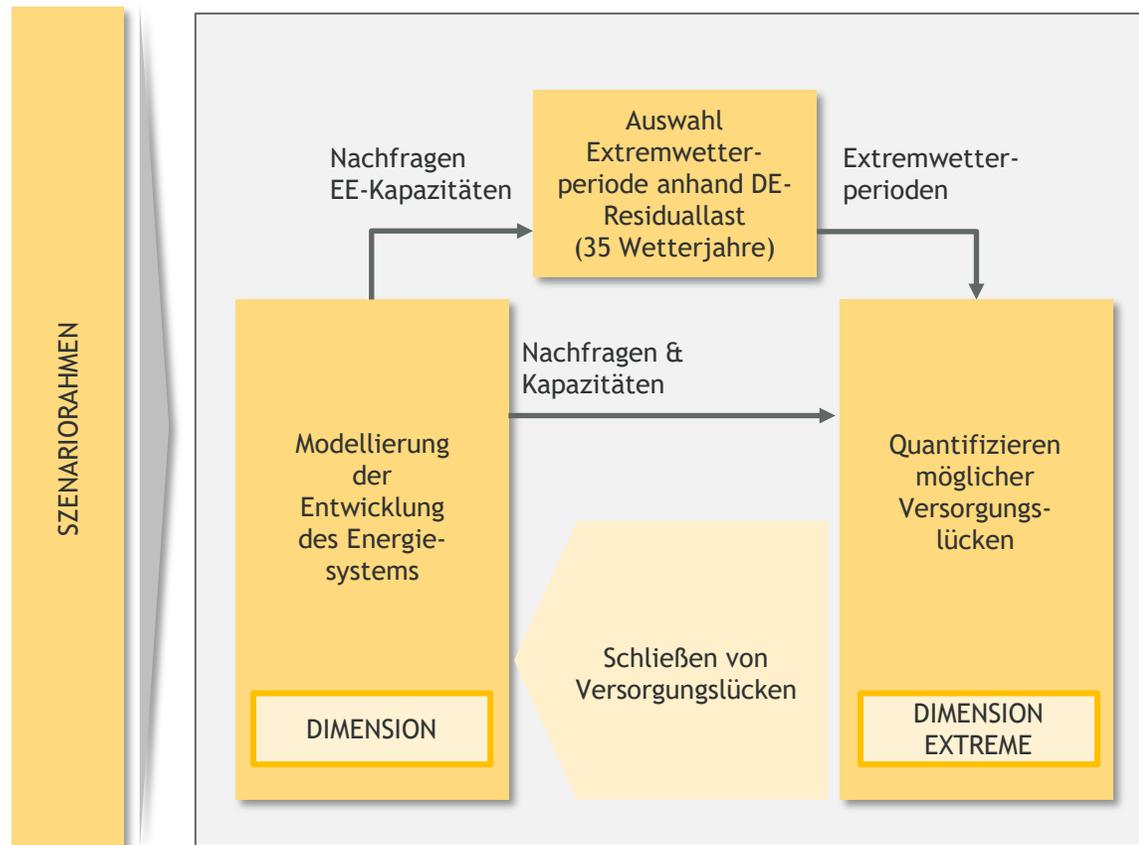
- Der erwartbare geringe Zubau an neuen Gaskraftwerken ist nicht der einzige Einflussfaktor auf die Versorgungssicherheit mit Strom in Deutschland.
- Das „Osterpaket“ des BMWK hat die Ausbauziele für Erneuerbare Energien spürbar angehoben.
- Gleichzeitig wird die Stromnachfrage durch zunehmende Sektorenkopplung im Laufe des Jahrzehnts ansteigen.
- Der Kernenergieausstieg sowie die beschlossenen Ausstiegspfade aus Braun- und Steinkohleverstromung reduzieren die gesicherte Leistung.
- Diese Entwicklung wird im Wesentlichen im europäischen Ausland gespiegelt.
- **Kann die Versorgungssicherheit in Deutschland jederzeit gewährleistet werden?**

2

Methodik: Dimension Extreme

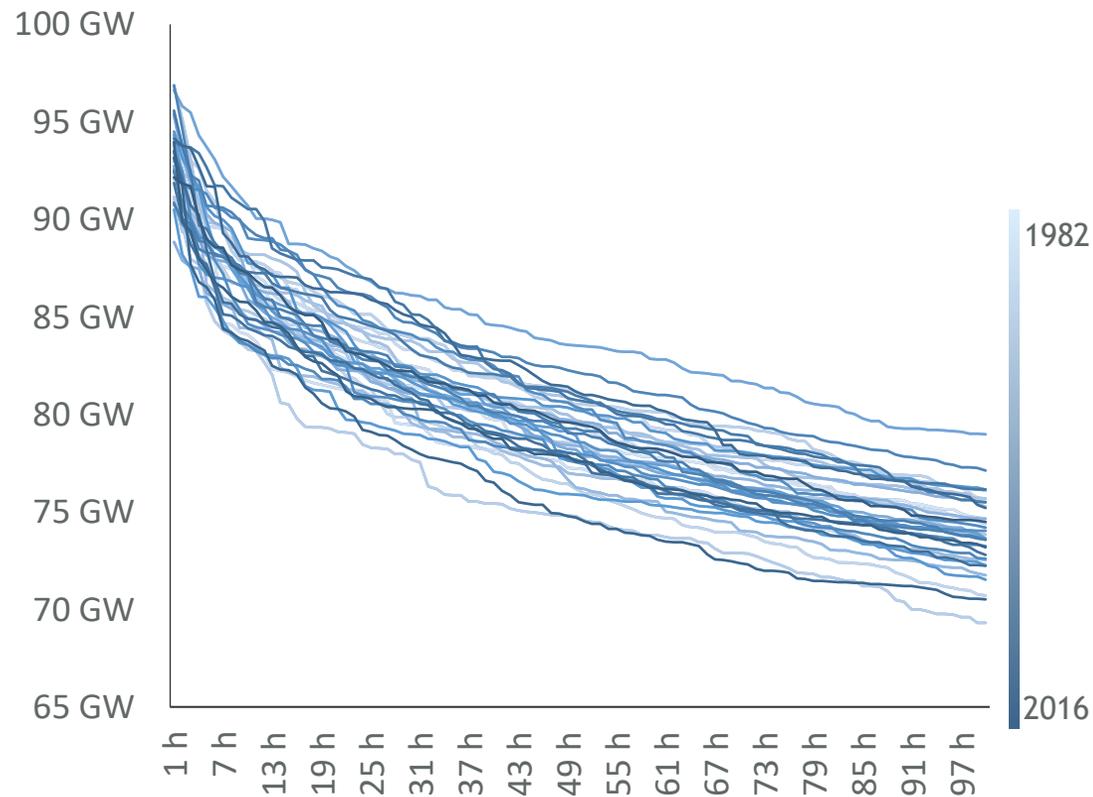
Energiesystemmodellierung in Kombination mit historischen Wetterdaten

Schematische Darstellung der Analyse



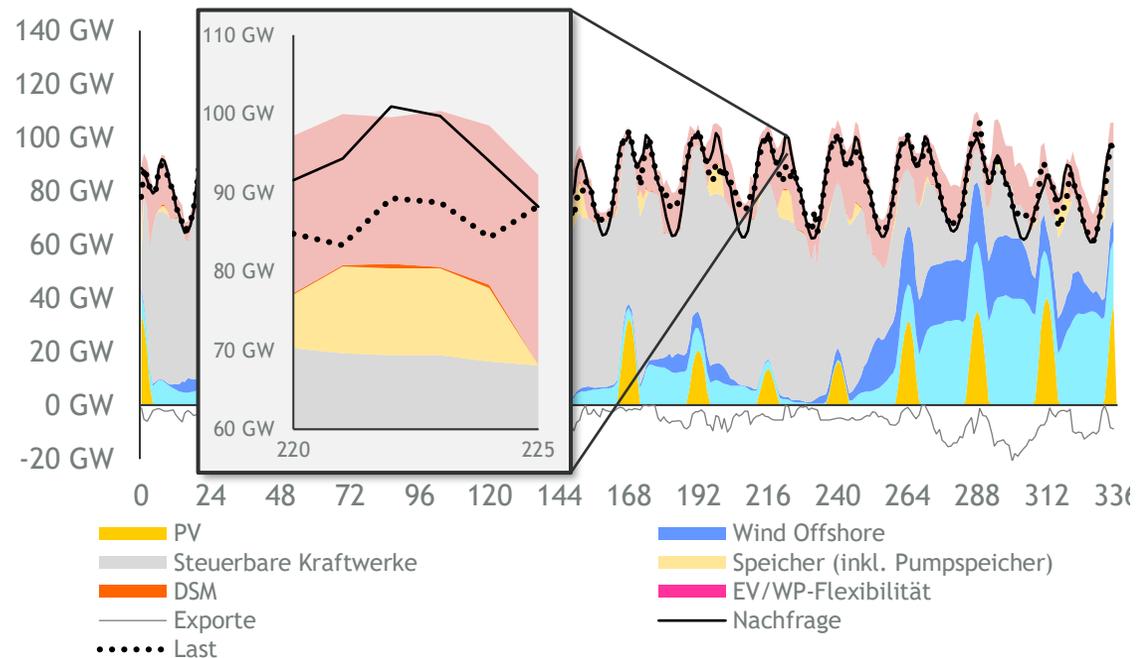
- Die Modellanalyse basiert auf einem zweistufigen Verfahren.
- Im ersten Schritt werden anhand einer Investitionsrechnung mit DIMENSION die installierten Kapazitäten und die daraus resultierende Stromnachfrage modelliert.
- Auf Basis von 35 Wetterjahren werden im zweiten Schritt Perioden mit besonders hohen Residuallasten identifiziert.
- In einem transformierten Energiesystem sind dies Zeiträume mit geringen Verfügbarkeiten Erneuerbarer Energien.
- In diesen Perioden wird anschließend anhand des Modells DIMENSION EXTREME der Einsatz marktlich aktiver Erzeugungs- und Flexibilitätstechnologien simuliert. Dies ermöglicht, mögliche Versorgungslücken in den Extremwetterperioden zu identifizieren und zu quantifizieren.

Exemplarische Residuallast-Dauerlinien für die Wetterjahre 1982-2016



- Die Kritikalität von Extremwettersituationen für das Energiesystem hängt hauptsächlich von der installierten Kapazität Erneuerbarer Energien und der unterstellten Stromnachfrage ab.
- Anhand der Wetterjahre 1982-2016 werden die Residuallasten unter verschiedenen Extremwettersituationen ausgewählt. In diesen Perioden ist der Bedarf an gesicherter, steuerbarer Leistung am höchsten.
- Die stündlichen Verfügbarkeiten der Erneuerbaren Energien basieren auf der Pan-European-Climate-Database (PECD).
- Die Nachfrage nach Strom basiert ebenfalls auf historischen Wetterdaten der PECD sowie eigenen Berechnungen.

Exemplarischer Technologieeinsatz während einer Extremwittersituation



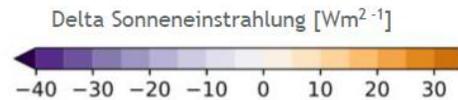
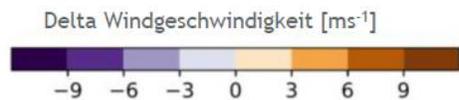
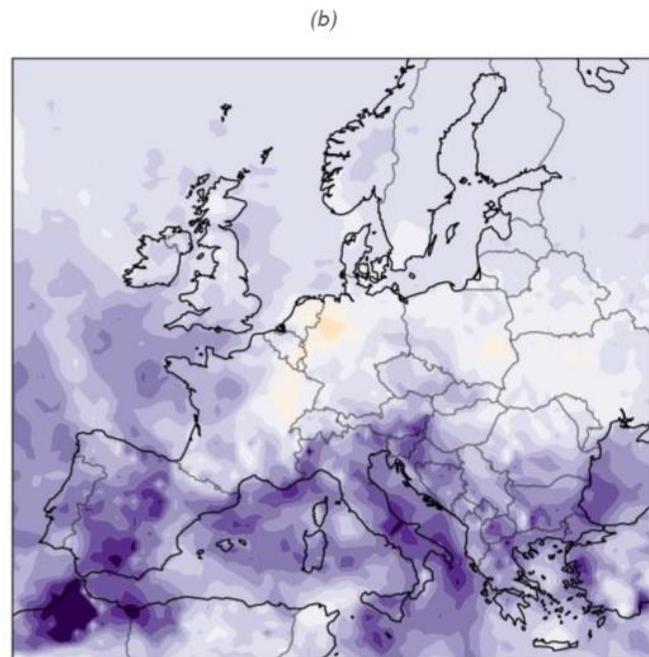
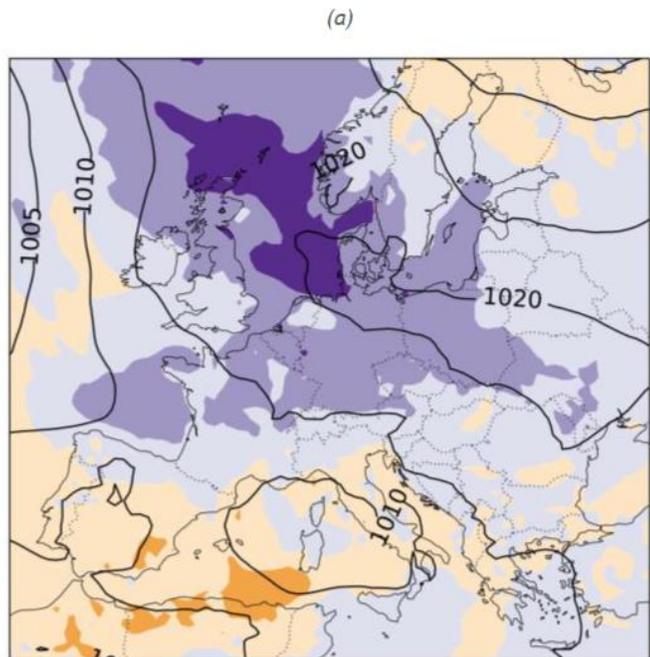
- Im zweiten Schritt der Analyse wird in den identifizierten Zeiten hoher Residuallast der Technologieeinsatz simuliert. In diesen Zeiten ist der Bedarf an steuerbarer Kraftwerkskapazität am höchsten.
- Das Modell setzt die entsprechenden Erzeugungs- und Flexibilitätstechnologien stundenscharf ein. Die Zielfunktion des Modells ist die Minimierung von stündlichen Versorgungslücken.
- Dazu werden sowohl sämtliche Erzeugungstechnologien, Flexibilität wie DSM und Speicher sowie Importe genutzt.

3

Modellergebnisse

Analyse der markanten *einwöchigen* Dunkelflaute im Januar 1997 als Referenzszenario für kritische Versorgungssituationen

Delta Windgeschwindigkeiten und Sonneneinstrahlung im Januar 1997*

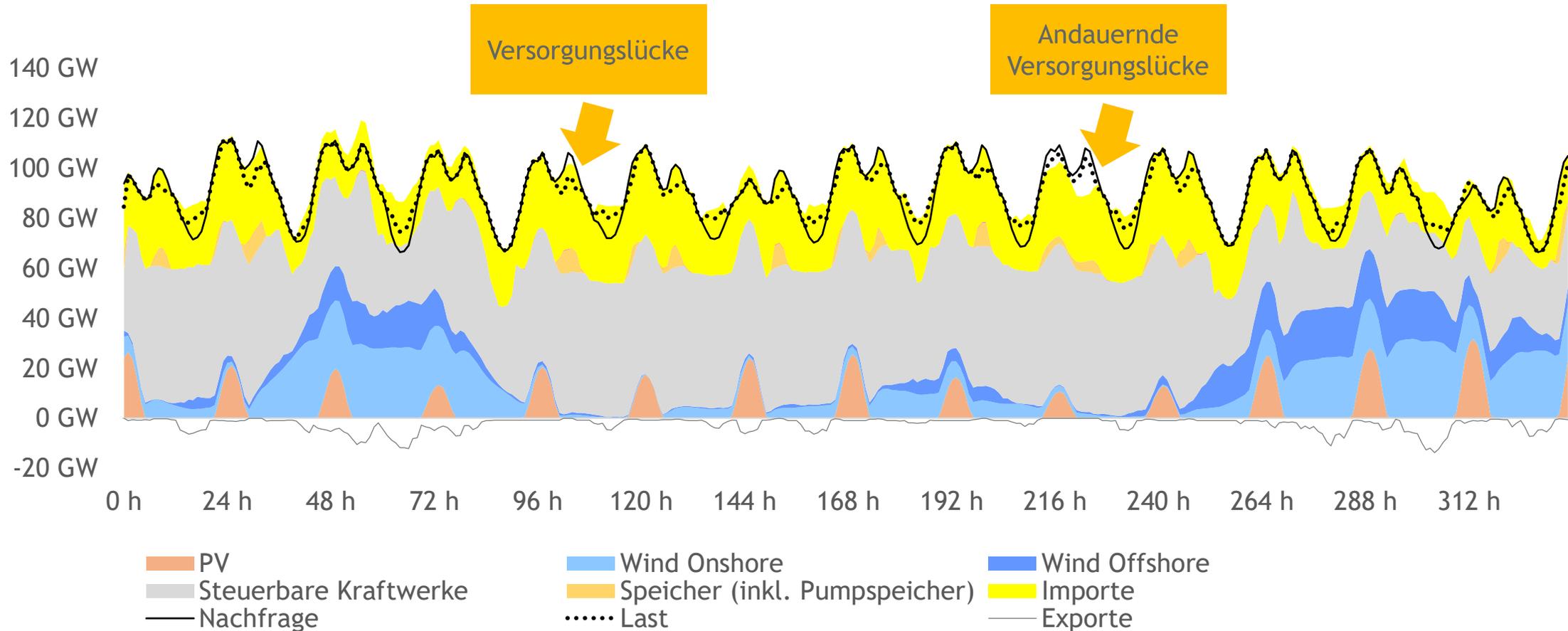


- Eine einwöchige Periode im Januar 1997 würde im unterstellten Energiesystem zu besonders hohen Residuallasten führen.
- In diesem Zeitraum war das Windenergiepotenzial in großen Teilen Nordeuropas deutlich unter dem langjährigen Durchschnitt (a). Zeitgleich wäre in einer solchen Wettersituation im gesamten Süden Europas die Stromerzeugung aus Solarenergie erkennbar unterdurchschnittlich (b).
- Diese Wetterbedingungen hielten in etwa eine Woche an.

*) Wir danken Stefanie Fiedler und Linh Ho für die Analyse und diese Abbildungen.

Zwischenjahr 2030: Versorgungslücken möglich

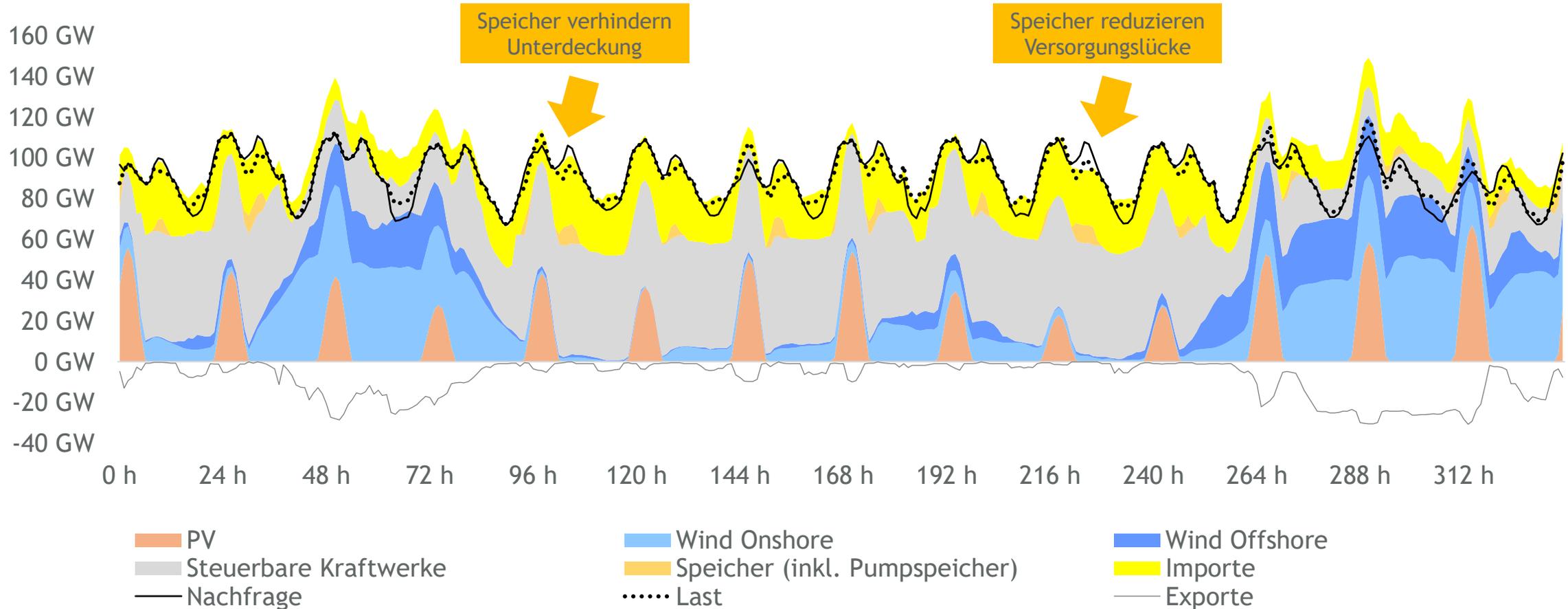
Stündliche Stromerzeugung in 2030 KA38+EEG21 für Extremwetersituation wie Jan. 1997



Quelle: Schnaars et al. (2022)

Durch Importe können Versorgungslücken über Einspeicherung reduziert werden

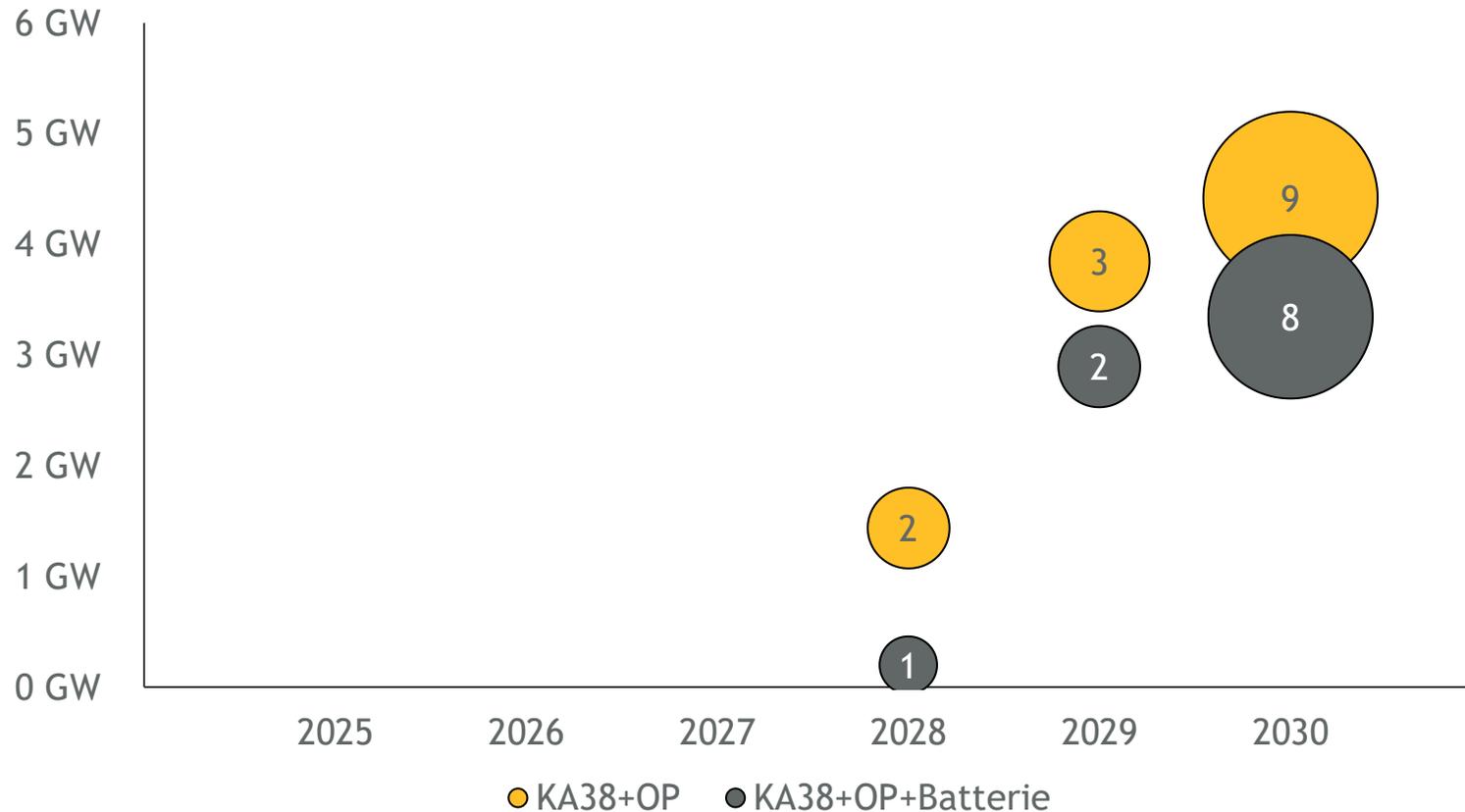
Stündliche Stromerzeugung in 2030 für KA38+OP für Extremwittersituation wie Jan. 1997



Quelle: Schnaars et al. (2022)

Weniger und kleinere Versorgungslücken durch beschleunigten EE-Ausbau möglich

Durchschnittliche Höhe und Anzahl möglicher Versorgungslücken in Extremwittersituation wie Jan. 1997

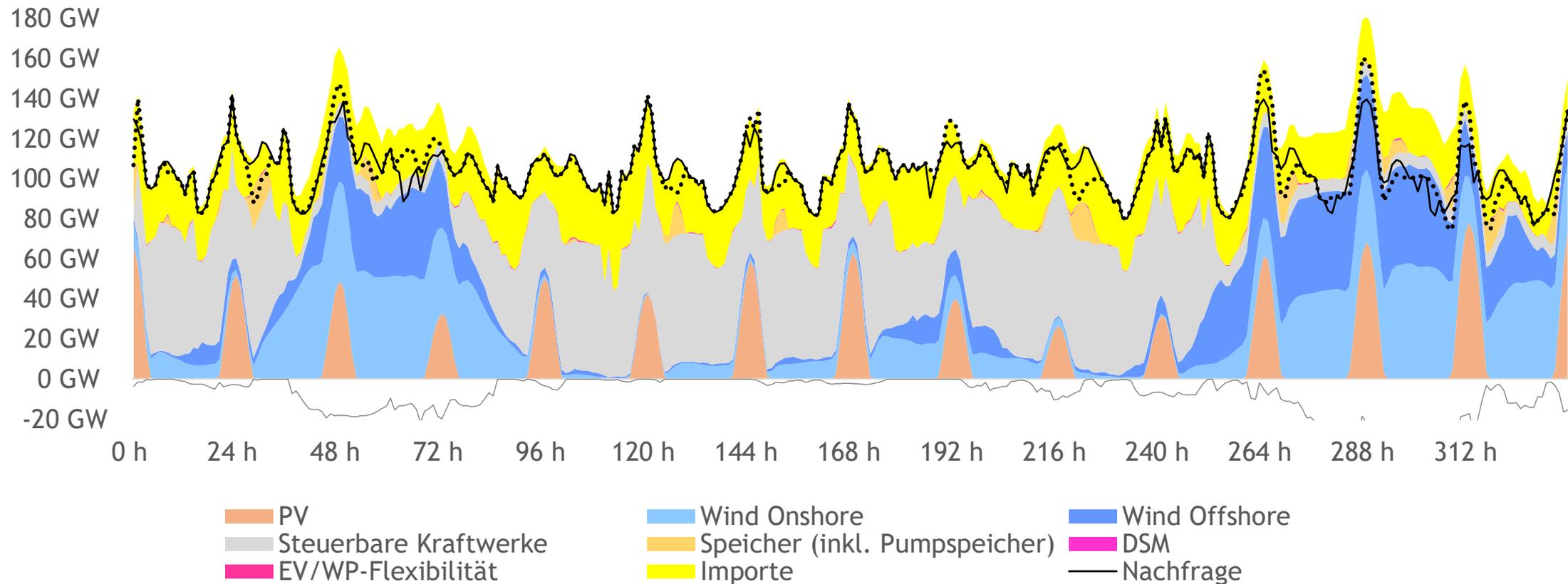


- Auf der y-Achse ist der Durchschnitt der möglichen Versorgungslücken dargestellt. Der Umfang der Kreise wird durch die Anzahl der Stunden mit einer Unterdeckung bestimmt.
- Ein Kohleausstieg in 2038 und EE-Ausbau nach Osterpaket kann zu Versorgungslücken führen.
- Wird der beschleunigte EE-Ausbau durch zusätzliche Batteriespeicher begleitet, können Versorgungslücken teilweise vermieden und in der Höhe reduziert werden.

Quelle: Schnaars et al. (2022)

Versorgungssicherheit in 2045: Ergebnisse der dena-Leitstudie

Stündliche Stromerzeugung in 2045 nach dena-Leitstudie für Extremwittersituation wie Jan. 1997



Quelle: EWI (2021)

4

Fazit & Ausblick

- Die vorliegende Analyse betrachtet die Verfügbarkeit von Technologien zur Deckung der Stromnachfrage in Extremwittersituationen.
- Die Versorgungssicherheit ist im Laufe des Jahrzehnts nicht in allen betrachteten Szenarien garantiert.
 - Es bestehen grundsätzlich mehrere Optionen, dies zu adressieren:
 - Zusätzliche Batteriespeicherkapazität
 - Deutliches Überbauen von Erneuerbarer Kapazität
 - Zubau von Gaskraftwerken
 - Anpassen der Ausstiegspfade sowie des Hochlaufs der Elektrifizierung
 - Flexibilität der Stromnachfrage erhöhen
 - Diese Optionen können miteinander kombiniert werden und bedürfen teilweise neuer regulatorischer Voraussetzungen.
- Diese Studie betrachtet keine kostenoptimalen Marktergebnisse, Lastabwurf wird nicht als Möglichkeit betrachtet.

- Einige Transformationspfade sind derzeit asynchron. Dies kann sich im Verlauf dieses Jahrzehnts und darüber hinaus negativ auf die Versorgungssicherheit in Deutschland auswirken.
- Wie können die notwendigen Investitionen geeignet angereizt und koordiniert werden?
- Zur Mitte des Jahrhunderts werden Gaskraftwerke vermutlich nur in wenigen Stunden zur Stromerzeugung eingesetzt.
 - Im Jahr 2050 könnten Gaskraftwerke nur in 240 Stunden genutzt werden (Virtuelles Institut, 2022).
- Bei der Wasserstoffelektrolyse sind derzeit 17 GW bis zum Jahr 2050 geplant oder bereits im Bau, auch der Ausbau Erneuerbarer Energien wird erwartbar zunehmen.
- Sind Subventionen oder Änderungen im Marktdesign notwendig, um Versorgungssicherheit während der Transformation zu erreichen? Hier existieren mehrere Möglichkeiten:
 - Mangelnde Investitionen durch andere Optionen wie Batteriespeicher oder Flexibilität ausgleichen.
 - Subventionen für (H₂-ready)-Gaskraftwerke systematisieren und ausbauen.
 - Einen Kapazitätsmechanismus in das Marktdesign integrieren.
 - ...

Bei Fragen oder Anregungen gerne melden!

KONTAKT

Dr. Philip Schnaars

philip.schnaars@ewi.uni-koeln.de

+49 (0)221 277 29 227

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) gGmbH

- Bundesnetzagentur (2022): Kraftwerkliste Bundesnetzagentur zum erwarteten Zu- und Rückbau 2022 bis 2025. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerkliste/Veroeff_ZuUndRueckbau_Mai2022.xlsx?__blob=publicationFile&v=5
- Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 - Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems. Herausgegeben von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena). <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/publikationen/dena-ls2/>
- Gierkink, M.; Wagner, J., Czock, B.H.; Lilienkamp, A.; Moritz, M.; Pickert, L.; Sprenger, T.; Zinke, J., Fiedler, S. (2022): Vergleich der „Big5“-Klimaneutralitätsszenarien. <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/publikationen/vergleich-big-5/>
- Schnaars, P.; Brinker, T.; Czock, B.; Diers, H.; Wagner, J. (2022): Analyse der Versorgungssicherheit bis 2030 - Trends und Szenarien im deutschen Stromsektor.
- Virtuelles Institut (2022): Abschlussbericht Kompetenzzentrum Virtuelles Institut - Strom zu Gas und Wärme, Band I - Systemmodellierung zur Identifikation von innovativen PtX-Anwendungen. <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/publikationen/vi-sgw/>

Anhang

Verschiedene Szenarien erlauben die Analyse unterschiedlicher Einflussfaktoren

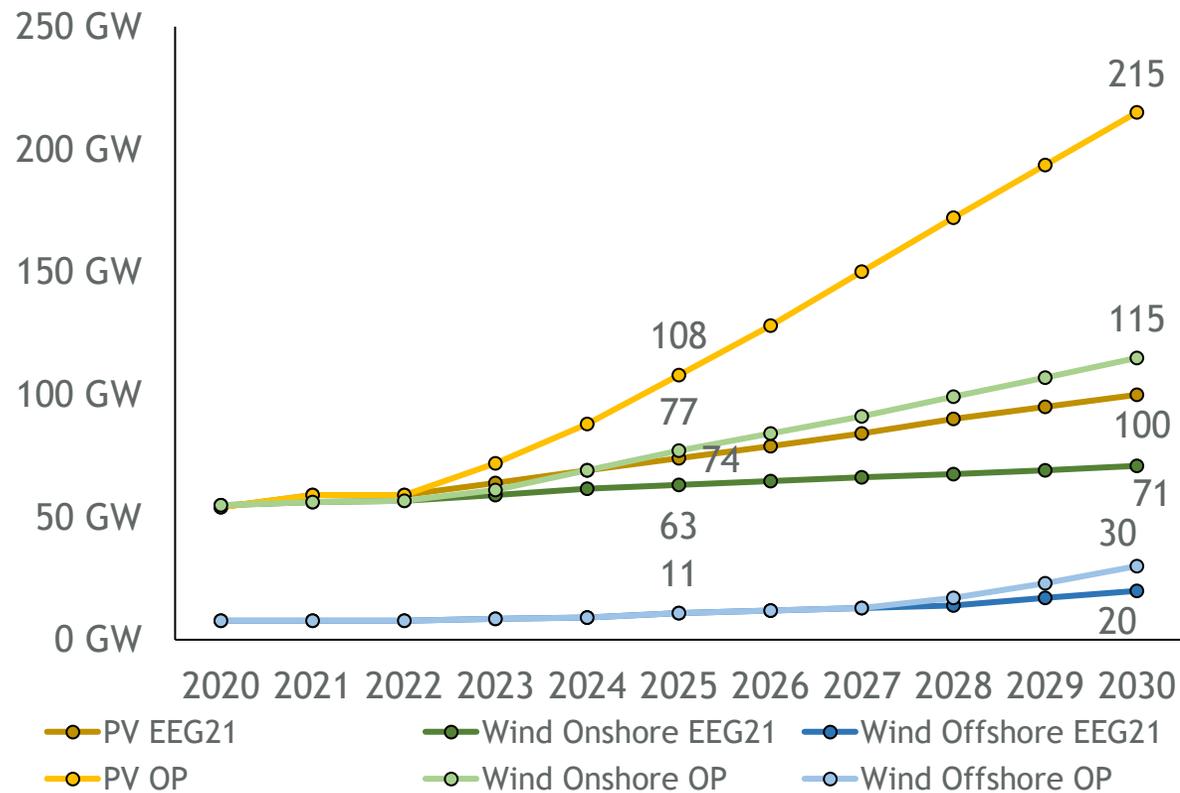
Die betrachteten Szenarien und Sensitivitäten

	Kohleausstieg 2038				Kohleausstieg 2030			
EE-Ausbau nach Osterpaket	KA38 +OP	KA38 +OP +NTC	KA38 +OP + Batterie	KA38 +OP + Nachfrage	KA30 +OP	KA30 +OP +NTC	KA30 +OP + Batterie	KA30 +OP + Nachfrage
EE-Ausbau nach EEG 2021	KA38 +EEG 21	KA38 +EEG 21+ NTC	KA38 +EEG 21+ Batterie	KA38 +EEG 21+ Nachfrage	KA30 +EEG 21	KA30 +EEG 21+ NTC	KA30 +EEG 21+ Batterie	KA30 +EEG 21 + Nachfrage

- Die betrachteten Szenarien untersuchen die Auswirkungen verschiedener Pfadausprägungen des Kohleausstiegs und des EE-Ausbaus.
- Anhand dieser Szenarien werden verschiedene Sensitivitäten simuliert. Diese sind im Einzelnen:
 - NTC:** Eine verringerte Verfügbarkeit von Stromimporten über den gesamten Betrachtungszeitraum.
 - Batterie:** Es stehen zusätzliche Batteriespeicherkapazitäten zur Verfügung.
 - Nachfrage:** Der Nachfrageanstieg durch zusätzliche Elektrifizierung verläuft über den Betrachtungszeitraum langsamer.

Osterpaket definiert höhere EE-Ausbauziele

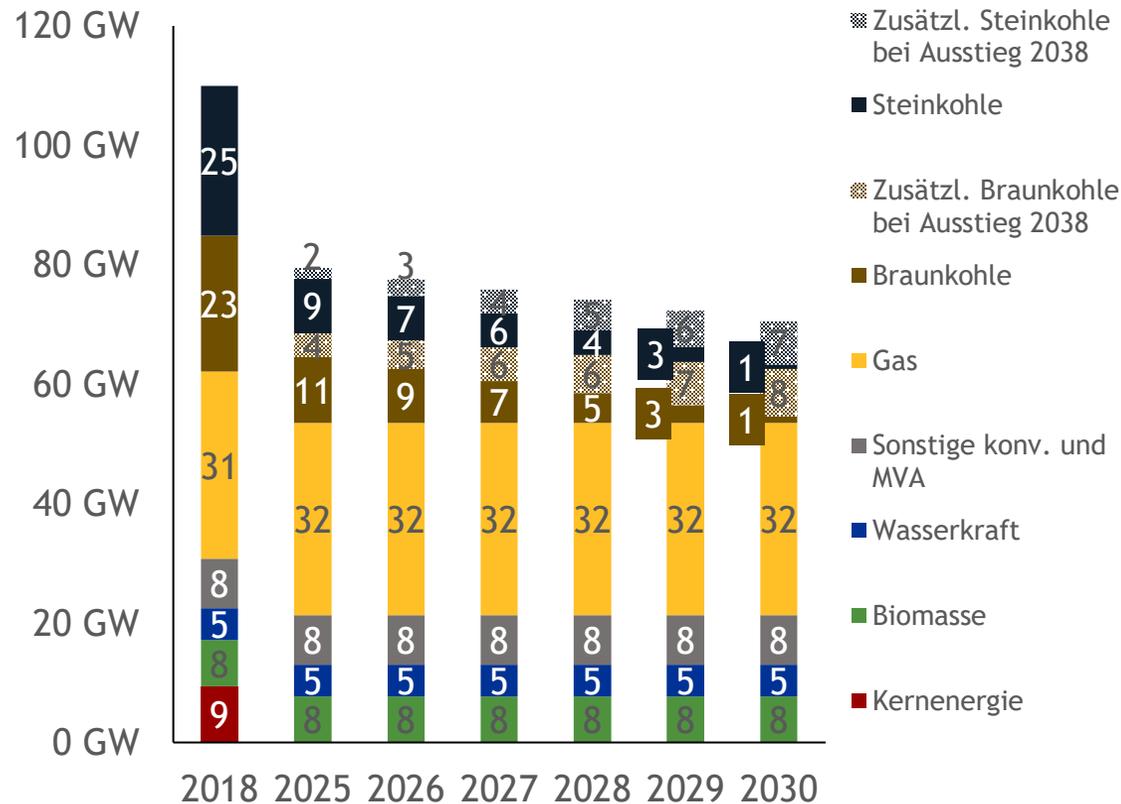
Installierte EE-Kapazität zum Jahresbeginn nach Ausbauziel



- In den betrachteten Szenarien wird zwischen den Ausbaupfaden des EEG 2021 und des Osterpakets (OP) mit erhöhten Ausbauzielen unterschieden.
- Die Ausbauziele für das Jahr 2030 liegen im Rahmen des Osterpakets um 50% bei Offshore Wind bis 115% bei Photovoltaik höher als im EEG 2021.
- Diese Analyse untersucht die Versorgungssicherheit mit Strom in Zeiten hoher Residuallast, also zu Zeiten geringer Verfügbarkeiten von Wind- und Solarstrom. Aufgrund der relativ großen Unterschiede zwischen den Szenarien ist ein Einfluss auf die Versorgungssicherheit zu erwarten.

Verschiedene Ausprägungen des Kohleausstiegs zentraler Treiber der steuerbaren Leistung

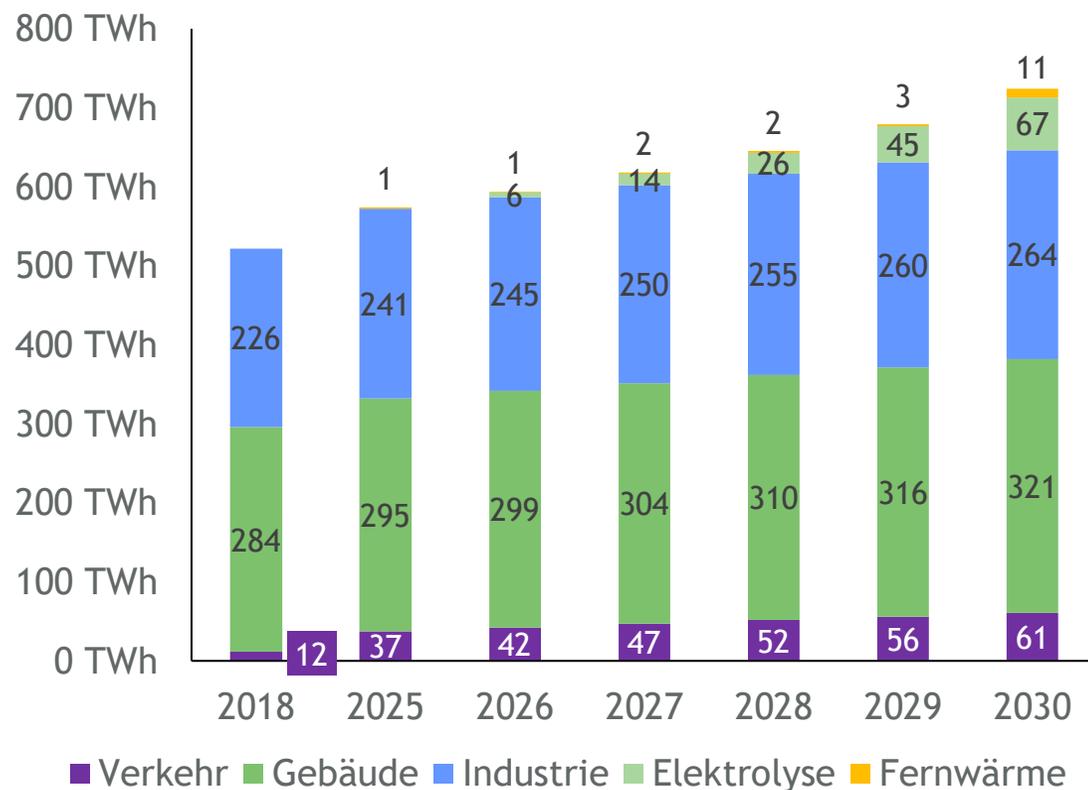
Marktlich aktive steuerbare Kraftwerksleistung und Flexibilität zum Jahresbeginn



- Die steuerbare Kraftwerkskapazität wird hauptsächlich durch die unterschiedlichen Pfade des Kohleausstiegs geprägt und nimmt unabhängig vom untersuchten Szenario ab.
- Zusätzlich stehen 9,8 GW Speicherkapazität zur Verfügung, die für einen bestimmten Zeitraum zur Deckung der Stromnachfrage beitragen können.
- Der unterstellte Zu- und Rückbau in Deutschland und Europa basiert auf den bereits bekannten Projekten. Der Kraftwerkspark wird über diese Projekte hinaus als konstant angenommen. In 2030 sind unabhängig vom Szenario 627 GW steuerbare Leistung installiert.
- Zusätzlich zu den hier dargestellten Erzeugungskapazitäten können Kapazitätsreserven bestehen, die bei hohen Residuallasten zur Deckung der Nachfrage beitragen können. Die Entwicklung dieser Reserven wird hier nicht modelliert.

Unter Berücksichtigung der Ziele des Osterpaketes steigt die Nettostromnachfrage im Jahr 2030 auf 724 TWh

Nettostromnachfrage* nach Sektoren und Anwendungsbereichen



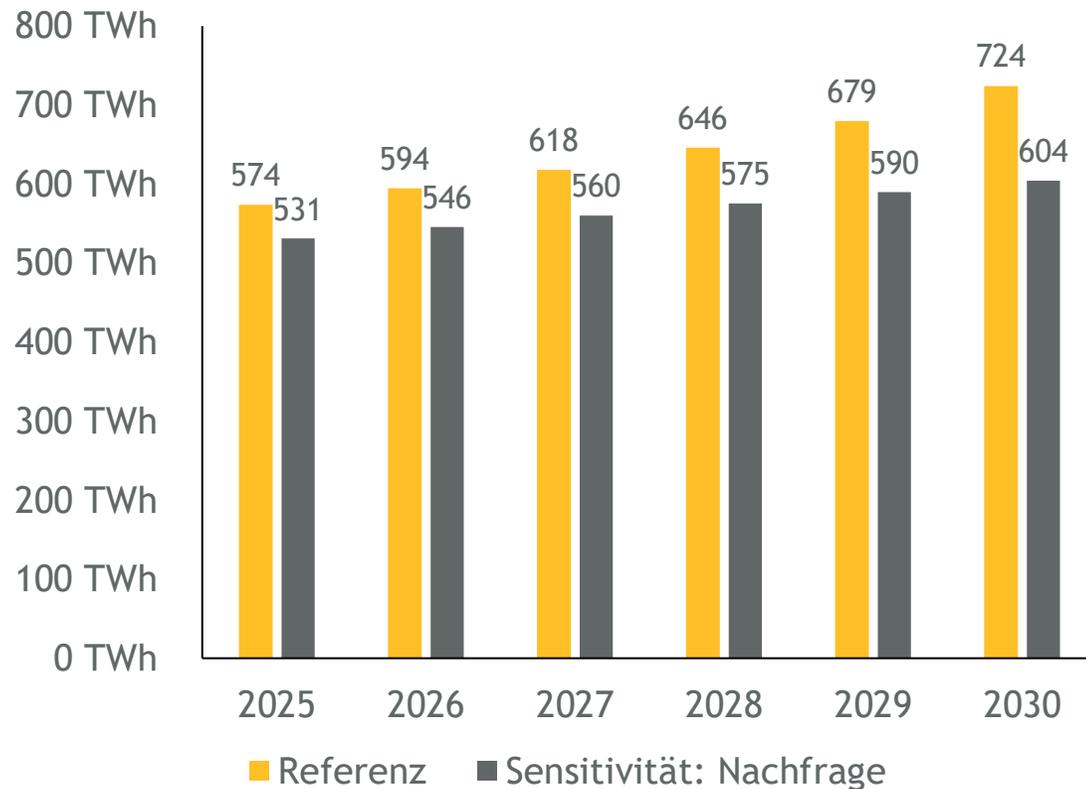
- Die Nettostromnachfrage steigt im Vergleich zu historischen Werten aus 2018:
 - 2025: 574 TWh
 - 2030: 724 TWh

- Dies ist vor allem bedingt durch:
 - Die Elektrifizierung industrieller Prozesse, des Verkehrs und der Wärmeerzeugung.
 - Die zunehmende Nutzung von elektrisch erzeugter Fernwärme.
 - Den Anlauf der Wasserstoffproduktion im Verlauf der 20er Jahre.

- Jährliche Stromnachfrage im Rest von Europa:
 - 2025: 2.930 TWh
 - 2030: 3.220 TWh

*exklusive Netzverluste, Speicherbeladung, Kraftwerkseigenverbrauch und sonstige Bedarfe des Umwandlungssektors

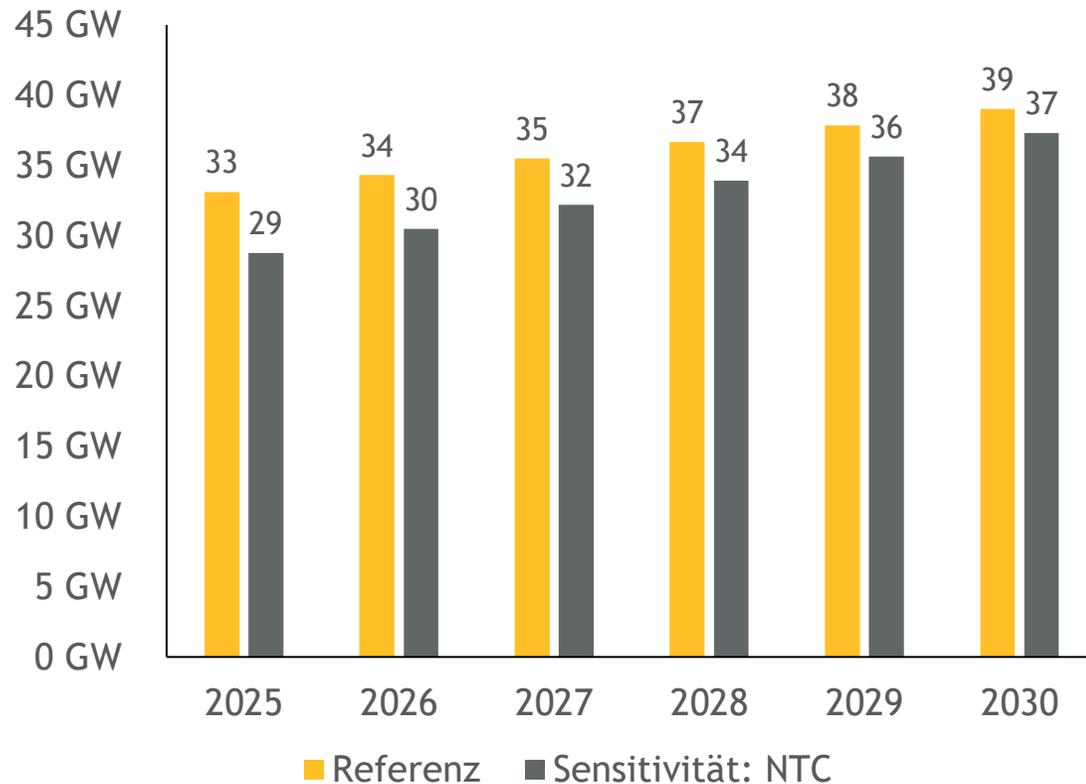
Nettostromnachfrage pro Jahr nach Sensitivität



- Die betrachtete Sensitivität geht von einem langsameren Verlauf der Elektrifizierung, insbesondere im Gebäudebereich, aus.
- Basierend auf dem Szenario „Efficient Molecules“ der dena-Leitstudie II steigt die Stromnachfrage in der Sensitivität auf 604 TWh im Jahr 2030.
- Für Dunkelflauten besonders relevant ist die Stromnachfrage
 - aus Verkehr
 - aus der Industrie
 - für Gebäude.

Installierte Importkapazitäten als zentraler Baustein zur Versorgungssicherheit

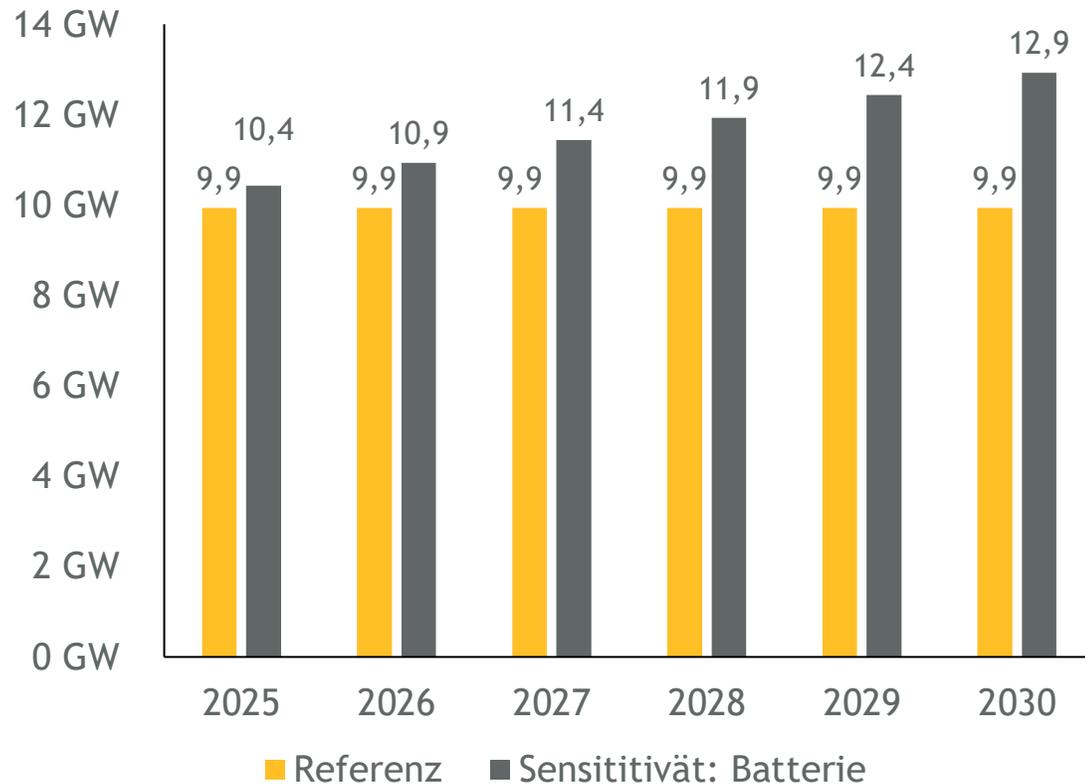
Installierte Importkapazitäten nach Sensitivität



- Die installierte Importkapazität von Strom steigt über den betrachteten Zeitraum an.
- Dies erhöht die Strommenge, die ausländische Kraftwerkskapazitäten zur Deckung der deutschen Nachfrage beitragen können.
- So stehen im Referenzfall (TYNDP 2020 Global Ambition)
 - 2025: 33 GW
 - 2030: 39 GW zur Verfügung.
- In der NTC-Sensitivität basierend auf TYNDP 2018 stehen im Durchschnitt über den Betrachtungszeitraum 3 GW weniger Importkapazität zur Verfügung.

Ein Zubau an Batteriespeichern kann einen Beitrag zur Versorgungssicherheit liefern

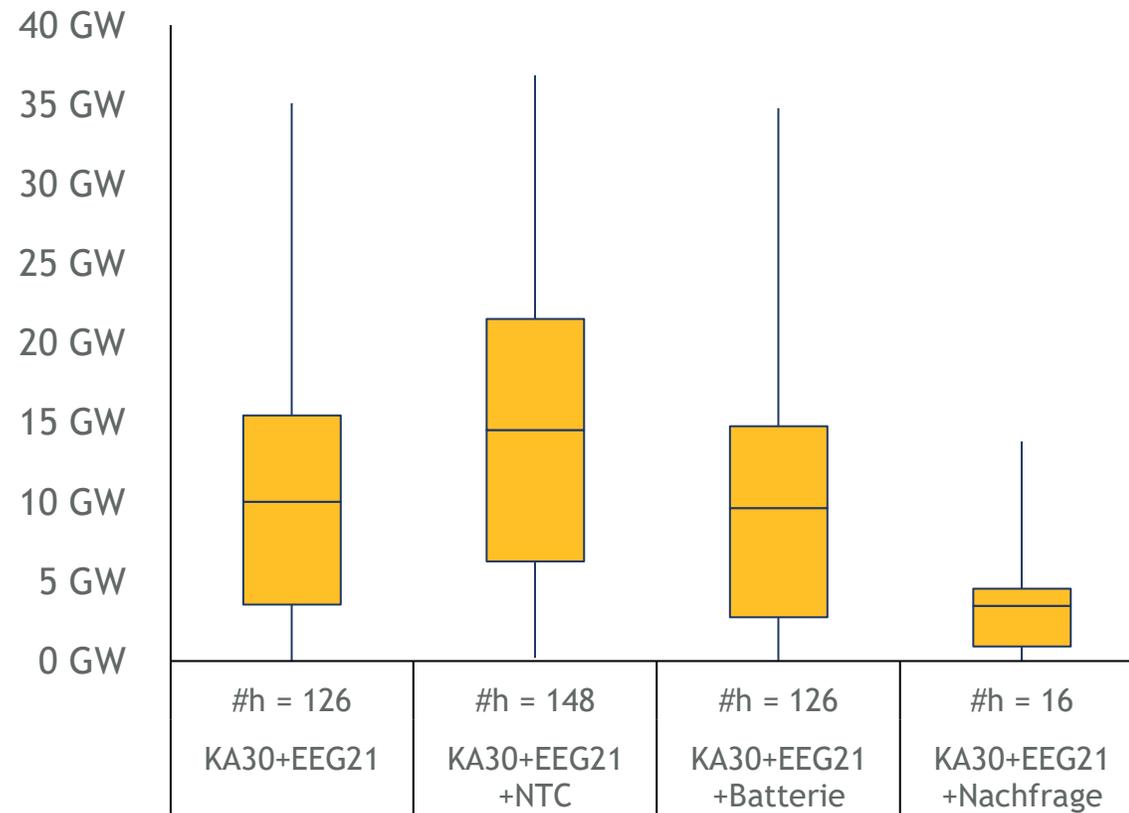
Installierte Speicherkapazitäten nach Sensitivität



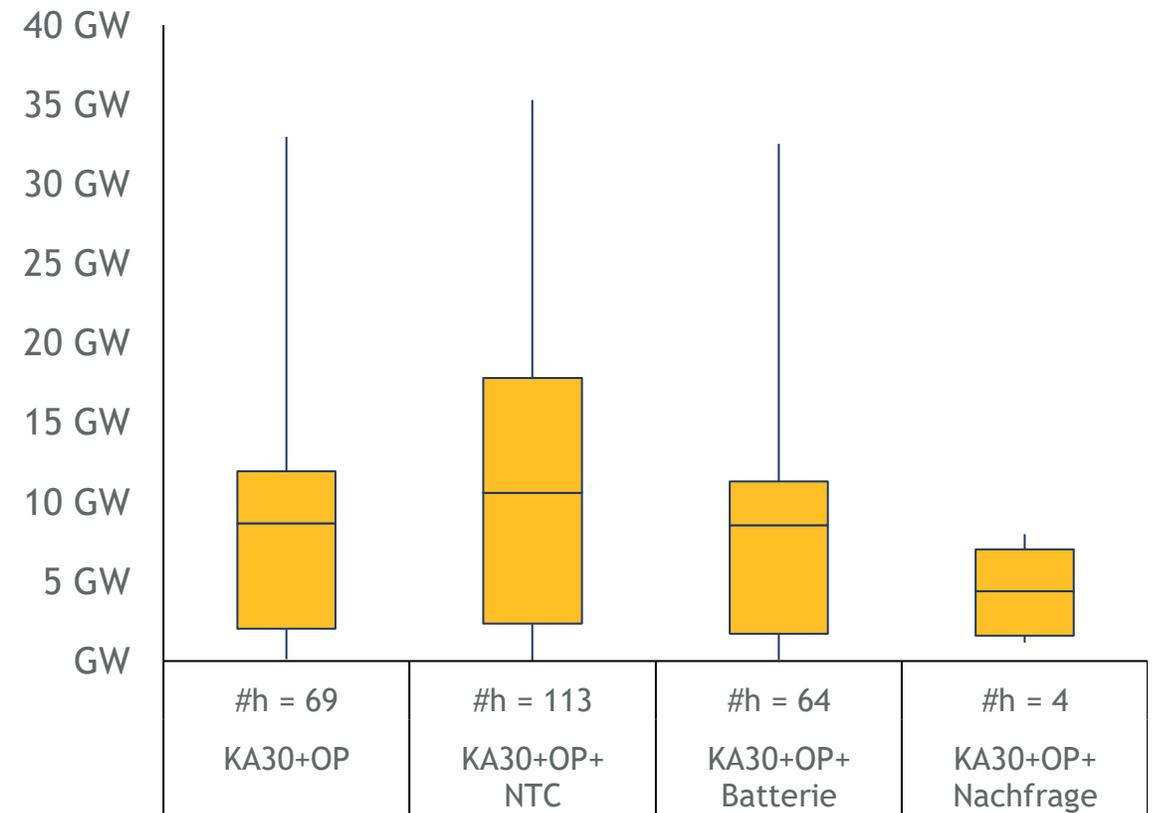
- In jedem betrachteten Szenario sind in allen Jahr des Betrachtungszeitraums 9,9 GW Pumpspeicher installiert.
- In der Batteriesensitivität werden die Auswirkungen von zusätzlicher Batteriespeicherkapazität auf das Auftreten von Versorgungslücken untersucht.
- Mit einem Zielwert von 3 GW Batteriespeichern in 2030 (orientiert an der dena-Leitstudie II) ergibt sich ein linearer Zubau von 0,5 GW pro Jahr ab 2025.
- In der Batteriesensitivität stehen somit im Jahr 2030 12,9 GW Speicher zur Verfügung.

Ergebnisse für das Jahr 2030

Schnellerer Kohleausstieg, langsamerer EE-Ausbau

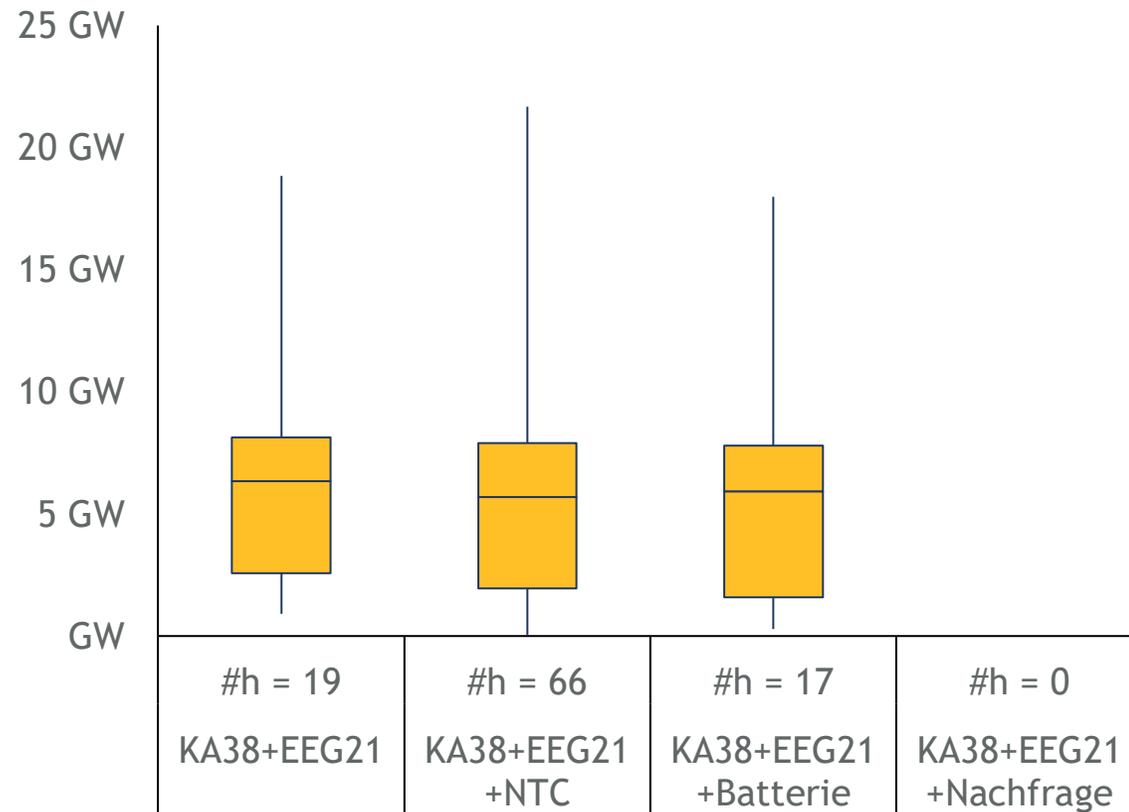


Schnellerer Kohleausstieg, schnellerer EE-Ausbau



Ergebnisse für das Jahr 2030

Schnellerer Kohleausstieg, schnellerer EE-Ausbau



Schnellerer Kohleausstieg, schnellerer EE-Ausbau

