

# Analyse der Versorgungssicherheit bis 2030

## Trends und Szenarien im deutschen Stromsektor

Im Auftrag der Gesellschaft zur Förderung des Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität zu Köln e.V.

Dr. Johannes Wagner, Dr. Philip Schnaars, Tom Brinker, Berit Czock, Hendrik Diers

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) gGmbH | 29.09.2022

## Hintergründe und Ergebnisse

Durch die Energiewende steigt die Wetterabhängigkeit der Stromerzeugung in Deutschland. Dies kann, abhängig von der zur Verfügung stehenden steuerbaren Kapazität, in Extremwettersituationen zu Versorgungslücken in Deutschland führen.

Die vorliegende Analyse untersucht die Möglichkeit von Versorgungslücken im deutschen Stromsystem für die Jahre 2025 bis 2030. Anhand möglicher Pfadausprägungen der steuerbaren Kraftwerkskapazität in Europa, der installierten Leistung erneuerbarer Energien (EE), verfügbarer Stromspeicher und Stromimportmöglichkeiten sowie des Grades der Elektrifizierung wird die Versorgungssicherheit in Extremwettersituationen untersucht.

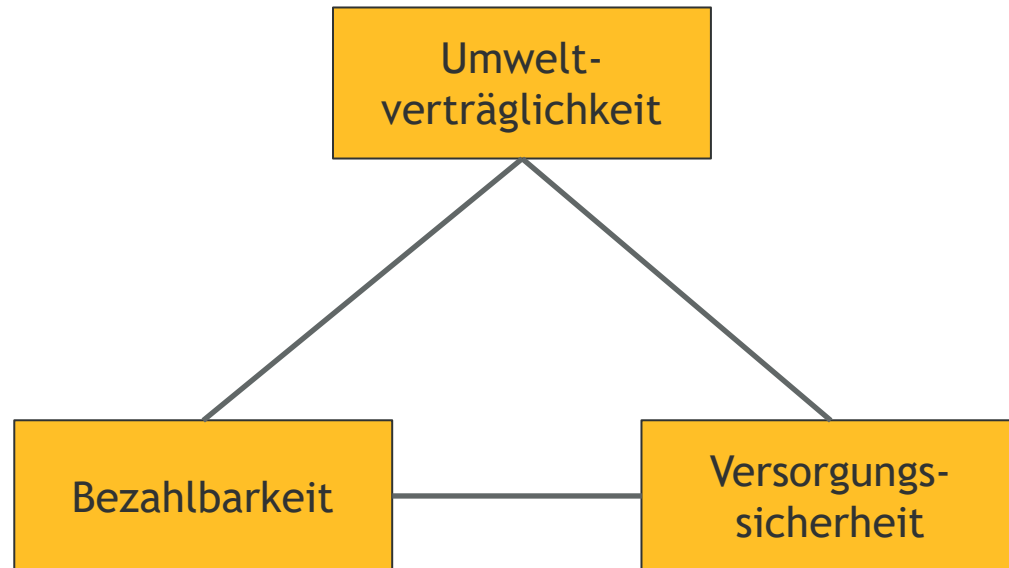
Die Analyse besteht aus zwei Schritten. Im ersten Schritt werden anhand historischer Wettersituationen der Jahre 1982 - 2016 modellbasiert Zeiträume mit hohen Residuallasten identifiziert. Anschließend wird im zweiten Schritt der kostenoptimale Kraftwerkseinsatz während dieser Perioden simuliert.

Die Ergebnisse legen nahe, dass die Versorgungssicherheit bei Rückbau steuerbarer Kohlekapazität und gleichzeitig ausbleibenden Neuinvestitionen in vergleichbare Kraftwerke im Verlauf dieses Jahrzehnts möglicherweise nicht mehr garantiert werden kann. Insbesondere bei einem Ausstieg aus der Kohleverstromung bis Ende 2030 können bereits in 2026 in Extremwettersituationen Lücken in der Stromversorgung in Höhe von etwas 1 GW auftreten. Diese können bis zum Jahr 2030 durchschnittlich 10 GW erreichen.

Wird die Wind- und Solarkapazität schneller ausgebaut, lassen sich diese auf durchschnittlich 8,5 GW reduzieren. Insbesondere in Kombination mit zusätzlichen Stromspeichern können zusätzliche Erneuerbare auch in Extremwettersituationen einen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten. Steigt die Stromnachfrage aus den Sektoren Verkehr und Wärme im Verlauf dieses Jahrzehnts langsamer, verringert sich der Mittelwert der möglichen Versorgungslücken auf 3,5 GW.

In allen betrachteten Szenarien tragen Importe etwa 30% zur Deckung der Nachfrage bei. Dies verdeutlicht die Relevanz einer europäischen Sichtweise auf das Thema Versorgungssicherheit.

## Das Energiepolitische Zieldreieck



- Die Bundesregierung strebt bis 2030 eine deutliche Reduktion der Treibhausgasemissionen im Stromsystem an.
- Eine Erhöhung der Umweltverträglichkeit kann sich auf die Strompreise sowie auf die Möglichkeit einer ständigen Stromversorgung auswirken.
- Diese Studie analysiert die Versorgungssicherheit mit Strom in den Jahren 2025 bis 2030 anhand von beobachteten Extremwittersituationen.
- Dabei werden verschiedene mögliche Ausprägungen des
  - Ausbaus der Erneuerbaren Energien
  - Geplanten Kohleausstiegs
  - Zubaus von Batteriespeicherkapazität
  - Stromimportes
  - Nachfrageverlaufs berücksichtigt.

## Die betrachteten Szenarien

	Kohleausstieg 2038	Kohleausstieg 2030
EE-Ausbau nach Osterpaket	KA38 +OP	KA30+OP
EE-Ausbau nach EEG 2021	KA38 +EEG21	KA30+EEG21

- Die Bundesregierung strebt bis 2030 eine deutliche Reduktion der Treibhausgasemissionen im Stromsystem an.
- Zwei wesentliche Stellschrauben sind dabei der Ausbau der Erneuerbaren Energien und die Beendigung der Kohleverstromung.
- In dieser Analyse werden jeweils zwei unterschiedliche Pfade dieser Instrumente betrachtet:
  - Ausgehend vom Kohleausstiegspfad bis zum Jahr 2038 werden die Auswirkungen einer früheren Beendigung der Kohleverstromung im Jahr 2030 untersucht.
  - Die Ausbauziele für Erneuerbare Energien wurden im Rahmen des ‚Osterpakets‘ gegenüber dem EEG 2021 erhöht.
- Diese unterschiedlichen Kombinationen definieren die untersuchten Szenarien.

## Zusätzliche Sensitivitäten zu den Szenarien

Sensitivität	Erläuterung
NTC	Die Interkonnektorkapazitäten und damit die Möglichkeit, Strom zu importieren, fällt geringer aus.
Batterie	Im Verlauf des Betrachtungszeitraumes stehen zusätzliche Batteriespeicher von maximal 3 GW zur Verfügung.
Nachfrage	Die Elektrifizierung der Sektoren Verkehr und Wärme verläuft langsamer, die Stromnachfrage fällt insgesamt geringer aus.

- Ein Kohleausstieg und der Ausbau Erneuerbarer Energien sind nicht die einzigen Faktoren, die Einfluss auf die Versorgungssicherheit mit Strom im Laufe dieses Jahrzehnts haben.
- Die vorgesehene Kapazitätserweiterung der Interkonnektoren bestimmt den Beitrag, den Stromimporte zur Deckung der Nachfrage leisten können.
- Zusätzliche Batteriespeicherkapazitäten können zur Deckung der Stromnachfrage beitragen, indem sie insbesondere überschüssige Erneuerbare Erzeugung einspeichern.
- Die geplante Elektrifizierung der Sektoren Verkehr und Wärme führt zu einer höheren Stromnachfrage und kann damit die Möglichkeit von Versorgungslücken erhöhen.
- Diese Sensitivitäten werden mit den vorgestellten Szenarien kombiniert, um die Auswirkungen der einzelnen Faktoren auf die Versorgungssicherheit zu betrachten.

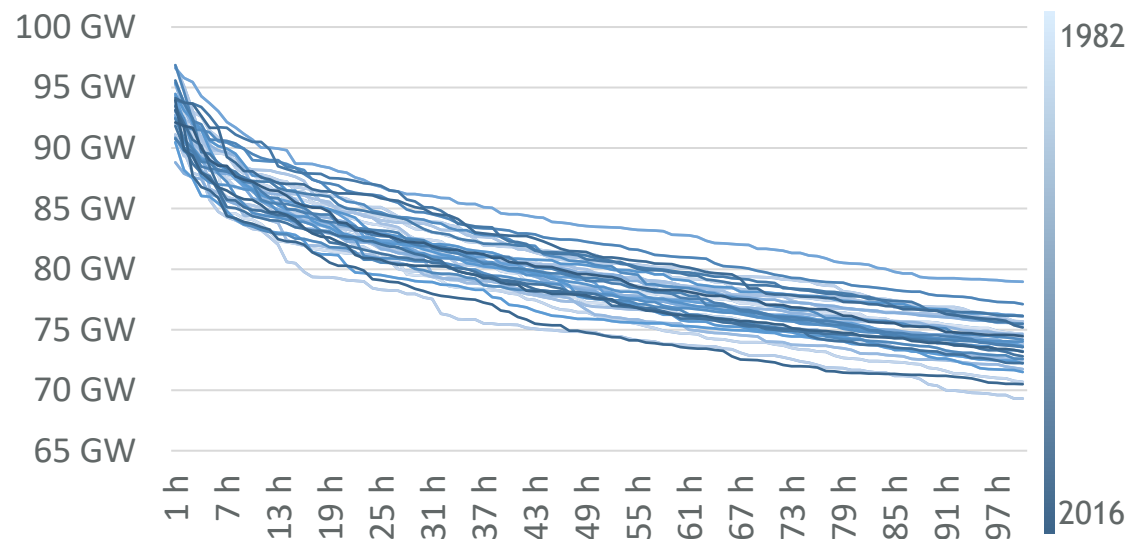
# 1

## Methodik: Dimension Extreme

## Identifizieren von Extremwettersituationen

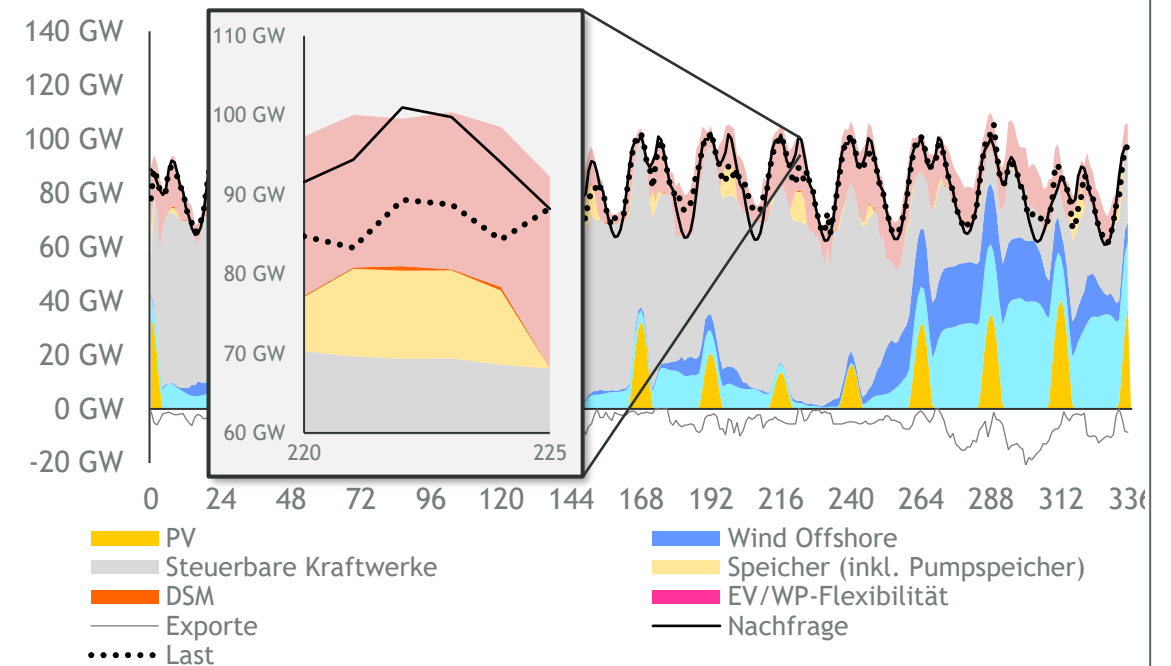
- **Kritikalität** von Extremwettersituationen für das Energiesystem kann ex ante **nicht bestimmt** werden
- Auswahl von Situationen mit **hohen Residuallasten** (Deckung der Nachfrage durch gesicherte Leistung) **unterschiedlicher Dauer**
- Stündliche Verfügbarkeiten von EE basierend auf Pan-European-Climate-Database (PECD), Nachfragen basierend auf PECD und eigenen Berechnungen

Residuallast-Dauerlinien für Wetterjahre 1982-2016



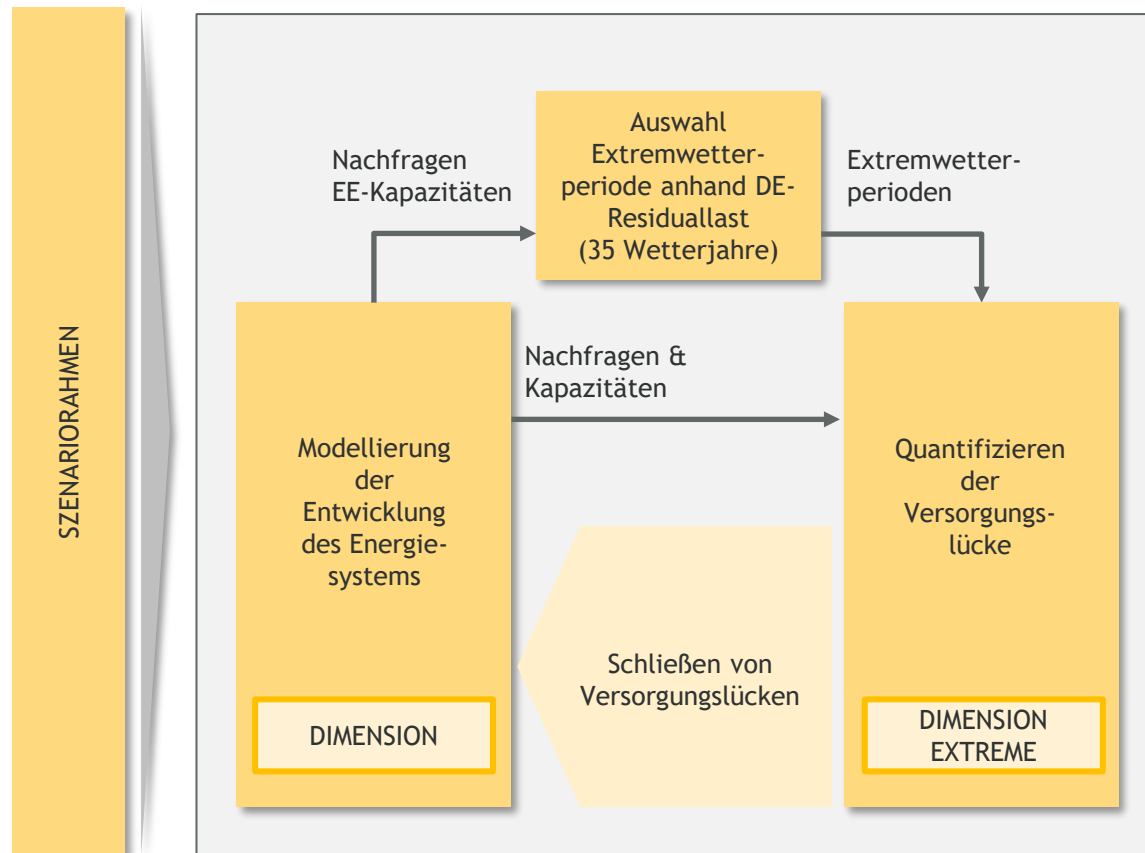
## Quantifizieren der Versorgungslücke

- Stundenscharfe Einsatzmodellierung des europäischen Kraftwerksparks inkl. NTC-Handel, Speicher und DSM in Extremwetterperioden
- **Zielfunktion: Minimierung der Versorgungslücke in der Extremwetterperiode**



# Energiesystemmodellierung in Kombination mit historischen Wetterdaten

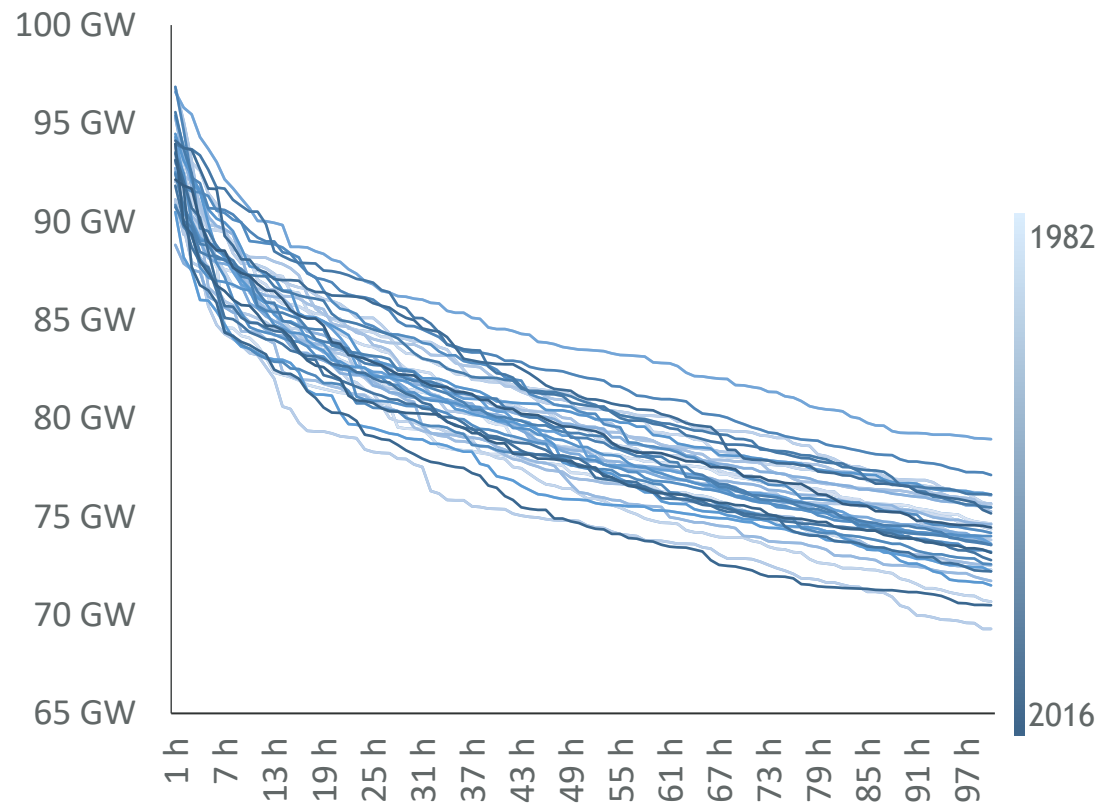
## Schematische Darstellung der Analyse



- Die Modellanalyse basiert auf einem zweistufigen Verfahren.
- Im ersten Schritt wird, basierend auf einem definiertem Szenariorahmen, die Entwicklung des Energiesystems anhand des Modells DIMENSION modelliert. Dieser Szenariorahmen beinhaltet beispielsweise Informationen über installierte Erzeugungskapazitäten oder den Verlauf der Stromnachfrage.
- Auf Basis von 35 Wetterjahren wird im zweiten Schritt der Analyse für das jeweilige Energiesystem Perioden identifiziert, die von einer besonders hohen Residuallast gekennzeichnet sind. In Energiesystemen mit einem signifikanten Anteil Erneuerbarer Energien sind solche Perioden häufig durch eine geringe Verfügbarkeit Erneuerbarer Energien gekennzeichnet.
- 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.

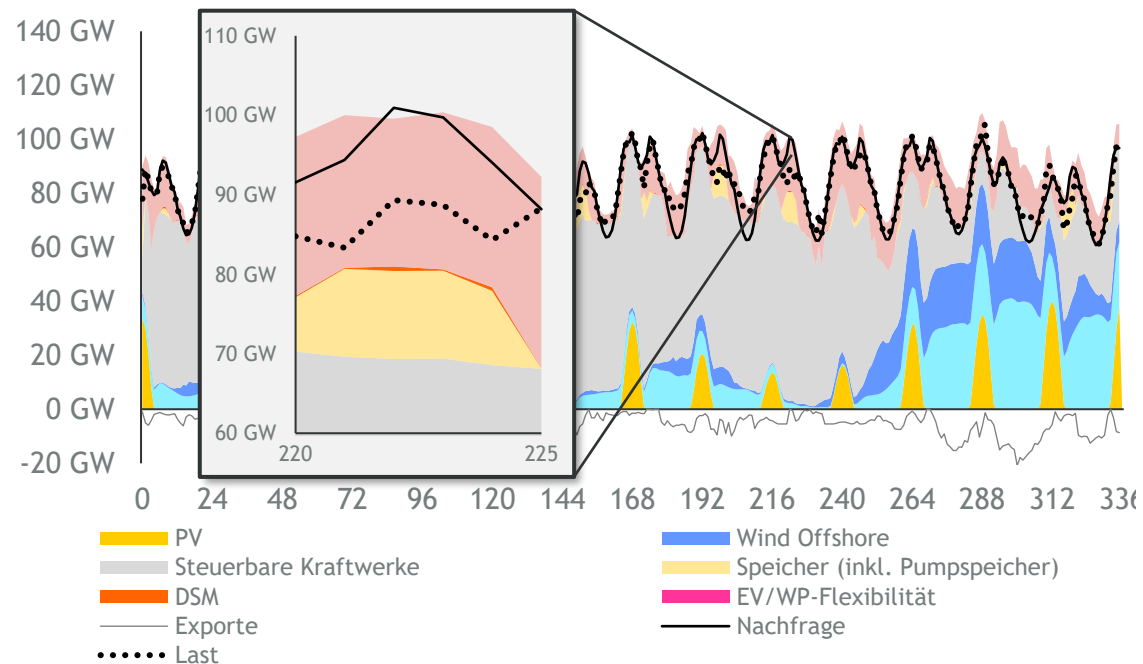


## Exemplarische Residuallast-Dauerlinien für die Wetterjahre 1982-2016



- 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 Extremwettersituation



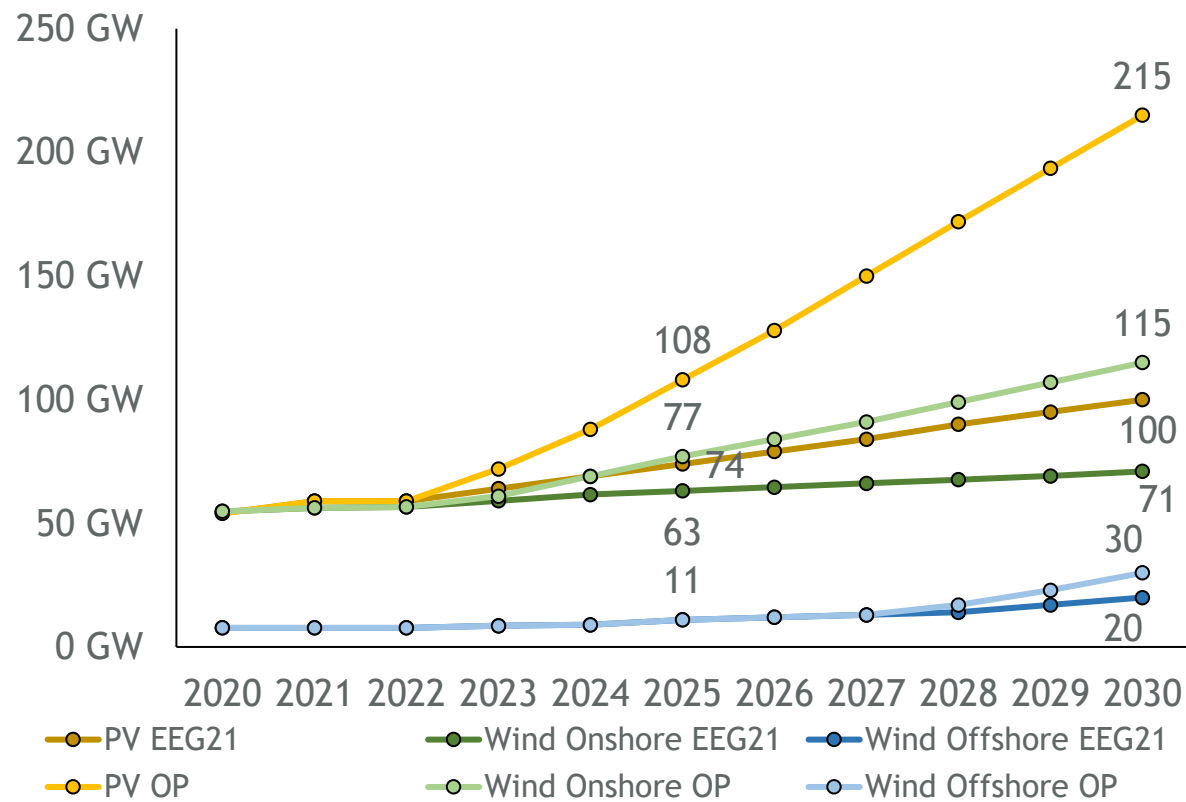
- Im zweiten Schritt der Analyse wird in den identifizierten Zeiten hoher Residuallast der Technologieeinsatz simuliert. In diesen Zeiten ist der Bedarf an steuerbarer Kraftwerkskapazität am höchsten.
- Das Modell setzt die entsprechenden Erzeugungs- und Flexibilitätstechnologien stundenscharf ein. Die Zielfunktion des Modells ist die Minimierung von stündlichen Versorgungslücken.
- Dazu werden sowohl sämtliche Erzeugungstechnologien, Flexibilität wie DSM und Speicher sowie Importe genutzt.
- In dem links dargestellten, exemplarischen Zeitraum ist der Beitrag sämtlicher im Modell enthaltenen Technologien zur Deckung der Stromnachfrage abgebildet. In diesem Zeitraum trat bei einer Spitzennachfrage von etwa 100 GW eine Versorgungslücke nur durch den Einsatz von Speichern vermieden werden. Diese reduzieren die Last während des hervorgehobenen Zeitraums unter 90 GW.

# 2

## Zentrale Annahmen & Szenarien

# Osterpaket definiert höhere EE-Ausbauziele

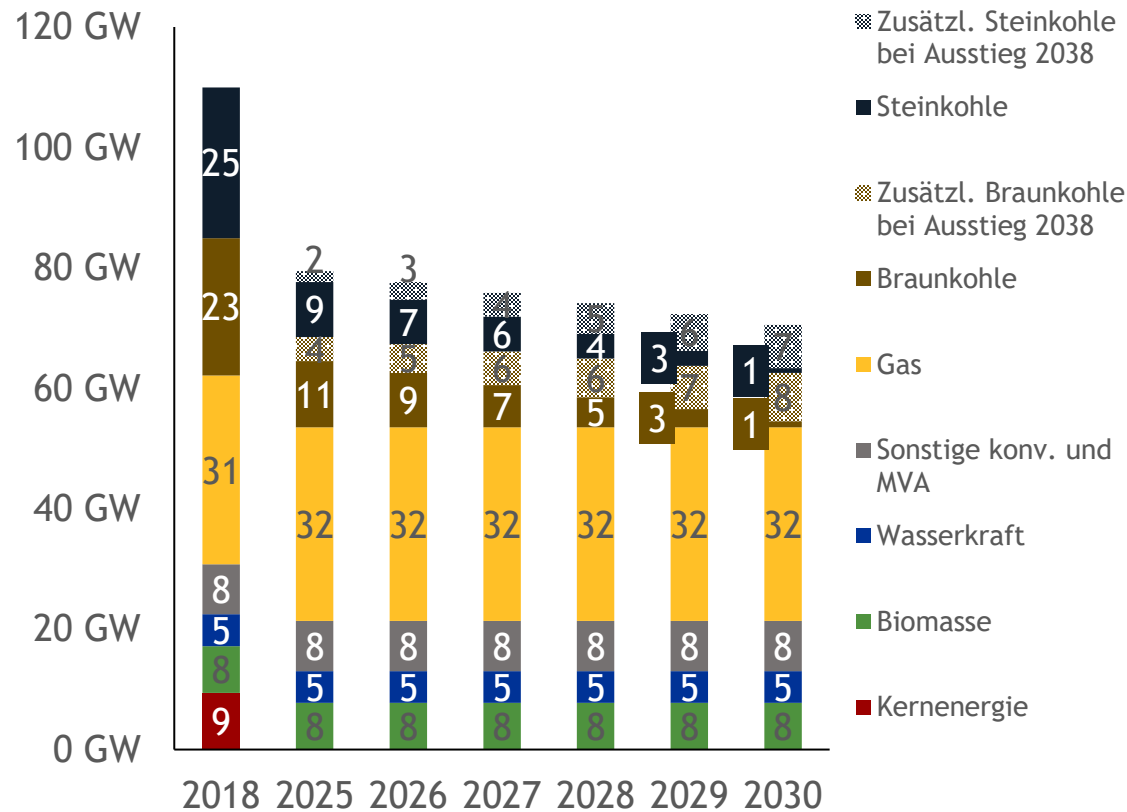
## Installierte EE-Kapazität zum Jahresbeginn nach Ausbauziel



- 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

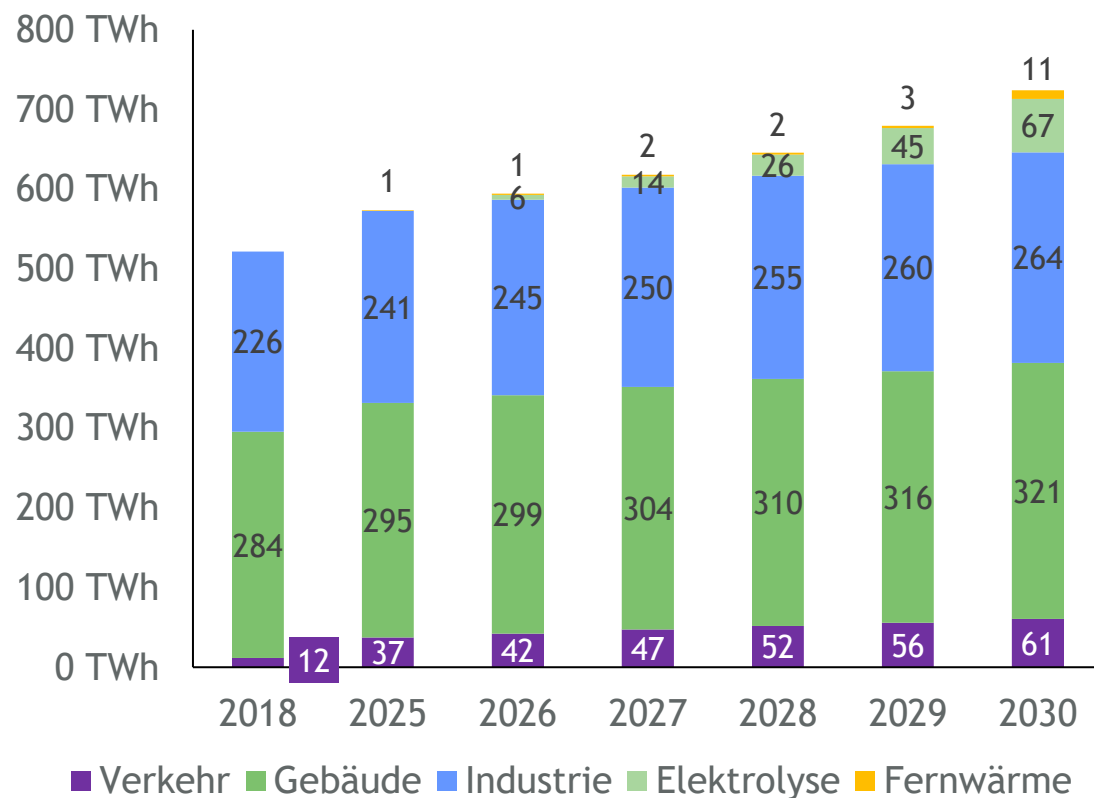
## Marktlich aktive steuerbare Kraftwerksleistung und Flexibilität zum Jahresbeginn



- 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

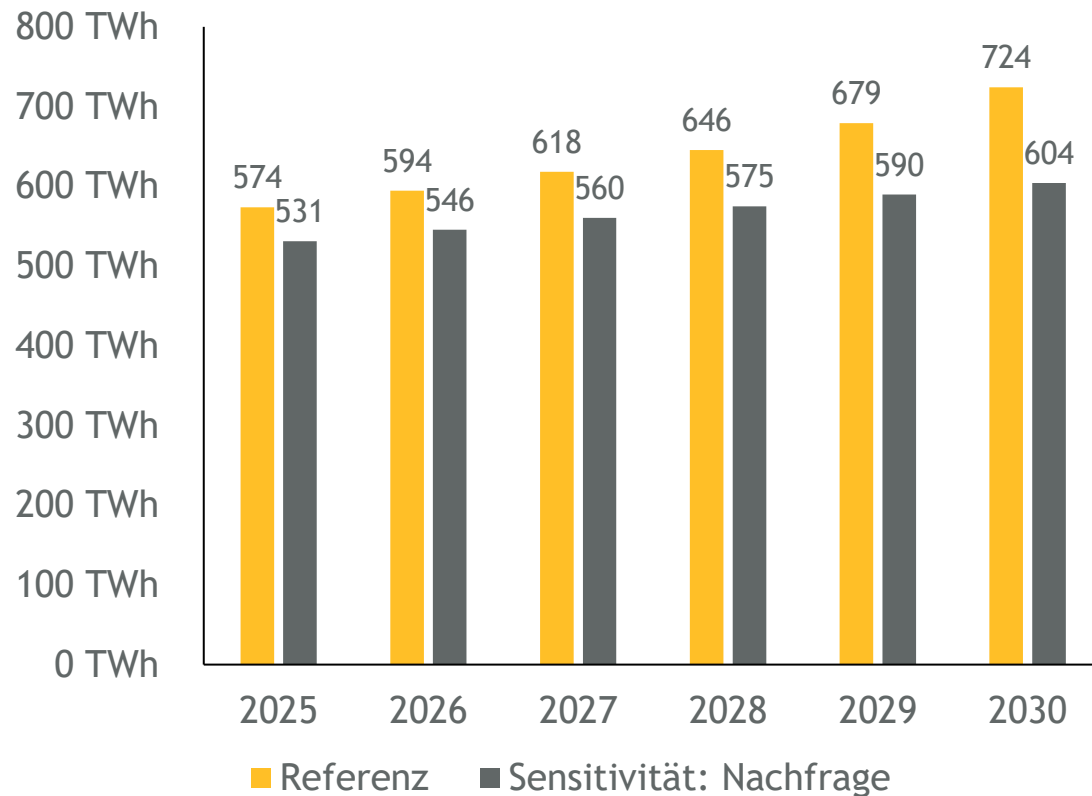
## Nettostromnachfrage\* nach Sektoren und Anwendungsbereichen



- 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

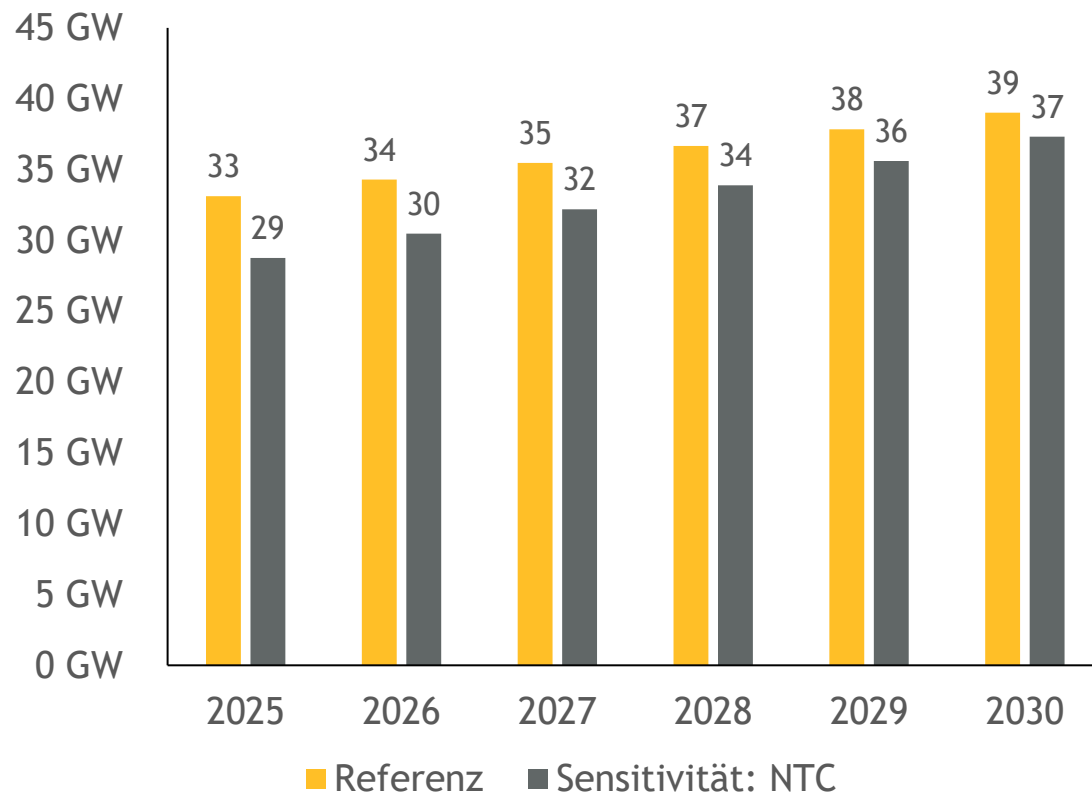
## Nettostromnachfrage pro Jahr nach Sensitivität



- 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

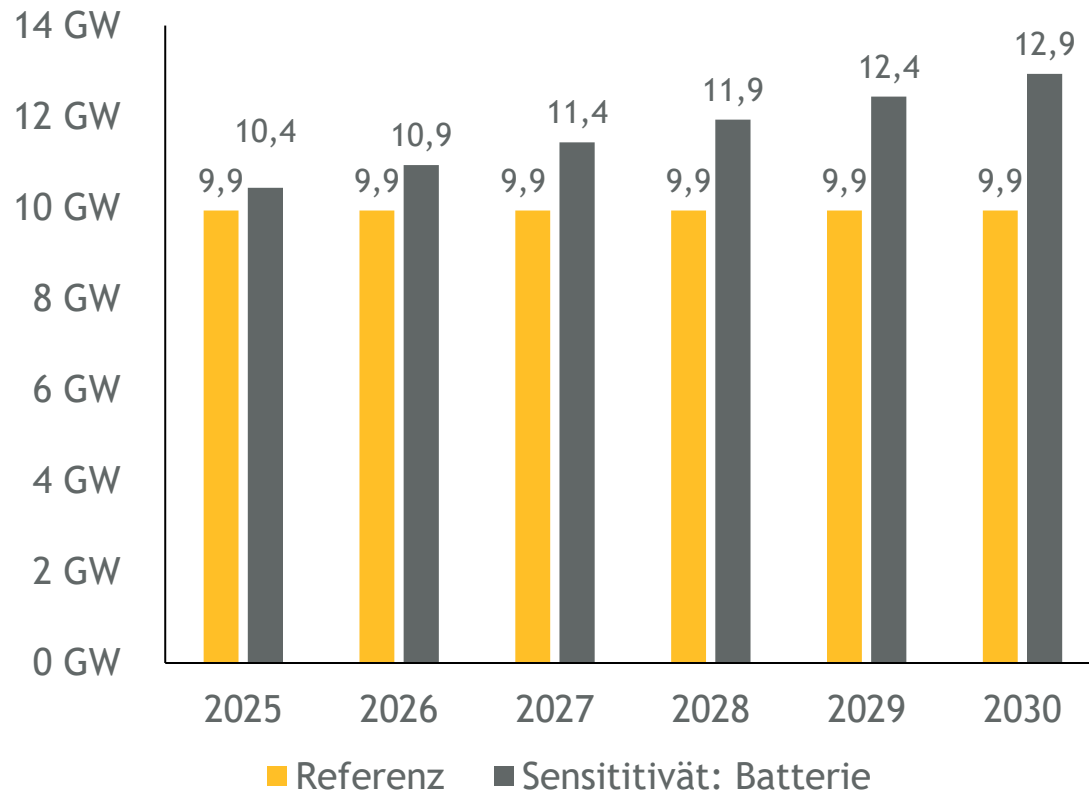


- Die installierte Importkapazität von Strom steigt über den betrachteten Zeitraum an.
- Dies erhöht die Strommenge, die ausländische Kraftwerkskapazitäten zur Deckung der deutschen Nachfrage beitragen können.
- So stehen im Referenzfall (TYNDP 2020 Global Ambition)
  - 2025: 33 GW
  - 2030: 39 GW zur 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



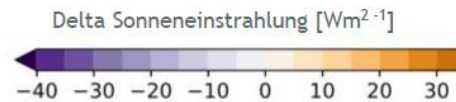
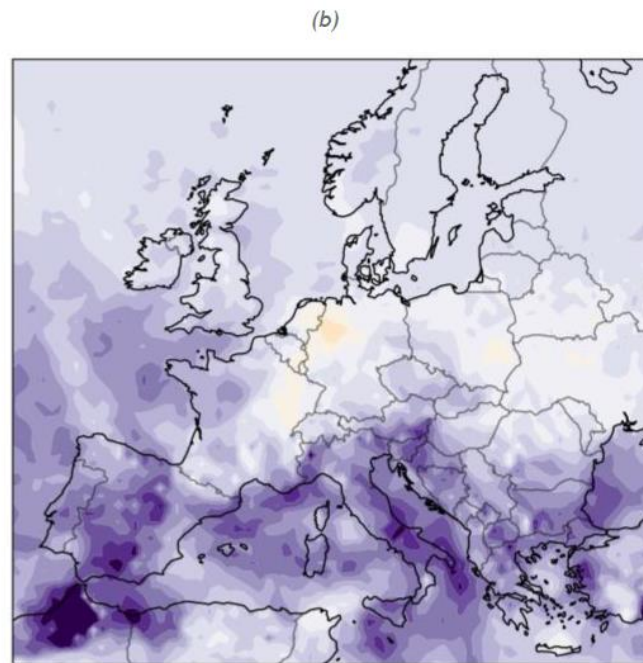
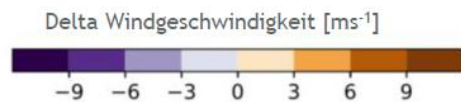
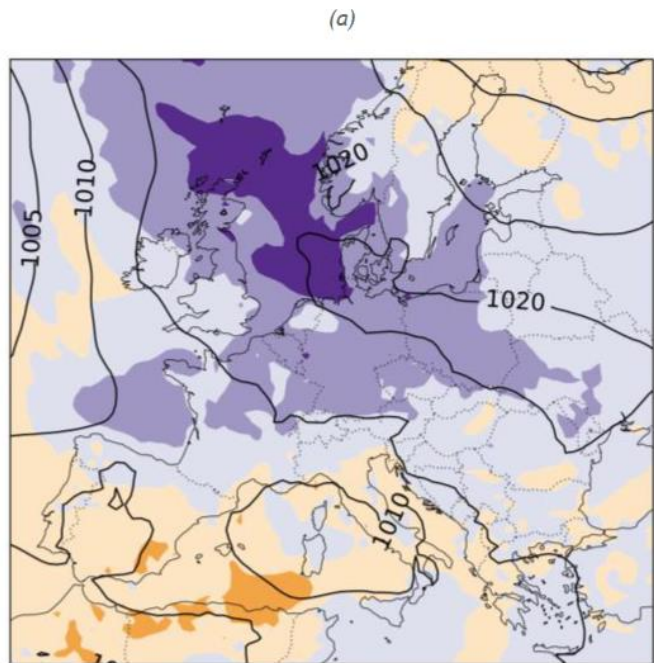
- In jedem betrachteten Szenario sind in allen Jahr des Betrachtungszeitraums 9,9 GW Pumpspeicher installiert.
- In der Batteriesensitivität werden die Auswirkungen von zusätzlicher Batteriespeicherkapazität auf das Auftreten von Versorgungslücken untersucht.
- Mit einem Zielwert von 3 GW Batteriespeichern 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.



# Modellergebnisse

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

## Delta Windgeschwindigkeiten und Sonneneinstrahlung im Januar 1997\*



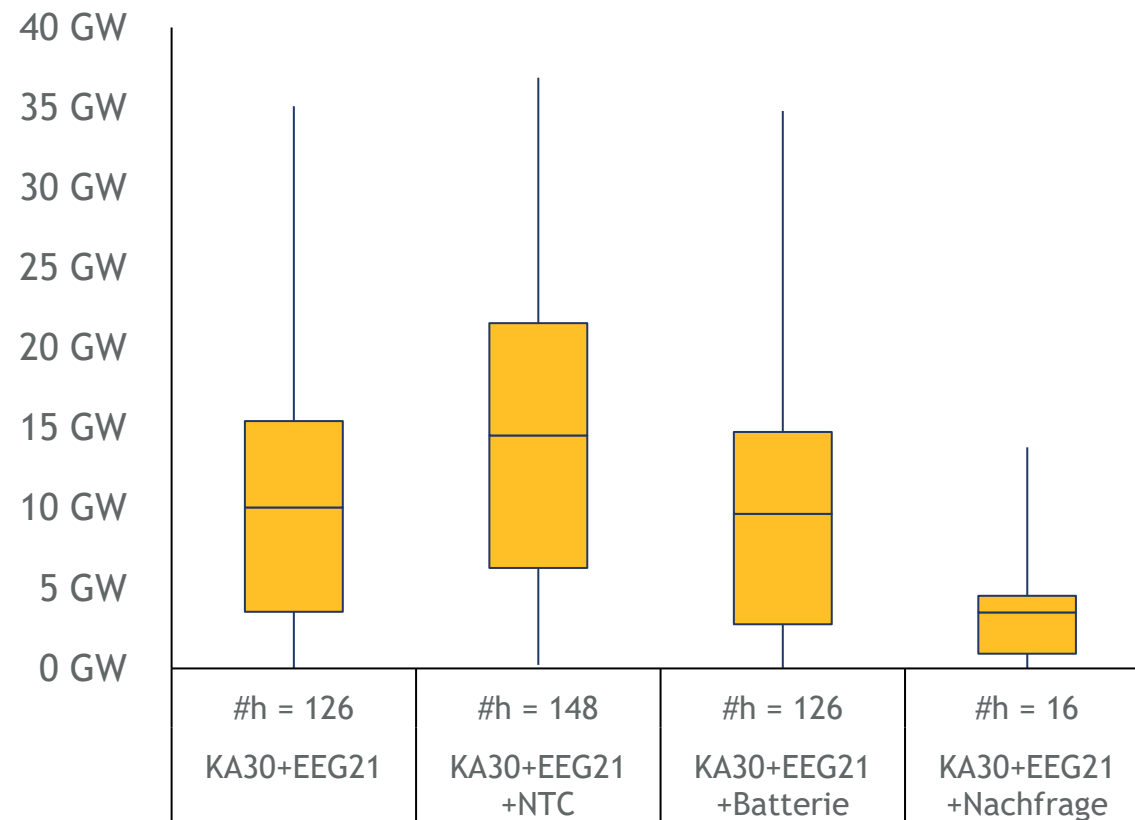
\*) Wir danken Stefanie Fiedler und Linh Ho für die Analyse und diese Abbildungen.

- Anhand der dargestellten Annahmen zur Erzeugungskapazität und Stromnachfrage werden die Wetterbedingungen der Jahre 1982-2016 untersucht. Eine einwöchige Periode im Januar 1997 würde im derzeitigen 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. In der nachfolgenden Analyse wird dieser Zeitraum untersucht, um eine Kombination aus hohen Residuallasten und länger anhaltendem Bedarf an gesicherter Leistung darzustellen.

- Nachfolgend werden die Ergebnisse für sämtliche untersuchten Szenarien sowie die Sensitivitäten dargestellt. Dies erfolgt über Boxplots für das Jahr 2030. Diese stellen die Anzahl und Verteilung möglicher Versorgungslücken während der untersuchten einwöchigen Wettersituation dar.
- Für eine Auswahl der Szenarien werden die Ergebnisse für jedes Jahr des Zeitraums 2025 bis 2030 dargestellt. Die Auswahl erfolgt, um den Einfluss der wesentlichen Stellschrauben wie den Ausbau von Erneuerbaren Energien auf die Höhe und Anzahl möglicher Versorgungslücken zu verdeutlichen.
- Zu diesem Zweck werden die folgenden Szenarien detailliert miteinander verglichen:
  - **KA30+OP & KA30+EEG21:** Ausgehend von einem vollständigen Kohleausstieg bis Ende 2030 verdeutlicht dieser Vergleich den Beitrag zusätzlicher Erneuerbarer Erzeugungskapazität. Von den Basisszenarien stellt KA30+EEG21 den Fall mit den potentiell größten Versorgungslücken dar, da die gesamte installierte Erzeugungsleistung am geringsten ist.
  - **KA38+OP & KA38+OP+NTC:** Im Szenario KA38+OP sind in dieser Analyse aufgrund der hohen installierten Erzeugungsleistung die geringsten und wenigsten Versorgungslücken zu erwarten. Der Vergleich mit der Sensitivität unter geringerer Stromhandelskapazität (NTC) kann die Relevanz von Importen in Zeiten hoher Residuallasten verdeutlichen.
  - **KA30+OP & KA30+OP+Nachfrage:** Ein Kohleausstieg bis 2030 stellt den Fall mit der geringsten steuerbaren Kraftwerkskapazität dar. Eine langsamere Elektrifizierung von Verkehr und Wärme könnte in diesem Fall mögliche Versorgungslücken reduzieren.
- Darüber hinaus wird zu jedem Szenario untersucht, welchen Beitrag zusätzliche Batteriespeicher zur Versorgungssicherheit leisten können.

# Bei schnellerem Kohleausstieg & langsamerem EE-Ausbau: Keine Einzelmaßnahme reicht, um Versorgungssicherheit zu garantieren

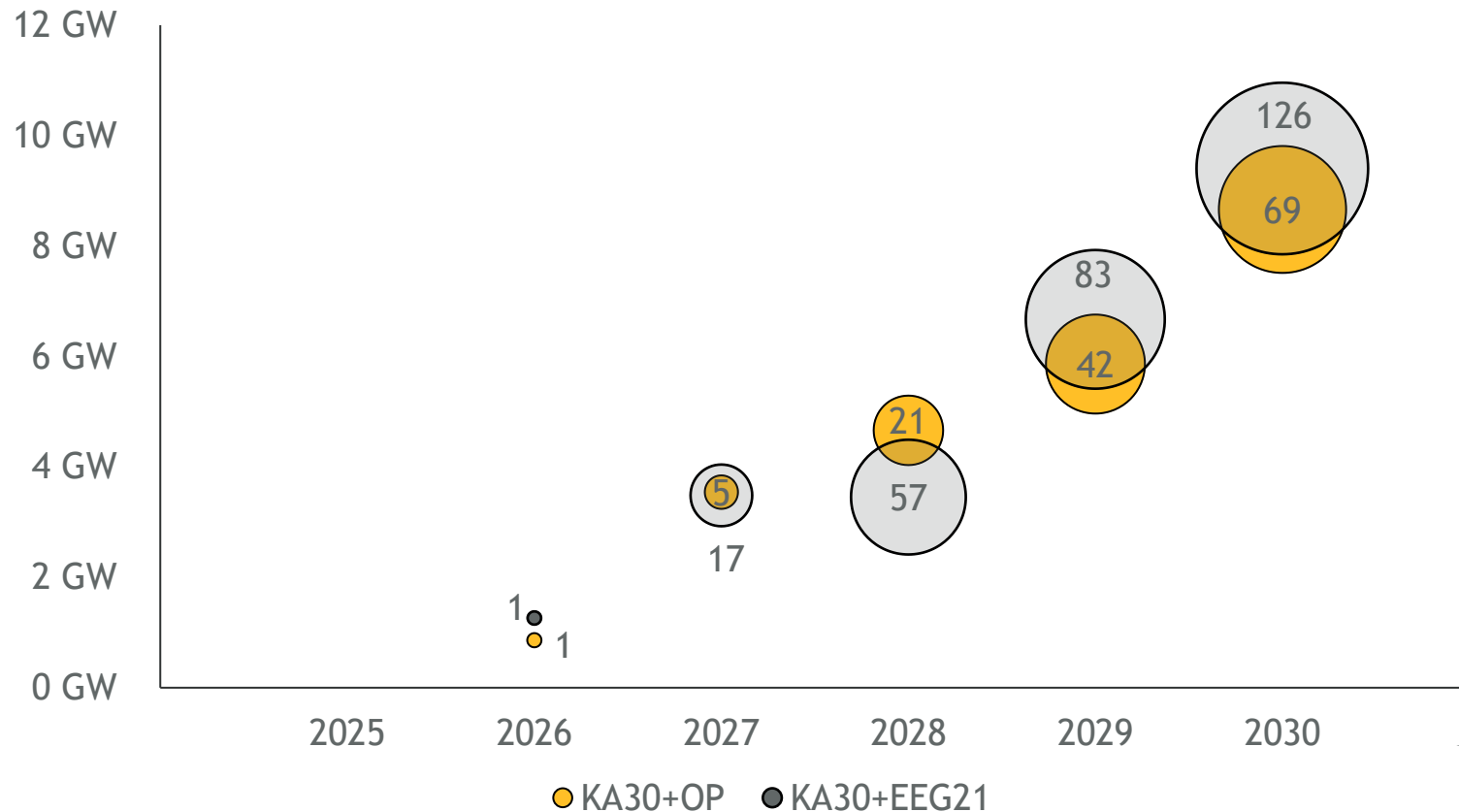
## Boxplot der möglichen Versorgungsdeltas in 2030 nach Sensitivität für Extremwettersituation Jan. 97



- Bei einem Kohleausstieg bis Ende 2030 und einem EE-Ausbau nach EEG 2021 können im Jahr 2030 Versorgungslücken in 126 Stunden mit einer durchschnittlichen Höhe von 10 GW auftreten.
- Eine geringere Verfügbarkeit von Importkapazitäten führt dazu, dass Versorgungslücken häufiger auftreten können sowie im Durchschnitt größer werden.
- In diesem Szenario und der betrachteten Wettersituation kann zusätzliche Speicherkapazität nur einen geringen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten.
- Eine Nachfragereduktion durch eine langsamere Elektrifizierung der Sektoren Verkehr und Wärme kann das Ausmaß auf durchschnittlich 3,5 GW und die Häufigkeit von Versorgungslücken auf 16 Stunden reduzieren.
- In diesem Boxplot sind das Maximum und das Minimum durch die Endpunkte der Linien, sowie das 75%-Quartil, der Mittelwert und das 25%-Quartil durch Querlinien dargestellt.

# Weniger und kleinere Versorgungslücken durch beschleunigten EE-Ausbau möglich

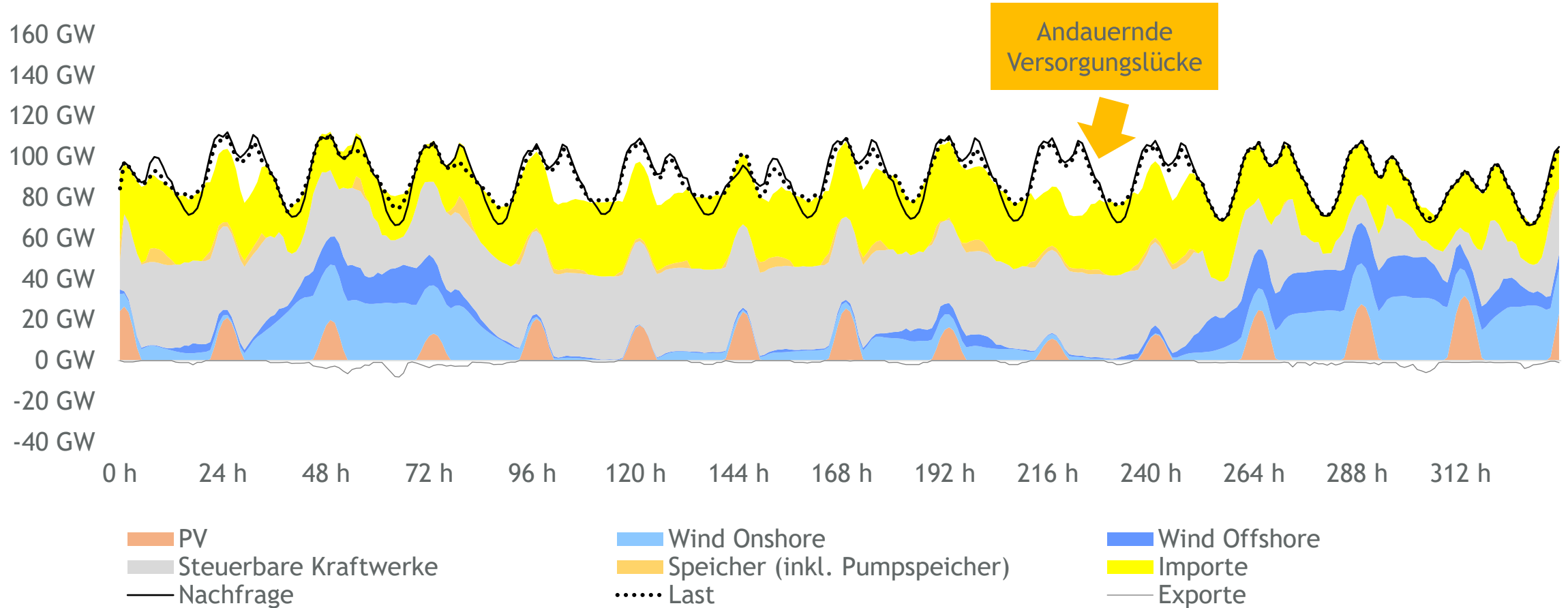
Durchschnittliche Höhe und Anzahl möglicher Versorgungslücken in Extremwettersituation wie Jan. 1997



- 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.
- Ausgehend von einem Kohleausstieg in 2030 werden verschiedene EE-Ausbaupfade miteinander verglichen.
- Durch einen EE-Zubau nach den Zielen des Osterpakets können sowohl die Anzahl als auch die durchschnittliche Höhe möglicher Versorgungslücke in der betrachteten Extremwettersituation reduziert werden.
- Insbesondere die zusätzliche PV-Kapazität erlaubt den Speichern, während des untersuchten Zeitraums öfter einzuspeichern.

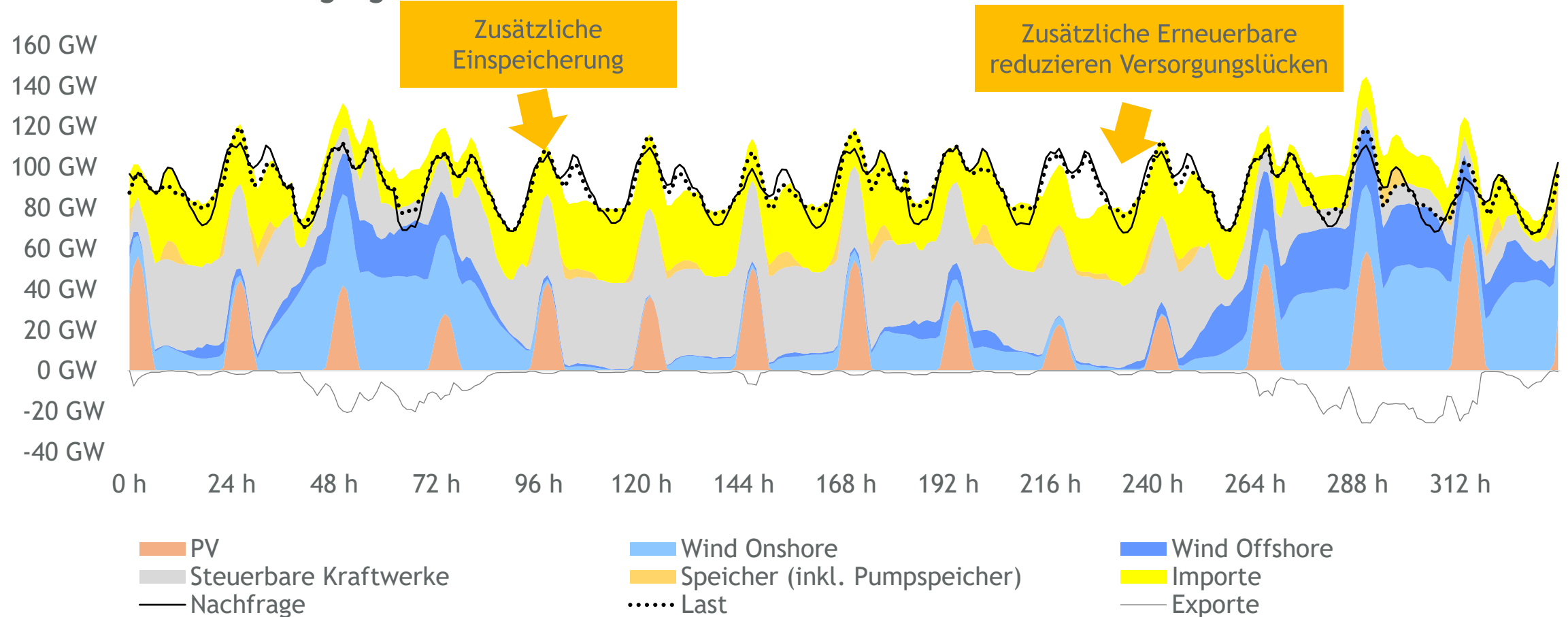
# Schnellerer Kohleausstieg und langsamerer EE-Zubau führen zu häufigeren Versorgungslücken

Stündliche Stromerzeugung in 2030 KA30+EEG21 für Extremwittersituation wie Jan. 1997



# Erneuerbare wirken insbesondere in Kombination mit Speichern: Überdeckung und Verschiebung von Strommengen

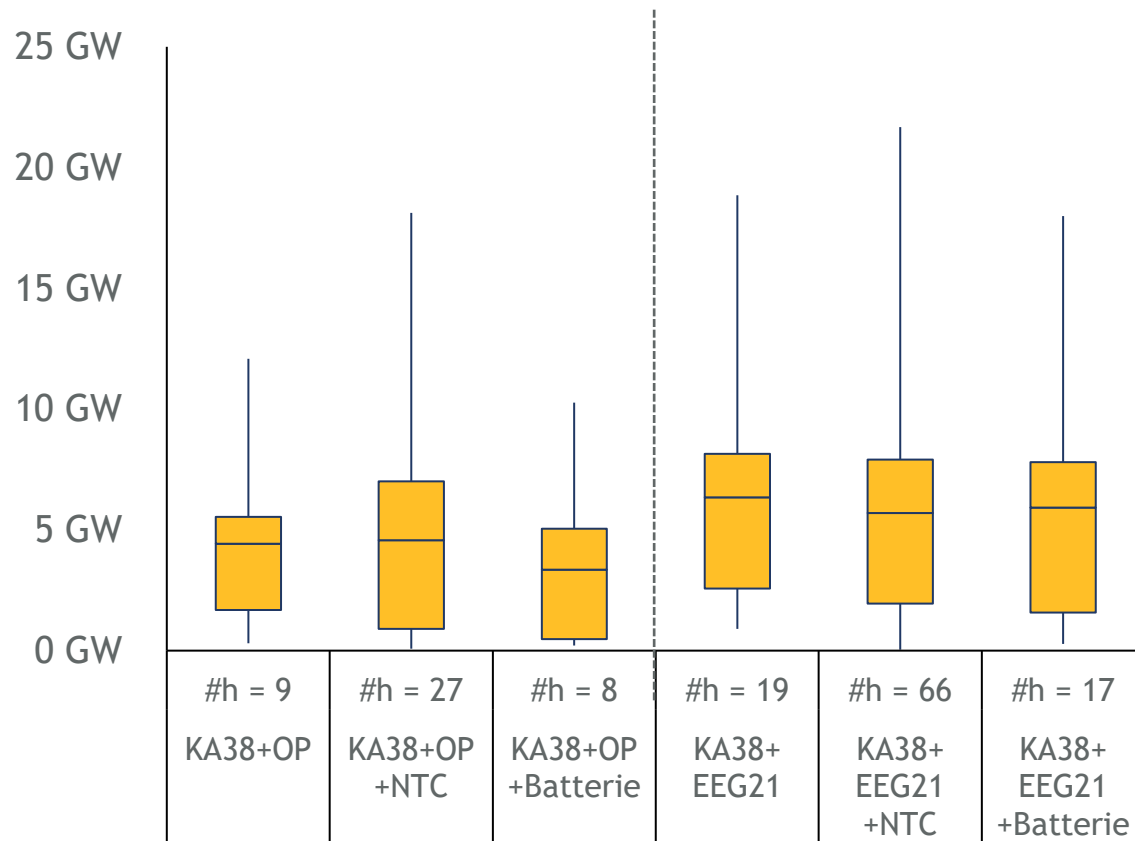
Stündliche Stromerzeugung in 2030 KA30+OP für Extremwettersituation wie Jan. 1997





# Bei einem langsameren Kohleausstieg zeigt sich der Einfluss von EE-Ausbau in Kombination mit Importen und Speichern

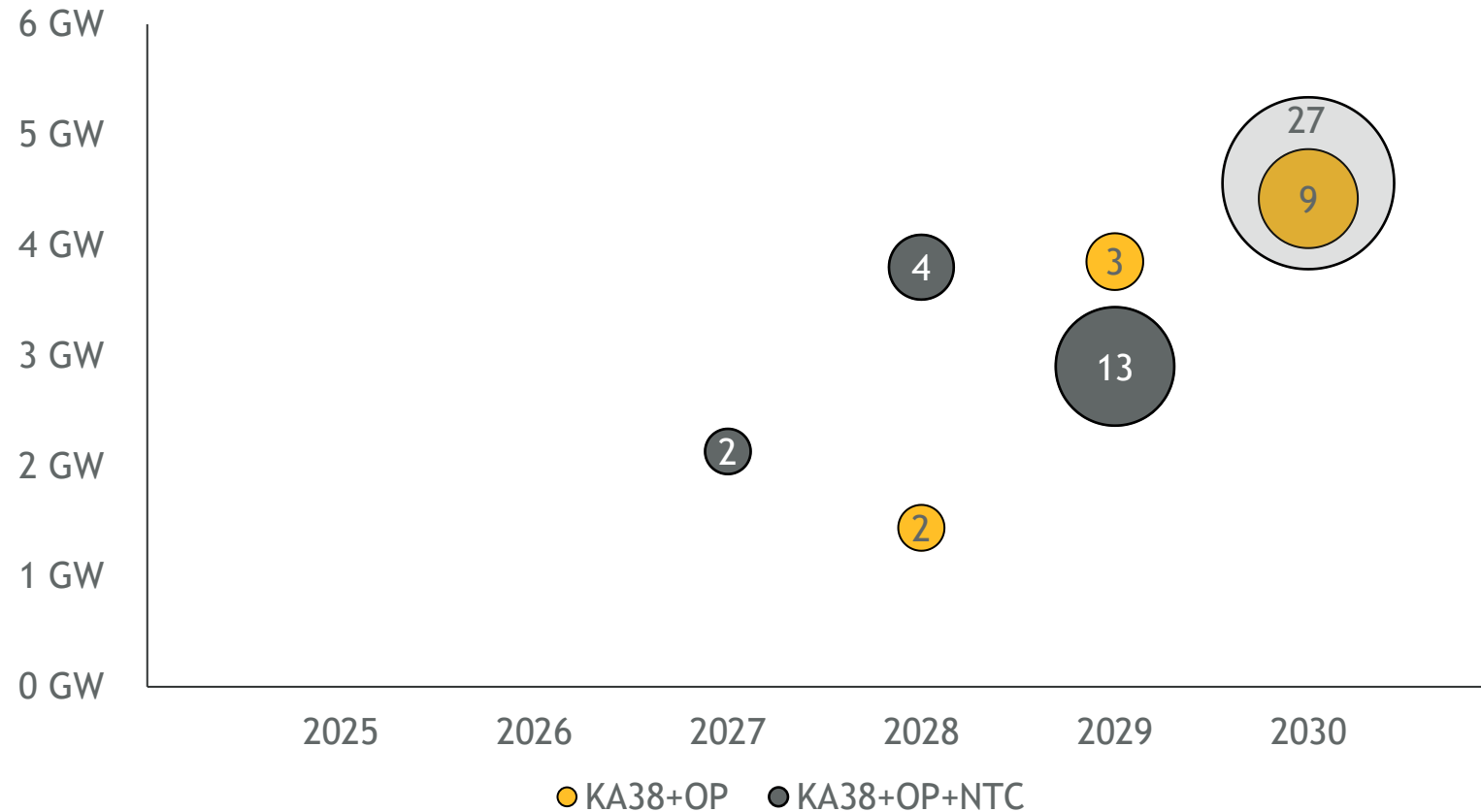
Boxplot der möglichen Versorgungsdeltas in 2030 nach Sensitivität für Extremwettersituation Jan. 97



- Ein Kohleausstieg bis zum Jahr 2038 kann die Anzahl sowie Größe der Versorgungslücken gegenüber einem Ausstieg in 2030 reduzieren, beispielsweise auf 19 Stunden gegenüber 126 Stunden.
- Ein beschleunigter EE-Ausbau kann auch bei einem späterem Kohleausstieg die Verteilung der Versorgungslücken in Richtung kleinerer Werte stauchen und deren Häufigkeit reduzieren.
- Reduzierte Importkapazitäten erhöhen in beiden Szenarien die Anzahl der Versorgungslücken. Dieser Effekt kann durch einen höheren Ausbau von Erneuerbaren Energien im Inland nahezu ausgeglichen werden.
- Batteriespeicher können, insbesondere in Kombination mit zusätzlichen Erneuerbaren einen Beitrag zur Nachfragedeckung leisten.
- Wird die Nachfrage reduziert (nicht dargestellt), treten in 2030 bei einem Kohleausstieg in 2038 keine Versorgungslücken im Modell auf. Dies gilt unabhängig von der installierten EE-Kapazität.

# Weniger Importkapazität führt zu häufigeren Versorgungslücken

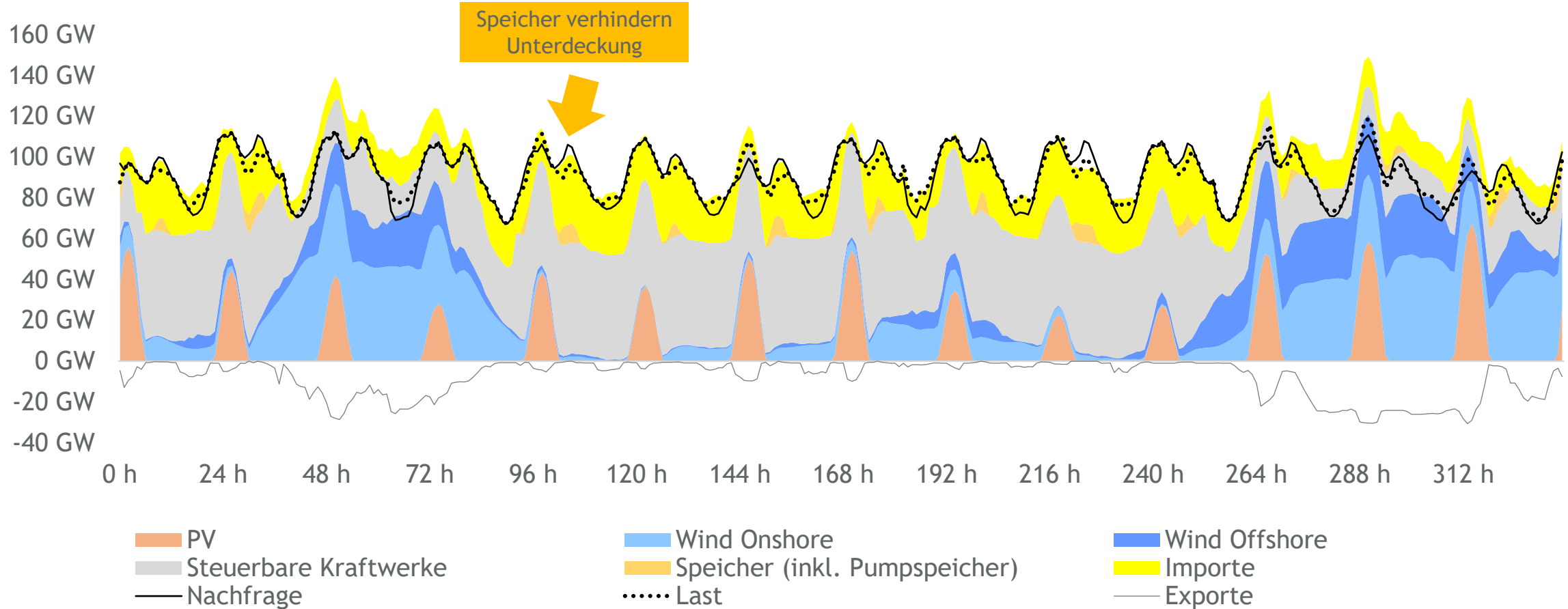
## Durchschnittliche Höhe und Anzahl möglicher Versorgungslücken in Extremwettersituation wie Jan. 1997



- 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.
- Im Szenario KA38+OP können in 2028 Versorgungslücken von durchschnittlich 1,4 GW auftreten. Dieser Durchschnitt kann bis zum Jahr 2030 auf etwa 4,4 GW anwachsen.
- Durch eine geringere Verfügbarkeit von Stromimporten durch einen langsameren Ausbau der Interkonnektorkapazitäten können Stromlücken früher und größer auftreten.
- Dies gilt auch für den für den Fall mit einer hohen installierten steuerbaren Erzeugungskapazität sowie einer höheren Menge Erneuerbarer Energien.

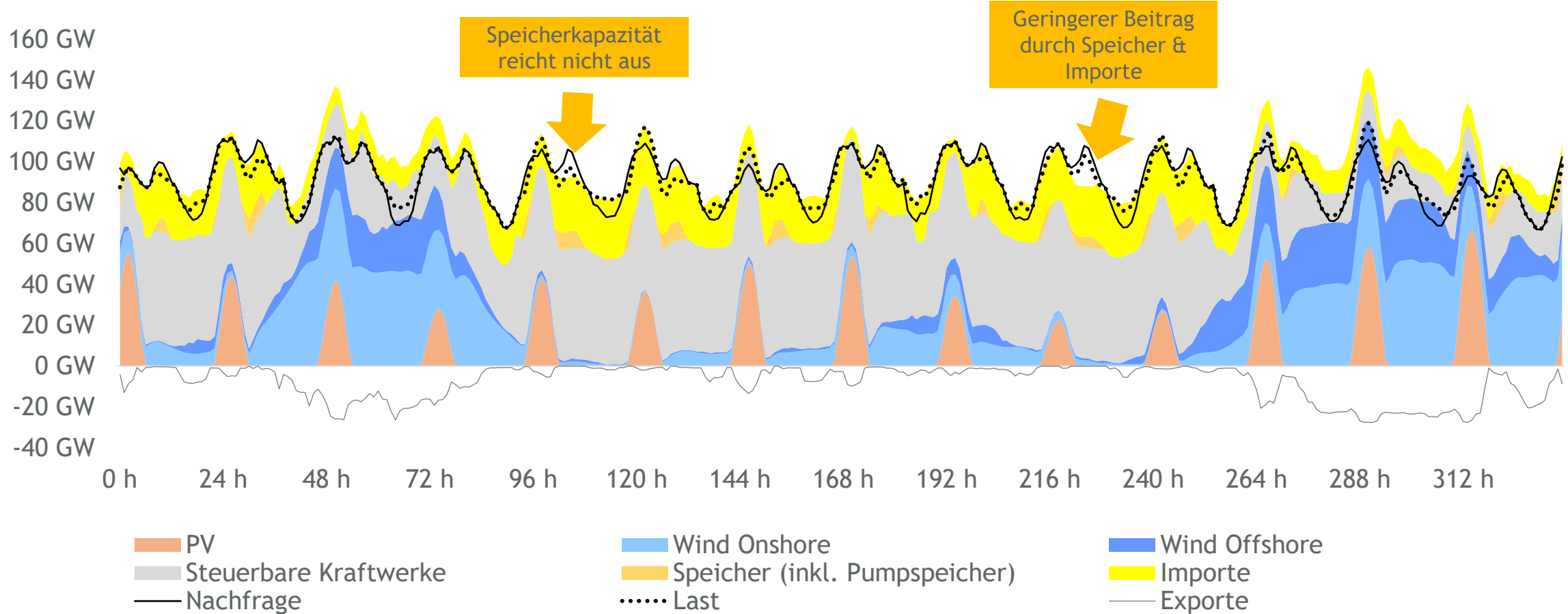
# Durch Importe können Versorgungslücken über Einspeicherung reduziert werden

Stromerzeugung in 2030 für KA38+OP für Extremwettersituation wie Jan. 1997



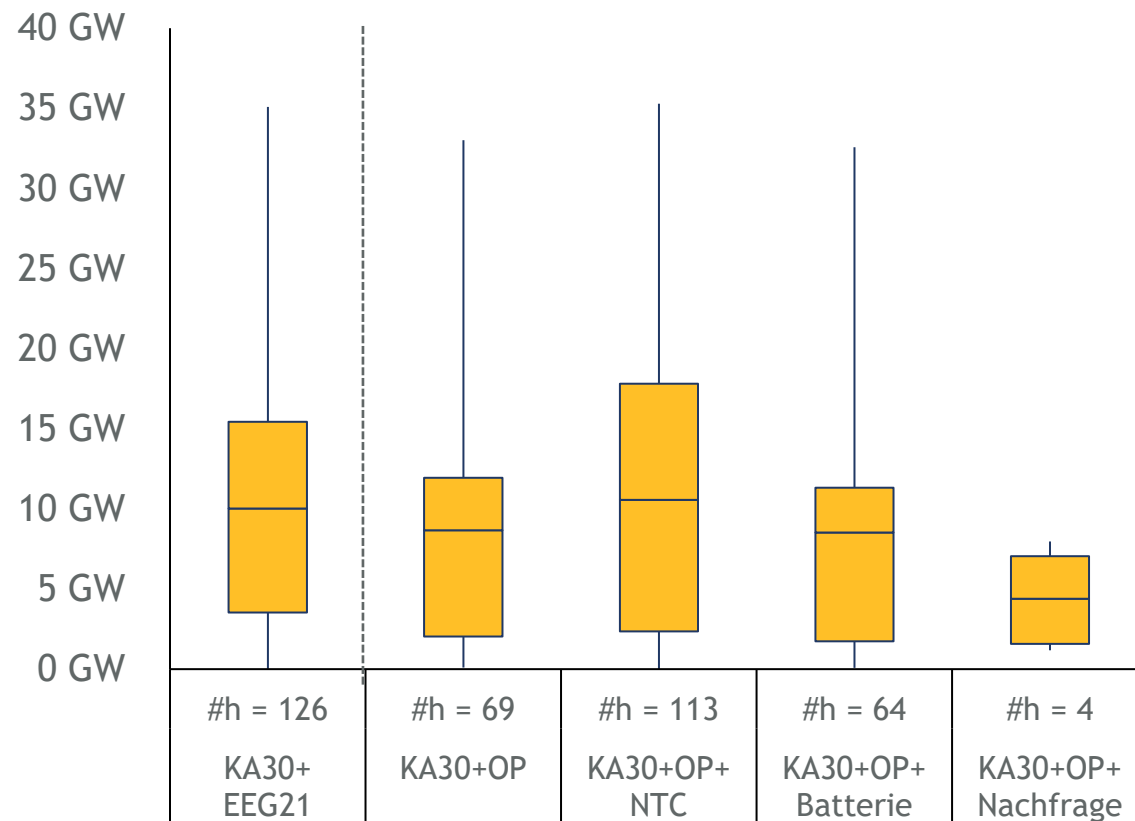
# Geringere Importkapazität verringert die Wirksamkeit der vorhandenen Speicher

Stromerzeugung in 2030 KA38+OP+NTC für Extremwetersituation wie Jan. 1997



# Zusätzliche Wind-, Solar- & Batteriekapazität als auch Nachfragereduktion können Versorgungssicherheit verbessern

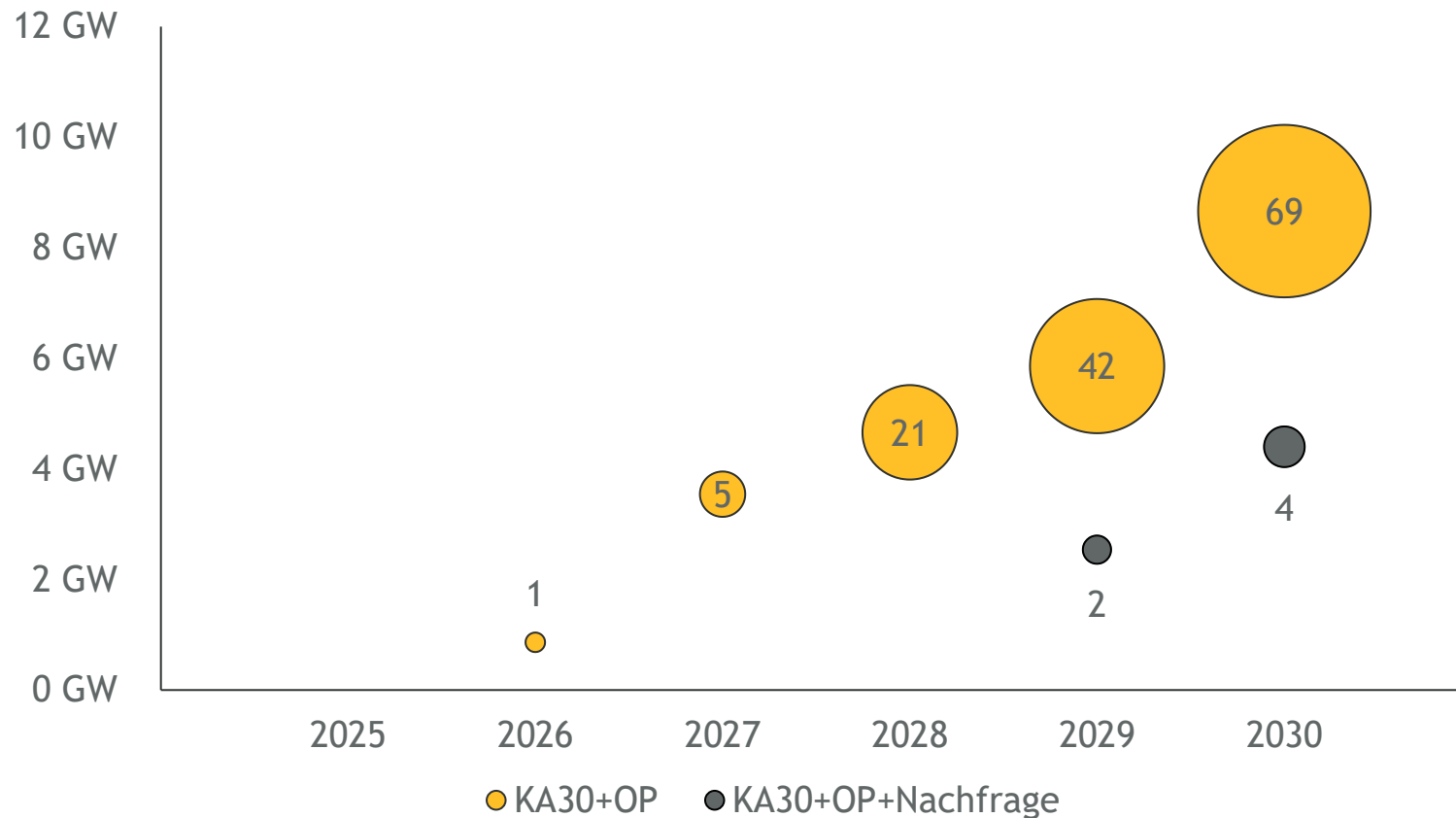
## Boxplot der möglichen Versorgungsdeltas in 2030 nach Sensitivität für Extremwettersituation Jan. 97



- Die Auswirkungen eines Kohleausstiegs bis zum Jahr 2030 auf die Versorgungssicherheit kann durch zusätzliche Erneuerbare Kapazität zumindest teilweise aufgefangen werden. So reduziert ein EE-Ausbau nach Osterpaket gegenüber dem Ausbaupfad nach EEG 2021 die Anzahl der möglichen Versorgungslücken von 126 auf 69 Stunden im Jahr 2030.
- In Kombination mit Batteriespeicherkapazität können weitere Versorgungslücken vermieden werden, sodass sich die Anzahl der möglichen Nachfrageunterdeckungen auf 64 Stunden reduziert. In dieser Maßnahmenkombination verringert sich die durchschnittliche Lücke von 10 GW auf 8,5 GW.
- Wird ein beschleunigter EE-Ausbau mit einer langsameren Nachfragesteigerung kombiniert, können bei einem vollständigen Kohleausstieg in 2030 bis zu vier Versorgungslücken mit einer durchschnittlichen Höhe von 4,4 GW auftreten.
- Zusätzliche EE-Kapazitäten können den negativen Effekt von verringerten Importmöglichkeiten auf die Versorgungssicherheit abmildern.

# Durch eine verringerte Nachfrage treten Versorgungslücken später und in kleinerem Umfang auf

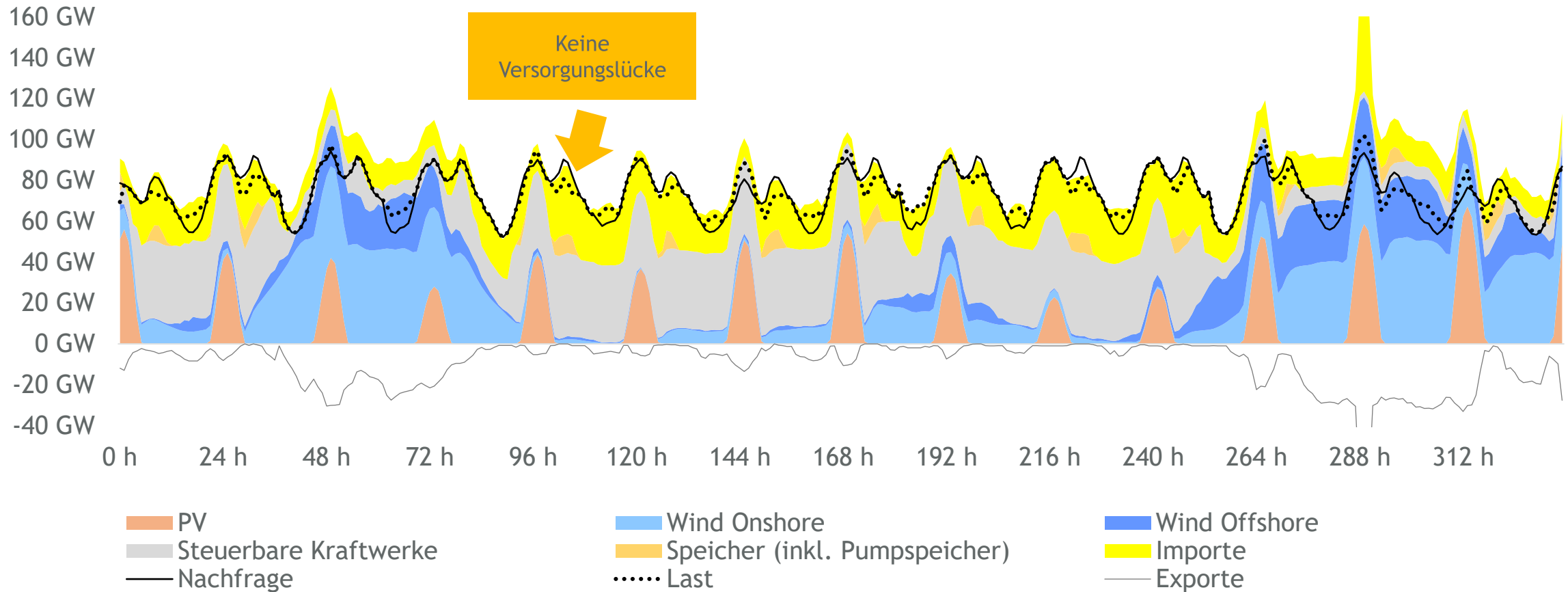
## Durchschnittliche Höhe und Anzahl möglicher Versorgungslücken in Extremwettersituation wie Jan. 1997



- 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.
- Wird der Kohleausstieg in 2030 mit einem EE-Ausbau nach Osterpaket kombiniert, ist im Jahr 2026 eine einstündige Unterdeckung der Nachfrage möglich.
- Dies wächst bis zum Jahr 2030 auf 69 Stunden mit einer durchschnittlichen Höhe von 8,7 GW an.
- Eine langsamere Elektrifizierung, insbesondere der Sektoren Verkehr und Wärme, kann dazu führen, dass Versorgungslücken geringer und seltener möglich sind.

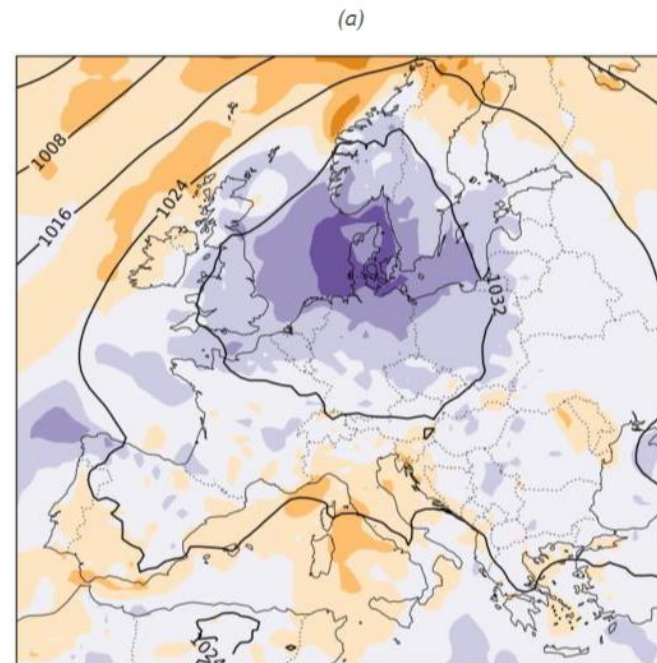
# Nachfragereduktion sorgt für annähernd vollständige Versorgungssicherheit

Stromerzeugung in 2030  $KA30+OP+Nachfrage$  für Extremwettersituation wie Jan. 1997

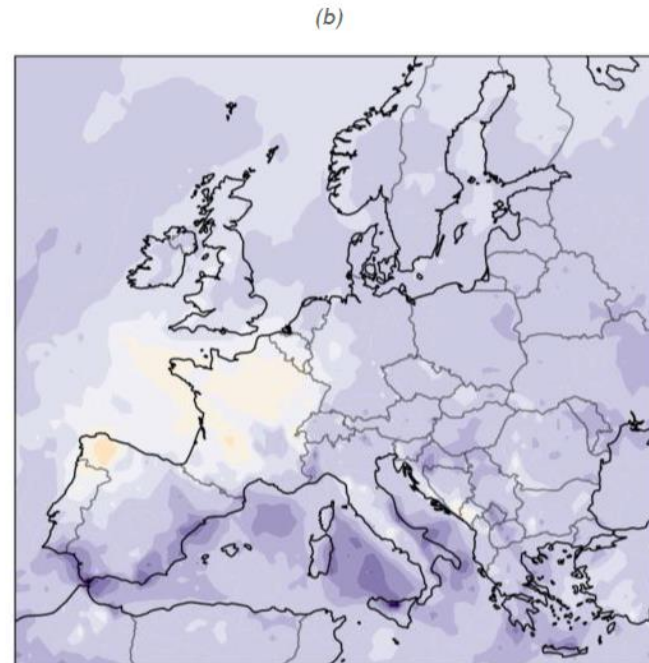
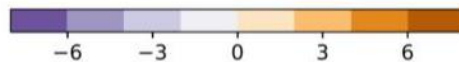


# Im Vergleich zum langjährigen Wintermittel ist der Dezember 2007 eine markante *zweiwöchige* Dunkelflaute.

## Delta Windgeschwindigkeiten und Sonneneinstrahlung im Dezember 2007\*



Delta Windgeschwindigkeit [ $\text{ms}^{-1}$ ]



Delta Sonneneinstrahlung [ $\text{Wm}^{-2}$ ]



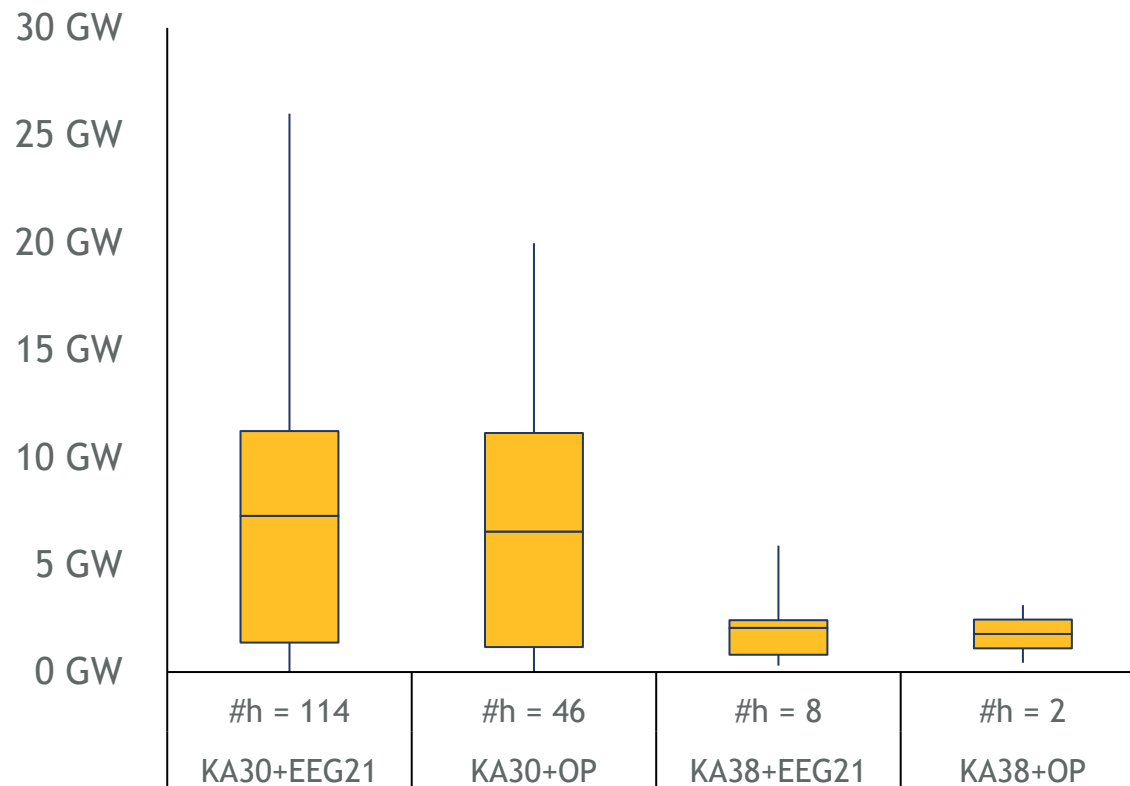
\*) Wir danken Stefanie Fiedler und Linh Ho für die Analyse und diese Abbildungen.

- Es ist möglich, dass eine Extremwittersituation mit hohen Residuallasten über einen längeren Zeitraum als die bisher betrachtete eine Woche auftritt.
- Einen solchen Zeitraum von zwei Wochen gab es im Dezember 2007.
- Die Windgeschwindigkeiten lagen im gesamten nordeuropäischen Raum deutlich unter dem langjährigen Mittelwert. Dies betrifft die Regionen, in denen tendenziell das Windenergiepotenzial und damit die installierte Kapazität am höchsten ist (Abbildung a).
- Die Sonneneinstrahlung war europaweit mit Ausnahme Frankreichs und Spaniens ebenfalls geringer als im Durchschnitt.
- Nachfolgend wird der Technologieeinsatz während dieser Wetterperiode untersucht.



# Auch in einer zweiwöchigen Periode können Erneuerbare Energien Versorgungssicherheit verbessern

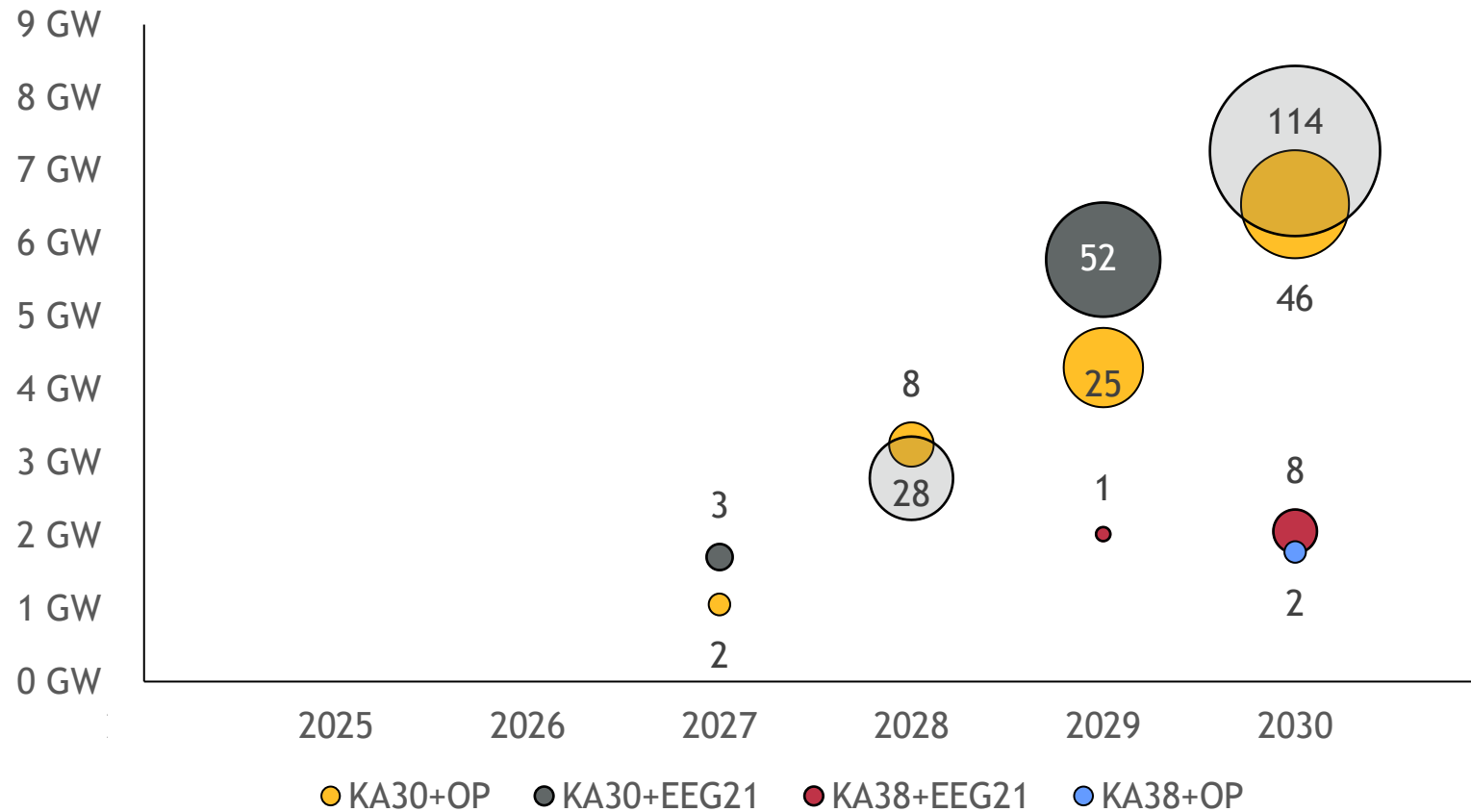
Boxplot der möglichen Versorgungsdeltas in 2030 nach Szenario für Extremwettersituation Dez. 07



- In dem untersuchten zweiwöchigen Zeitraum sind hohe Residuallasten durch steuerbare Kraftwerke, Importe und Flexibilitätstechnologien zu decken. Diese Residuallasten sind im Durchschnitt etwas geringer als in der untersuchten einwöchigen Periode.
- Bei einem Kohleausstieg Ende 2030 kann, abhängig von der unterstellten Erneuerbaren Kapazität, in 46 bis 114 Stunden die Stromnachfrage nicht gedeckt werden. Die mittlere Unterdeckung liegt bei 6,5 GW bis 7,3 GW. Zusätzliche Erneuerbare können auch in dieser Periode zur Versorgungssicherheit beitragen.
- Ein Kohleausstieg im Jahr 2038 kann zur Versorgungssicherheit beitragen. Verglichen mit einem früheren Ausstieg sind hier zwei bis acht Stunden möglich, in denen es zur Lastunterdeckung kommen kann. Die mittlere Versorgungslücke liegt hier bei 1,8 bis 2,1 GW.

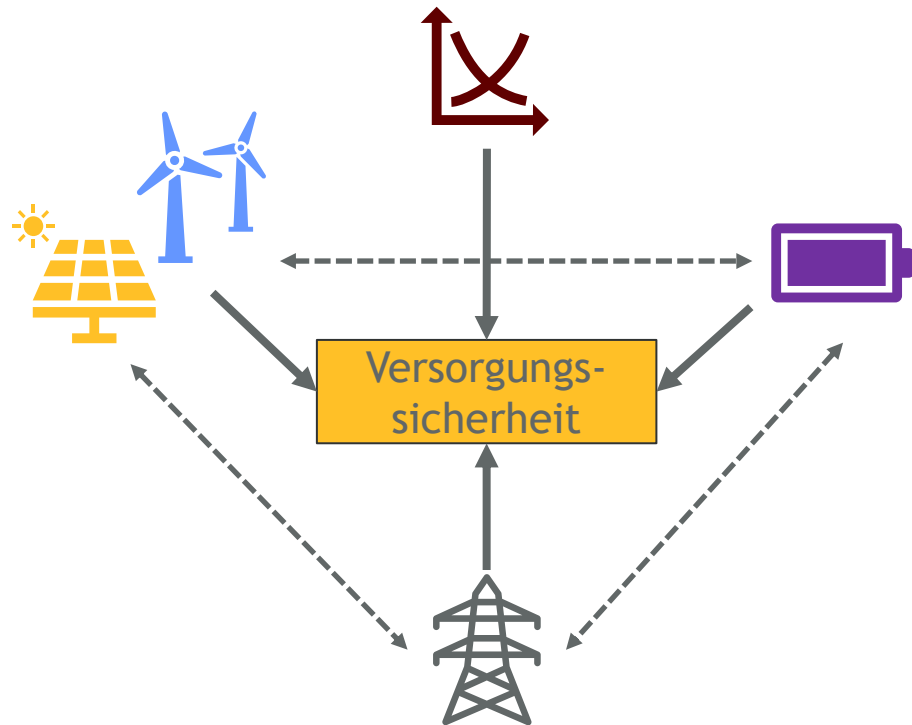
# Ergebnisse für zweiwöchige Lücken

## Durchschnittliche Höhe und Anzahl möglicher Versorgungslücken in Extremwettersituation wie Dez. 2007



- 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.
- Bei einem früheren Ausstieg aus der Kohleverstromung können Versorgungslücken früher, bereits in 2027, auftreten. Ein späterer Kohleausstieg verschiebt diesen Effekt auf das Jahr 2029.
- Zusätzliche Erneuerbare können die Anzahl an möglichen Versorgungslücken in allen betrachteten Jahren reduzieren sowie dazu beitragen, dass entstehende Nachfragelücken geringer ausfallen.

## Einflussfaktoren und Wechselbeziehungen



- Unter den dargestellten Annahmen zur Stromnachfrage, EE-Zubau und vorhandener steuerbarer Leistung ist eine vollständige Resilienz des Stromsystems gegen mögliche Extremwetterereignisse bis zum Jahr 2030 nicht garantiert. Es können Versorgungslücken auftreten.
- Es bestehen mehrere Möglichkeiten, dem entgegenzuwirken. Diese Optionen können miteinander kombiniert werden:
  - Zusätzliche steuerbare Kraftwerke können zur Deckung hoher Residuallasten beitragen. Dies kann über zusätzlichen Neubau sowie eine Reaktivierung von Reservekraftwerken erreicht werden.
  - Speicherkapazitäten können Strom aus Zeiten hoher Erneuerbarer Erzeugung in Perioden mit hohen Residuallasten verschieben. Ein Ausbau dieser Kapazität ist eine Möglichkeit, den Beitrag Erneuerbarer Energien zur Vermeidung von Versorgungslücken zu erhöhen.
  - Eine höhere Flexibilität der Stromnachfrage kann die Last in Extremwittersituationen reduzieren. Potenzial hierfür besteht vor allem in den Industriesektoren über eine zeitliche Verschiebung der Stromnachfrage sowie im Verkehrssektor über das zeitliche Verschieben des Ladevorgangs (Demand-Side-Management). Voraussetzung sind entsprechende Preissignale an die Stromnachfrager.

# Bei Fragen oder Anregungen gerne melden!

## KONTAKT

Dr. Philip Schnaars

[philip.schnaars@ewi.uni-koeln.de](mailto:philip.schnaars@ewi.uni-koeln.de)

+49 (0)221 277 29 227

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) gGmbH