

A large wind turbine is the central focus, with its white tower and nacelle visible. The blades are partially visible, with one blade extending towards the left. The background shows a rolling landscape of green fields and trees under a clear blue sky with a bright sun on the left, creating a warm, golden glow. The overall scene is peaceful and represents renewable energy in a natural setting.

# Systemkostenreduzierter Pfad zur Klimaneutralität im Stromsektor 2040

Erstellt von Aurora Energy Research  
für EnBW Energie Baden-Württemberg AG

2. April 2025

AURORA  
ENERGY RESEARCH

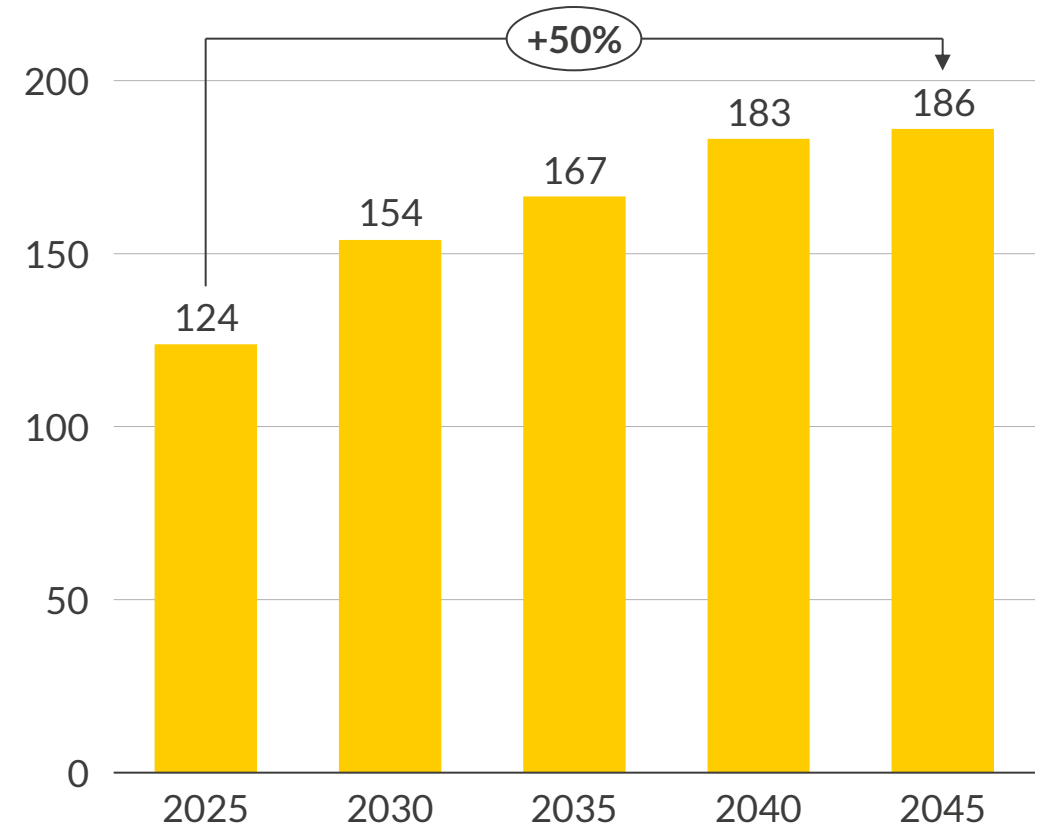
# Eine ganzheitliche Kostenreduktion des Stromsektors entlastet die Volkswirtschaft



## Die Ausgangslage

- Der Umbau des Energiesystems ist eine Herausforderung für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft.
- Das Ziel des **klimaneutralen Stromsystems 2040** wurde bisher hauptsächlich in Bezug auf **Klimaschutz und Versorgungssicherheit** optimiert.
- Die wirtschaftliche Optimierung ist der notwendige nächste Schritt. Ohne Gegensteuern **steigen die jährlichen Systemkosten bis 2045 um 50%** im Vergleich zu heute an.
- Eine **ganzheitliche Kostenreduktion** ist unverzichtbar, um die Belastung der Volkswirtschaft zu reduzieren, die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern, die Akzeptanz der Bevölkerung zu sichern und die Elektrifizierung der Nachfragesektoren voranzutreiben.

Systemkosten pro Jahr, NEP-System<sup>1</sup>  
Mrd. €, real 2023



1) entspricht NEP 2023 B

# Maßnahme: Reduzierung Ausbauziel H<sub>2</sub>-Elektrolyse & PV



## Ergebnisse

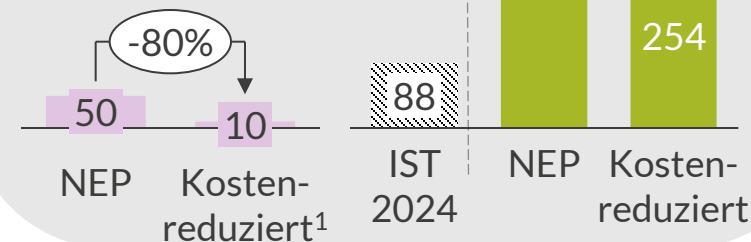
- Reduzierung des Ausbaus von Elektrolyseuren und in Folge von PV-Erzeugung

### Kapazität in 2045

GW

#### Elektrolyse

#### Solar PV



## Erläuterung

- Hohe Elektrolyseurkapazitäten sind kapitalintensiv und steigern die Systemkosten erheblich.
- Importierter grüner Wasserstoff bleibt dabei günstiger als heimisch erzeugter.
- Eine Reduzierung der Elektrolyseurkapazitäten ermöglicht zusätzlich eine Absenkung des PV-Ausbauziels und in Folge auch der Netzinvestitionen.
- Die Reduktion von PV ist dabei effizienter als z.B. Wind, da Wind bedarfssynchroner zur Verfügung steht.



## Erkenntnis

- Die heimische Erzeugung von H<sub>2</sub> ist wenig wirtschaftlich. Eine Reduzierung des Ziels und die Folgeeffekte **entlasten die Systemkosten im Stromsektor um ca. 100 Mrd. €.**

1) Entspricht „Finalszenario“ im Studienbericht

# Maßnahme: Reduzierung Ausbauziel Offshore und Ausbau Gas/H<sub>2</sub>-Kraftwerke

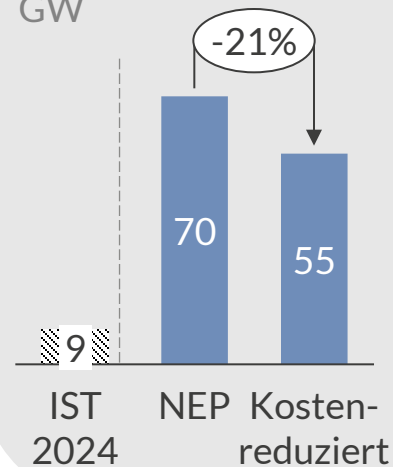


## Ergebnisse

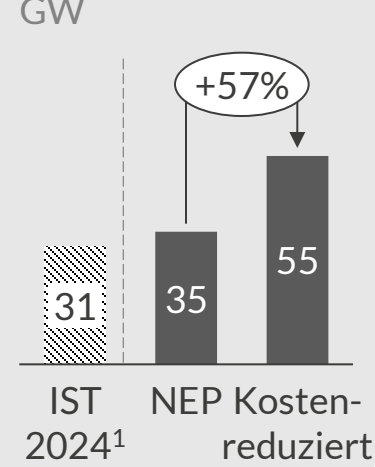
- Reduzierung des Offshore-Zielwerts um 21% und Erhöhung des Ausbauziels für Gas/H<sub>2</sub>-Kraftwerke

Effekt:  
-80 Mrd. €

### Offshore-Wind-Kapazität in 2045 GW



### Gas/H<sub>2</sub>-Kapazität in 2045 GW



## Erläuterung

- Ab einer Offshore-Kapazität von ca. 55 GW müssen die zusätzlichen Anlagen Anschlusspunkte weit im Inland (bis Südhessen) nutzen, mit sprunghaft ansteigenden Netzanschlusskosten.<sup>2</sup>
- Der Ausbau von weiteren 20 GW Gas/H<sub>2</sub>-Kraftwerken gleicht die Offshore-Reduktion aus bei steigender Versorgungssicherheit.
- Dabei überbrücken die Kraftwerke auch längere Dunkelflauten und machen so einen Teil der Batterien überflüssig.



## Erkenntnis

Eine Anpassung des Offshore-Ausbauziels von 70 GW auf 55 GW resultiert in einer **Kostenreduktion von ca. 80 Mrd. €**.

1) Gas-Turbine und Gas- und Dampfkraftwerk 2) Die Abnahme der spezifischen Erträge durch zunehmende Abschattungseffekte, ist hier noch nicht berücksichtigt.

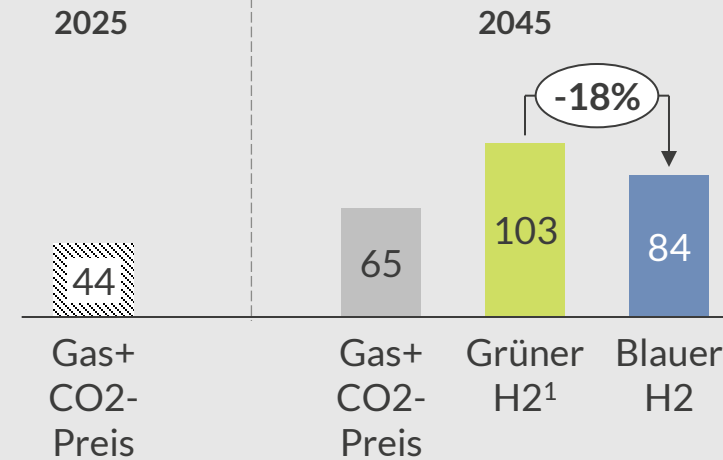
# Maßnahme: Optimierte Ansiedelung Gas/H<sub>2</sub>-Kraftwerke und blauer H<sub>2</sub>



## Ergebnisse

- Einsatz von blauem H<sub>2</sub> statt grünem H<sub>2</sub>

Gas und Wasserstoff-Preise  
€/MWh, real 2023



## Erläuterung

- Einsatz blauer H<sub>2</sub> statt grünem H<sub>2</sub> spart Brennstoffkosten ein.
- Ansiedlung im netztechnischen Süden nutzt bestehende Netz- und Gasinfrastruktur und reduziert zusätzlich Netzengpässe.
- Optimiertes Verhältnis von GT und GuD<sup>2</sup> reduziert Systemkosten



## Erkenntnis

- Ein technologisch und regional optimierter **Zubau von Gas/H<sub>2</sub>-Kraftwerken** in Kombination mit der Umstellung auf blauen Wasserstoff reduziert die Systemkosten um ca. 40 Mrd. €.

1) Import 2) Gas Turbine und Gas- und Dampfkraftwerk

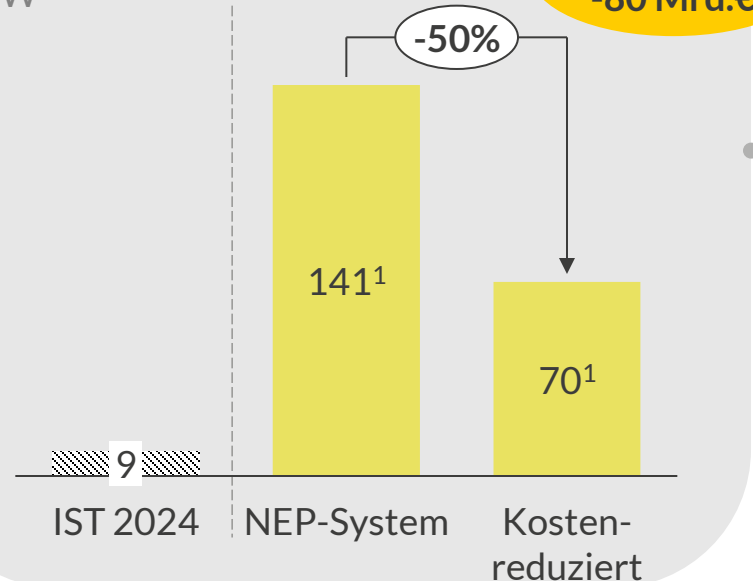
# Maßnahme: Reduzierung Ausbauziel Batteriespeicher



## Ergebnisse

- Reduzierung des Ausbau-Ziels für Batteriespeicher um 50%

Batteriespeicher in 2045<sup>1</sup>  
GW



## Erläuterung

- Der Ausbau der Batteriespeicher ist sehr ambitioniert. Zudem sind Batteriespeicher nur bedingt für die Bereitstellung von Kapazität über längere Zeiträume geeignet („Dunkelflaute“).
- Gas/H<sub>2</sub>-Kraftwerke erfüllen diese Aufgabe kosteneffizienter und flexibler.
- Der Ersatz von Batterien durch Gas/H<sub>2</sub>-Kraftwerke führt zu niedrigeren Systemkosten, reduziert Knappheiten im System und die Importabhängigkeit besonders in hochpreisigen Perioden.



## Erkenntnis

- Batteriespeicher und Gas/H<sub>2</sub>-Kraftwerke ergänzen sich technologisch gut. Ein angepasstes Verhältnis beider führt zu **ca. 80 Mrd. €** Kostenreduzierung.

1) Dies entspricht der Anschlussleistung der Batterien. Die Kapazität im NEP-System entspricht 850 GWh und im kostenreduzierten System ca. 420 GWh.

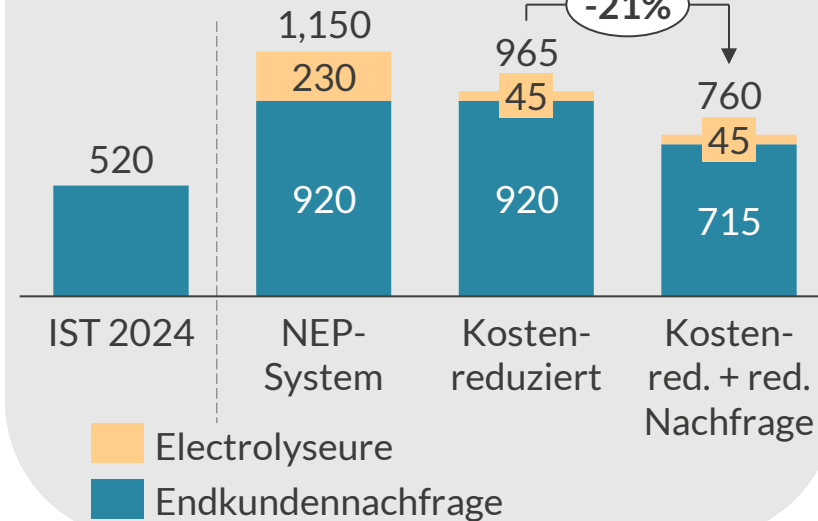
# Paralleler Kostenhebel: Anpassung an Verbrauchsentwicklung



## Ergebnisse

- Angepasste Dimensionierung des Energiesystems an niedrigere Nachfrageerwartung

Stromnachfrage in 2045<sup>1</sup>  
TWh



## Erläuterung

- Zwischen NEP-System und einem kosten-reduzierten System wurde die Endkundennachfrage konstant gehalten.
- Die Erwartungen an die zukünftige Endkundennachfrage ist seit der Erstellung des NEP 2023 deutlich gesunken. Eine Reduktion von 20-25% entspricht der aktuellen Studienlage.
- Um eine Überdimensionierung des Energiesystems zu verhindern, kann das System insgesamt kleiner geplant werden.



## Erkenntnis

- Zusätzlich zur technisch-wirtschaftlichen Verbesserung bringt eine Anpassung der Dimensionierung des gesamten Stromsystems **Einsparungen von rund weiteren 400 Mrd. €.**

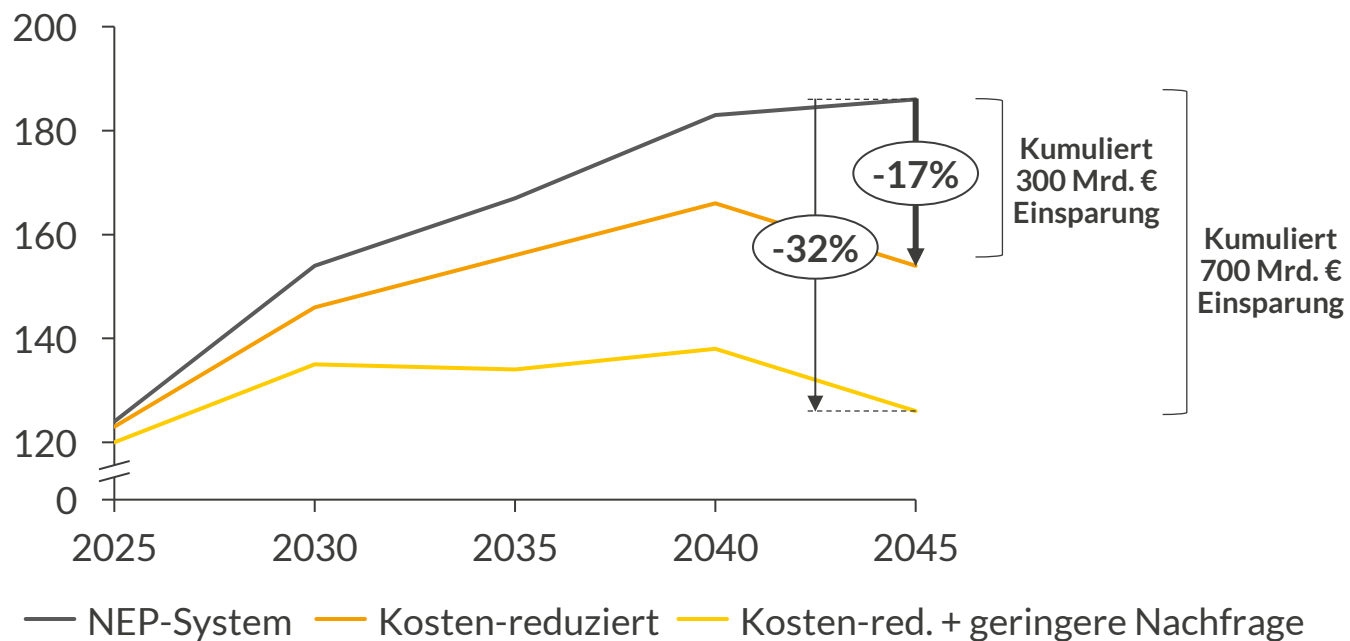
1) Inklusive Eigenverbrauch

# Mit den aufgezeigten Maßnahmen ist der Umbau des Energiesystems zu geringeren Kosten möglich

## Zentrale Studienergebnisse

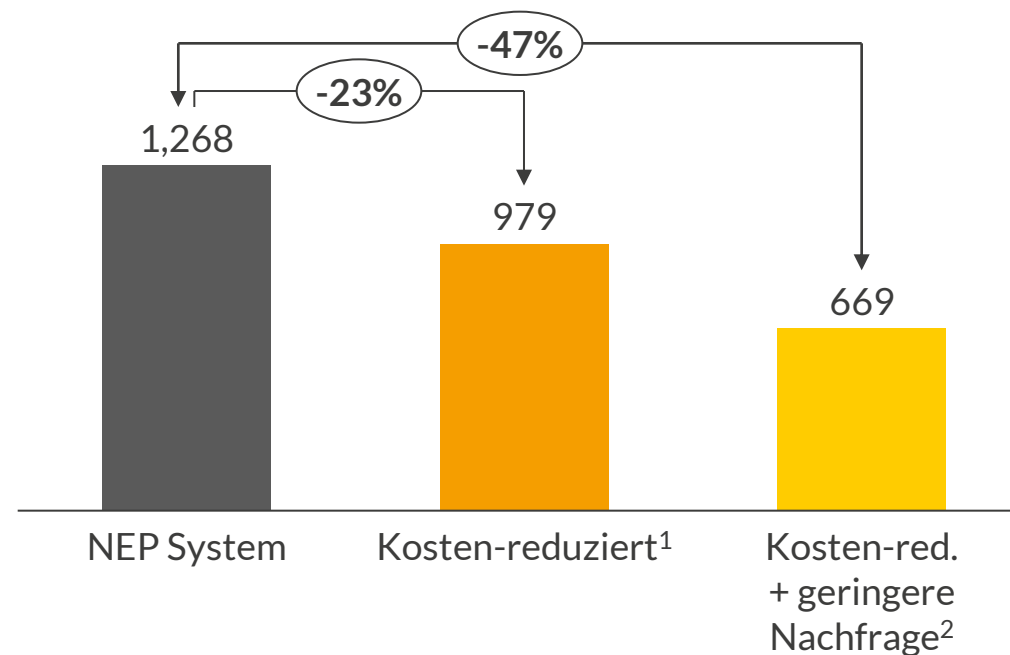
### Annualisierte Systemkosten

Mrd. €, real 2023



### Summe Investitionskosten 2025-2045

Mrd. €, real 2023



### Erkenntnis

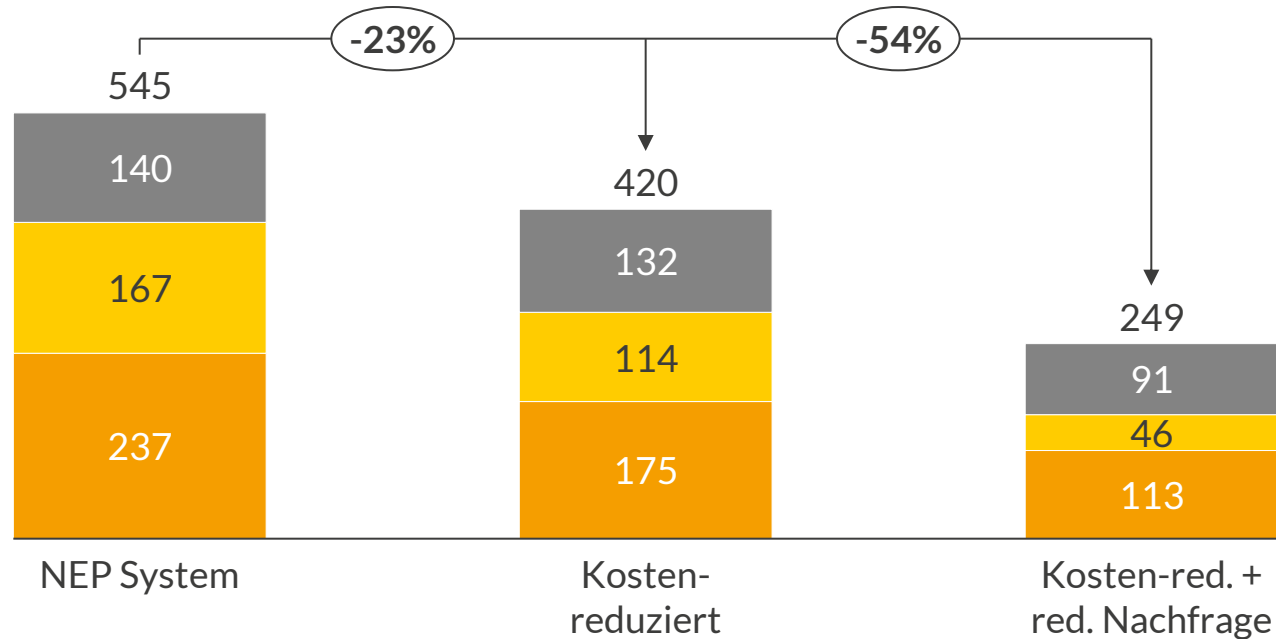
Bei Einhaltung der deutschen Klimaschutzziele und durchgehend sicherer Versorgung können die **jährlichen Systemkosten im Stromsektor bis zum Jahr 2045 um bis zu 32%** und die **Investitionen um bis zu 47%** reduziert werden.



# Der Investitionsrückgang wird maßgeblich durch den Rückgang in den Netzinvestitionen getrieben

## Entwicklung der Netz-Investitionskosten 2025-2045

Mrd. €, real 2023



Übertragungsnetz
  Offshore-Anbindung
  Verteilnetz



### Erkenntnis

Im **kostenreduzierten System** können die Netzinvestitionen um rund **125 Mrd. €** reduziert werden. Im **kostenreduzierten System mit reduzierter Nachfrage** sinken die Investitionskosten um **weitere 171 Mrd. €**.

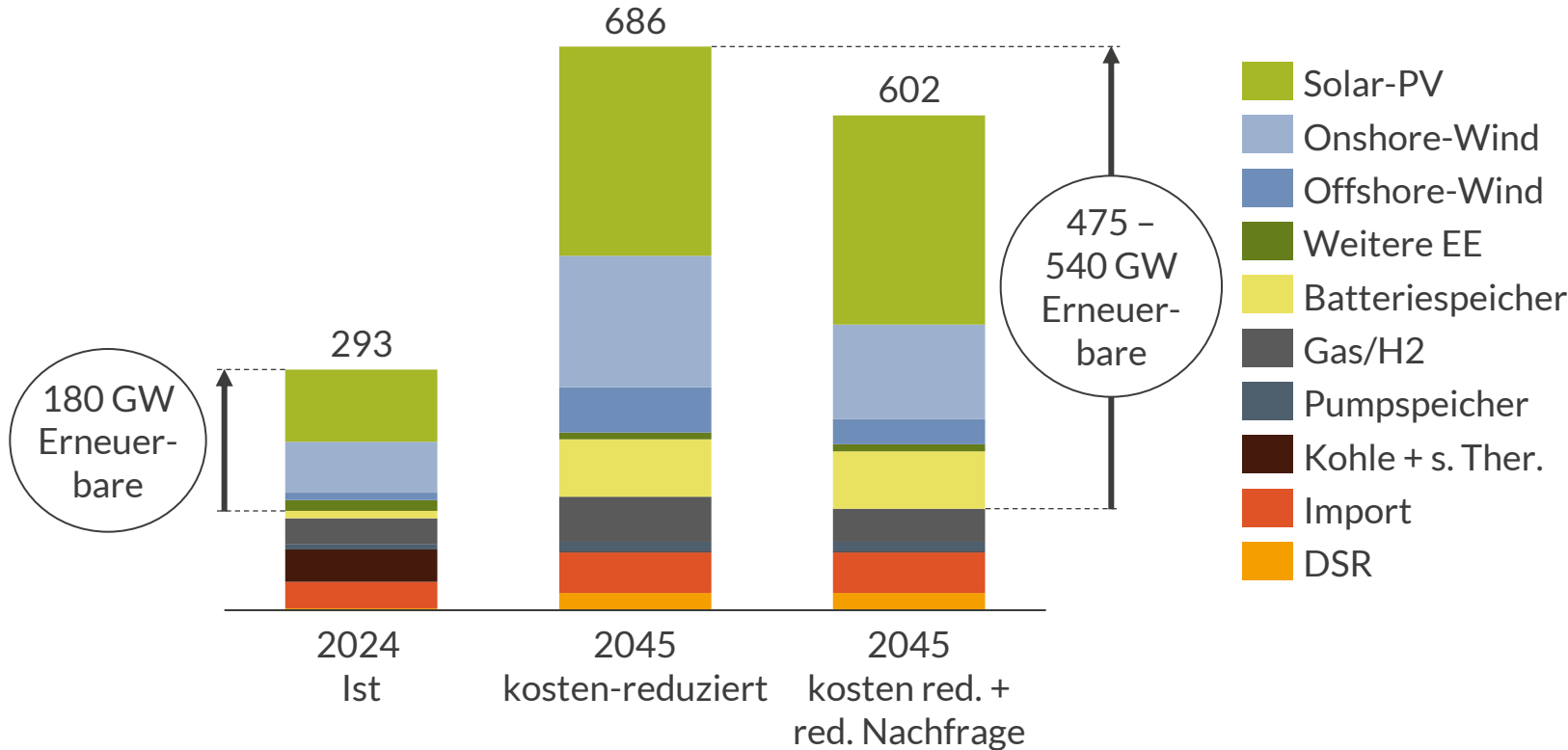


### Erläuterung

- Die größte Einsparung im kostenreduzierten System resultiert aus der Reduktion der PV-Leistung im Bereich der Verteilnetze.
- Eine weitere Reduktion entsteht durch die Reduktion der Offshore-Leistung und den geringeren Offshore-Anbindungen.
- Im kostenreduzierten System mit reduzierter Nachfrage kommt es neben einem geringeren lastbedingten Netzausbau auch zu einer Reduktion des EE-bedingten Netzausbaus.

# Auch der angepasste Umbau bleibt ambitioniert und setzt auf erneuerbare Energien

## Entwicklung des Erzeugungsmix GW



Erläuterung

- Die erneuerbare Kapazität muss zur Erreichung der Ziele bis 2045 mehr als verdoppelt werden
- Für die Erzeugungsstruktur 2045 mit reduzierter Nachfrage ergeben sich mehrere gleichwertige Möglichkeiten bzgl. der Kapazitäten von Offshore und Gas/H2-Kraftwerken. Die Systemkosteneinsparungen bleiben dabei konstant, jedoch verschieben sich die Investitions- und Betriebskostenanteile.

### Erkenntnis

Auch bei Umsetzung der Kosten reduzierenden Maßnahmen bleiben die **Grundzüge der Energiewende unverändert**: Starker Ausbau von Wind, PV und Batteriekapazitäten, Deckung von Dunkelflauten und Netzengpässen über H<sub>2</sub>-Kraftwerke

# Klimaziele können zu deutlich geringeren Kosten erreicht werden



Die Klimaziele 2045 sind mit deutlich geringeren Systemkosten im Stromsektor mit Einsparungen von 300 bis 700 Mrd. € erreichbar.



Die **Einsparungen** schlagen sich insbesondere **in den benötigten Investitionen** nieder, die um ein Viertel bis um die Hälfte gesenkt werden können.



Die größten absoluten Einsparungen von bis zu 700 Mrd. € werden erzielt, wenn das **System zusätzlich bedarfsgerecht dimensioniert** wird. Ein an die **Nachfrageentwicklung angepasstes** und wirtschaftlich optimiertes Stromsystem **stabilisiert die Endkundenpreise**.



Der **Ausbau der Erneuerbaren Energien, Gaskraftwerke und Netze** muss in **hohem Tempo weitergehen**, um Deutschlands Klimaziele zu erreichen. Eine Kostensenkung fördert die Akzeptanz in der Bevölkerung, beschleunigt die Elektrifizierung und entlastet die Volkswirtschaft.



Es ist wichtig, **jetzt die Weichen richtig zu stellen**.

# Die Weichen für einen kostengünstigeren Umbaupfad müssen jetzt gestellt werden - der Ausbau ist in vollem Gange

## Notwendige Maßnahmen



Das **Offshore-Ausbau-Ziel** sollte zunächst auf **max. 55 GW begrenzt** werden, um unwirtschaftlichen Übertragungsnetzausbau zu vermeiden. Bei reduzierter Nachfrage ist eine Begrenzung auf 45 GW sinnvoll.



Entsprechend der Kosteneffizienz müssen die **Ausbauziele für Photovoltaik (PV) um ca. 140-150 GW** und für **Elektrolyseure um ca. 40 GW abgesenkt** werden.



**Investitionen in thermische Erzeugung** in den Verbrauchszentren im Süden sollten über **KWSG und Kapazitätsmarkt** geeignet **angereizt** werden.



**Blauer Wasserstoff** aus diversifizierten Quellen sollten **pragmatisch als kohlenstoffarm anerkannt** und als Säule der Dekarbonisierung der disponiblen Erzeugung verankert werden.



Die Prognosen für die **erwartete Stromnachfrage 2045** müssen **deutlich nach unten korrigiert** werden. Szenario A aus dem NEP-Prozess 2025 sollte als Leitszenario für eine zügige Novelle des Bundesbedarfsplangesetzes (BBPIG) genutzt werden.

