

A large wind turbine is the central focus, with its white tower and nacelle visible. The blades are partially illuminated by the warm, golden light of a setting or rising sun. The background shows a rolling landscape of green fields and trees under a clear blue sky.

Systemkostenreduzierter Pfad zur Klimaneutralität im Stromsektor 2040

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

2. April 2025

AURORA
ENERGY RESEARCH

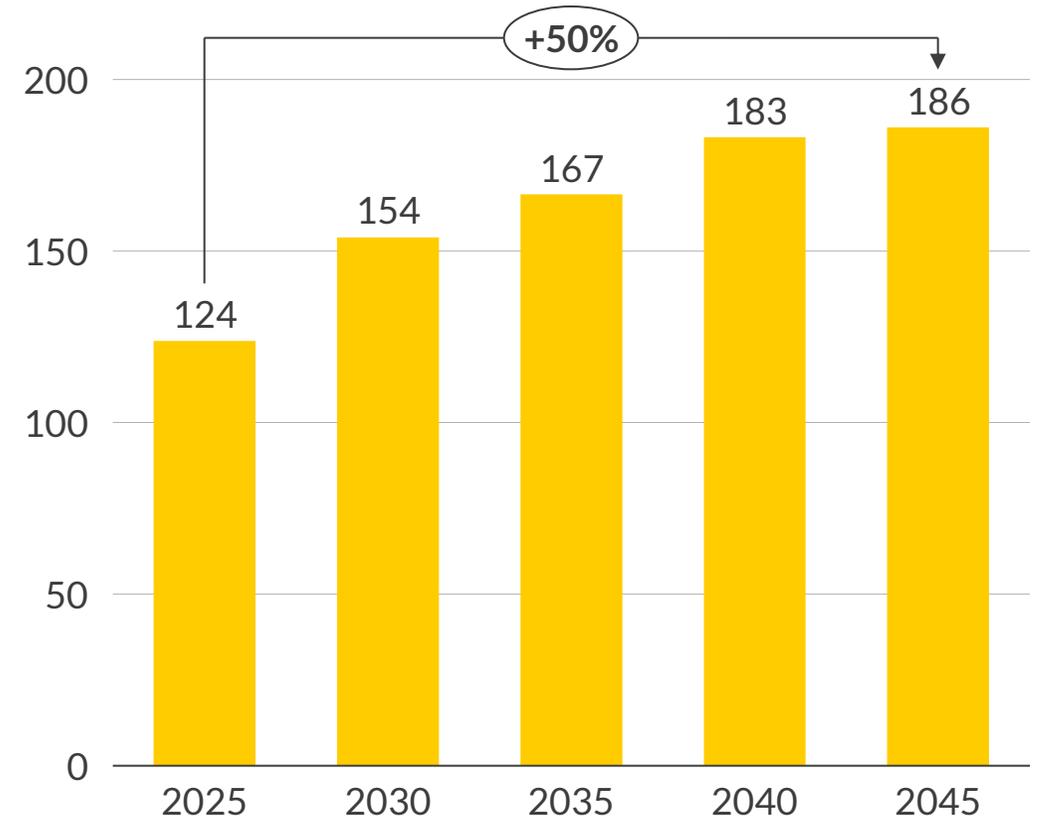
Eine ganzheitliche Kostenreduktion des Stromsektors entlastet die Volkswirtschaft



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-System¹
Mrd. €, real 2023



1) entspricht NEP 2023 B

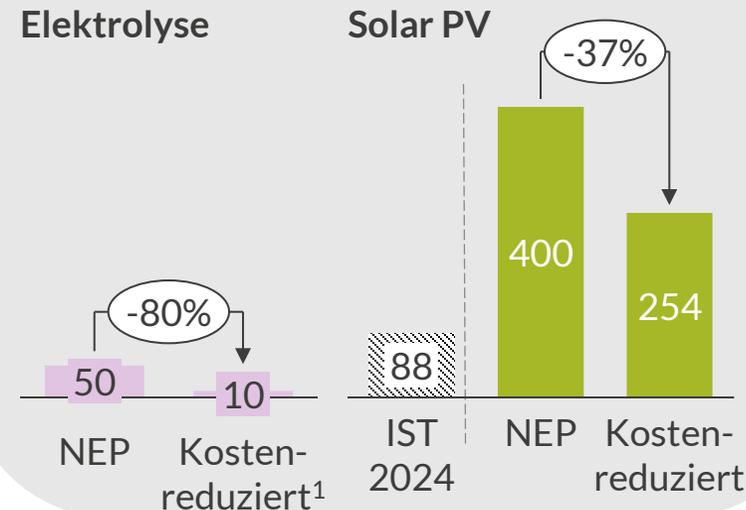
Maßnahme: Reduzierung Ausbauziel H₂-Elektrolyse & PV



Ergebnisse

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

Kapazität in 2045
GW



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 H₂ 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/H₂-Kraftwerke

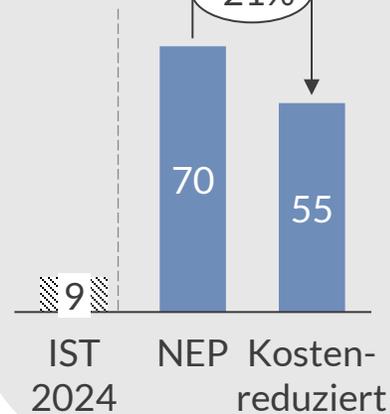


Ergebnisse

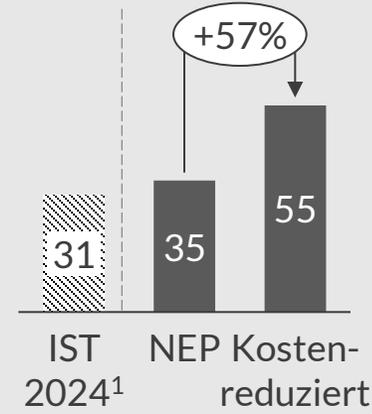
- Reduzierung des Offshore-Zielwerts um 21% und Erhöhung des Ausbauziels für Gas/H₂-Kraftwerke

Effekt:
-80 Mrd. €

Offshore-Wind-Kapazität in 2045
GW



Gas/H₂-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.²
- Der Ausbau von weiteren 20 GW Gas/H₂-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.

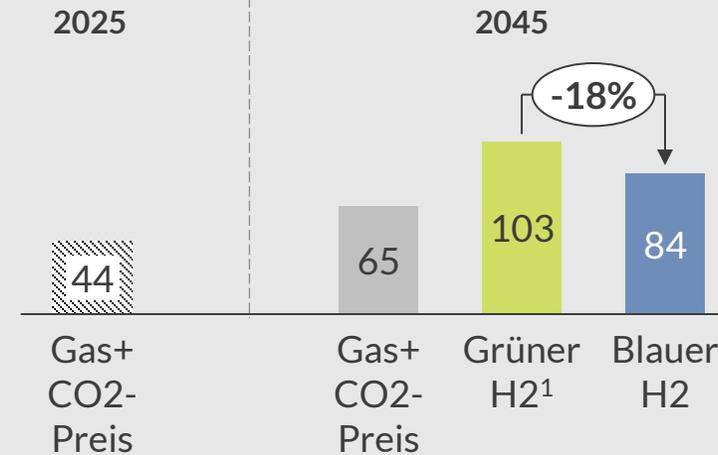
Maßnahme: Optimierte Ansiedelung Gas/H₂-Kraftwerke und blauer H₂



Ergebnisse

- Einsatz von blauem H₂ statt grünem H₂

Gas und Wasserstoff-Preise
€/MWh, real 2023



Erläuterung

- Einsatz blauer H₂ statt grünem H₂ spart Brennstoffkosten ein.
- Ansiedlung im netztechnischen Süden nutzt bestehende Netz- und Gasinfrastruktur und reduziert zusätzlich Netzengpässe.
- Optimiertes Verhältnis von GT und GuD² reduziert Systemkosten

Erkenntnis

- Ein technologisch und regional optimierter **Zubau von Gas/H₂-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

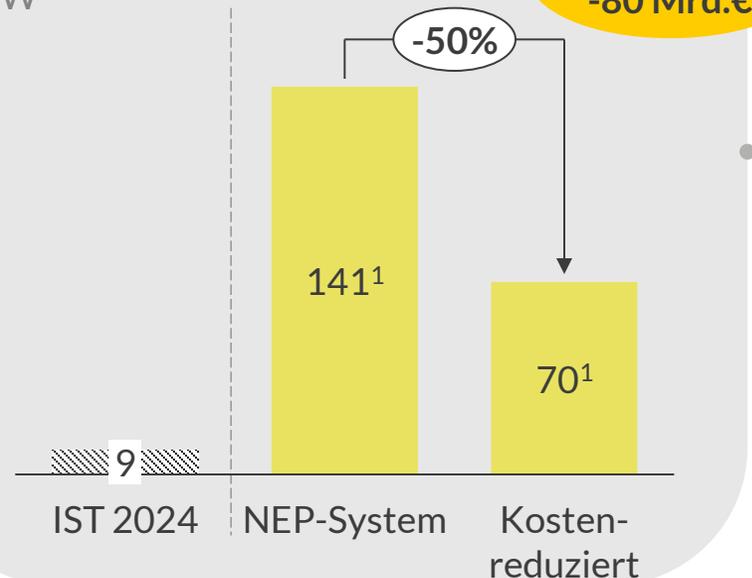
Maßnahme: Reduzierung Ausbauziel Batteriespeicher



Ergebnisse

- Reduzierung des Ausbau-Ziels für Batteriespeicher um 50%

Batteriespeicher in 2045¹
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/H₂-Kraftwerke erfüllen diese Aufgabe kosteneffizienter und flexibler.
- Der Ersatz von Batterien durch Gas/H₂-Kraftwerke führt zu niedrigeren Systemkosten, reduziert Knappheiten im System und die Importabhängigkeit besonders in hochpreisigen Perioden.



Erkenntnis

- Batteriespeicher und Gas/H₂-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.

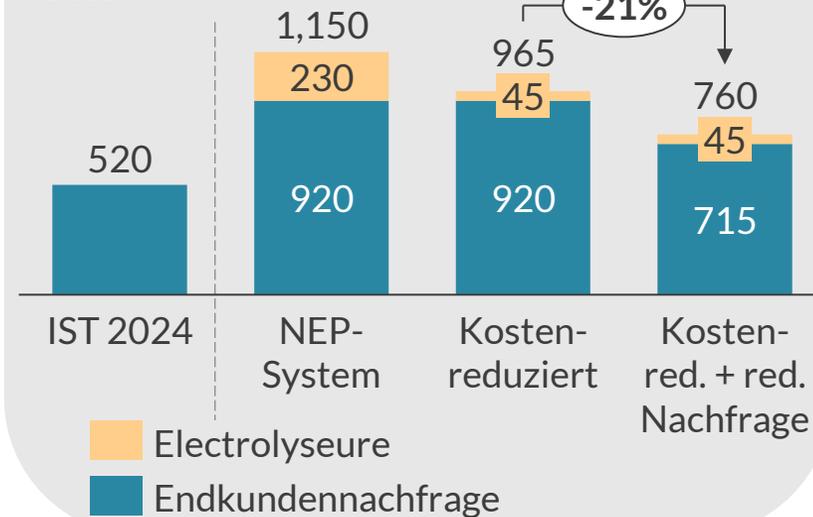
Paralleler Kostenhebel: Anpassung an Verbrauchsentwicklung



Ergebnisse

- Angepasste Dimensionierung des Energiesystems an niedrigere Nachfrageerwartung

Stromnachfrage in 2045¹
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. €.**

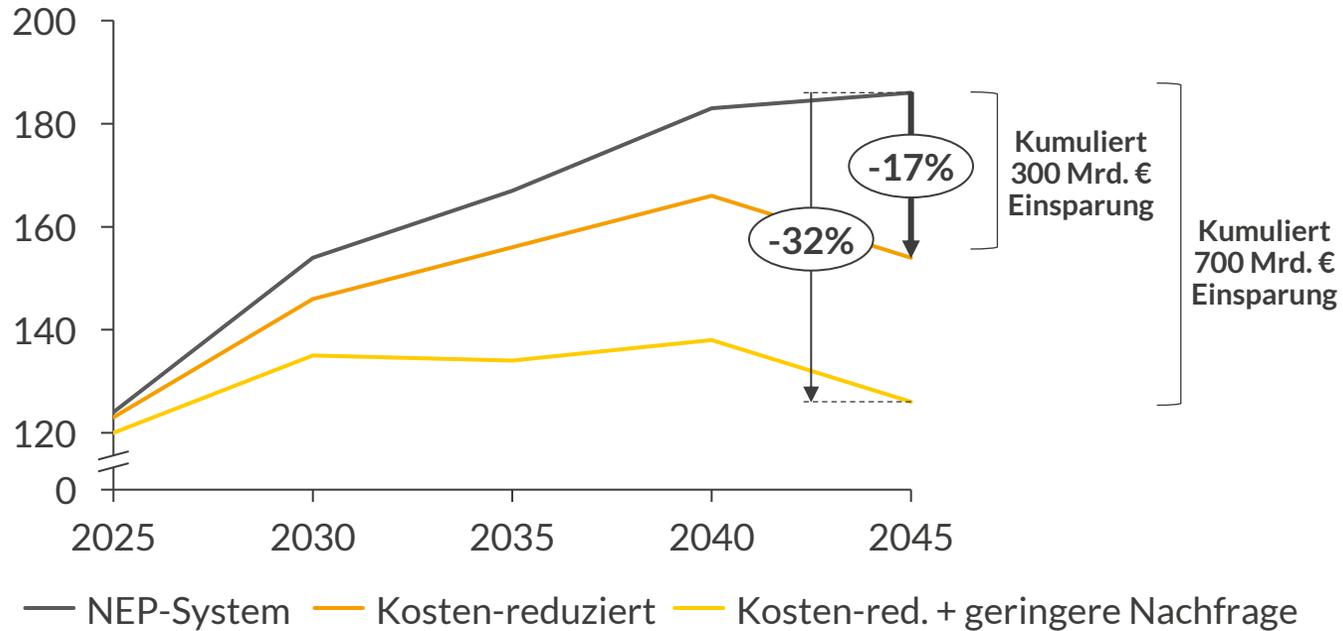
1) Inklusive Eigenverbrauch

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

Zentrale Studienergebnisse

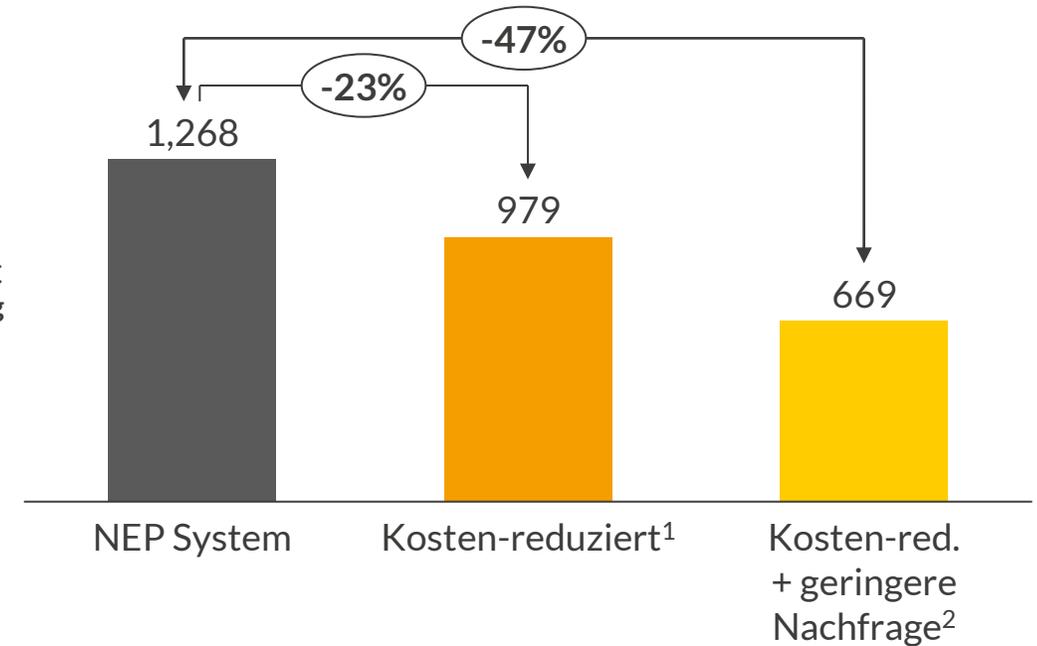
Annualisierte Systemkosten

Mrd. €, real 2023



Summe Investitionskosten 2025-2045

Mrd. €, real 2023



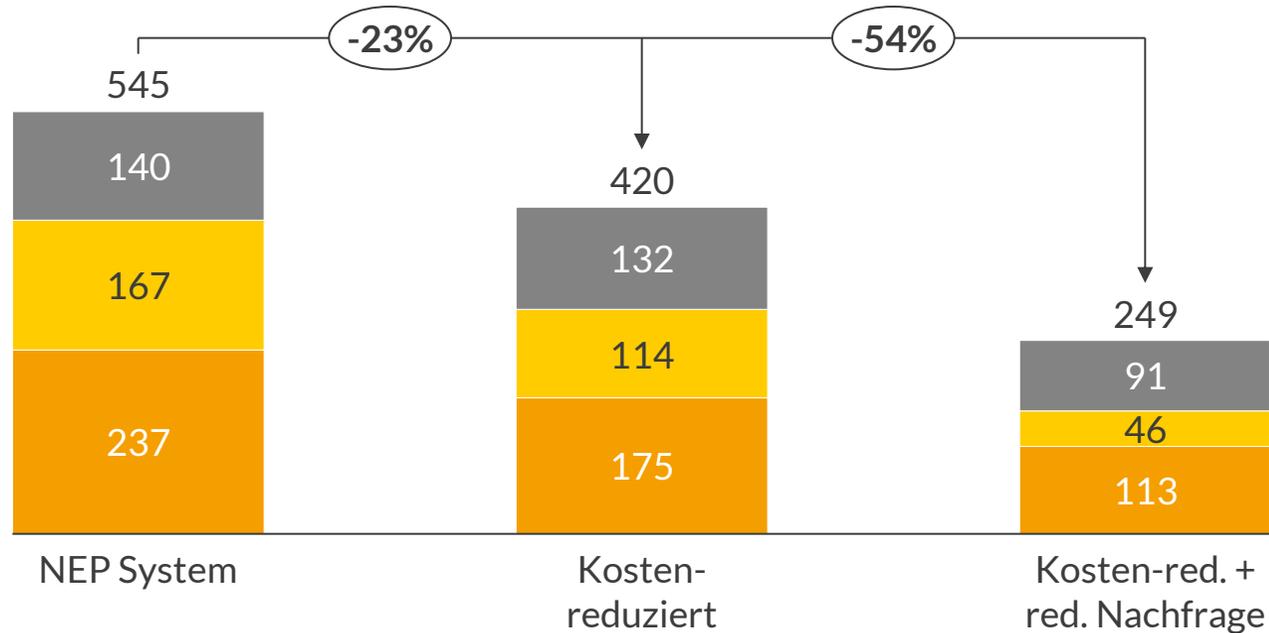
Erkenntnis

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. €**.

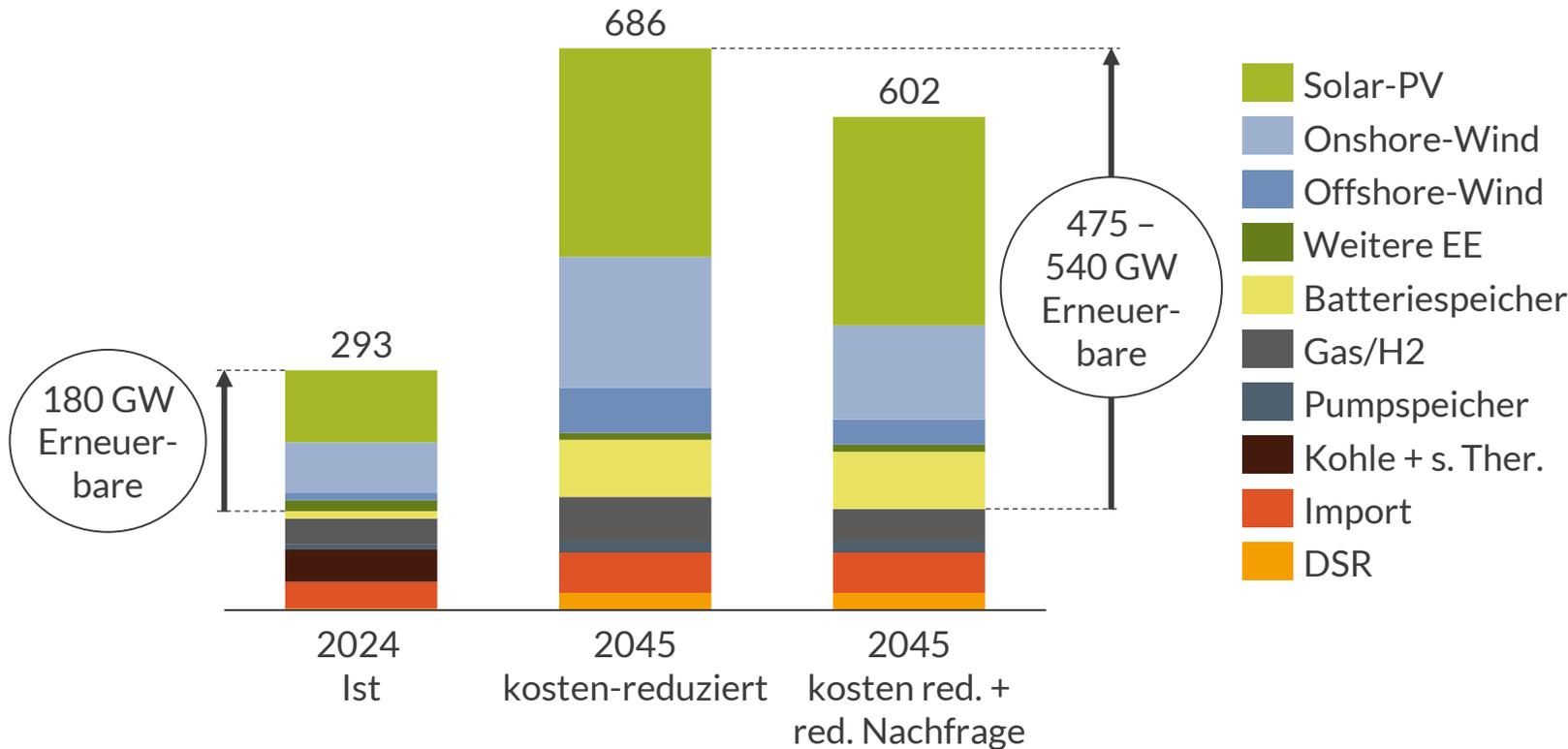


Erläuterung

- 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 H₂-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.

