



Stiftung
Klimaneutralität



Einordnung des Energiewende-Monitoring

Acht strategische Dimensionen zur Zukunft Deutschlands

IMPRESSUM

Stiftung Klimaneutralität

www.stiftung-klima.de

info@stiftung-klima.de

Friedrichstraße 155–156 | 10117 Berlin

Autoren & Projektleitung

Thomas Losse-Müller | thomas.losse-mueller@stiftung-klima.de

Rainer Baake | rainer.baake@stiftung-klima.de

Frederik Josten | frederik.josten@stiftung-klima.de

Frederik Digulla | frederik.digulla@stiftung-klima.de

Quantitative Analysen

Prognos AG, Goethestraße 85, 10623 Berlin | Elias Althoff und Inka Ziegenhagen

Danksagung

Wir bedanken uns bei allen weiteren Beteiligten, die ihre Expertise und Erfahrungen mit uns geteilt haben. Dieser fachliche Austausch lieferte wichtige Impulse für unsere Empfehlungen.

Layout & Satz

ASK Agentur Sales und Kommunikation GmbH, www.ask-berlin.de

Bitte zitieren als:

Stiftung Klimaneutralität (08/2025): Einordnung des Energiewende-Monitoring –
Acht strategische Dimensionen zur Zukunft Deutschlands

Inhalt

Einordnung des Energiewende-Monitoring: Acht strategische Dimensionen zur Zukunft Deutschlands	4
---	----------

Acht strategische Dimensionen zur Zukunft Deutschlands	6
---	----------

Strategische Dimension 1: Klimaneutralität 2045 als Grundlage für alle Planungen	7
--	----------

Strategische Dimension 2: Rasch steigender Strombedarf für Wärmepumpen und E-Mobilität trotz kurzfristiger Verzögerung	7
--	----------

Strategische Dimension 3: Befähigung industrieller und digitaler Wertschöpfung	8
--	----------

Strategische Dimension 4: Ambitionierter EE-Ausbau führt zu niedrigeren Strompreisen	11
--	-----------

Strategische Dimension 5: Schnellerer und kosteneffizienter Netzausbau	13
--	-----------

Strategische Dimension 6: Flexibilität als kosteneffizientester Systemoptimierungsansatz	15
--	-----------

Strategische Dimension 7: Technologieoffener Kapazitätsmarkt für kosteneffiziente Versorgungssicherheit	16
---	-----------

Strategische Dimension 8: Differenzierte Betrachtung der deutschen Wasserstoffproduktion unter Import- und Resilienz-Gesichtspunkten	16
--	-----------

Fazit und Handlungsempfehlungen	18
--	-----------



Einordnung des Energiewende-Monitoring

Acht strategische Dimensionen zur Zukunft Deutschlands

Heute wird ein Großteil aller Energiebedarfe für Wärme, Mobilität und industrielle Prozesse durch fossile Energien gedeckt. In Zukunft werden die allermeisten Fahrzeuge batterieelektrisch fahren. Gebäude werden überwiegend mit Wärmepumpen und durch Wärmenetze beheizt und die Industrie wird Öl, Gas und Kohle entweder direkt durch Strom ersetzen oder – wo dies nicht möglich ist – durch mit Strom erzeugtem Wasserstoff, Ammoniak oder Methanol. Deshalb wird der Strombedarf auf dem Pfad zur Erreichung der Klimaziele deutlich steigen.

Daher ist der Umbau des Energiesektors ein entscheidender Eckpfeiler auf dem Weg zur Erreichung der Klimaziele. Ausreichende Verfügbarkeit und flächendeckende Bereitstellung von Erneuerbaren Energien sind die Voraussetzungen für Klimaneutralität von Industrie, Verkehr und Gebäuden.

Prognosen zum Energiesystem bilden ein Zielbild der Zukunft von Wirtschaft und Leben in Deutschland ab. Sie basieren auf einer Kombination aus kurzfristigen Fortschreibungen aktueller Trends sowie langfristigen Annahmen über technologische Entwicklungen und die zukünftige Wirtschaftsstruktur Deutschlands. Beides wird durch wirtschafts-, handels- und sicherheitspolitischen Ziele beeinflusst.

Der Strombedarf hängt davon ab, ob Deutschland auch in Zukunft ein Industrieland sein wird und in welchem Maße verschiedene Güter zur Stärkung der Resilienz und strategischen Souveränität gezielt in Deutschland und Europa produziert werden. Der Strombedarf hängt auch davon ab, ob und in welchem Tempo allen Menschen bezahlbare klimaneutrale Mobilität und Wärme ermöglicht wird. Zudem reflektiert er die Ambition Deutschlands, als souveräne High-Tech-Nation digitale Anwendungen in eigenen Rechenzentren zu betreiben und daraus neue Geschäftsmodelle zu entwickeln.

Das Energiewende-Monitoring positioniert sich somit nicht nur zu Annahmen über die zukünftige Transformation des Energiesystems, sondern auch zu wesentlichen strategischen Zukunftsfragen der wirtschaftlichen, technologischen und sozialen Entwicklung Deutschlands.

Diese Einordnung beschreibt acht strategische Dimensionen, die für die Diskussion zur Zukunft und Entwicklung des deutschen Energiesystems zentral sind.



Zentrale strategische Dimensionen für das Monitoring:

1 DAS STROMSYSTEM MUSS KLIMA-NEUTRALITÄT BIS 2045 ERMÖGLICHEN.

2 DAS STROMSYSTEM MUSS AUF RASCHES WACHSTUM BEI WÄRMEPUMPEN UND E-MOBILITÄT VORBEREITET SEIN.

3 DIE PROGNOSE DES STROMBEDARFS MUSS SICH AUS DEM WIRTSCHAFTSPOLITISCHEN ZIELBILD DER BUNDESREGIERUNG ABLEITEN.

4 ERNEUERBARE ENERGIEN SIND DIE MIT ABSTAND GÜNSTIGSTE ENERGIEQUELLE GEWORDEN. AUSBAU ERNEUERBARER ENERGIEN FÜHRT ZUR SENKUNG VON STROMPREISEN.

5 SYSTEMKOSTEN KÖNNEN DURCH EFFIZIENTEREN NETZAUSBAU UND DIGITALISIERUNG GESENKT WERDEN – OHNE DIE AUSBAUZIELE FÜR ERNEUERBARE ENERGIE ZU REDUZIEREN.

6 FLEXIBILITÄT IST DER GÜNSTIGSTE WEG ZU NIEDRIGEREN SYSTEMKOSTEN UND STABILER VERSORGUNG.

7 EIN TECHNOLOGIEOFFENER KAPAZITÄTSMARKT MIT UNTERSCHIEDLICHEN FLEXIBILITÄTSOPTIONEN MINIMIERT DIE KOSTEN FÜR VERSORGUNGSSICHERHEIT.

8 DIE WASSERSTOFFPRODUKTION IN DEUTSCHLAND WIRD ANGESICHTS HOHER KOSTEN UND GÜNSTIGEN IMPORT-OPTIONEN GERINGER AUSFALLEN ALS BISHER PROGNOTIZIERT. AUS GRÜNDEN DER RESILIENZ UND ZUR ENERGIE-SPEICHERUNG WIRD SIE DENNOCH EINE WICHTIGE ROLLE SPIELEN.

Acht strategische Dimensionen zur Zukunft Deutschlands

Strategische Dimension 1: Klimaneutralität 2045 als Grundlage für alle Planungen

DAS STROMSYSTEM MUSS KLIMA- NEUTRALITÄT BIS 2045 ERMÖGLICHEN.

Die Bundesregierung muss sicherstellen, dass ihre Planung Klimaneutralität bis 2045 ermöglicht. Die Klimaziele sind auf nationaler und europäischer Ebene gesetzlich verankert. Die Bundesrepublik Deutschland ist im Rahmen der europäischen Lastenteilung und völkerrechtlich verbindlichen internationalen Abkommen zu Reduktionen der Emission von Treibhausgasen verpflichtet. Das Bundesverfassungsgericht hat 2021 bekräftigt, dass ein belastbarer nationaler Reduktionspfad umgesetzt werden muss und die Anpassungslasten nicht einfach in die Zukunft verschoben werden können.

Damit die Klimaziele erreicht werden, muss der Stromsektor zum einen selbst klimaneutral werden. Zum anderen muss die Erzeugung von Strom deutlich steigen, um Kohle, Erdgas und Erdöl bei der Produktion von Wärme, dem Betrieb von Fahrzeugen und in der industriellen Produktion zu ersetzen.

Erneuerbare Energien sind die günstigste Technologie für klimaneutrale Stromproduktion. Carbon Capture and Storage (CCS) zur Vermeidung von Emissionen bei der Verbrennung von Kohle, Öl und Gas stößt an enge technische und wirtschaftliche Grenzen. Planungen zum Einsatz von CCS müssen deshalb unvermeidliche Restemissionen, die Kosten von Abscheidung, Transport und Speicherung sowie begrenzte Kapazitäten zur Speicherung berücksichtigen. Zum jetzigen Zeitpunkt und auch absehbar ist CCS nicht geeignet, um eine bezahlbare Alternative zur Emissionsminderung durch Energie- und Ressourceneffizienz, Elektrifizierung oder Wasserstoff darzustellen.

Die im Koalitionsvertrag und im Vorschlag zur Novelle des EU-Klimaschutzgesetz vorgesehene Anrechnung internationaler Zertifikate auf europäischer Ebene stellt auch keine grundlegende Alternative zur Emissionsminderung durch Energie- und Ressourceneffizienz, Elektrifizierung oder Wasserstoff dar. Schließlich muss der Ausstoß von Emissionen global reduziert werden.

Strategische Dimension 2: Rasch steigender Strombedarf für Wärmepumpen und E-Mobilität trotz kurzfristiger Verzögerung

DAS STROMSYSTEM MUSS AUF RASCHES WACHSTUM BEI WÄRMEPUMPEN UND E-MOBILITÄT VORBEREITET SEIN.

Alle derzeit diskutierten Szenarien, die auf Klimaneutralität 2045 zielen, gehen davon aus, dass die Elektrifizierung von Wärme und Verkehr definitiv kommt, auch wenn die am-

bitionierten Ziele 2030 nicht vollständig erreicht werden. Trotz der Verzögerungen wird Öl und Gas im Zeitverlauf vollständig durch den Einsatz von Strom ersetzt werden.

Im Bereich Wärme hebt Strom vor allem Umgebungs- wärme. Die Strombedarfe im Gebäudebereich sind höher, je geringer die Energieeffizienz von Gebäuden ausfällt.

Die von der Bundesregierung verfolgte strategische Neuausrichtung mit einer Fokussierung auf CO₂-Reduktion statt Energieeffizienz muss entsprechend in den Planungen berücksichtigt werden.

Die Erfahrung aus anderen Ländern zeigt, dass der Markthochlauf – wenn er einmal Fahrt aufnimmt – exponentiell verläuft. In China ist das bei der E-Mobilität klar erkennbar. Dort ist der Anteil reiner E-Autos am Absatz von rund 5 Prozent im Jahr 2020 auf fast 50 Prozent in 2024 gestiegen.

Die für diese Legislaturperiode angekündigten und bereits umgesetzten Förderungen für E-Autos und Wärmepumpen werden das Tempo auch in Deutschland erhöhen. Bereits die starken Wachstumszahlen 2025 deuten auf

eine sich beschleunigende Entwicklung hin. Von Januar bis Juli 2025 wurden rund 317.000 reine E-Autos zugelassen – ein Plus von 37 Prozent gegenüber dem Vorjahreszeitraum¹. Der Absatz von Wärmepumpen liegt sogar um 55 Prozent höher als im Vorjahr².

Der Strommarkt und die Infrastruktur müssen auf eine rasche Skalierung der Stromnachfrage in diesen Sektoren ausgerichtet werden.

¹ Kraftfahrt-Bundesamt (2025) | https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz28/fz28_gentab.html?nn=864666

² Bundesverband Wärmepumpe (2025): Pressemitteilung Absatzzahlen | <https://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/details/waermepumpe-belegt-erst-mals-top-position-unter-den-verkauften-heizsystemen-verband-fordert-klarheit-ueber-zukuenftige-rahmenbedingungen/>

Strategische Dimension 3: Befähigung industrieller und digitaler Wertschöpfung

DAS STROMSYSTEM MUSS INDUSTRIELLE UND DIGITALE WERTSCHÖPFUNG ERMÖGLICHEN. DIE PROGNOSE DES STROMBEDARFS MUSS SICH AUS DEM WIRTSCHAFTSPOLITISCHEN ZIELBILD DER BUNDESREGIERUNG ABLEITEN.

Der Strombedarf der Zukunft leitet sich aus der zukünftigen Struktur der deutschen Wirtschaft ab. Bei seiner Prognose müssen deshalb die zugrundeliegenden Annahmen zur kurz-, mittel und langfristigen Entwicklung der deutschen Wirtschaft transparent gemacht werden: Wieviel industrielle Produktion findet in Deutschland statt? Gelingt die Transformation im Land oder wandert Industrie ab? Wie verändert sich die Weltwirtschaft durch die dynamische Entwicklung von KI und die handelspolitischen Konflikte? Wie schnell greifen die Anreize für neue Investitionen in Deutschland? Unterschiedliche Annahmen führen zu unterschiedlichen Szenarien.

Mittelfristig hat der Rückgang industrieller Produktion durch die Auswirkungen der Corona-Pandemie und des Kriegs in der Ukraine den Strombedarf der deutschen In-

dustrie gesenkt. Zudem wirken sich die Unsicherheiten in Folge der US-Handelspolitik negativ aus. Gleichzeitig hat die Bundesregierung das Ziel, durch steuerliche Investitionsanreize und öffentliche Investitionen die Industrieproduktion wieder zu steigern.

Die Höhe des industriellen Strombedarfs hängt langfristig vor allem von der Frage ab, wieviel und welche energieintensive Produktion in Deutschland stattfindet. Die Prognose für den Strombedarf ist dann besonders hoch, wenn davon ausgegangen wird, dass die gesamte heutige energieintensive Produktion in den Bereichen Stahl, Chemie und Zement weiterhin in Deutschland stattfindet.

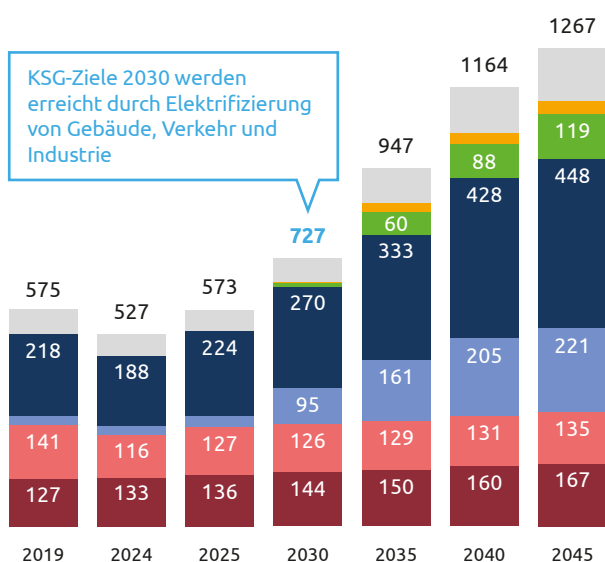
Durch die Elektrifizierung der Produktionsprozesse und die Produktion grüner Moleküle mit Strom steigt der Bedarf drastisch. Dieser Anstieg wird geringer, wenn angenommen wird, dass grüne Vorprodukte wie grünes Ammoniak oder grünes direktreduziertes Eisen in Zukunft überwiegend importiert werden.

Prognos hat für die Stiftung Klimaneutralität eine Sensitivität auf Basis des KND-Szenarios (2024) gerechnet.

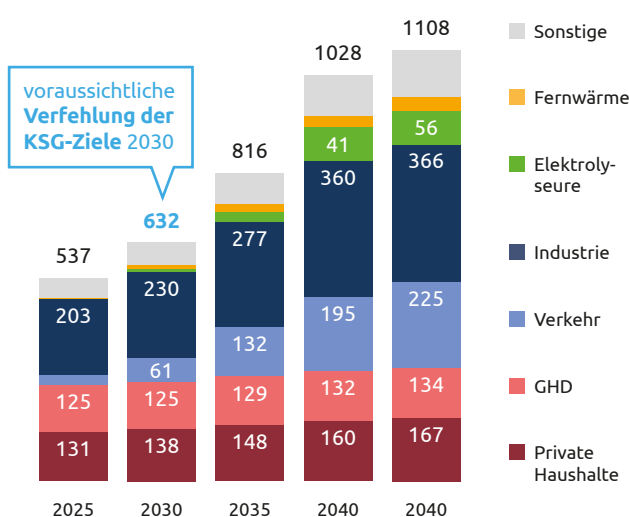
Diese Sensitivität beruht auf der Annahme, dass es bis 2030 zu einer wirtschaftlichen Erholung der Industrie kommt und bildet den verzögerten Hochlauf von E-Mobilität und Wärmepumpen gegenüber dem KND-Szenario ab. Für die Industrie wird angenommen, dass künftig vermehrt energieintensive Vorprodukte – wie Methanol, Ammoniak oder direktreduziertes Eisen – und andere Grundstoffprodukte aus dem Ausland bezogen

werden, aber trotzdem ein Teil der Grundstoffproduktion in Deutschland verbleibt. Die Produktion von einheimischem Wasserstoff wurde für das Szenario halbiert. Im Vergleich zum KND-Szenario sinkt der Strombedarf bis 2030 deutlich, bis 2045 kommt es dennoch zu einem signifikanten Anstieg. Der Strombedarf in der Industrie sinkt im Jahr 2045 um 80 TWh im Vergleich zum KND-Szenario.

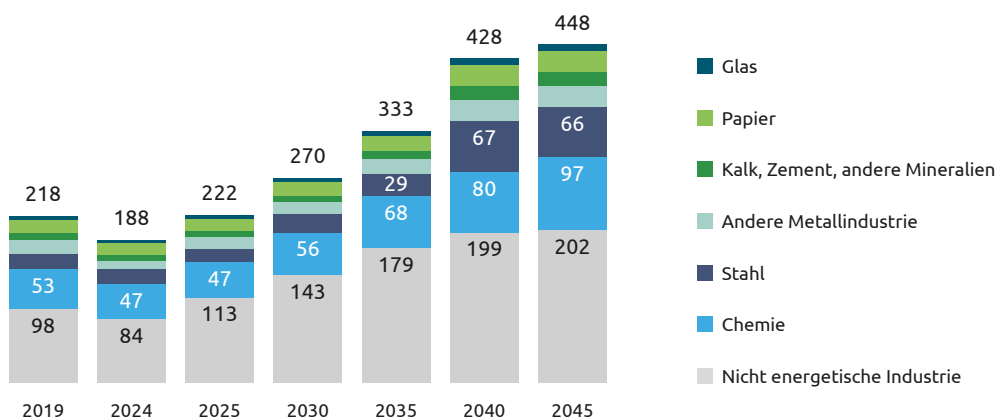
Bruttostromnachfrage Szenario „Klimaneutrales Deutschland“ (in TWh)



Bruttostromnachfrage Sensitivität „niedrige Stromnachfrage“ (in TWh)



Industriestromnachfrage entsprechend KND-Szenario (in TWh)



Quelle: Prognos, Wuppertal Institut et al: Klimaneutrales Deutschland 2045 und eigene Berechnungen

Nicht enthalten sind in diesem Szenario andere denkbare Zukünfte:

Resilienz und strategische Souveränität: Der Strombedarf steigt, wenn bestimmte Produktionsprozesse aus Gründen der Resilienz in Deutschland gehalten werden oder neue Produktionsprozesse (z.B. die stromintensive Halbleiter- oder Batterieproduktion) aus Gründen der Resilienz und strategischer Souveränität nach Europa und Deutschland zurückverlagert oder neu etabliert werden.

Künstliche Intelligenz und Digitalisierung: Ein bisher nicht beachteter wesentlicher mittel- und langfristiger Treiber für den globalen Strombedarf ist der Betrieb von Rechenzentren. Das bereits hohe Ausbautempo der vergangenen Jahre beschleunigt sich gerade durch die Bedarfe künstlicher Intelligenz. Wenn Deutschland eine digital souveräne High-Tech-Nation³ sein will, werden die Strombedarfe für Rechenzentren massiv steigen.

Wenn Deutschland seinen gegenwärtigen Anteil von rund 4 Prozent an der rasant wachsenden globalen Kapazität stabil halten würde, bedeutet das einen Zuwachs von 6 GW Rechenkapazität gegenüber dem Status Quo. Das entspricht einem zusätzlichen Strombedarf von 23

TWh. Unter der Annahme, dass Deutschland und die EU das Ziel verfolgen würden, ihren Anteil an der globalen Kapazität bis 2030 auf ein Viertel der globalen Rechenkapazitäten auszubauen, um technologische Souveränität zu erreichen, dann würde Deutschland einen zusätzlichen Strombedarf von bis zu 51 TWh decken müssen.

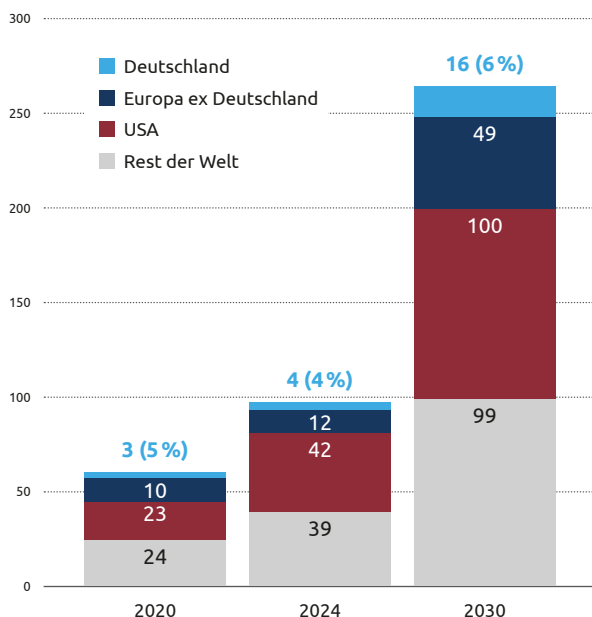
Die Strombedarfsprognose muss sich daran orientieren, ausreichende Kapazitäten für die Entwicklung industrieller und digitaler Wertschöpfung in Deutschland bereitzustellen. Dazu müssen ihr Szenarien zugrunde gelegt werden, die plausible Entwicklungen abbilden. Es ist weder sinnvoll von einer vollständigen De-Industrialisierung auszugehen, noch vom Erhalt der heutigen wirtschaftlichen Struktur in ihrer jetzigen Form.

Die Strombedarfsprognose sollte aber in jedem Fall von einer erfolgreichen wirtschaftlichen Entwicklung ausgehen, damit sie keine selbst-erfüllende Prophezeiung wird. Ein Mangel an ausreichendem Stromangebot würde mit Sicherheit zu weniger Strombedarf führen.

³ BMFTR (2025): Hightech Agenda Deutschland | <https://www.bmftr.bund.de/DE/Forschung/HightechAgenda/HightechAgenda.html>

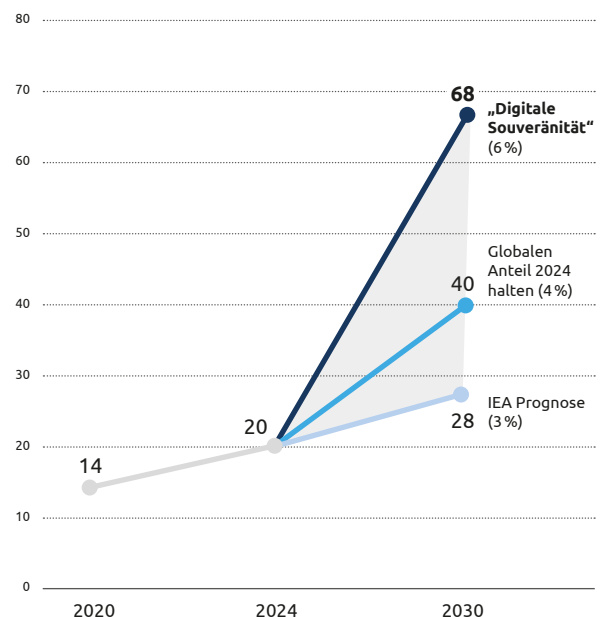
Entwicklung Rechenzentren in Deutschland

Rechenzentren-Kapazitäten im globalen Vergleich Szenario „Digitale Souveränität“ (in GW)



Quelle: Stiftung Klimaneutralität (2025) auf Basis von IEA-Zahlen

Strombedarf Rechenzentren in Deutschland (in TWh)



Strategische Dimension 4: Ambitionierter EE-Ausbau führt zu niedrigeren Strompreisen

ERNEUERBARER ENERGIEN SIND DIE GÜNSTIGSTE ENERGIEQUELLE GEWORDEN. STROMPREISE SINKEN MIT DEM AUSBAU ERNEUERBARER ENERGIEN.

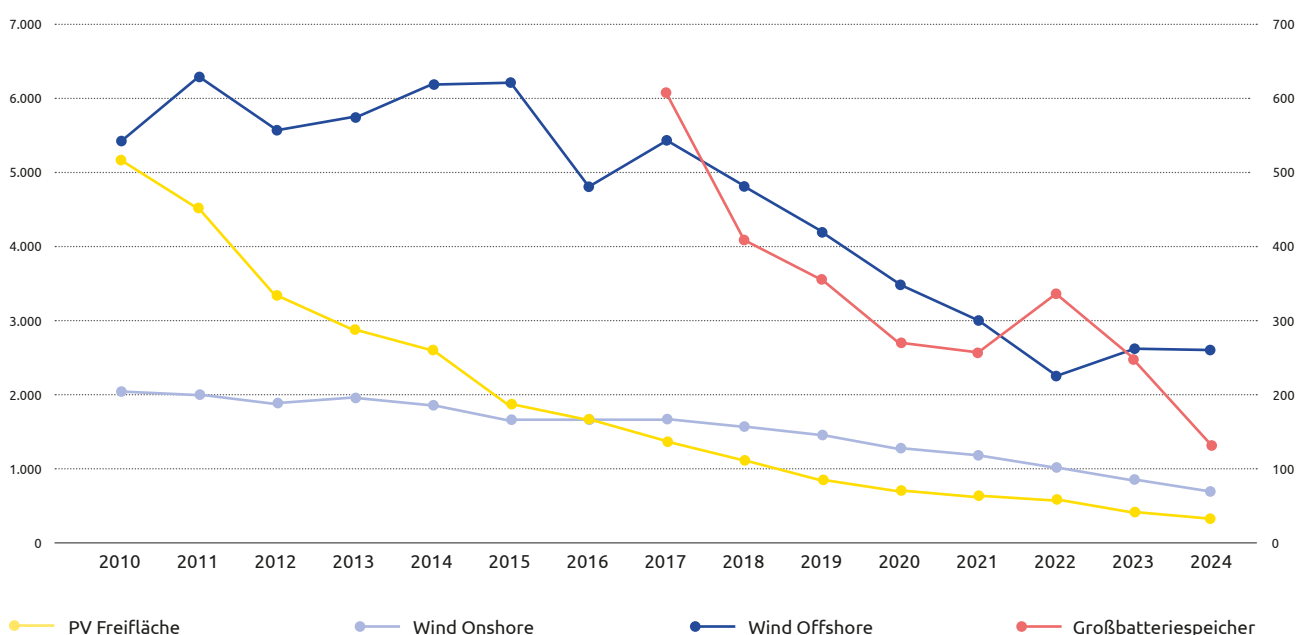
Ausgangspunkt der aktuellen Debatte über Strombedarf ist eine Kontroverse um die Kosten der Erneuerbaren Energien. Diese Debatte basiert teilweise auf veraltete Kostendaten von Wind und PV und vermischt Erzeugungs- und Systemkosten. Erneuerbare Energien sind heute die mit Abstand günstigste Technologie für die Stromerzeugung. Ihre Erzeugungskosten sinken sogar weiter.

Der Ausbau von Erneuerbaren Energien führt zu niedrigeren Großhandelspreisen für Strom, da teurere fossile Kraftwerke in der Preisbildung über Merit-Order ver-

drängt werden. Jeder Euro aus dem Bundeshaushalt zur Förderung der Erneuerbaren reduziert die deutschen Stromkosten um das 1,6- bis 1,9-fache⁴. Das ist wichtig, weil möglichst niedrige Stromkosten von entscheidender Bedeutung für den Erhalt der deutschen Industrie sind.

Durch Anpassungen im Förderrahmen lassen sich zusätzlich Kosten sparen, ohne die Ausbauziele zu kürzen: Eine stärkere Konzentration der Photovoltaik (PV) auf Freiflächen und Dächer von Neubauten kann bis zu 45 Milliarden Euro einsparen. Das entspricht rund 25 Prozent der Gesamtkosten für den PV-Hochlauf bis 2040⁵. Eine parallele Ausweitung der Flächen für Wind und PV sorgt zusätzlich für mehr Wettbewerb in den Ausschreibungen. Zusätzlich kann eine Deckelung von Pachtzahlungen für Windkraftanlagen hohe Summen einsparen.

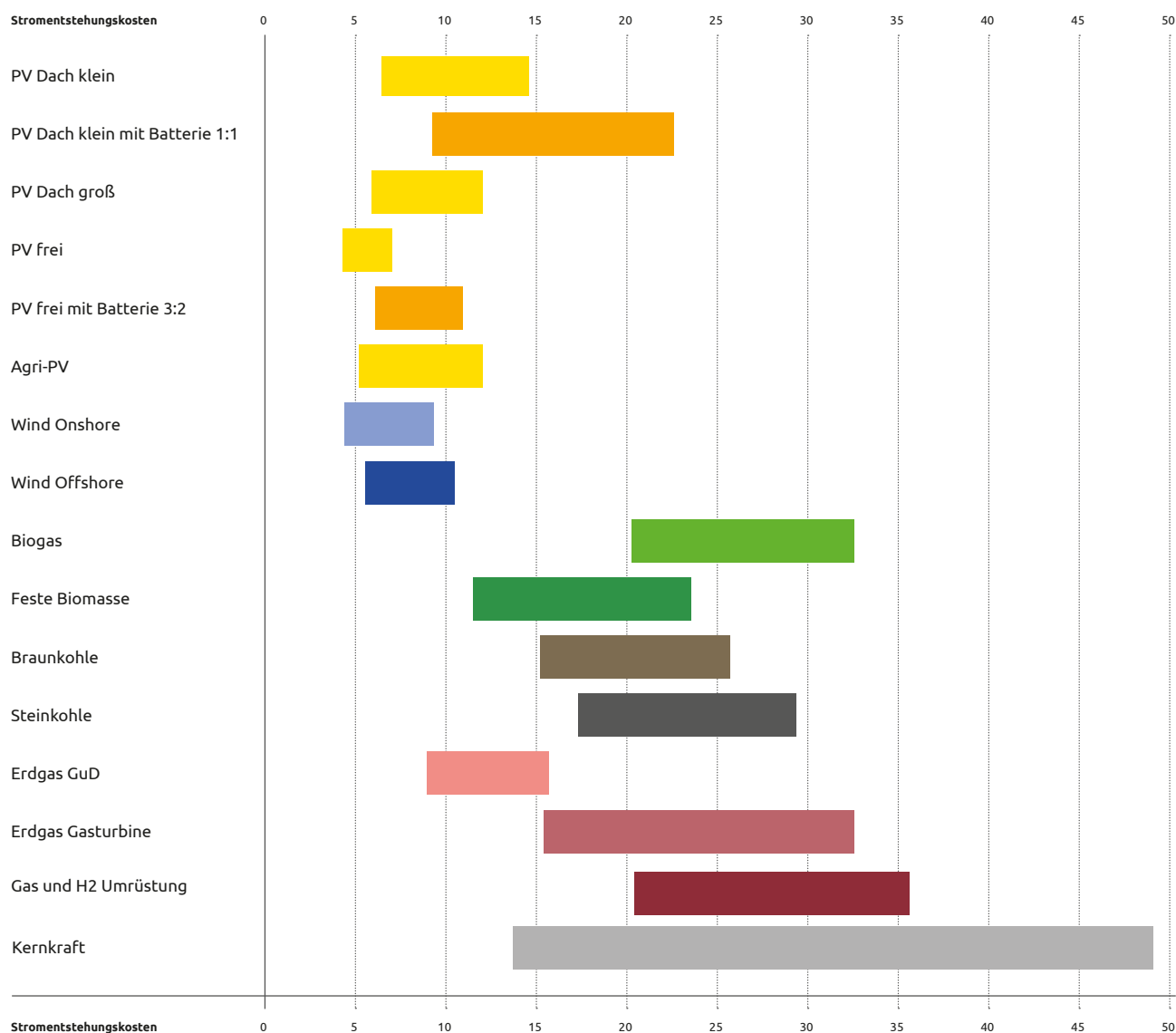
Kosten für Erneuerbare Energien & Großbatteriespeicher (in USD/kW; USD/kWh für Speicher)



Quellen: Eigene Darstellung Stiftung Klimaneutralität auf Basis von IRENA (2025), BloombergNEF (2025)

Gestehungskosten zentraler Erzeugungstechnologien (€/kWh)

Stand: Juli 2024



Quelle: Fraunhofer ISE (2024)

Gas birgt hohe geopolitische und wirtschaftliche Risiken. Sie können durch einen ambitionierten Ausbau von Erneuerbaren reduziert werden. Die Gaspreise vor 2022 beruhten auf günstigen Pipeline-Lieferungen aus Russland. LNG ist strukturell teurer und wird es bleiben. Deutsche Gaspreise werden durch internationale Märkte bestimmt. Daraus ergeben sich signifikante Risiken von Preisschocks. Ein solcher Schock in Kombination mit einem hohen CO₂-Preis könnte zu zusätzlichen Kosten von 30 Milliarden Euro pro Jahr im Stromsystem führen wie Prognos in einer Kurz-Analyse für die Stiftung Klimaneutralität berechnete. Dieses Risiko besteht bei Solar und Windenergie nicht.

Zudem bleibt durch jede Kilowattstunde Gas, die wir mit heimischer Energie ersetzen, mehr Geld in Deutschland. Der fortgesetzte ambitionierte Ausbau erneuerbarer Energien stärkt also die inländische Wertschöpfung und erhöht unsere strategische Souveränität.

⁴ Agora Energiewende (2025): Effekte des Erneuerbaren-Zubaus auf die Strompreise | <https://www.agora-energiewende.de/publikationen/erneuerbare-energien-senken-strompreise-unabhaengig-von-der-nachfrage>

⁵ Stiftung Klimaneutralität (2025): 10 Punkte Plan zur Weiterentwicklung der PV-Politik | <https://www.stiftung-klima.de/de/politikempfehlungen/10-punkte-plan-zur-weiterentwicklung-der-pv-politik/>

Strategische Dimension 5: Schnellerer und kosteneffizienter Netzausbau

SYSTEMKOSTEN KÖNNEN DURCH EFFIZIENTEREN NETZAUSBAU UND DIGITALISIERUNG GESENKT WERDEN – OHNE DIE AUSBAUZIELE FÜR ERNEUERBARE ENERGIE ZU REDUZIEREN.

Die massive Elektrifizierung und der Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erfordern große Investitionen auf allen Ebenen des Stromnetzes. Beim Netzausbau gibt es zahlreiche Handlungsmöglichkeiten, um Kosten zu senken und den Ausbau zu beschleunigen. Nicht die Ausbauziele der Erneuerbaren müssen gesenkt werden, sondern die dafür erforderlichen Investitionskosten des Netzes.

Rückstand beim Netzausbau aufholen: Der Netzausbau hinkt dem bereits erreichten und schon im Bau befindlichen Zuwachs an Erneuerbaren Energien hinterher. Die bestehenden Netzengpässe im Übertragungsnetz zwischen Norden und Süden Deutschlands müssen schnell beseitigt werden. Eine Verzögerung des Netzausbaus wäre teuer. Im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität hat Prognos auf Basis des KND-Szenarios (2024) berechnet, dass dadurch Redispatch-Kosten von bis zu 2 Milliarden Euro pro Jahr entstehen würden.

Zudem ist die Aufrechterhaltung einer einheitlichen deutschen Strompreiszone nur durch einen schnellen Netzausbau zu gewährleisten. Wenn der Netzausbau nicht vorankommt oder bewusst verzögert wird, könnte eine potenzielle Aufteilung der einheitlichen deutschen Strompreiszone einen zusätzlichen Kostendruck bei den Strompreisen in den industriellen Zentren auslösen.

Freileitungen statt Erdkabel: Durch die verstärkte Nutzung von Freileitungen statt Erdkabeln für die aktuell geplanten Übertragungsleitungen, bei denen Umplanungen noch ohne Zeitverzögerungen möglich sind, können erhebliche Kosten eingespart werden. Im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität hat Prognos auf Basis des KND-Szenarios (2024) berechnet, dass Einsparungen von in Summe 18 Milliarden Euro möglich sind. Das

erhöht die ökonomischen Vorteile eines ambitionierten Ausbaus der Übertragungsnetze zwischen Norden und Süden zusätzlich.

Überbauung von Netzanschlusspunkten und Netzkapazitäten: Die Überbauung von Netzen und Netzanschlüssen ermöglicht ein in der Summe größeres Angebot an günstigem erneuerbarem Strom bei gleichzeitig geringeren Netzausbaukosten. Die Gesteungskosten von Erneuerbaren Energien werden immer günstiger. Trotzdem werden sie weiterhin wie ein knappes und kostbares Gut beplant. Netze werden so ausgelegt, dass sie zu jeder Zeit fast 100 % des erzeugten Strom abtransportieren können. Gerade bei Wind und Solar gibt es Lastspitzen, die häufig mit niedrigen Marktwerten für Strom zusammenfallen, weil er ohnehin im Überfluss vorhanden ist.

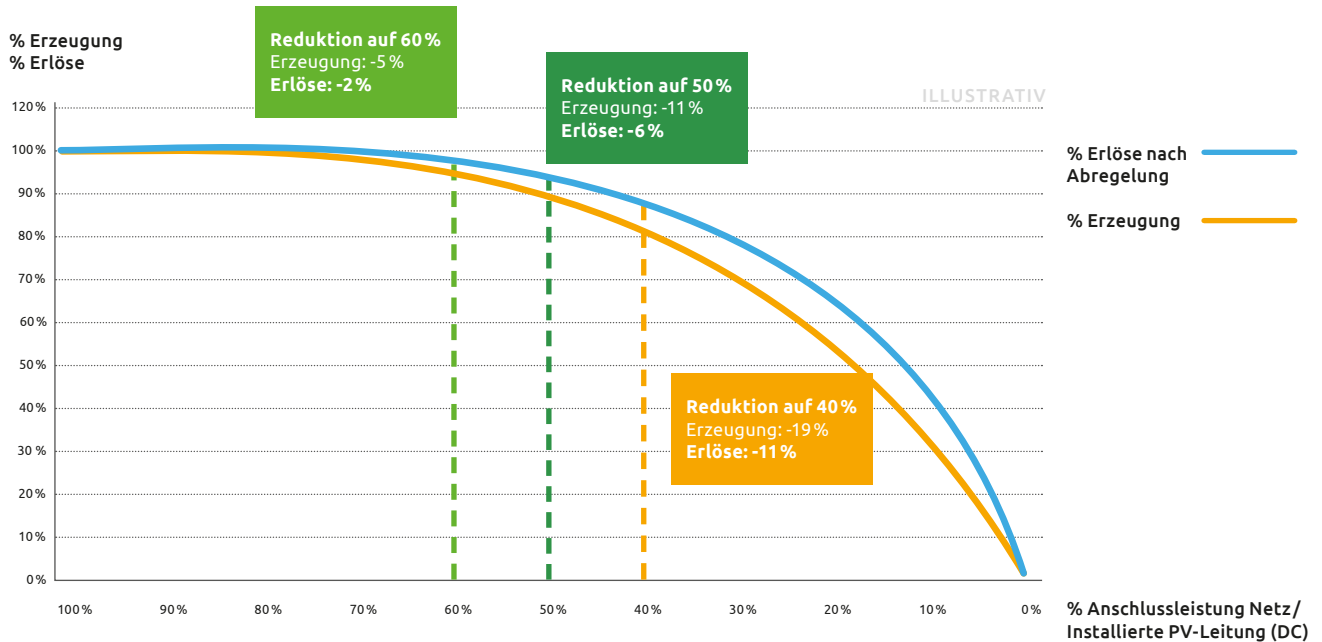
Wenn man die Netzanschlusskapazität gezielt anpasst, können Netzkosten gespart werden und der Verlust an Strom, der zudem in Spitzenproduktionszeiten nur einen geringen Wert hat, ist im Vergleich relativ gering. Im Folgenden am Beispiel einer PV-Freiflächenanlage gezeigt.

Durch intelligente Überbauung der Netzanschlüsse von **Onshore-Windkraft- und PV-Anlagen sowie Batteriespeichern** lassen sich jährlich bis zu 2 Milliarden Euro an Netzkosten einsparen.⁶

Im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität hat Prognos auf Basis des KND-Szenarios (2024) berechnet, dass mit einer optimierten Anschlussleistung für die **Offshore-Windkraftanlagen** bis 2045 nach Abzug der Kosten für nicht abtransportierten Strom 43 Milliarden Euro eingespart werden können. Bisher werden die sehr teuren Netzanschlüsse auf den Transport von Spitzenlasten ausgelegt, die aber nur selten erreicht werden.

Beschleunigung der Netzanschlüsse: Die Strukturen und Prozesse in den Stromnetzen sind nicht mehr zeitgemäß. Netzanschlüsse stellen aktuell den zentralen Engpass dar. Für viele Großbatteriespeicher- und Erneuerbaren-Projekte ist der Anschluss ans Netz mit langen Wartezeiten

Auswirkungen Überbauung Netzanschlüsse auf PV-Freiflächenanlagen



Gesamtkosteneinsparungen durch Overplanting und Freileitungen bis 2045

		70 GW Park / 70 GW ONAS* (Keine Überbauung), 2 GW-Systeme	70 GW Park / 70 GW ONAS (Keine Überbauung), 2,2 GW-Systeme	70 GW Park / 58 GW ONAS (50 % Überbauung***), 2,2 GW-Systeme
Einsparung (Investitionen) durch Overplanting und geringere Anzahl ONAS	Mrd. EUR	–	5,5	39
Einsparung (Investitionen) durch Freileitungen	Mrd. EUR	–	18	12
Verlust durch Abregelungen	Mrd. EUR	–	–	-8*
Gesamteinsparungen (Investitionen) im Vergleich zum NEP	Mrd. EUR	–	24	43

* jährliche Kosten wurden berechnet anhand der annuierten Investitionen (Abschreibungszeitraum 30 Jahre, WACC 4,5 % real,

** 0,4 Mrd./Jahr

*** Die Überbauung von 50 % wurde als Annahme gesetzt – um eine erste Größenordnung für die Einsparungseffekte zu geben. Für die Bestimmung, welcher Überbauungsgrad aus volkswirtschaftlicher Sicht sinnvoll, müssen detaillierte parkspezifische Modellierungen inkl. Strommarktmodellierung durchgeführt werden. Dieses wurde im Rahmen des Projektes nicht durchgeführt. Des Weiteren wurden die Auswirkungen durch das Overplanting auf die Parkbetreiber und die Wirtschaftlichkeit der entsprechenden Windparks nicht betrachtet.

Quelle: Eigene Berechnung Prognos

verbunden. Auch viele Rechenzentren für KI-Anwendungen warten derzeit auf Netzanschlüsse. Investoren sind bereit, hohe Summen in Deutschland zu investieren, scheitern mit ihren Vorhaben aber an den mangelnden Anschlusskapazitäten und langwierigen, analogen Prozessen.

Es gibt knapp 900 unterschiedliche technische Anschlussbedingungen und nicht digitalisierte Prozesse. Die Planungssicherheit und Skalierbarkeit von Erneuerbaren Energien, Batteriespeichern und neuen Verbrauchsanlagen wie Ladesäulen, Industrieanlagen oder Rechenzentren wird dadurch erheblich eingeschränkt. Eine Vereinheitlichung der Prozesse und Errichtung einer einheitlichen digitalen Plattform würde den Ausbau beschleunigen und kosteneffizienter machen.

Flexibilisierung Netzausbauplanung: Die Planung des Netzausbaus erfolgt über sehr lange Zeiträume. Kostenabschätzungen und Projektpläne werden 10 bis 15 Jahre im Voraus fixiert. Die Bauvorhaben müssen sich exakt daran orientieren. Das führt zu einem starren Umsetzungsmechanismus. Flexiblere Planungs- und Genehmigungsprozesse würden einen adaptiven Netzausbau in den 2030er Jahren ermöglichen. Netze würden geplant, aber nur dann final realisiert, wenn sich der Strombedarf entsprechend der zugrundeliegenden Planung entwickelt. Dadurch können Kosten und Netzentgelte bei einer absehbar geringeren Strombedarfsentwicklung gestreckt werden.

⁶ EWI (2025): Optimierte Netzanschlüsse von Wind und PV | https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2025/06/EWI_Optimierte-Netzanschluesse-von-Wind-und-PV.pdf

Strategische Dimension 6: Flexibilität als kosteneffizientester Systemoptimierungsansatz

FLEXIBILITÄT IST DER GÜNSTIGSTE WEG ZU NIEDRIGEREN SYSTEMKOSTEN UND STABILER VERSORGUNG.

Flexibilität auf der Nachfrageseite ist der Schlüssel zu einem kosteneffizienten und stabilen Stromsystem mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien. Die bisher nicht gehobenen Potenziale sind erheblich und die Technologien dafür verfügbar. Die Bundesregierung muss einen klaren Fokus darauf legen.

Batteriespeicher-Potenziale nutzen: Ein kontinuierlicher Zubau von Großbatteriespeicher senkt den Großhandelspreis um rund 12 Milliarden Euro bis 2050⁷. Zudem nimmt die Anzahl von Stunden mit negativen Preisen deutlich ab. Die Anschlussprozesse müssen dafür beschleunigt werden⁸.

Dynamische Netzentgelte: Durch Einführung von dynamischen Netzentgelten wird eine netzdienliche Flexibi-

lisierung des Stromverbrauchs angereizt. Dies sorgt für eine bessere Auslastung der Netze und reduziert ihren Ausbaubedarf und damit die Kosten des Stromsystems insgesamt.

Intelligente Netze: Viele Verteilnetze werden immer noch ohne digitale Daten und Vernetzung betrieben. Ein lokales Monitoring und Beseitigen von Netzengpässen sind nicht möglich, obwohl die Technologien dafür schon lange verfügbar sind. Den Betreibern müssen klare Anreize gesetzt werden, damit sie ihre Infrastruktur modernisieren und eine größere Anzahl Erneuerbarer und Verbraucher dezentral managen können⁸.

⁷ Frontier Economics (2023): Wert von Großbatteriespeichern im deutschen Stromsystem | https://www.frontier-economics.com/media/jmxlrpuf/frontier-economics_wert-von-bess-im-deutschen-stromsystem_-final-report.pdf

⁸ Stiftung Klimaneutralität (2025): 10 Punkte Plan zur Weiterentwicklung der PV-Politik | <https://www.stiftung-klima.de/de/politikempfehlungen/10-punkte-plan-zur-weiterentwicklung-der-pv-politik/>

Strategische Dimension 7: Technologieoffener Kapazitätsmarkt für kosteneffiziente Versorgungssicherheit

EIN TECHNOLOGIEOFFENER KAPAZITÄTSMARKT MIT UNTERSCHIEDLICHEN FLEXIBILITÄTSOPTIONEN MINIMIERT DIE KOSTEN FÜR VERSORGUNGSSICHERHEIT.

In einem Stromsystem mit viel Wind- und Solarenergie schwankt die Stromerzeugung. Um dennoch zu jedem Zeitpunkt ausreichend und bezahlbaren Strom zur Verfügung zu haben, ist ein intelligenter Mix aus steuerbarer Leistung und Flexibilität erforderlich. Ein technologieoffener Kapazitätsmarkt, wie er auch europarechtlich gefordert ist, kann diese Aufgabe besonders kosteneffizient lösen.

Ein fairer Wettbewerb zwischen unterschiedlichen Erzeugungstechnologien, Speichern und Nachfrage-
management führt zu minimalen Kosten⁹. Deshalb wäre eine Vorfestlegung auf eine spezifische Technologie wie Gaskraftwerke oder eine Überdimensionierung der steuerbaren Leistung ein erheblicher Kostentreiber. Im Ergebnis steigen die Strompreise. Das würde Deutschlands Wettbewerbsfähigkeit einschränken und Haushalte belasten.

⁹ EPICO und Aurora (2025): Zukunftssichere Maßnahmen für die Energiewende | <https://epico.org/de/veroeffentlichungen/zukunftssichere-massnahmen-fuer-die-energiewende-5-leitlinien-zum-energiewendemonitoring>

Strategische Dimension 8: Differenzierte Betrachtung der deutschen Wasserstoffproduktion unter Import- und Resilienz- Gesichtspunkten

DIE WASSERSTOFFPRODUKTION IN DEUTSCHLAND WIRD ANGESICHTS HOHER KOSTEN UND GÜNSTIGEN IMPORT-OPTIONEN GERINGER AUSFALLEN ALS BISHER PROGNOTIZIERT. AUS GRÜNDEN DER RESILIENZ UND ZUR ENERGIE-SPEICHERUNG WIRD SIE DENNOCH EINE WICHTIGE ROLLE SPIELEN.

Aus erneuerbarem Strom produzierter Wasserstoff und seine Derivate werden eine wesentliche Rolle bei der

Einhaltung der Klimaziele spielen. Für die strategische Planung der deutschen Wasserstoffherzeugung müssen vier zentrale Einsatzzwecke von Wasserstoff unterschieden werden: Im Energiesystem dient er, erstens, als saisonaler Speicher für die Bereitstellung steuerbarer Leistung. In der Industrie kommt er, zweitens, bei Prozessen zum Einsatz, die sehr hohe Temperaturen benötigen und wird, drittens, stofflich vor allem bei der Produktion von Stahl und in der chemischen Industrie genutzt. Und viertens ersetzen wasserstoffbasierte Derivate im Schiff- und Luftverkehr fossile Kraftstoffe.

Die Kosten für die Produktion von grünem Wasserstoff sind heute sehr hoch. Sie hängen aber ähnlich wie andere Technologien von der industriellen Skalierung und technologischen Lernkurven ab. Beim Wasserstoff ist diese Lernkurve noch am Anfang. Deshalb ist zu erwarten, dass die Kosten global und damit auch für die Produktion in Deutschland deutlich sinken werden. Dennoch gibt es global Standorte, mit einer sehr viel besseren Verfügbarkeit von Wind und Sonne. Diese Standorte werden günstigere Produktionsbedingungen für Wasserstoff als in Deutschland aufweisen¹⁰. Auch die dann anfallenden Transportkosten nivellieren diese Kostenvorteile nur teilweise.

Deshalb ist es plausibel, dass ein großer Teil der Wasserstoff- und Derivatbedarfe günstiger durch internationale Importe gedeckt werden kann. Insbesondere für die industrielle Produktion werden grüne Vorprodukte wie Ammoniak, Methanol und direktreduziertes Eisen zumindest teilweise importiert werden. Gleiches gilt für große Teile der grünen Treibstoff-Bedarfe im Schiffs- und Flugverkehr.

Trotzdem müssen aus Resilienz-Gründen ausreichende Mengen an heimischer Wasserstoff-Produktion in den Szenarien zugrunde gelegt werden. Das gilt insbesondere für die Bedarfe im Energiesystem. Deutschland sollte seine Unabhängigkeit in diesen Bereichen nicht erneut durch zu hohe Importanteile gefährden. Und auch ein Grundstock an Düngemitteln, Roheisen und Stahl sowie Treibstoffen sollte mit heimischer Energie in Deutschland hergestellt werden können.

Die Strombedarfsprognose muss transparente Annahmen über die in Deutschland produzierten Wasserstoffmengen treffen. Dabei braucht es eine Abwägung von Resilienz, Kosten und Erhaltung industrieller Kompetenz.

¹⁰ Verpoort, P.C., Gast, L., Hofmann, A. et al. (2024): Impact of global heterogeneity of renewable energy supply on heavy industrial production and green value chains. *Nat Energy* 9, 491–503 | <https://www.nature.com/articles/s41560-024-01492-z>

Fazit und Handlungsempfehlungen

Fazit und Handlungsempfehlungen

**Die acht Dimensionen zeigen:
Das Energiesystem-Monitoring
steht vor einer komplexen,
aber lösbaren Aufgabe.**

Eine zukunftssichere Energiepolitik unter Einhaltung der Klimaziele bedeutet nicht, das Ambitionsniveau beim Ausbau von Erneuerbaren abzusenken. Das Gegenteil ist der Fall. Wenn Deutschland auch in Zukunft ein wirtschaftlich starkes, wohlhabendes und sozial gerechtes Land sein soll, braucht es günstige Strompreise. Das gelingt zuvorderst durch einen weiteren Hochlauf der Erneuerbaren und die Elektrifizierung aller Sektoren.

Gleichzeitig gibt es dringenden Handlungsbedarf, den die Bundesregierung adressieren sollte. Das Einsparpotential liegt in der Flexibilisierung und Kosteneffizienz beim Netzausbau. In diesem Papier wurden dafür konkrete Maßnahmen vorgeschlagen, mit denen bis zum Jahr 2045 Einsparungen von rund 198 Milliarden möglich sind. Und zwar ohne ein Kilowatt weniger an Wind- und Solaranlagen auszubauen.



Stiftung
Klimaneutralität



Die Stiftung Klimaneutralität wurde gegründet, um robuste sektorübergreifende Strategien für ein klimaneutrales und -gerechtes Deutschland zu entwickeln. Auf der Basis von guter Forschung will die Stiftung informieren und beraten – jenseits von Einzelinteressen.