
Klimaneutrales Stromsystem 2035

Wie der deutsche Stromsektor bis zum
Jahr 2035 klimaneutral werden kann

ZUSAMMENFASSUNG

Agora
Energiewende



Klimaneutrales Stromsystem 2035

IMPRESSUM

ZUSAMMENFASSUNG

Klimaneutrales Stromsystem 2035

Wie der deutsche Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann

IM AUFTRAG VON

Agora Energiewende

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2 | 10178 Berlin

T +49 (0)30 700 14 35-000

F +49 (0)30 700 14 35-129

www.agora-energiewende.de

info@agora-energiewende.de

PROJEKTPARTNER

Prognos AG

www.prognos.com | info@prognos.com

Consentec GmbH

www.consentec.de | info@consentec.de

PROJEKTLEITUNG

Simon Müller

simon.mueller@agora-energiewende.de

Thorsten Lenck

thorsten.lenck@agora-energiewende.de

Dr. Barbara Saerbeck

barbara.saerbeck@agora-energiewende.de

Satz: RadiCon, Berlin | Kerstin Conradi

Satzkoordination: Urs Karcher

Korrektur: Infotext GbR

Titelbild: kazuend | unsplash

289/01-ES-2023/DE

Version 1.1, März 2023

AUTORINNEN UND AUTOREN:

Elias Althoff, Hans Dambeck, Hanno Falkenberg, Aurel Wunsch, Marco Wunsch, Inka Ziegenhagen (Prognos AG), Dr. Christoph Maurer, Sebastian Willemsen, Tom Dröscher (Consentec GmbH), Felix Heilmann, Thorsten Lenck, Simon Müller, Dr. Barbara Saerbeck (Agora Energiewende).

DANKSAGUNG

Erst das Engagement vieler weiterer Kolleginnen und Kollegen hat diese Studie möglich gemacht. Für die tatkräftige Unterstützung bedanken möchten wir uns daher bei Mauricio Belaunde, Alexander Dusolt, Philipp Godron, Janne Görlach, Katharina Hartz, Mareike Herrndorff, Urs Karcher, Dr. Jahel Mielke, Dr. Julia Metz, Ada Rühring, Gloria Watzinger, Anja Werner, und Moritz Zackariat (Agora Energiewende). Außerdem danken wir Dr. Hartmut Kahl und Dr. Markus Kahles (Stiftung Umweltenergie recht) für den fachlichen Austausch sowie Kommentare und Einschätzungen insbesondere zu den rechtlichen Aufgaben sowie Anselm Eicke (Neon Neue Energieökonomik) für seine wertvollen Beiträge und Anregungen.



Unter diesem QR-Code steht diese Publikation als PDF zum Download zur Verfügung.

Bitte zitieren als:

Agora Energiewende, Prognos, Consentec (2022): Klimaneutrales Stromsystem 2035. Wie der deutsche Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann.

www.agora-energiewende.de

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

nie war der Handlungsdruck für die Energiepolitik in Deutschland größer: zur immer drängenderen Klimakrise kommen seit vergangenem Jahr eine fossile Energiepreiskrise und eine akute Gefahr für die Versorgungssicherheit aufgrund einer unsicheren Gasversorgung.

Aktuell bestimmt die unmittelbare Krisenreaktion die öffentliche Debatte, insbesondere die Diversifizierung der Erdgasversorgung und das Abfedern rasant steigender Energiepreise. Dabei verdienen die strukturellen Lösungen ebenfalls höchste Aufmerksamkeit: der konsequente Umstieg auf Energieeffizienz und erneuerbare Energien.

Die vorliegende Zusammenfassung bündelt die wichtigsten Erkenntnisse der Studie *Klimaneutrales Stromsystem 2035*. Die Studie zeigt erstmalig mit einer umfassenden Strommarkt- und ergänzenden Netzmodellierung, wie der Anteil Erneuerbaren Stroms am Stromverbrauch bis 2030 auf 80 Prozent

gesteigert werden kann. Dafür braucht es einen echten Ausbauturbo für Erneuerbare und Energieinfrastruktur. Gelingt dieser, entfacht er eine Dynamik, die bis 2035 ein klimaneutrales Stromsystem ermöglicht.

Zusätzlich zu den bekannten Handlungsnotwendigkeiten beim Ausbau von Erneuerbaren und Netzen heißt das vor allem, dass Elektrifizierung und Flexibilisierung des Verbrauchs bereits jetzt konsequent mitgedacht und umgesetzt werden müssen.

Erneuerbarer Strom ist der Schlüssel zum Erreichen der Klimaneutralität und das Fundament für die Zukunft des Industriestandorts Deutschland. Die Zeit drängt, die Lösungen liegen auf dem Tisch. Nun gilt es, eine ambitionierte Umsetzung zu gestalten.

Ich wünsche Ihnen eine angenehme Lektüre!

Simon Müller

Direktor Deutschland, Agora Energiewende

Ergebnisse auf einen Blick:

1

2030 können Erneuerbare Energien 80 Prozent des Stromverbrauchs decken, wenn der Windkraft- und Photovoltaik-Zubau deutlich stärker priorisiert und beim Ausbau der Strom- und Wasserstoffnetze ein Paradigmenwechsel vollzogen wird. Hierzu sind schnellere Planungs- und Genehmigungsverfahren sowie die beschleunigte Ausarbeitung eines integrierten Systementwicklungsplans entscheidend.

2

80 Prozent erneuerbarer Strom im Jahr 2030 und zunehmend mit grünem Wasserstoff betriebene Gaskraftwerke sichern den rechtzeitigen Kohleausstieg und ermöglichen bis 2035 ein klimaneutrales Stromsystem. Hierfür müssen verlässliche Investitionsbedingungen sichergestellt werden.

3

Die Umstellung auf grünen Strom in Industrie, Gebäuden und im Verkehr durch Elektrolyseure, Elektrofahrzeuge, Wärmepumpen und Elektrodenkessel muss von Beginn an systemdienlich erfolgen. Hierzu bedarf es einer zügigen Reform der Netzentgelte, eines intelligenteren Verteilnetzbetriebs und eines konsequenten Smart-Meter-Rollouts.

4

Der sichere Stromnetzbetrieb bei 100 Prozent Erneuerbaren Energien erfordert ein breites Technologieportfolio zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen und den effizienten Umgang mit Netzengpässen. Dazu muss ein Maßnahmenpaket für Systemsicherheit bei 100 Prozent erneuerbaren Energien umgesetzt und die Einführung von lokalen Strompreissignalen geprüft werden.

Inhalt

Zusammenfassung	7
1 Motivation	5
2 Fragestellung und methodisches Vorgehen	5
3 Kernergebnisse	5
3.1 Erzeugung	6
3.2 Elektrifizierung, Flexibilität und Stromverbrauch	7
3.3 Energieinfrastruktur	10
4 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen	13
4.1 Planung und Genehmigungsverfahren	13
4.2 Erzeugung	14
4.3 Infrastruktur	15
4.4 Flexibilität und Nachfrage	16
Literaturverzeichnis	18

Zusammenfassung

1 Motivation

Die Koalitionsparteien der neuen Bundesregierung haben sich ambitionierte Ziele gesetzt. Im Koalitionsvertrag ist verankert, dass bis zum Jahr 2030 80 Prozent des Stromverbrauchs aus erneuerbaren Quellen stammen soll, bei gleichzeitig ansteigendem Verbrauch. Darüber hinaus hat sich Deutschland im Rahmen seiner G7-Präsidentschaft erfolgreich dafür eingesetzt, dass die G7-Länder bis 2035 einen überwiegend dekarbonisierten Stromsektor anstreben.

Die Umstellung auf ein erneuerbares Stromsystem ist ein entscheidender Wegbereiter für die gesamtwirtschaftliche Transformation zur Klimaneutralität. In der zukünftigen, klimaneutralen Welt steht erneuerbarer Strom am Anfang beinahe jeder Energieversorgungskette und ermöglicht damit auch Treibhausgaseinsparungen in anderen Sektoren. Fossile Energieträger können aber nur ersetzt werden, wenn ausreichend erneuerbarer Strom produziert wird und direkt, dank der Elektrifizierung von Prozessen, oder indirekt, als Wasserstoff oder synthetischer Energieträger, zu entsprechend ausgestatteten Abnehmern gelangen kann. Dies gelingt umso leichter, je energieeffizienter bestehende und neue Verbraucher sind.

2 Fragestellung und methodisches Vorgehen

Das hier vorgelegte Szenario „Klimaneutrales Stromsystem 2035“ (KNS2035) widmet sich der Frage, wie die Umstellung des deutschen Stromsystems auf Erneuerbare Energien bis 2035 erfolgen kann. Es analysiert die Konsequenzen für Stromerzeugung und -verbrauch und beleuchtet die Auswirkungen auf Netzausbau und -betrieb. Dabei baut es auf der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ (KNDE2045) auf, in der ein gesamtwirtschaftliches

Transformationsszenario zur Klimaneutralität modelliert wurde.¹ KNS2035 entwickelt KNDE2045 weiter, indem das bestehende Modell entsprechend den neuen Regierungszielen für erneuerbare Stromerzeugung und Stromverbrauch aktualisiert wurde. Die Prognos AG, welche bereits die Strommarktmodellierung für KNDE2045 erstellte, hat hierfür ein aktualisiertes Strommarktmodell gerechnet (Kapitel 2). Darauf aufbauend hat die Consentec GmbH eine ergänzende Netzbetrachtung erstellt (Kapitel 3).

3 Kernergebnisse

Das KNS2035-Szenario zeigt einen gangbaren Pfad zum Erreichen von 80 Prozent Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch bis 2030 auf. Zudem weist es nach, dass die konsequente Fortsetzung des Wegs zu 80 Prozent erneuerbarem Strom 2030 zu einem klimaneutralen Stromsystem 2035 führt. Gleichzeitig erfolgt der Kohleausstieg bis 2030 durch Marktinstrumente und den konsequenten und beschleunigten Ausbau von Erneuerbaren Energien; die Deckung der Residuallast wird durch regelbare Gaskraftwerke abgesichert. Die schnelle Umstellung auf erneuerbaren Wasserstoff beziehungsweise Wasserstoffderivate senkt dabei fossilen Gasverbrauch und Treibhausgasemissionen.

Die vorliegende Analyse unterstreicht gleichzeitig die Größe der Herausforderung: Der Zubau von Windkraft- und Solaranlagen steigt von 7 Gigawatt (GW) 2021 auf bereits 29 GW 2025 und erreicht in der Spitze 39 GW im Jahr 2030. Gleichzeitig wird das Stromübertragungsnetz verstärkt und erweitert, sodass es 2035 rund 50.000 Stromkreiskilometer umfasst – ein Anstieg von rund 15.000 Stromkreiskilometern gegenüber heute. Die Stromnachfrage nimmt bis 2030 um 146 Terawattstunden (TWh) zu und erreicht 726 TWh. Bis 2035 kommen nochmals 168 TWh hinzu. Getrieben wird dieser Nachfragezu-

1 Prognos et al. (2021)

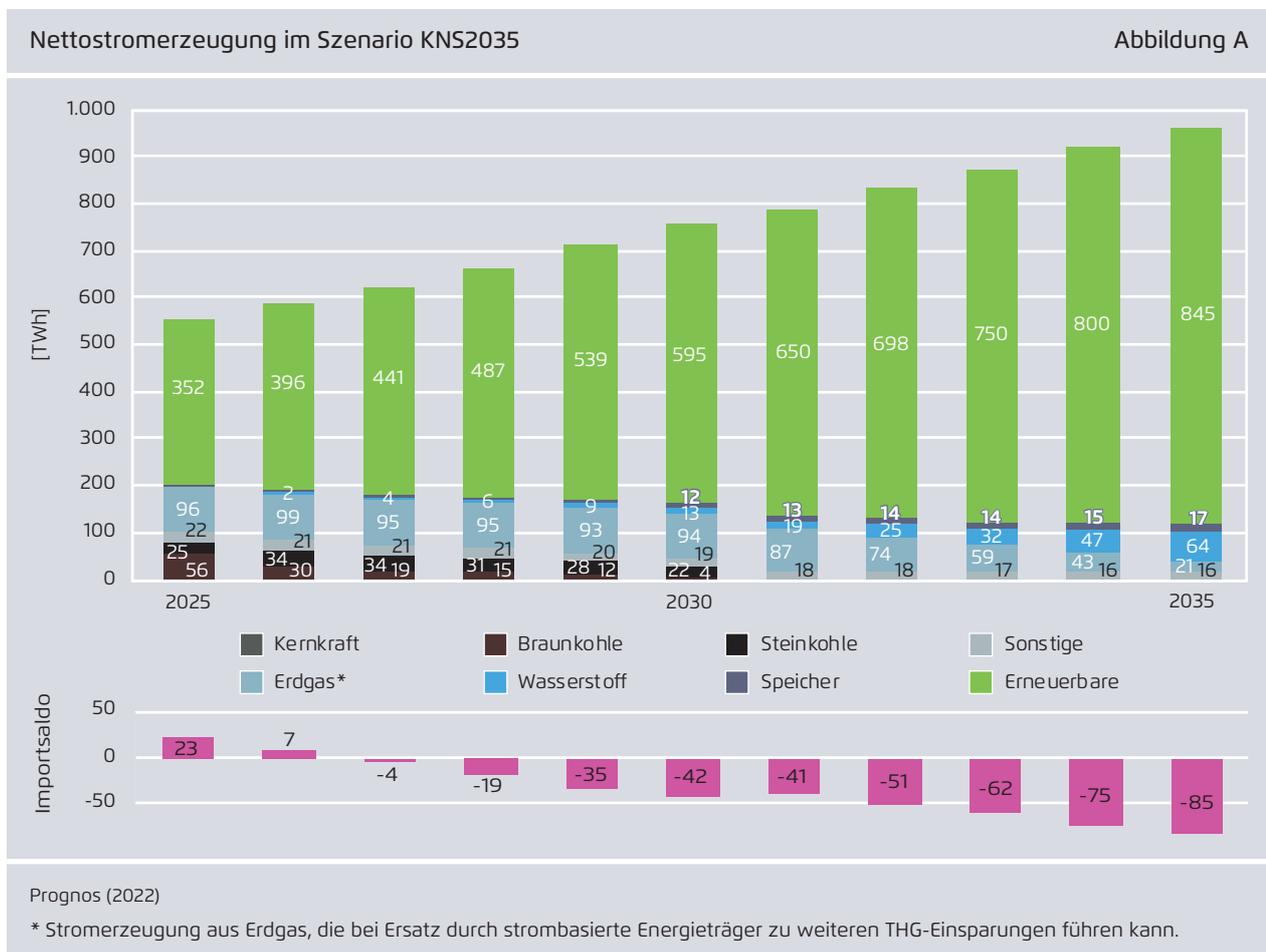
wachs durch eine schnelle Elektrifizierung in Industrie, Gebäuden und Verkehr. Die Umstellung zum klimaneutralen Stromsystem setzt darüber hinaus voraus, dass insbesondere die Stromverteilnetze deutlich intelligenter gesteuert und neue Verbraucher wie Elektromobile, Elektrolyseure und Wärmeerzeuger konsequent flexibel betrieben werden.

Die Zielerreichung erfordert damit einen Paradigmenwechsel in Kernbereichen des Stromsystems. Insbesondere müssen Planungs- und Genehmigungsverfahren für Erneuerbare Energien, Strom- und Wasserstoffnetze konsequent vereinfacht und beschleunigt werden. Darüber hinaus ist für die Koordinierung des Infrastrukturausbaus ein integrierter Systementwicklungsplan für Strom-, Gas-

und Wasserstoffnetze dringend erforderlich. Dafür notwendige Maßnahmen müssen unverzüglich ergriffen werden.

3.1 Erzeugung

Bis 2035 steigt die erneuerbare Stromerzeugung durch den weiterhin starken Ausbau der Windenergie und Photovoltaik im Szenario KNS2035 auf 845 TWh (Abbildung A). Mit einem massiven Zubau werden Windkraft und Solarenergie die tragenden Säulen des klimaneutralen Stromsystems 2035. Damit das gelingt, muss der jährliche Zubau von Dach- und Freiflächenphotovoltaik zügig von 5 GW 2021 auf durchschnittlich 21 GW zwischen 2026 und 2035 mehr als vervierfacht werden. Im gleichen Zeitraum muss der Zubau von Windkraft an Land von 1,7 GW auf 10 GW pro Jahr um circa einen



Faktor sechs gesteigert werden. Der Zubau von Windenergie auf See erreicht in der Spitze 8 GW und beträgt von 2031 bis 2035 6 GW. Windenergieanlagen an Land tragen mit 40 Prozent am stärksten zur erneuerbaren Nettostromerzeugung bei. Photovoltaik leistet einen Beitrag von einem Drittel, auf Offshore-Windenergie entfällt ein Viertel.

Im Jahr 2035 liegt der Erneuerbaren-Anteil an der Stromerzeugung bei 89 Prozent direkter Erzeugung durch Erneuerbare Energien und 7 Prozent Erzeugung aus Wasserstoffkraftwerken. Da Deutschland Nettoexporteur ist, beträgt der Erneuerbaren-Anteil am Stromverbrauch rechnerisch über 100 Prozent.

Parallel zum Ausbau der Erneuerbaren Energien werden in den 2030er-Jahren regelbare Gaskraftwerke zur Deckung der Residuallast eingesetzt. Diese Kraftwerke erzeugen mit sinkender Tendenz zwischen 107 TWh (2030) und 86 TWh (2035) Strom. Im klimaneutralen Stromsystem 2035 verdoppelt sich die installierte Leistung von Gaskraftwerken von 30 GW (2022) auf 61 GW.² Erdgas wird dabei zunehmend durch Wasserstoff ersetzt, sodass der Anteil von Erdgas an der Stromerzeugung im Jahr 2035 nur noch zwei Prozent beträgt.³

Im Jahr 2030 beträgt die Stromerzeugung aus Wasserstoff etwa 13 TWh. Dafür sind voraussichtlich 4 bis 6 GW wasserstofffähige Kraftwerke notwendig. Im Jahr 2035 erzeugen Gaskraftwerke 86 TWh Strom. Gaskraftwerke werden vor allem für die Versorgungssicherheit im Winterhalbjahr benötigt. Ein Drittel der Gaskraftwerke (20 GW) erzeugt 75 Prozent der gesamten Gasstromerzeugung im Jahr 2035. Das letzte Drittel wird nur wenige Stunden pro Jahr betrieben. Der erreichte Umstellungsgrad und die Verfügbarkeit von Wasserstoff bestimmen die Restemissionen der Stromerzeugung.

2 Davon entfallen 64 TWh auf Wasserstoff und 18 TWh auf Erdgas.

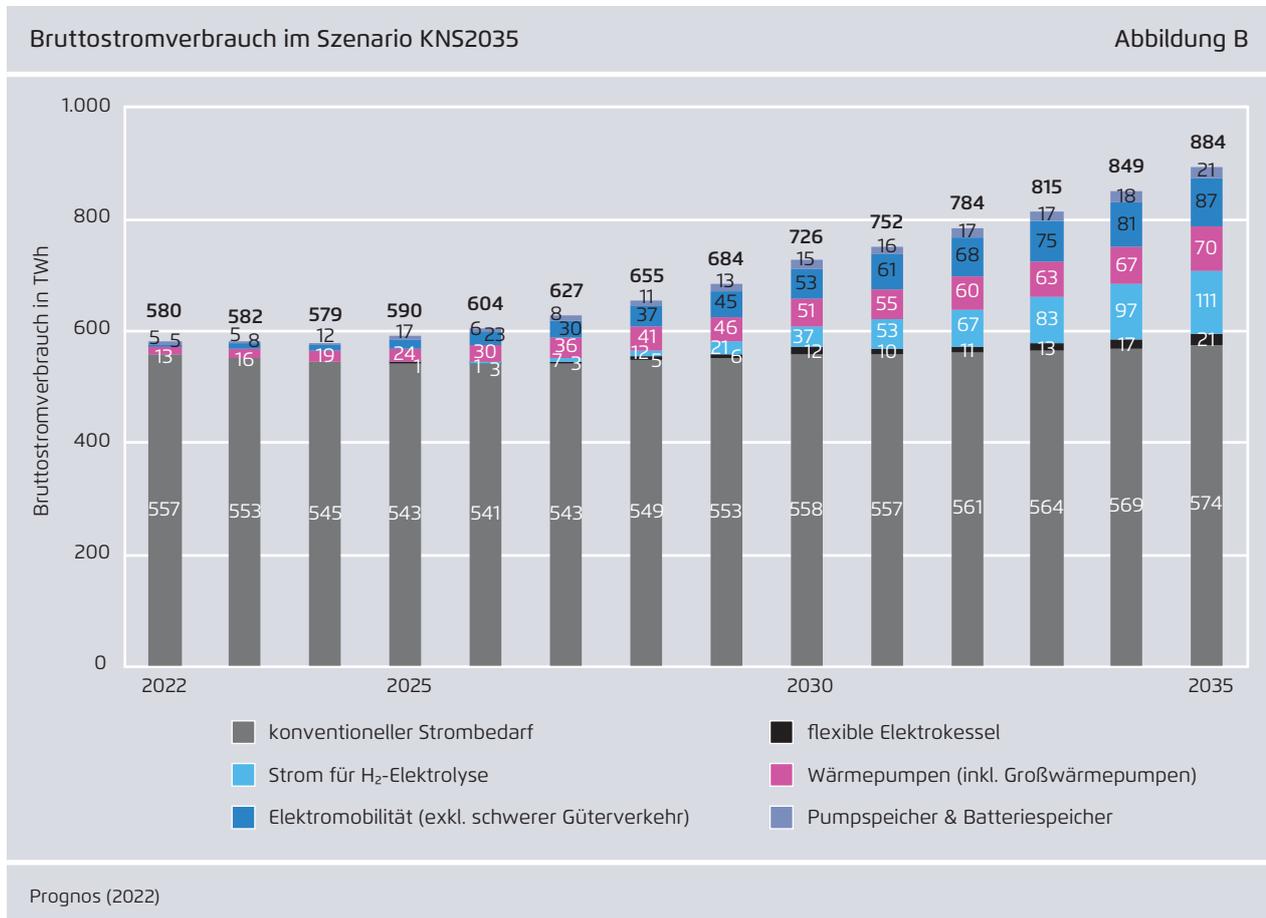
3 Dazu kommt noch ein Prozent aus der Verbrennung von Abfall und Gichtgas.

Für den Umsetzungserfolg der Energiewende sind für den Bereich Wasserstoff drei Hochlaufpfade entscheidend, die bereits heute eingeleitet werden müssen: Wasserstoffaufkommen, wasserstofffähige Kraftwerke und Wasserstoffinfrastruktur. Neue Kraftwerke müssen schon heute zu 100 Prozent *H₂-ready* sein. Um zu gewährleisten, dass Erzeugung und Verbrauch der stark ansteigenden Wasserstoffmengen örtlich und zeitlich abgestimmt werden können, wird eine neue Wasserstoffinfrastruktur zum Transport und zur Speicherung notwendig. Auch sind die Optionen der Nutzung des Wasserstoffderivats Ammoniak für Kraftwerke zu prüfen, um Knappheiten im Wasserstoffaufkommen zu begegnen, da sich Ammoniak besonders gut importieren lässt.

3.2 Elektrifizierung, Flexibilität und Stromverbrauch

Die Höhe des zukünftigen Strombedarfs ist ein zentraler Treiber für den notwendigen Ausbaubedarf der Erneuerbaren Energien und des Stromsystems als Ganzes. Energieeffizienzmaßnahmen leisten einen wichtigen Beitrag, um den Ausbaubedarf zu begrenzen. Der konventionelle Stromverbrauch stagniert, da sich Effizienzgewinne und eine steigende Zahl von Verbrauchern ausgleichen (Abbildung B). Gleichzeitig lassen die zunehmende Elektrifizierung von Industrie, Verkehr und Gebäuden sowie die Wasserstoffproduktion den Strombedarf auf rund 725 TWh bis 2030 steigen. Die Elektrifizierung dieser Sektoren senkt bei einem klimaneutralen Stromsystem die deutschen Treibhausgasemissionen signifikant.

Mit zunehmender Einspeisung aus fluktuierenden Erneuerbaren Energien und dem Rückgang konventioneller Kraftwerksleistung sind neue Flexibilitätsoptionen gefragt, um den Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage sicherzustellen (Abbildung C). Auf der Nachfrageseite können und müssen Elektromobilität, Wärmeerzeuger und Elektrolyseure systemdienlich betrieben werden, um die Systemintegration von Wind- und Solarstrom zu stärken. Batteriespeicher und Pumpspeicherkraft-

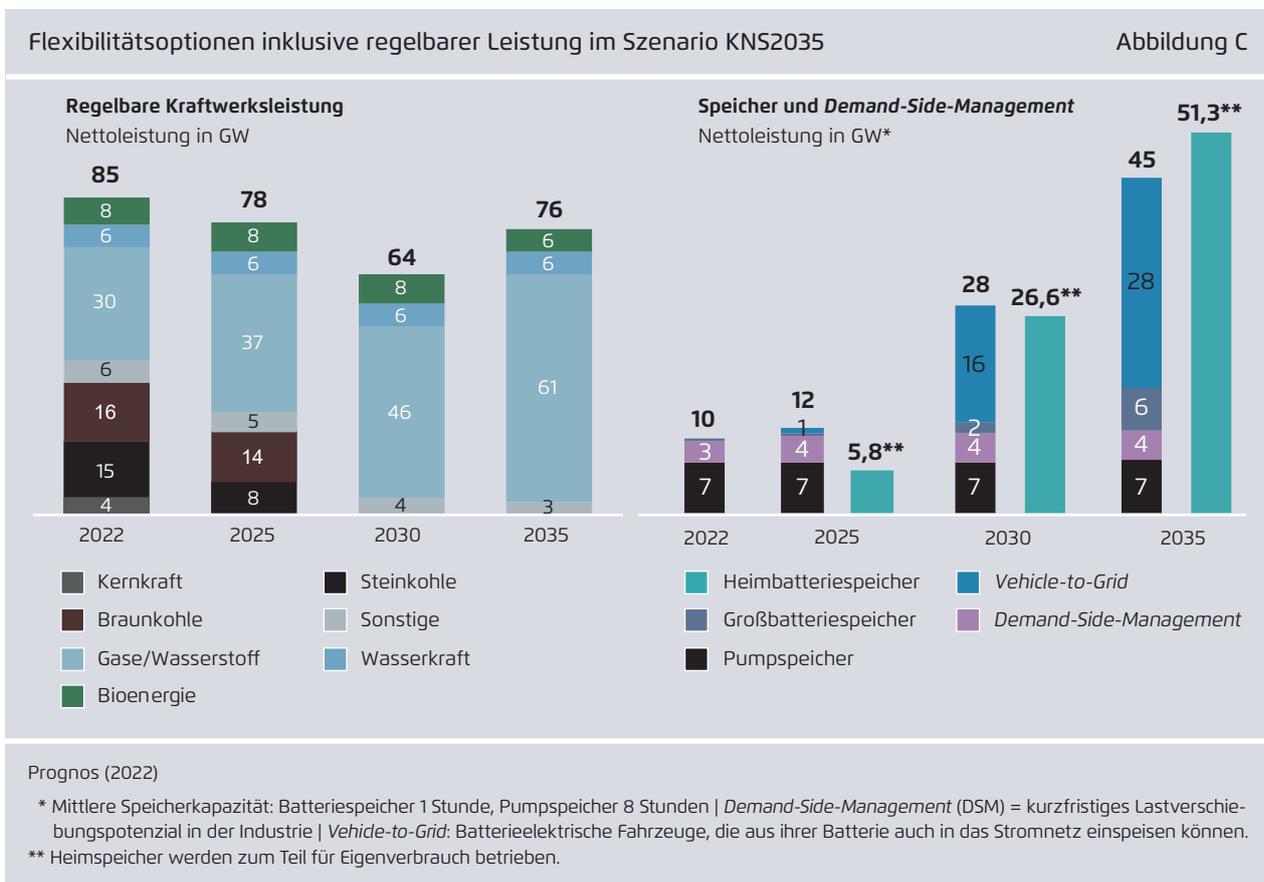


werke bieten darüber hinaus erhebliche Flexibilitäts-
potenziale.

Elektrofahrzeuge können beispielsweise in einem gewissen Maße flexibel geladen werden. Darüber hinaus können Elektrofahrzeuge durch bidirektionales Laden (auch Vehicle-to-Grid genannt) als Stromspeicher agieren. Davon ausgehend, dass 25 Prozent der Elektro-Pkw im Jahr 2035 Vehicle-to-Grid nutzen und davon durchschnittlich 40 Prozent der Fahrzeuge für den Strommarkt bereitgestellt werden, beträgt die nutzbare Leistung 28 GW. Obwohl die Leistung nur für kurze Zeiträume von wenigen Stunden bereitgestellt werden kann, verringert Vehicle-to-Grid den Bedarf an kleinen Batteriespeichern in Eigenheimen sowie den Bedarf an Großbatteriespeichern. Damit trägt es zur effizienten Nutzung von erneuerbarem Strom und Ressourcen bei.

Wärmepumpen bieten zusätzliche, nachfrageseitige Flexibilität, vorausgesetzt, dass der überwiegende Anteil der knapp neun Millionen Wärmepumpen im Jahr 2035 über Softwareschnittstellen gesteuert werden kann. Die Flexibilität wird durch das Speicherpotenzial der Gebäude selbst und Pufferspeicher im Heizkreis ermöglicht. Diese kann abhängig von der Außentemperaturabhängigen Wärmeanforderung und einer nutzerseitigen Freigabe von Temperaturbandbreiten genutzt werden.

Direkte Strom-zu-Wärme-Anwendungen (*Power-to-Heat*, PtH) wie Heizstäbe oder Elektrodenkessel sind eine günstige Flexibilitätsmöglichkeit, um in Stunden hoher Erzeugung aus Erneuerbaren Energien Strom in Wärmeanwendungen (Industrie, Nahwärme, Fernwärme etc.) zu integrieren, statt ihn abzuregeln.



Die installierte Leistung von *Power-to-Heat*-Anlagen beträgt 10 GW 2030 und 20 GW im Jahr 2035.

Elektrolyseure bieten eine weitere Nachfrageflexibilität. Im Szenario KNS2035 sind im Jahr 2035 etwa 12 GW_{el} im Einsatz. Die Elektrolyseure erzeugen Wasserstoff in Zeiten mit hoher erneuerbarer Erzeugung, in denen der Strom anderweitig nicht genutzt oder transportiert werden kann. Elektrolyseure werden insbesondere in Norddeutschland an Stellen vor Netzengpässen errichtet.

Batteriespeicher bieten dank schneller Reaktionszeit vielfältige Anwendungsmöglichkeiten im stationären und mobilen Bereich. Sie haben aufgrund ihrer elektrochemischen Eigenschaften einen Wirkungsgrad von bis zu 99 Prozent und können sowohl bei Haushalten, in der Industrie, bei Energieversorgern, Betreibern von Photovoltaik- und

Windparks oder Anbietern von Systemdienstleistungen eingesetzt werden. Die installierte Leistung dezentraler Batteriespeicher (in Kombination mit PV-Aufdachanlagen) beträgt 27 GW 2030 und 51 GW 2035.

Je besser es gelingt, durch geeignete Preissignale die vorhandene technische Flexibilität zu nutzen, desto mehr erneuerbarer Strom kann direkt genutzt werden. Gleichzeitig verringern sich damit der Zubaubedarf an Gaskraftwerken und der notwendige Brennstoffeinsatz.

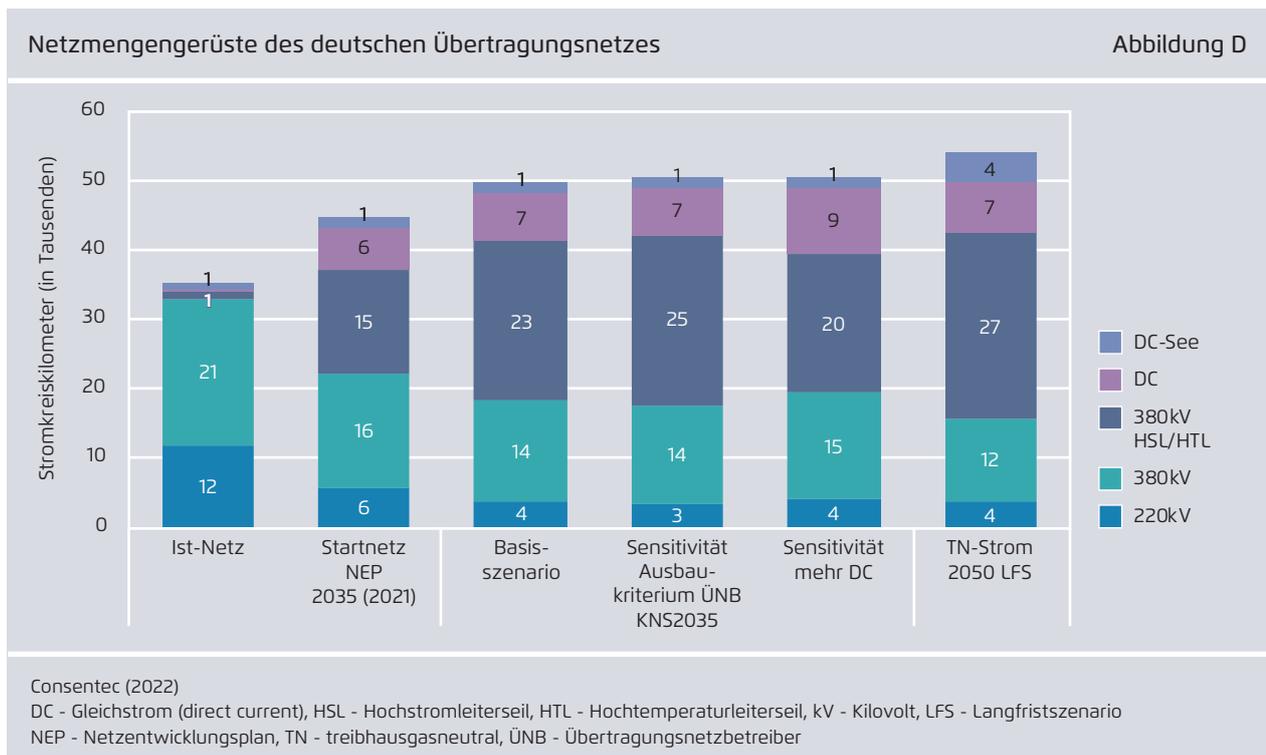
3.3 Energieinfrastruktur

Ein klimaneutrales Stromsystem 2035 in Deutschland stellt in Bezug auf den Netzausbau lediglich einen Zwischenschritt dar: Erstens wächst der Strombedarf durch steigende Nachfrage von anderen Sektoren auch nach 2035 weiter an. Zweitens gewinnt der Stromaustausch innerhalb Europas mit zunehmenden Anteilen der Erneuerbaren Energien und dem Ausbau der Kuppelkapazitäten auch über 2035 hinaus deutlich an Bedeutung.

Damit die Integration Erneuerbarer Energien gelingt, muss das Stromnetz schnellstmöglich ausgebaut und der Umbau hin zu einer flexiblen, optimierten und sicheren Netzbetriebsführung forciert werden. Die gesamte Stromkreislänge im deutschen Übertragungsnetz wächst im Szenario KNS2035 von circa 35.000 Stromkreiskilometern 2021 auf circa 50.000 Stromkreiskilometer im Jahr 2035 (Abbildung D). Aufgrund der langen Umsetzungsfristen müssen alle hierfür erforderlichen Projekte in den kommenden Jahren in die Umset-

zung gebracht werden. Dafür sind Netzausbau- und Verstärkungsmaßnahmen vorzuziehen.

Es ist davon auszugehen, dass selbst bei einem deutlich beschleunigten Netzausbau strukturelle Netzengpässe im deutschen Übertragungsnetz bestehen bleiben werden. Um die Transportaufgaben in einem klimaneutralen Stromsystem erfüllen zu können, wird daher aller Voraussicht nach ein breites Technologieportfolio unterschiedlichster Netzoptimierungs-, -verstärkungs- und -ausbautechnologien genutzt werden müssen. Vergleichsweise neuartige, aber kurzfristig verfügbare Technologien, die in diesem Zusammenhang eine Rolle spielen können, sind zum Beispiel eine messwert-/sensorbasierte Festlegung der Stromtragfähigkeit von Leitungen und eine FACTS-basierte Lastflussteuerung. Weitere Optionen sind der vermaschte Betrieb von HGÜ-Systemen sowie sogenannte virtuelle Leitungen, die über einen koordinierten gegenläufigen Betrieb von Batteriespeichern eine



zeitversetzte Übertragung von elektrischer Energie ermöglichen.

Gleichzeitig müssen die Herausforderungen für einen sicheren Stromnetzbetrieb in einem weit überwiegend von Erneuerbaren Energien geprägten System zügig angegangen werden. Dazu zählen unter anderem die Umsetzung einer Real-Time-Bewertung der Stabilitätssituation im Übertragungsnetz, die Gewährleistung ausreichender Momentanreserve, die Sicherstellung notwendiger Blindleistungs- und Kurzschlussstrombeiträge und auch die Gewährleistung der Fähigkeit zum Netzwiederaufbau.

Die stärkere Kopplung der Sektoren Strom, Verkehr, Wärme und Industrie durch Elektrofahrzeuge, elektrischen Wärmeerzeugern und Elektrolyseure wirkt sich fundamental auf die Strom- und Wasserstoffnetzplanung aus. So ist die schnelle Verfügbarkeit eines ausreichend dimensionierten Wasserstoffbasisnetzes sowie von Wasserstoffspeichern zur zeitlichen Entkopplung von Wasserstoffherzeugung und -nachfrage eine unabdingbare Voraussetzung für eine aus Stromsystem Sicht

optimierte Standortwahl von Elektrolyseuren und steuerbaren gasbasierten Erzeugungsanlagen. Die aktuell separaten Planungsprozesse der Strom-, Gas- und Wasserstoffnetze bilden dies derzeit jedoch nicht ab.

Die stärkere Flexibilisierung des Stromverbrauchs erhöht gleichzeitig die Anforderungen an das Markt-design. Preise müssen gerade für flexible Verbraucher systemdienliche Anreize setzen. Wenn beispielsweise Netzengpässe bei der Preisbildung nicht berücksichtigt werden, kann ein sehr niedriger Strompreis zu einer Aktivierung von flexiblen Verbrauchern führen, ohne dass der hierdurch ausgelöste Strombedarf tatsächlich gedeckt werden kann: Liegen die Verbraucher hinter einem Netzengpass, kann der günstige Strom nicht zu den Verbrauchern gebracht werden. Im Ergebnis müssten *Redispatch*-Maßnahmen ergriffen werden. Diese würden entweder Mehrkosten auslösen oder die verfügbaren Kapazitäten könnten nicht ausreichen, wenn eine sehr hohe Bedarfsspitze vorliegt. Eine stärkere räumliche Differenzierung der Strompreise kann diese Herausforderungen vermeiden.

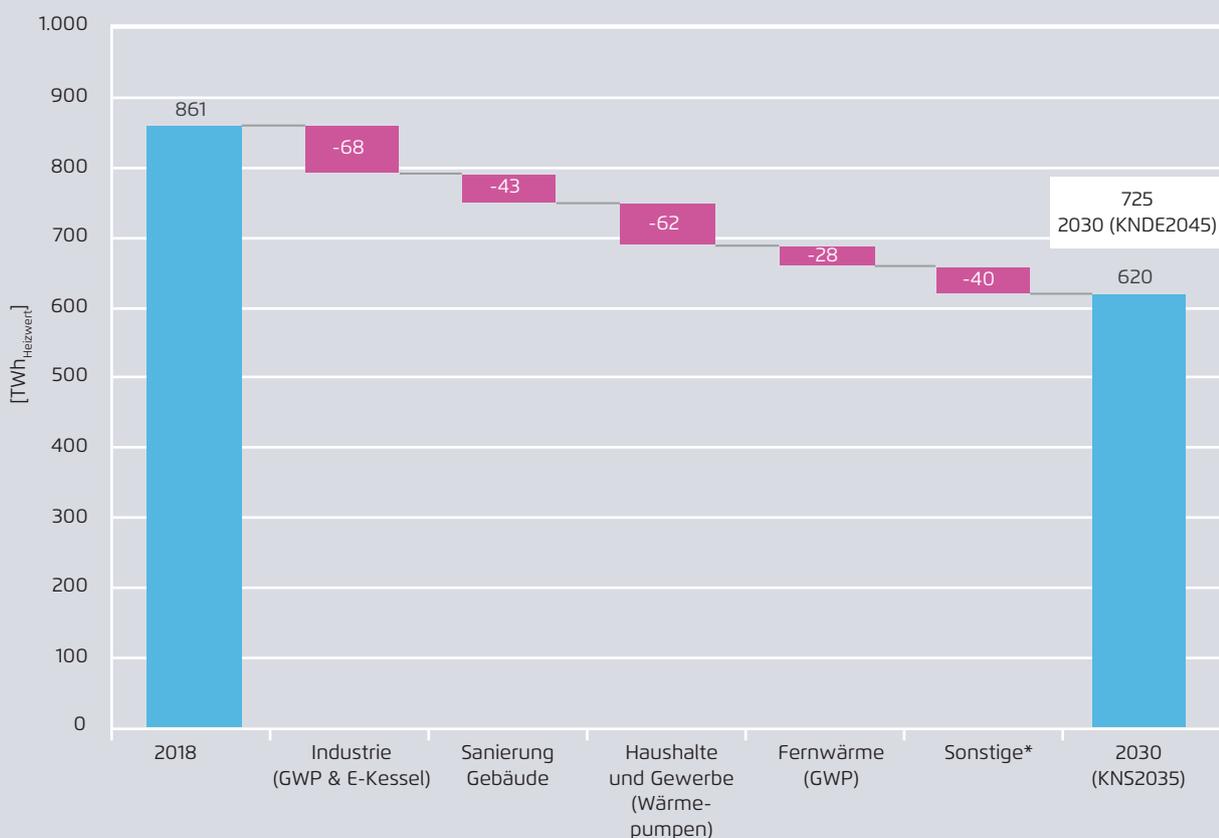
Exkurs: Zusätzliche Erdgaseinsparungen im Szenario KNS2035

Im Szenario KNS2035 führt der schnellere Ausbau Erneuerbarer Energien zu einer deutlichen Verringerung der Importabhängigkeit Deutschlands von fossilen Brennstoffen. Auf Basis der Vorgängerstudie KNDE2045 und der vereinfachten Betrachtung von Änderungen, bei denen Erdgas durch einen verstärkten Einsatz von Strom substituiert werden kann, wurde von der Prognos AG der Rückgang des Erdgasbedarfs bis zum Jahr 2030 im Szenario KNS2035 abgeschätzt (Abbildung E).

Ausgehend von einem Erdgasbedarf von 861 TWh im Jahr 2018 könnte der Bedarf auf etwa 620 TWh bis zum Jahr 2030 gesenkt werden. Die wesentlichen Stellschrauben zur mittelfristigen Einsparung von Erdgas sind Gebäudesanierungen, der Einsatz von Wärmepumpen, Ausbau der Fernwärmenetze, Effizienzsteigerungen in der Industrie sowie eine zunehmende Elektrifizierung von Prozessen, insbesondere die Bereitstellung von Prozesswärme durch Großwärmepumpen und Elektrokessel.

Hebel zur Reduktion des Gasbedarfs

Abbildung E



Prognos (2022)

GWP - Großwärmepumpe, E-Kessel - Elektrokessel

*u. a. Ausbau Solarthermie, Biomasse, Rückgang bei Querschnittsanwendungen, Kochgas usw.

4 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

4.1 Planung und Genehmigungsverfahren

Die Planung und der Ausbau von Stromnetzen und Wasserstoffinfrastruktur haben besonders lange Vorlaufzeiten. Eine integrierte Systemplanung ist daher dringend erforderlich.

Der wesentliche Unterschied zwischen dem Stromsektor im vorliegenden Szenario KNS2035 und dem in KNDE2045 enthaltenen Szenario ist eine zeitliche Verkürzung der Transformation. Da bis zum Jahr 2030 lediglich 8 Jahre beziehungsweise bis 2035 lediglich 13 Jahre verbleiben, kommt der notwendigen Vorlaufzeit für Transformationsmaßnahmen eine herausragende Bedeutung zu. Besonders im Fokus stehen daher der Stromnetzausbau und die Schaffung der notwendigen Wasserstoffinfrastruktur (Erzeugung/Importe, Basisnetz, Speicher). Damit diese konsistent und zielkonform geplant werden können, ist eine integrierte Betrachtung unerlässlich. Aktuell werden Strom- und Gasnetze aber getrennt geplant. Daher ist eine Änderung des Planungsverfahrens notwendig:

→ Ein integrierter Systementwicklungsplan für Strom-, Erdgas- und Wasserstoff wird bis Mitte 2024 ausgearbeitet. Dieser enthält die für Klimaneutralität insgesamt erforderliche Netzinfrastruktur. Der Planungsprozess berücksichtigt dabei die europäische Ebene sowie die Verteilnetzebenen.

Die Geschwindigkeit des Zubaus Erneuerbarer Energien und des Ausbaus der Strom- und Wasserstoffnetze ist der Taktgeber für den Umstieg auf ein klimaneutrales Stromsystem. Eine konsequente Beschleunigung der Planungs- und Genehmigungsverfahren wird für das erforderliche Tempo benötigt.

Das Szenario KNS2035 sieht einen sehr schnellen Hochlauf der Erneuerbaren-Energien-Kapazitäten vor und der jährliche Zubau verbleibt für rund ein Jahrzehnt auf sehr hohem Niveau. Damit die dafür notwendige Infrastruktur rechtzeitig vorhanden ist, müssen Projekte zügig geplant und umgesetzt werden. Die Rahmenbedingungen in Deutschland sind aktuell nicht für eine solche Transformation ausgelegt. Die neue Bundesregierung hat bereits eine Reihe von Maßnahmen ergriffen. So hat die Bundesregierung in ihrem Gesetzesentwurf zur Anpassung des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) unter anderem eine Neuregelung der Vorgaben zur Erstellung des Szenariorahmens durch die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) vorgeschlagen, der als Grundlage für die Erarbeitung des Netzentwicklungsplans dient. Neuer Betrachtungshorizont soll künftig das Jahr 2045 sein und die neuen Szenarien sollen sich an den klima- und energiepolitischen Zielen der Bundesregierung ausrichten. Auch die Verteilernetzbetreiber (VNB) sollen künftig zielbasiert Regionalszenarien für örtlich übergreifende Planungsregionen erstellen und auf dieser Basis eine Netzausbauplanung vorlegen. Gleichzeitig ist klar, dass weiterhin relevante Hürden bestehen beziehungsweise sich neue Herausforderungen ergeben könnten. In dieser Hinsicht gelten folgende Prioritäten:

- Der Netzausbau sollte verstärkt auch vorsorgend erfolgen können. Hierzu könnte der rechtliche Begriff der Bedarfsgerechtigkeit des Netzausbaus dahingehend geklärt werden, dass er auch temporäre Überkapazitäten und den Optionswert von Infrastruktur erfasst.
- Der zu schaffende Systementwicklungsplan gibt einen Zielszenariorahmen vor, an dem die Übertragungsnetzbetreiber ihren Netzausbau ausrichten müssen.
- Die Datengrundlage, auf der der Verteilnetzausbau erfolgt, sollte verbindlich festgelegt werden, beispielsweise indem dies auf verbindlich zu erstellende Prognosen zu den auszuschöpfenden Erneuerbare-Energien-Potenziale vor Ort basiert (Kommune, Netzgebiet).

- Die Ausweisung von 2 Prozent der Bundesfläche für Onshore-Wind erfolgt schnellstmöglich und bundesländerspezifische Mindestabstände werden abgeschafft.
- Der Artenschutz wird über verbesserten Populationsschutz gestärkt. Für die Windenergie besonders geeignete, naturschutzfachlich konfliktarme Gebiete (*Go-To-Areas*) werden nur einmalig auf Einhaltung des europäischen Arten- und Naturschutzes untersucht; aufwändige Einzelprüfungen entfallen.
- Um kurzfristig und proaktiv handeln zu können, sollte ein kontinuierliches Monitoring für die jeweilige Verfahrensdauer und Verzögerungsgründe etabliert werden.

4.2 Erzeugung

Eine massive Steigerung des Ausbaus Erneuerbarer Energien ist die Grundlage für ein klimaneutrales Stromsystem. Dies erfordert gute Investitionsbedingungen.

Der Zubau Erneuerbarer Energien im Szenario KNS2035 entspricht einer qualitativ neuen Dynamik – sowohl im Hinblick auf den jährlichen Zubau als auch für die Zahl an Jahren, in denen dieses hohe Niveau gehalten wird. Dieser kann nur gelingen, wenn Investitionen in neue Anlagen rechtzeitig, in ausreichendem Umfang und zu niedrigen Finanzierungskosten möglich sind. Gerade Finanzierungsaspekte gewinnen im Umfeld aktuell steigender Zinsen an Bedeutung.

Im Zuge einer so umfassenden Systemtransformation ist es unwahrscheinlich, dass der Strommarkt sich stets im Gleichgewicht befindet; das heißt, dass Markterlöse für Investitionen kostendeckend sind. Phasen mit niedrigen Markterlösen für neue Wind- und Solarkraftwerke dürften in den kommenden Jahren immer dann auftreten, wenn Flexibilitätsoptionen (noch) nicht in ausreichendem Umfang vorhanden sind. Aus diesem Grund ist eine langfristige Absicherung der Einnahmen für Wind- und Solarkraftwerke

weiterhin unerlässlich. Dabei verschiebt sich aber der eigentliche Zweck einer solchen Absicherung: In der Vergangenheit stand die Deckung höherer Kosten von Wind- und Solarenergie im Vordergrund. In Zukunft geht es darum, mögliche Einnahmerisiken der günstigsten Erzeugungstechnologien abzufedern. Dies erfordert:

- Einführung einer symmetrischen Marktprämie (*Contracts for Difference, CfDs*) als Weiterentwicklung des aktuellen Marktprämienmodells für Ausschreibungen von Windkraft- und Solaranlagen;
- Unterstützung des Zubaus auf Basis von langfristigen Stromlieferverträgen (PPAs) durch staatliche Absicherungsinstrumente, zum Beispiel Garantien;
- Weitere Vereinfachung der Regeln für Eigenverbrauch, Prosumer und Vor-Ort-Versorgung im Rahmen von lokalen Konzepten zur gleichzeitigen Versorgung mit erneuerbarem Strom und erneuerbarer Wärme.

Regelbare Kraftwerke decken die Nachfrage bei geringer Erzeugung aus Erneuerbaren Energien. Neue Anlagen müssen zu 100 Prozent mit Wasserstoff betrieben werden können; ihr Zubau muss sichergestellt sein.

Regelbare Kraftwerke sind in einem Stromsystem auf Basis von Erneuerbaren Energien unverzichtbar. Eingesetzt zur Deckung der Residuallast garantieren sie, dass Stromerzeugung und Nachfrage in Einklang stehen und tragen damit wesentlich zur Wahrung der Versorgungssicherheit insbesondere während längerer Phasen mit niedriger Wind- und Solarstromerzeugung bei.

Im Szenario KNS2035 fallen regelbare Kraftwerke dabei in sehr unterschiedliche Kategorien: Ein Teil der Kraftwerksflotte (circa 20 GW) läuft für durchschnittlich dreitausend Stunden pro Jahr und stellt dem Stromsystem zusätzliche Energiemengen zur Verfügung, die dann mithilfe von Speichern unter-

tätig bedarfsentsprechend verschoben werden. Eine hohe Effizienz und der frühzeitige Einsatz von Wasserstoff in diesen Kraftwerken ist für eine schnelle Klimaneutralität entscheidend.

Eine zweite Gruppe von Kraftwerken läuft nur sehr wenige Stunden pro Jahr beziehungsweise garantiert die Lastdeckung auch in extremen Wetterjahren. Es handelt sich also um eine ‚Versicherung‘ gegen seltene Extremereignisse. In diesen Kraftwerken ist die Effizienz weniger bedeutsam. Vielmehr stehen niedrige Investitions- und Fixkosten sowie eine möglichst einfache Brennstofflogistik im Vordergrund. Gerade hier ist Ammoniak aufgrund seiner besseren Speicher- und Transportierbarkeit eine CO₂-freie Alternative zu Wasserstoff. Eine detaillierte Prüfung der Einsatzmöglichkeiten von Ammoniak im Stromsektor ist daher angezeigt.

Aktuell besteht eine Vielzahl von Einzelinstrumenten, die im Ergebnis neue Investitionen in regelbare Kraftwerke auslösen. Neben dem rein marktlich getriebenen Zubau – der aktuell nicht stattfindet – sind in diesem Zusammenhang die Förderung über das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz sowie die Kapazitäts- und Netzreserve der Übertragungsnetzbetreiber relevant. Keines der Instrumente ist in seiner aktuellen Form dazu geeignet, in die Wasserstoffnutzung im deutschen Kraftwerkspark einzusteigen: Die reine technische Fähigkeit zur Nutzung von 100 Prozent Wasserstoff ist hierfür keinesfalls ausreichend. Hier sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich:

- Klärung des Investitionsrahmens für regelbare Kraftwerke und Konsolidierung der bestehenden Instrumente in ein vereinfachtes, klares System;
- Einführung eines Markthochlaufinstrumentes für den Einsatz von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten im Stromsektor, insbesondere im Bereich der Kraftwärmekopplung.

4.3 Infrastruktur

Selbst bei deutlicher Beschleunigung des Netzausbaus verbleiben strukturelle Netzengpässe im Übertragungsnetz. Die Einführung geografischer Signale im Strommarkt wird damit unumgänglich.

Das aktuelle Marktdesign in Deutschland ermöglicht keine räumliche Differenzierung des Strompreises in Abhängigkeit von aktuellem Angebot und Nachfrage. Bereits heute führt dies zu einem erheblichen *Redispatch*-Bedarf: Dabei müssen in der Regel Kraftwerke in Norddeutschland herunter- und in Süddeutschland hochgefahren werden, da Strommen gen nicht in ausreichendem Maße von Norden nach Süden transportiert werden können. Dies ist häufig das Ergebnis einer sehr hohen Einspeisung Erneuerbarer Energien im Norden. Darüber hinaus erfolgen auf Marktbasis Transit-Stromflüsse durch Deutschland, wenn zum Beispiel die Preise in nördlichen Nachbarstaaten niedriger und in südlichen Nachbarländern höher liegen als in Deutschland selbst.

Die mit diesem Vorgehen verbundenen Ineffizienzen nehmen in einem klimaneutralen Stromsystem deutlich zu: Erstens sind die Betriebskosten von Kraftwerken auf Wasserstoffbasis absehbar hoch und Wasserstoffmengen knapp. Der Einsatz solcher Kraftwerke für den *Redispatch* wird also teurer, als es aktuell der Fall ist. Zweitens lösen niedrige Preise in der Gebotszone zunehmend intensive Nachfragezuwächse durch flexible Lasten aus: So würde ein flexibler Verbraucher jenseits eines Netzengpasses einen sehr niedrigen Strompreis im Marktergebnis ‚sehen‘ und auf dieser Basis dann den Verbrauch erhöhen. Physisch müsste dieser Verbrauch aber aufgrund der Netzkapazitäten über *Redispatch*-Maßnahmen abgedeckt werden. Diese flexiblen Lasten dann aber aus Wasserstoffkraftwerken zu decken, konterkariert den eigentlichen Zweck der Nachfrageflexibilitäten. Im Ergebnis zeigen diese Überlegungen, dass das Marktpreissystem in seiner aktuellen Form nicht für ein klimaneutrales Stromsystem geeignet ist.

Es gibt eine Reihe von Möglichkeiten, wie geografische Signale im Strommarkt besser berücksichtigt werden können. Ein lange überfälliger Schritt ist eine Reform der Netzentgelte. In ihrer aktuellen Form stellen sie ein erhebliches Flexibilitätshemmnis dar (siehe unterer Abschnitt zu Flexibilität und Nachfrage). Weitergehende Reformen wie eine Teilung in mehrere Gebotszonen oder die Einführung von Knotenpreisen (*nodal pricing*) wurden in Rahmen dieser Studie nicht untersucht. Auf Basis der vorliegenden Analyse ist jedoch klar, dass die Einführung lokaler Signale auf dem Weg zu einem klimaneutralen Stromsystem unumgänglich ist:

- Die Optionen für die Einführung geografischer Signale müssen umgehend detaillierter untersucht werden.

Der Stromnetzbetrieb zu Zeiten von 100 Prozent Erzeugung aus Erneuerbaren erfordert innovative Betriebskonzepte und -technologien. Diese müssen schnell und zuverlässig umgesetzt werden.

Der Netzbetrieb in einem klimaneutralen Stromsystem erfolgt zu einem erheblichen Anteil zu Zeiten, in denen Windkraft- und Solaranlagen die Last vollständig decken können. Umgekehrt bedeutet dies, dass keine regelbaren Kraftwerke (präziser: Kraftwerke mit Synchrongeneratoren) für die Lastdeckung benötigt werden. Damit in solchen Situationen tatsächlich 100 Prozent Erneuerbare Energien praktisch möglich sind, gilt es, eine Reihe von technischen Innovationen im Netzbetrieb rechtzeitig umzusetzen. Dies erfordert neben Umstellungen der Systemdienstleistungsdefinition und -beschaffung ein breites Technologieportfolio unterschiedlichster Netzoptimierungs-, -verstärkungs- und -ausbau-technologien.

Diese Technologien und Betriebsstrategien sind bereits heute im Wesentlichen bekannt. Ihre Implementierung muss aber zuverlässig und vor allem rechtzeitig erfolgen, um unnötige Abregelung von Erneuerbaren Energien zu vermeiden und so die

Zielerreichung abzusichern. In vielen Fällen ist eine marktliche Beschaffung beziehungsweise Bewirtschaftung in diesem Bereich nicht sinnvoll, da die Kosten in Bezug auf die Gesamtsystemkosten sehr gering ausfallen und eine marktliche Organisation mit hohen Transaktionskosten verbunden wäre. Vielmehr gilt es, durch eine vorausschauende Regulierung der Übertragungsnetzbetreiber beziehungsweise technische Vorgaben auf europäischer Ebene den sicheren Systembetrieb zu garantieren. Hierzu ist erforderlich:

- Ausarbeitung und Implementierung eines *Maßnahmenpakets Systembetrieb 100 % Erneuerbare Energien*.
- Einführung eines Monitoringprozesses *Systembetrieb 100 % Erneuerbare Energien*.

4.4 Flexibilität und Nachfrage

Die aktuelle Netzentgeltstruktur ist ein gravierendes Flexibilitätshemmnis. Eine umgehende Reform der Netzentgelte ist unverzichtbar, um nötige Flexibilitätspotenziale zu heben.

Die aktuelle Struktur der Verteilnetzentgelte steht im Widerspruch zu den Anforderungen in einem klimaneutralen Stromsystem. Die Tarifstruktur differenziert nicht nach der aktuellen Situation im Stromsystem. So wird bei größeren Kunden (mit Lastgangmessung) ein möglichst stetiger Strombezug mit niedrigen Netzentgelten belohnt, die Netznutzung für einige Hundert Stunden wird hingegen mit sehr hohen Entgelten unattraktiv gemacht. Der systemdienliche Betrieb einer *Power-to-Heat*-Anlage würde aber das Gegenteil erfordern: besonders günstige Netznutzung für wenige Stunden, wenn der Einsatz das Netz entlastet. Insgesamt ist der Übergang zu zeitlich differenzierten Netzentgelten ein entscheidender Hebel, um Nachfrageflexibilitäten zu entfesseln. Eine Reform duldet keinen Aufschub mehr:

- Netzentgelte müssen so reformiert werden, dass sie eine flexible Netznutzung unterstützen: Verbrauch soll dann besonders günstig möglich sein, wenn lokal große Mengen an erneuerbarem Strom verfügbar sind beziehungsweise wenn keine (lokalen) Netzengpässe den Strombezug beeinträchtigen.
- Bestehende Ausnahmetatbestände, die einer flexiblen Netznutzung entgegenstehen (7.000-Stunden-Regel), werden abgeschafft.
- Die Bundesregierung sollte auf EU-Ebene auf stärker energiewendeorientierte Vorgaben zur Ausgestaltung der Netzentgelte in den einschlägigen EU-Rechtsakten drängen.

Die intelligente Steuerung von dezentralen Flexibilitäten ist eine tragende Säule in einem erneuerbaren Stromsystem. Ein intelligenter Verteilnetzbetrieb und ein deutlich schnellerer *Smart-Meter-Rollout* sind hierfür erforderlich.

Die Reaktion dezentraler Flexibilitäten spielt im Szenario KNS2035 eine systemrelevante Rolle. Hierzu gehört eine schnell wachsende Zahl von Elektroautos, Wärmepumpen und Heimspeichern. Aktuell ist ein flexibler Betrieb dieser Anlagen stark gehemmt. Der schleppende Einbau von *Smart Metern*

führt dazu, dass variable Stromtarife in der Praxis kaum genutzt werden und sowohl Speichereinrichtungen als auch flexible Verbrauchseinrichtungen nicht flexibel gesteuert werden können.

Dabei wird durch die aktive Steuerung dieser Verbrauchseinrichtungen sowie die stärkere Durchdringung der Verteilnetze mit Erzeugungsanlagen (zum Beispiel Solar-Aufdachanlagen) ein intelligenter Netzbetrieb unverzichtbar, um Engpässe zuverlässig zu erkennen und sicher zu bewirtschaften. Eine intelligente Steuerung der Netze senkt auch den Investitionsbedarf für Netzverstärkungen. Folgende Maßnahmen sind daher zu ergreifen:

- Über eine Anpassung der Netzregulierung werden für Verteilnetzbetreiber wirksame finanzielle Anreize gesetzt, ihr Netz mit digitalen Mess- und Steuerungseinrichtungen auszustatten, die eine ausreichende Interoperabilität zwischen Netzbetreibern und damit einen abgestimmten Netzbetrieb sicherstellen.
- Die Rahmenbedingungen für den *Smart-Meter-Rollout* werden deutlich vereinfacht und die Einbauziele für Netzbetreiber angehoben. Über die Netzregulierung werden wirksame finanzielle Anreize gesetzt, den *Smart-Meter-Rollout* prioritär voranzutreiben.
- Um den flexiblen Betrieb wichtiger dezentraler Flexibilitäten wie Elektroautos oder dezentraler Speicher beschleunigt voranzutreiben, muss es möglich werden, solche Verbraucher unter Nutzung vereinfachter Messeinrichtungen hinter dem Zähler direkt zu beliefern (*split supply*).

AGEE Stat (2022): *Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland.*
URL: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html

Agora Energiewende & AFRY Management Consulting (2021): *No-regret hydrogen: Charting early steps for H₂ infrastructure in Europe.*
URL: <https://www.agora-energiewende.de/en/publications/no-regret-hydrogen/>

EUTurbines (2021): *H₂-Readiness of Turbine Based Power Plants – A Common Definition.*
URL: <https://www.euturbines.eu/wp-content/uploads/2021/09/EUTurbines-H2-ready-Definition-September-2021-1.pdf>

Expertenrat für Klimafragen (2022): Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2021. URL: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2022/05/ERK2022_Pruefbericht-Emissionsdaten-des-Jahres-2021.pdf

FNB Gas (2022): *Wasserstoffnetz 2050.*
URL: <https://fnb-gas.de/wasserstoffnetz/>

Fraunhofer ISI et al. (2021): *Langfristszenarien.*
Wissenschaftliche Analysen zur Dekarbonisierung Deutschlands im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
URL: <https://www.langfristszenarien.de/>

Netzentwicklungsplan Strom (2022): *Netzentwicklungsplan Strom (NEP) 2035.*
URL: <https://www.netzentwicklungsplan.de/de/netzentwicklungsplaene/netzentwicklungsplan-2035-2021>

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021): *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann.*
Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende.
URL: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-2045-vollversion/>

Publikationen von Agora Energiewende

AUF DEUTSCH

**Stellungnahme zum Netzentwicklungsplan Gas 2022-2032
der Fernleitungsnetzbetreiber**

Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2022

Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2023

Volle Leistung aus der Energiekrise

Mit Zukunftsinvestitionen die fossile Inflation bekämpfen

Durchbruch für die Wärmepumpe

Praxisoptionen für eine effiziente Wärmewende im Gebäudebestand

Power-2-Heat

Erdgaseinsparung und Klimaschutz in der Industrie

Schutz in der fossilen Energiekrise

Optionen für Ausgleich und Entlastung

Klimaschutzverträge für die Industrietransformation (Stahl) – Update

Aktualisierte Analyse zur Stahlbranche

Klimaneutrales Stromsystem 2035 (Vollständige Studie)

Wie der deutsche Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann

Klimaschutzverträge für die Industrietransformation (Zement)

Analyse zur Zementbranche

12 Thesen zu Wasserstoff

**Mobilisierung der Kreislaufwirtschaft für energieintensive Materialien
(Zusammenfassung)**

Wie Europa den Übergang zu einer fossilfreien, energieeffizienten und energieunabhängigen industriellen Produktion vollziehen kann

Energiesicherheit und Klimaschutz vereinen

Maßnahmen für den Weg aus der fossilen Energiekrise

Klimaschutzverträge für die Industrietransformation (Gesamtstudie)

Kurzfristige Schritte auf dem Pfad zur Klimaneutralität der deutschen Grundstoffindustrie

Die deutsche Braunkohlenwirtschaft 2021

Historische Entwicklungen, Ressourcen, Technik, wirtschaftliche Strukturen und Umweltauswirkungen

Publikationen von Agora Energiewende

AUF ENGLISCH

How Europe can make its power market more resilient

Recommendations for a short-term reform

Argentina as a hub for green ammonia

A forward-looking development strategy for addressing the global energy and climate crises

Overview of China's Energy Transition 2022

Chapter on Oil

Transforming industry through carbon contracts (Steel)

Analysis of the German steel sector

The driving forces behind the green transition in Europe and South Korea

A comparison between the European Green Deal and the Korean Green New Deal

Overview of China's Energy Transition 2022

Chapter on Natural Gas

Coal Phase-Out in Germany

The Multi-Stakeholder Commission as a Policy Tool

Powering the Future of the Western Balkans with Renewables

Climate-neutral power system 2035 (Full study)

How the German power sector can become climate-neutral by 2035

International climate cooperation for energy-intensive industry

A (realistic) proposal

Promoting regional coal just transitions in China, Europe and beyond

Europe-China dialogues on a just coal transition in 2021

Coal Phase-Out in Germany

The Role of Coal Exit Auctions

Delivering RePowerEU

A solidarity-based proposal for financing additional green investment needs

Mobilising the circular economy for energy-intensive materials (Study)

How Europe can accelerate its transition to fossil-free, energy-efficient and independent industrial production

Alle Publikationen finden Sie auf unserer Internetseite: www.agora-energiewende.de

Über Agora Energiewende

Agora Energiewende erarbeitet wissenschaftlich fundierte und politisch umsetzbare Wege, damit die Energiewende gelingt – in Deutschland, Europa und im Rest der Welt. Die Organisation agiert unabhängig von wirtschaftlichen und parteipolitischen Interessen und ist ausschließlich dem Klimaschutz verpflichtet.



Unter diesem QR-Code steht
diese Publikation als PDF zum
Download zur Verfügung.

Agora Energiewende

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2 | 10178 Berlin

T +49 (0)30 700 14 35-000

F +49 (0)30 700 14 35-129

www.agora-energiewende.de

info@agora-energiewende.de