



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



Expertise bündeln, Politik gestalten – Energiewende jetzt!

Essenz der drei Grundsatzstudien zur Machbarkeit der Energiewende bis 2050 in
Deutschland

20. Februar 2019

Auditorium Friedrichstraße
Friedrichstraße 180
10117 Berlin

Ein Vergleich dreier Grundsatzstudien

Energiesysteme der Zukunft

Sektorkopplung: Optionen für die nächste Phase der
Energiewende

www.energiesysteme-zukunft.de/themen/sektorkopplung

Bundesverband der deutschen Industrie e. V.

Klimapfade für Deutschland

www.bdi.eu/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland

Deutsche Energie-Agentur

dena-Leitstudie Integrierte Energiewende

www.dena.de/de/integrierte-energiewende

Ansprechpartner

Geschäftsstelle „Energiesysteme der Zukunft“

Markgrafenstraße 22
10117 Berlin

Dr. Cyril Stephanos
stephanos@acatech.de

Bundesverband der Deutschen Industrie e. V.

Breite Straße 29
10178 Berlin

Dr. Carsten Rolle
c.rolle@bdi.eu

Deutsche Energie-Agentur (dena)

Chausseestraße 128a
10115 Berlin

Hannes Seidl
seidl@dena.de

Expertise bündeln, Politik gestalten – Energiewende jetzt!

Essenz der drei Grundsatzstudien zur Machbarkeit der Energiewende bis 2050 in Deutschland

Wie sieht die Energieversorgung der Zukunft aus? Wie kann Deutschland sein Energiesystem so umgestalten, dass es klimafreundlich wird, versorgungssicher bleibt, und das zu möglichst geringen Kosten? Oder kurz gesagt: Wie kann die Energiewende gelingen? Diesen Fragen haben sich die deutschen Wissenschaftsakademien in ihrer gemeinsamen Initiative „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS), der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) und die Deutsche Energie-Agentur (dena) unabhängig voneinander angenommen und ihre Ergebnisse in drei Studien veröffentlicht.

ESYS, BDI und dena haben sich mit ihren Studien an einen Tisch gesetzt und sind sich einig: Die Energiewende ist machbar – aber nur, wenn die Politik sofort entschlossen handelt. Ein „Weiter so“ führt dazu, dass Deutschland seine Klimaziele klar verfehlen wird. Die Zeit drängt: Werden wichtige Entscheidungen und Investitionen verzögert, führt das am Ende nicht nur zu deutlich höheren Kosten, sondern auch dazu, dass Gelegenheitsfenster für den notwendigen Umbau verpasst werden und Technologien und Infrastrukturen nicht rechtzeitig verfügbar sind.

Erfolgreiche Energiesystempolitik setzt klare, langfristige Rahmenbedingungen, gibt technologieoffen Anreize für klimaschonende, energieeffiziente Technologien, nutzt sektorübergreifende Instrumente, die das gesamte Energiesystem in den Blick nehmen und stärkt lokale, europäische sowie internationale Kooperationen. Die im Klimaschutzplan enthaltenen Sektorziele sind ein klares Signal, dass die Energiewende nur erfolgreich sein wird, wenn alle Sektoren zuverlässig einen ambitionierten Beitrag leisten. Die drei Studien zeigen allerdings, dass die bestmöglichen Pfade für das Jahr 2050 nicht unbedingt entlang starrer Sektorziele im Jahr 2030 verlaufen. Diesen Widerspruch offen und flexibel anzugehen ist eine der Aufgaben bei der Gestaltung des Klimaschutzgesetzes.

Für die Transformation sind umfangreiche Investitionen durch Bürgerinnen und Bürger, Unternehmen und die öffentliche Hand erforderlich. Dafür braucht es langfristige Anreize für Investitionen in klimaschonende Technologien und Rahmenbedingungen, die CO₂-Emissionen bepreisen – auch für die Sektoren außerhalb des EU-Emissionshandels.

Gleichzeitig bedarf es eines kontinuierlichen gesamtgesellschaftlichen Diskurses darüber, wie Deutschland seine Klimaziele erreichen will. Energiewende und Klimaschutz können Fortschrittsprojekte für den Industriestandort Deutschland sein. Einerseits bieten sie Chancen für Innovationen, Arbeitsplätze, Export und Lebensqualität; andererseits bedeuten sie große Veränderungen und Herausforderungen für Wirtschaft, Regionen und den Einzelnen. Ohne eine hohe Zustimmung in der Gesellschaft wird die Transformation nicht gelingen.

Jetzt ist die Politik gefragt: Zukunftsweisende Entscheidungen müssen noch in dieser Legislaturperiode gefällt werden. Damit Deutschland seine klimapolitischen Zusagen erfüllen, seine Glaubwürdigkeit erhalten und seine Potenziale erschließen kann, sind mehr Mut und hohe Verbindlichkeit unabdingbar.

Zentrale Handlungsfelder für eine erfolgreiche Energiewende

Kernergebnisse aus dem Vergleich der drei Studien sind in sieben Punkten zusammengefasst:

1. Erneuerbare Energien schneller ausbauen
2. Versorgung sichern: Verbrauch flexibilisieren, regelbare Kraftwerke bereitstellen
3. Markt und Technologien für erneuerbare synthetische Energieträger aufbauen
4. Auf neuen Technologiemix im Verkehr umstellen
5. Gebäude stärker und schneller energetisch sanieren
6. Industrieemissionen vermeiden – mit Effizienz, erneuerbaren Energien und neuen Verfahren
7. Ganzheitliche Steuerung der Energiewende, um Investitionen zu ermöglichen

Übersicht zu den Grundsatzstudien

Studie	ESYS Sektorkopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende	BDI Klimapfade für Deutschland	dena Leitstudie Integrierte Energiewende
Projekt	Zeitraum: 06/2015 – 11/2017 Beteiligte: ca. 20 AG-Mitglieder, ca. 10 weitere Autoren zu Einzelthemen AG-Leitung: Prof. Dr. E. Umbach (acatech), Prof. Dr. H.M. Henning (Fraunhofer ISE) Geltungsbereich: Deutschland	Zeitraum: 01/2017- 01/2018 Partner: 70 Studienpartner Gutachter: Boston Consulting Group und Prognos AG Geltungsbereich: Deutschland	Zeitraum: 01/2017- 06/2018 Partner: 60 Studienpartner aus Wirtschaft und Wissenschaft Gutachter: ewi Energy Research & Scenarios gGmbH Geltungsbereich: Deutschland
Inhalte & Ziel	Handlungsoptionen für eine klimaschonende Energieversorgung im Jahr 2050, die die langfristigen Klimaschutzziele erfüllt. Wichtige Schritte dafür waren: Quantitative und qualitative Bewertung der technischen Optionen Herausarbeiten von technischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Hemmnissen und Herausforderungen Aufzeigen wichtiger Systemparameter und Zusammenhänge mittels eigener Modellrechnungen Daraus ergeben sich mögliche Entwicklungspfade, Schlüsseltechnologien und Systemkosten Ableiten von zentralen Handlungsfeldern und politischen Handlungsmöglichkeiten	Identifizierung der Erfüllungslücke zu den Klimazielen der Bundesregierung. Modellierung volkswirtschaftlich kosten-effizienter Klimapfade für Deutschland bis 2050 bei detaillierter Betrachtung der fünf Sektoren Industrie, Verkehr, Haushalte/Gewerbe, Energie/Umwandlung, Land-/Abfallwirtschaft. Klimapfade zur Erreichung der Klimaziele der Bundesregierung identifizieren. Politische Handlungsfelder identifizieren. Beschreibung von notwendigen Mehrinvestitionen und -kosten zur Erreichung der Klimaziele. Diskussion von Maßnahmen ohne technologische/wirtschaftliche Reife (heute), aber mit signifikanten Klimaschutzbeiträgen, wenn Reife erreicht („Game Changer“). Chancen-Betrachtung: wachsende Märkte/ Klimaschutztechnologien; Erhöhung deutscher Exportchancen	Lösungen und Rahmenbedingungen für ein optimiertes, nachhaltiges Energiesystem bis 2050 zu identifizieren und realistische Gestaltungsmöglichkeiten in vier Sektoren mit zahlreichen Unterbranchen zu analysieren. Wissen und Anforderungen für eine erfolgreiche Gestaltung der zweiten Phase der Energiewende verfügbar machen. Transformationspfade für den Umbau des Energiesystems und zur Erreichung der Klimaziele identifizieren. Praxistaugliche Hinweise und Handlungsempfehlungen herausarbeiten. Orientierungsrahmen für Investitionen und die Entwicklung zukunftsfähiger Geschäftsmodelle in einem integrierten Energiesystem. Beschreibung der Investitionsentwicklung und Kosten für eine integrierte Energiewende. Betrachtung volkswirtschaftlicher Kosten und die Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft und die Versorgungssicherheit.
Methodik	Drei Ansätze: 1) Expertendiskussionen, 2) Vergleich relevanter Szenarien 3) Modellrechnungen (Modell: REMod-D; Berechnung kostenoptimierte Entwicklungspfade mit stundenscharfer Auflösung) 7 Rechenläufe: 60_offen, 75_offen, 85_offen, 90_offen; 85_H2 (Fokus: Wasserstoff), 85_PtG (Fokus: Power-to-Gas), 85_aktiv (u.a. starke Einsparmaßnahmen).	Szenario- und Referenzanalyse auf Basis Bottom-up-Prozess. Maßnahmen nach volkswirtschaftlichen Vermeidungskosten priorisiert. Prognos Energiesystem- und Strommarktmodelle. Szenarien: Referenz (R), Nationale Alleingänge (N80, N95, hohes Ambitionsniveau in Kerneuropa und Südkorea) und Globaler Klimaschutz (G80, G95, hohes Ambitionsniveau in allen Industrie- und Schwellenländern) Energie-/CO2-Preise exogen, angelehnt an WEO/IEA	Volkswirtschaftliche Szenario- und Referenzanalyse auf Basis eines Bottom-Up-Prozesses. Szenarioanalyse statt Optimierungsanalyse. ER&S-Energiemarktmodell DIMENSION+ Modellierte Klimaszenarien: Referenz (RF) - Elektrifizierung (EL) und TechnologiemiX (TM), jeweils mit 80- oder 95-Prozent-Klimaziel im Vergleich zum Basisjahr 1990.

Studie	ESYS Sektorkopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende	BDI Klimapfade für Deutschland	dena Leitstudie Integrierte Energiewende
Zentrale Ergebnisse	Ein „Weiter so“ wird dazu führen, dass Deutschland seine Klimaziele klar verfehlen wird. Strom wird zum wichtigsten Energieträger. Dafür müssen PV- und Windanlagen auf etwa die 5- bis 7-fache Kapazität von heute ausgebaut werden. Bioenergie wird eine entscheidende Rolle spielen, aber nicht mehr zur Stromerzeugung eingesetzt. Gas und Wasserstoff werden aufgrund ihrer vielseitigen Einsatzmöglichkeiten wichtig. Synthetische Brenn- und Kraftstoffe werden zu einem Pfeiler des Energiesystems. Der Umbau des Energiesystems führt zu systemischen Mehrkosten von ca. 2% des BIP. Dafür ist eine gesellschaftl. Einigung notwendig. Wichtigstes Steuerungsinstrument ist ein sektorenübergreifender CO₂-Preis. Gleichzeitig bedarf es einer Reform des Systems an Umlagen, Abgaben, Steuern.	80% THG-Reduktion technisch möglich und in den betrachteten Szenarien volkswirtschaftlich verkraftbar. 95% THG-Reduktion stößt aus heutiger Sicht an Grenzen technischer Machbarkeit und gesellschaftlicher Akzeptanz und ist nur bei vergleichbarer globaler Ambition zu erreichen. Nur mit CCS, e-fuels-Importen. Gesamtgesellschaftlicher Kraftakt: kosten-effiziente Erreichung der Klimapfade braucht in Summe Mehrinvestitionen von 1,5 bis 2,3 Billionen Euro bis 2050. 4/5 der Maßnahmen rechnen sich betriebswirtschaftlich nicht. Unsicherheit bei Lernkurven macht intensives Monitoring und ggf. Pfadkorrekturen erforderlich. Zentrale politische Weichenstellungen (Infrastrukturen!) „bald“ erforderlich.	Ohne substanzielle, zusätzliche Maßnahmen für den Klimaschutz wird Deutschland seine nationalen Klimaziele verfehlen. Zielkorridor von 80 bis 95% weniger THG-Emissionen im Vergleich zu 1990 ist mit verschiedenen Szenarien erreichbar. Bei einer 95 % THG-Reduktion bis 2050 dürfen Sektoren (Gebäude, Verkehr und Energie) in 2050 keine THG mehr emittieren. Die Klimaziele können mit einer Elektrifizierung, als auch mit einem breiten Mix an Energieträgern erreicht werden. Technologieoffene Pfade sind robuster und kostengünstiger. Starke Steigerung der Energieeffizienz und des Ausbaus erneuerbarer Energien nötig. Synthetische Kraft- und Brennstoffe ergänzen Elektrifizierung.

Szenarien aus den Studien, auf die im Studienvergleich verwiesen wird		
ESYS	85% THG-Reduktion	90% THG-Reduktion
	85_offen: 85% THG-Reduktion im Energiebereich bis 2050; keine gesonderten Technologievorgaben 85_aktiv: 85% THG-Reduktion im Energiebereich bis 2050; zusätzliche Energieeinspar- und Effizienzmaßnahmen im Industriesektor und beim Stromverbrauch, doppelte Kapazität der Grenzkuppelstellen, früherer Kohleausstieg	90_offen: 90% THG-Reduktion im Energiebereich bis 2050; keine gesonderten Technologievorgaben
BDI	80% THG-Reduktion	95% THG-Reduktion
	BDI-80: Zielt auf eine 80% Reduktion von THG bis 2050 im Vergleich zu 1990 ab. Der Pfad ist volkswirtschaftlich optimiert und die Technologieauswahl orientiert sich an einer Merit-Order von THG-Vermeidungspotential und Vermeidungskosten. Zentrale Hebel sind die effiziente Wärmeerzeugung in der Industrie durch feste Biomasse und im Gebäudesektor durch Wärmepumpen. Im 80% Klimapfade bestehen große Effizienzpotentiale in allen Sektoren.	BDI-95: Zielt auf eine 95% Reduktion von THG bis 2050 im Vergleich zu 1990 ab. Der Pfad ist volkswirtschaftlich optimiert und die Technologieauswahl orientiert sich an einer Merit-Order von THG-Vermeidungspotential und Vermeidungskosten. Denkbar ist ein solcher Pfad nur bei weltweit vergleichbar hohen Ambitionen, mindestens der G20 Staaten. Nachdem Effizienzpotentiale weitgehend ausgeschöpft sind kommen synthetische Energieträger und CCS zur Vermeidung von Prozessemissionen zum Einsatz.
dena	80% THG-Reduktion	95% THG-Reduktion
	EL80: Das Elektrifizierungsszenario geht von der Steigerung der Energieeffizienz und einer breiten Elektrifizierung in allen Sektoren aus. Synthetisch erzeugte Energieträger werden berücksichtigt, wenn erforderlich. 80% THG-Reduktion im Vergleich zu 1990. TM80: Das Technologiemixszenario nimmt eine Steigerung der Energieeffizienz an, lässt jedoch eine breitere Variation von Technologien und Energieträgern zu. 80% THG-Reduktion im Vergleich zu 1990.	EL95: Das Elektrifizierungsszenario geht von der Steigerung der Energieeffizienz und einer breiten Elektrifizierung in allen Sektoren aus. Synthetisch erzeugte Energieträger werden berücksichtigt, wenn erforderlich. 95% THG-Reduktion im Vergleich zu 1990. TM95: Das Technologiemixszenario legt ebenfalls die Steigerung der Energieeffizienz zu Grunde, lässt jedoch eine breitere Variation von Technologien und Energieträgern zu. 95% THG-Reduktion im Vergleich zu 1990.

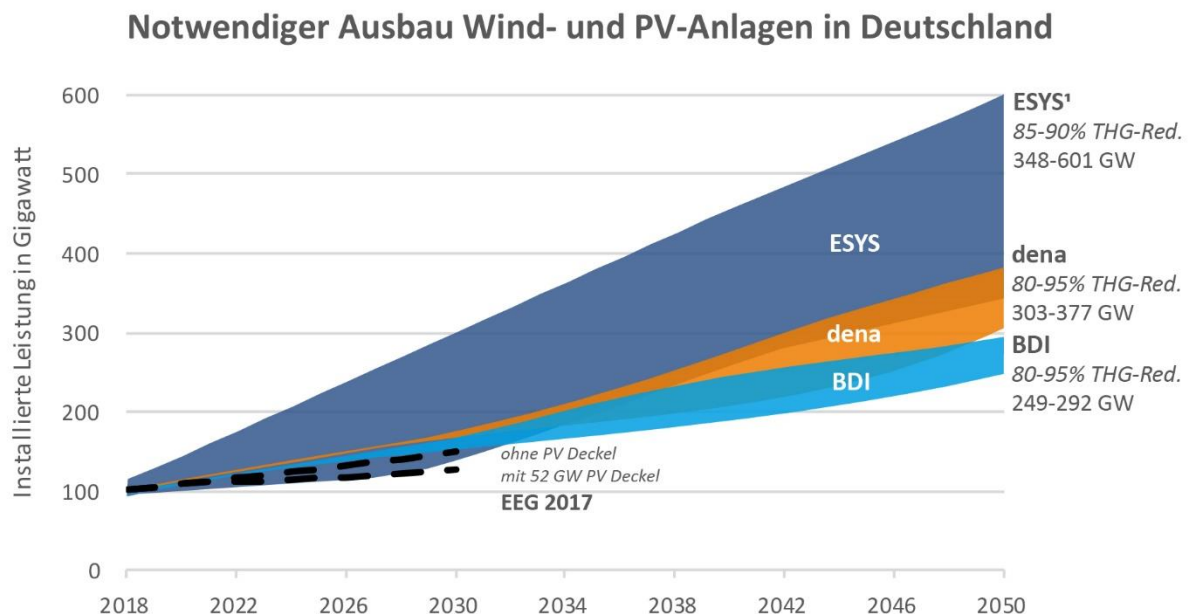
1 Erneuerbare Energien schneller ausbauen

Für eine weitgehend emissionsfreie Energieversorgung bis 2050 müssen die erneuerbaren Energien, insbesondere Wind und Photovoltaik (PV), deutlich stärker als geplant ausgebaut werden. Denn Strom – das zeigen die drei Studien klar – wird zum wichtigsten Energieträger der Zukunft in allen Verbrauchssektoren. Die im Erneuerbaren Energie Gesetz (EEG) vorgesehenen Nettozubauraten von rund 4 GW und die zur Verfügung stehenden Flächen reichen nicht aus. Auch die beschlossenen Sonderausschreibungen werden die Lücke nicht schließen.

Bis 2050 braucht Deutschland Wind- und Photovoltaikkapazitäten von mindestens 250 und bis zu 600 GW (2018: knapp 105 GW). In den Studien variiert der Bedarf je nach Annahmen zu Energieimporten, der Intensität der Sektorkopplung (bspw. Verbreitung von Wärmepumpen und E-Mobilität), der Steigerung der Energieeffizienz sowie Technologieentwicklungen (z.B. Volllaststunden von Windenergieanlagen).

Schlussfolgerungen:

- **Ausbau von Wind- und PV-Anlagen verstärken:** Der Gesetzgeber muss den gesetzlichen Ausbaukorridor auf mindestens netto 6 GW pro Jahr (d.h. +50 Prozent gegenüber EEG 2017) erhöhen.
- **Flächen bereitstellen:** Es ist eine gemeinsame Strategie von Bund und Ländern erforderlich, die
 - für ausreichende Flächenpotenziale durch die Ausweisung von Vorranggebieten sorgt,
 - Abstandsregelungen an den Bedarf anpasst (ggf. über bundesweite Regelungen) und
 - für Akzeptanz in der Bevölkerung wirbt.
- **Netzausbau intensiv vorantreiben:** Es gilt in enger Zusammenarbeit von Netzbetreibern, Genehmigungsbehörden und Politik den Ausbau zu beschleunigen sowie die Auslastung der Stromnetze durch intelligente Steuerungsmöglichkeiten und systemische Ansätze (z.B. räumliche Allokation erneuerbarer Energien, integrierte Gas- und Stromnetzplanung) zu optimieren, sodass die erneuerbaren Energien bestmöglich integriert werden können.



¹Die THG-Reduktion bezieht sich in der ESYS-Studie nur auf das Energiesystem, inkl. Szenario 85_aktiv.

Zu den Unterschieden

- Bei den Studien von BDI und dena wurden Importe von synthetischen erneuerbaren Energieträgern angenommen. In der ESYS-Studie wurden **Importe** von synthetischen Brenn- und Kraftstoffen ausgeschlossen. Um synthetische erneuerbare Energieträger in Deutschland herzustellen sind daher in dieser Studie große Leistungen von Wind- und PV-Anlagen notwendig.

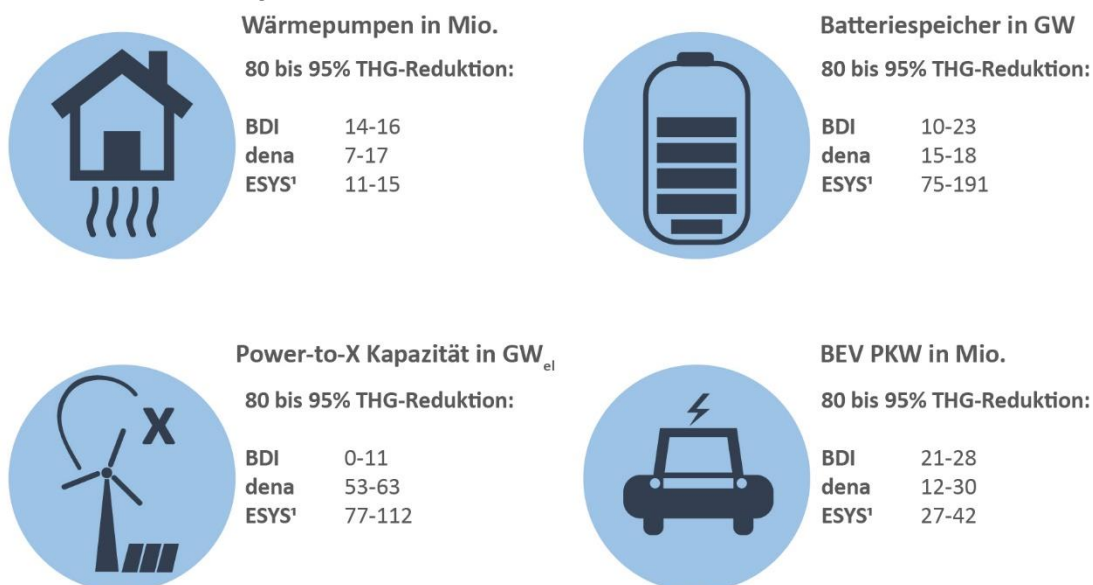
2 Versorgung sichern: Verbrauch flexibilisieren, regelbare Kraftwerke bereitstellen

Erneuerbare Energien aus Wind und PV können wetterbedingt nicht zu jeder Zeit entsprechend dem Bedarf ausreichend Strom produzieren. Die drei Studien zeigen, dass für eine effiziente und versorgungssichere Stromversorgung zum einen **vielfältige Technologien für kurzfristige Flexibilität** und zum anderen **regelbare Kraftwerke für ausreichend gesicherte Leistung** notwendig sind.

Kurzfristige Flexibilität

Für eine weitreichende Integration erneuerbaren Stroms und einen effizienten Strommarkt sind zum Ausgleich kurzfristiger und lokaler Schwankungen verschiedene Flexibilitätsoptionen notwendig: **stationäre elektrische Speicher (Batterien)** ergänzend zu den in Deutschland vorhandenen Pumpspeicherkraftwerken und eine kontinuierliche Ausweitung des **Demand Side Management** bei privaten und industriellen Verbrauchern. Gerade bei **neuen elektrischen Verbrauchern wie Wärmepumpen und Elektrofahrzeugen** gilt es von Anfang an durch eine intelligente Ansteuerbarkeit einen möglichst flexiblen Lastbezug zu ermöglichen. **Zentrale (in Wärmenetzen) und dezentrale (in Gebäuden) thermische Speicher sowie Power-to-X-Anlagen** können zudem Strom aus erneuerbaren Energien bei Erzeugungsspitzen aufnehmen und Energie zu einem späteren Zeitpunkt verfügbar machen.

Elektrische Speicher und flexible Lasten 2050 in Deutschland



¹In der ESYS-Studie: 85-90% THG-Reduktion im Energiesystem.

Zu den Unterschieden

- Die Menge an elektrischen Speichern hängt in den Szenarien maßgeblich von den installierten Kapazitäten fluktuierender Erneuerbarer sowie dem Einsatz von synthetischen Brenn- und Kraftstoffen ab.
- Die Kapazitäten bei Power-to-X Anlagen in Deutschland sind in der ESYS-Studie im Vergleich höher, da Importe synthetischer Energieträger ausgeschlossen wurden. Die weiteren Unterschiede erklären sich durch unterschiedliche Annahmen (z.B. Kosten, Wirkungsgrade, Nachfrageentwicklung nach grünem Wasserstoff).

Versorgungssicherheit

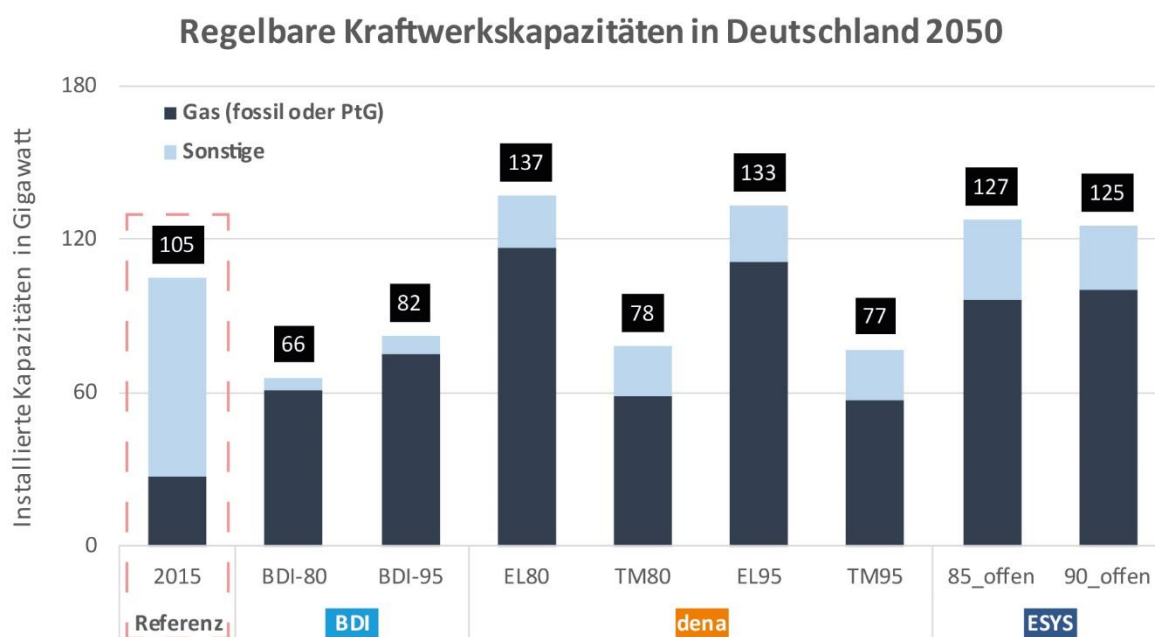
Kurzfristige Flexibilität hilft, die Jahreshöchstlast im Stromnetz zu dämpfen. Um die Versorgungssicherheit in längeren Zeiträumen ohne ausreichend Windaufkommen und Sonneneinstrahlung zu gewährleisten, sind bis 2050 weiterhin **regelbare Kraftwerke** mit einer Leistung **zwischen 60 bis 130 GW** notwendig (2018: regelbarer Kraftwerkspark rund 100 GW). Die hohen Kapazitäten sind auch deshalb notwendig, da in allen Szenarios von einer starken Elektrifizierung im Verkehrs- und Wärmesektor ausgegangen wird. Besondere Bedeutung hat daher, dass die sichere Versorgung mit Strom perspektivisch auch die Voraussetzung für eine sichere Wärmeversorgung ist.

Die Integration in das europäische Energiesystem spielt für die benötigte Kraftwerksleistung eine wichtige Rolle: Kann in den Szenarien mehr Strom aus europäischen Nachbarländern importiert werden, sinkt der Bedarf an Reservekapazitäten in Deutschland in begrenztem Maße.

Als regelbare Kapazitäten kommen vor allem **flexible Gaskraftwerke und Gasturbinen** zum Einsatz, die zunächst mit Erdgas und perspektivisch mit synthetischem Gas betrieben werden. Bis 2030 braucht es voraussichtlich eine Verdopplung der heutigen Gaskraftwerkskapazitäten, um die Versorgungssicherheit gewährleisten zu können. Gleichzeitig werden regelbare Kraftwerke nur mit sehr geringer Auslastung betrieben werden.

Schlussfolgerungen:

- Noch in dieser Legislatur sollte die Bundesregierung das **heutige System an Entgelten, Steuern, Abgaben und Umlagen grundsätzlich reformieren**. Das ist die Voraussetzung für eine optimierte Kopplung der Sektoren und einen Einsatz von Flexibilität für die verschiedenen Anwendungsfälle im Markt und im Netz.
- **Europäischen Strommarkt intensivieren**: In enger Abstimmung mit den Nachbarländern und der Europäischen Union sollte der Strombinnenmarkt kontinuierlich weiterentwickelt und die Transportkapazitäten im Verbundnetz ausgebaut werden. Damit können Schwankungen bei Stromangebot und -nachfrage besser ausgeglichen und gesicherte Leistung gemeinsam genutzt werden.
- Die Bundesregierung sollte in den folgenden Jahren die Entwicklung der Versorgungssicherheit in Deutschland eng beobachten (Monitoring) und mittelfristig die **Refinanzierbarkeit von regelbaren Kraftwerken mit niedrigen Betriebsstunden** am Strommarkt bzw. Weiterentwicklungsbedarf bei den Reservemechanismen prüfen.



Zu den Unterschieden

- Die benötigte Leistung an regelbaren Kraftwerken hängt mit dem Grad an Elektrifizierung und der damit verbundenen Entwicklung der Jahreshöchstlast zusammen, den angenommenen Ausgleichseffekten im europäischen Verbundnetz und durch den Einsatz von Flexibilität sowie Annahmen und Methoden zur Ermittlung des Niveaus an Versorgungssicherheit (z.B. Dunkelflaute).

3 Markt und Technologien für erneuerbare synthetische Energieträger aufbauen

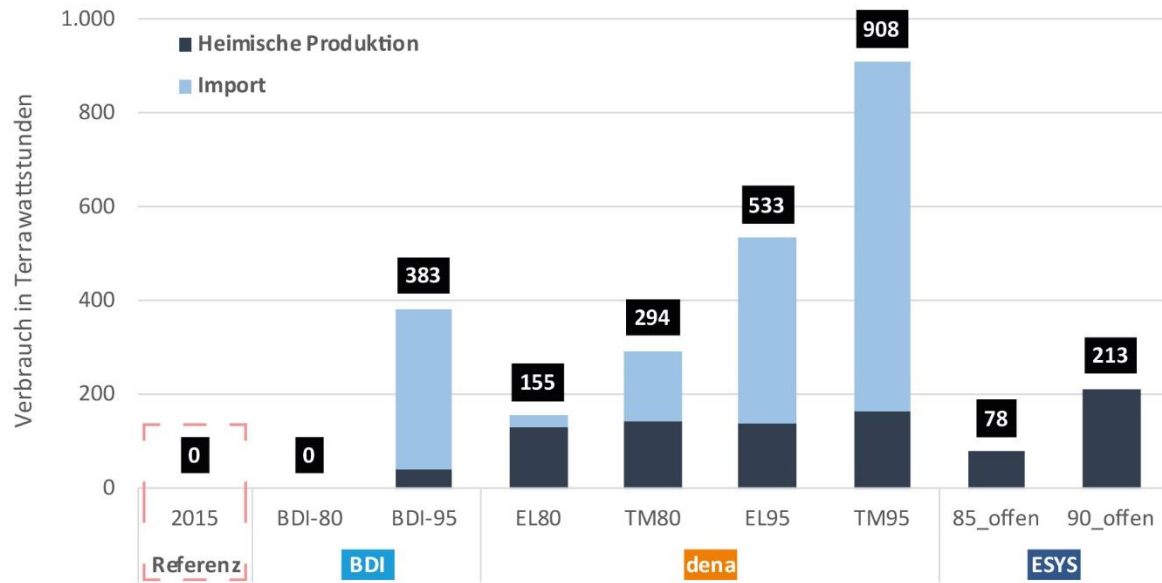
Erneuerbare synthetische Energieträger sind notwendig, um die Klimaziele zu erreichen. **Bei den ambitionierten Zielen decken sie im Jahr 2050 je nach Studie einen Bedarf von rund 200 bis 900 Terawattstunden** (2017: Primärenergieverbrauch von rund 3.800 Terrawattstunden). Mit steigendem Ambitionsniveau schließen sie die Lücke, die nicht durch Energieeffizienz oder die direkte Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien in Deutschland abgedeckt werden kann. Gebraucht werden sie unter anderem als Kraftstoff im Verkehrssektor, als Grundstoff in der chemischen Industrie und als speicherbarer Energieträger für die gesicherte Erzeugungsleistung im Stromsystem.

Erneuerbare synthetische Energieträger können in Deutschland hergestellt oder aus Ländern mit besseren Standortbedingungen importiert werden. Durch den Import kann der Bedarf für den Ausbau von erneuerbaren Energien für die Produktion von synthetischen Energieträgern in Deutschland begrenzt werden. Derzeit ist noch nicht vollständig absehbar, wie sich international Angebot und Nachfrage synthetischer Energieträger entwickeln werden. Klar ist in jedem Fall: Synthetische Energieträger und Power-to-X-Technologien werden für eine erfolgreiche Energiewende notwendig sein. Daher ist es jetzt besonders wichtig in den engen Austausch mit anderen Ländern zu treten, um die Entwicklung eines globalen Markts mit ersten internationalen Projekten anzustoßen und Forschung und Entwicklung weiter voranzutreiben.

Schlussfolgerungen:

- Politik sollte gemeinsam mit Energiewirtschaft und Wissenschaft die **Forschung und Entwicklung von Power-to-X-Technologien** vorantreiben. Ziele sind eine deutliche Kostendegression und bessere Systemintegration sowie die Optimierung von verschiedenen Erzeugungs-, Transport- und Nutzungspfaden.
- Die Bundesregierung benötigt eine gezielte **europäisch abgestimmte Markteinführungsstrategie**, um die Technologien kontinuierlich zur Marktreife heranzuführen und Know-how in Deutschland zu sichern.
- Parallel sollte die Bundesregierung auf internationaler Ebene (z.B. G20, Energiepartnerschaften) für internationale Pilotprojekte werben, um die Chancen durch einen **globalen Handel mit synthetischen Energieträgern** zu befördern.

Nutzung synthetischer Energieträger in Deutschland 2050



Zu den Unterschieden

- Die große Spannweite der synthetischen Energieträger resultiert aus den unterschiedlichen Annahmen u.a. zu Kosten für Importe sowie für die Kosten und Transformationsgeschwindigkeiten/-aufwände in den Nachfragesektoren.
- In der ESYS-Studie wurde der Import synthetischer Energieträger ausgeschlossen.

4 Auf neuen Technologiemix im Verkehr umstellen

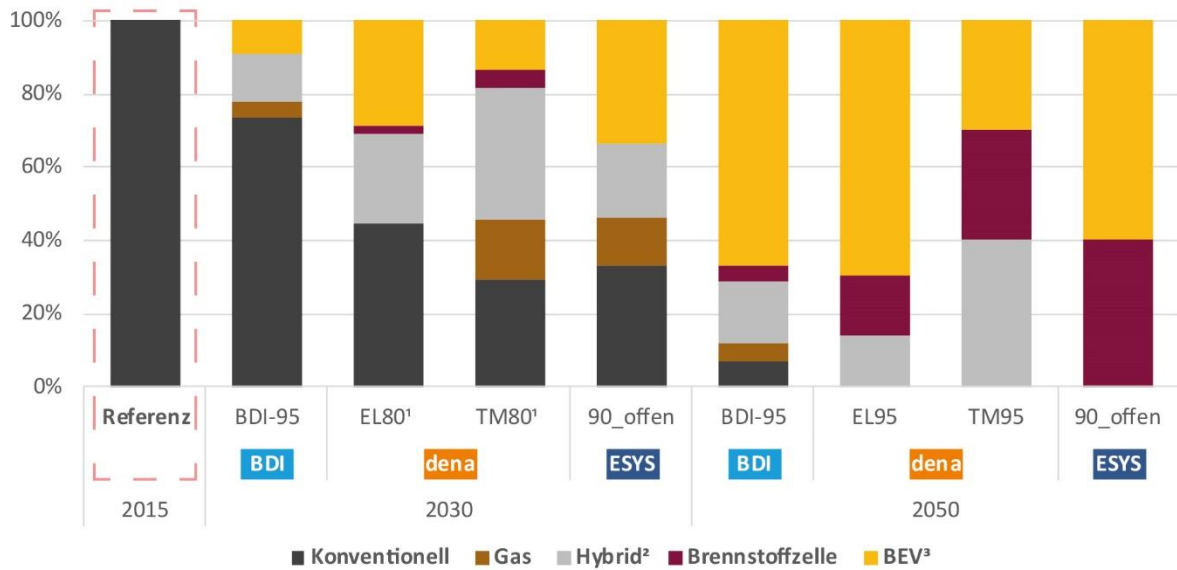
Im Verkehrssektor sind die THG-Emissionen in den letzten Jahren über das Niveau von 1990 gestiegen. Die Verbesserung der Energieeffizienz und der geringe Einsatz von erneuerbaren Energien im Verkehr reichte bisher nicht aus, um die wachsende Verkehrsleistung zu kompensieren. Hinzu kommt: Im Güterverkehr ist bei allen Verkehrsträgern auch langfristig mit einer wachsenden Nachfrage zu rechnen.

Eine Technologie allein wird nicht ausreichen, um die Herausforderungen zu bewältigen. Alle drei Studien zeigen: **Im Verkehr braucht es einen differenzierten Technologiemix.** Im Pkw-Bereich sind elektrische Antriebe die wichtigste Säule zur Zielerreichung. In allen drei Studien decken Hybrid- und batterieelektrische Fahrzeuge bis 2050 mehr als die Hälfte der Fahrzeugflotten ab. Darüber hinaus werden Biokraftstoffe und strombasierte, erneuerbare Kraftstoffe einen Teil der Lösung darstellen. Im Schwerlastverkehr ist der Ausgang des Technologierennens um die besten Lösungen (u.a. Wasserstoff, synthetische Kraftstoffe, Oberleitungs-Hybrid-Lkw, batterieelektrische Lkw) heute noch offen. Für den Schwerlastverkehr wie für den Schiffs- und Flugverkehr sind dringend Absprachen mit anderen Ländern notwendig, um zeitnah ambitionierte internationale Politiken zu implementieren, die mit den langfristigen Klimazielen vereinbar sind.

Schlussfolgerungen:

- **Instrumente** sollten technologieoffen elektrisch, gasförmig und mit CO₂-neutralen Kraftstoffen betriebene Antriebe gleichermaßen im Blick halten. Das sichert ein breites und daher besser akzeptiertes Fahrzeugangebot für alle Mobilitätsbedürfnisse und einen effizienten Transformationsprozess ohne Brüche. Dabei muss sichergestellt werden, dass stark betroffene Gruppen (Pendler, finanziell schwache Bevölkerungsgruppen) nicht unverhältnismäßig belastet werden.
- **Elektromobilität im Pkw-Bereich systematisch ermöglichen:** Beschleunigung des Ausbaus der privaten und öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur und Förderung, Umstellen von Flotten in öffentlicher Hand.
- **Europäische Absprachen für den Langstreckenverkehr:** Den strategischen Dialog mit den EU-Mitgliedsstaaten intensivieren, um bis Mitte der 2020er Jahre international abgestimmte politische Entscheidungen für die Umsetzung von langfristigen Infrastrukturprojekten für den Langstrecken-Personen- und Schwerlastverkehr zu erreichen.
- **Internationale Kooperationen für Flug- und Schiffsverkehr:** Da der Großteil des Luft- und Schiffsverkehrs in international regulierten Regionen stattfindet, müssen dort umgehend wirksame Mechanismen implementiert werden, die die Nachfrage nach nachhaltigen, erneuerbaren Kraftstoffen schnell forcieren.

Anteil der Antriebsarten bei Pkws bis 2050

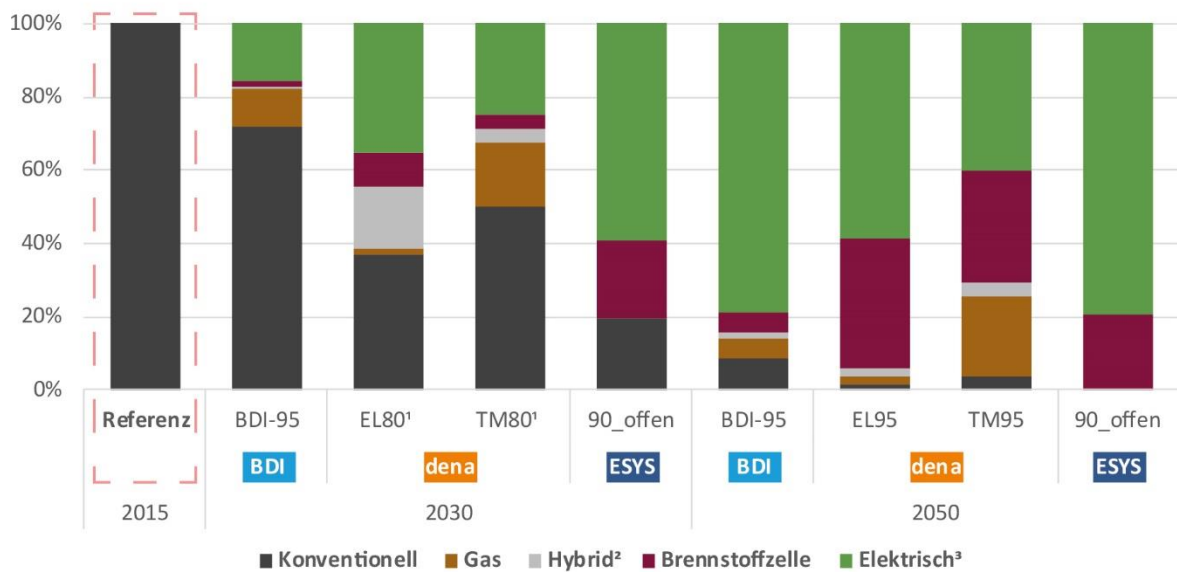


¹Die dena-Studie unterscheidet bis 2030 nicht zwischen 80% und 95% Pfad.

²Plug-in-Hybride (konventionell und Gas).

³Batterieelektrische Fahrzeuge.

Anteil der Antriebsarten bei Lkws & leichten Nutzfahrzeugen bis 2050



¹Die dena-Studie unterscheidet bis 2030 nicht zwischen 80% und 95% Pfad.

²Plug-in-Hybride (konventionell und Gas).

³Batterieelektrisch und Oberleitung.

5 Gebäude stärker und schneller energetisch sanieren

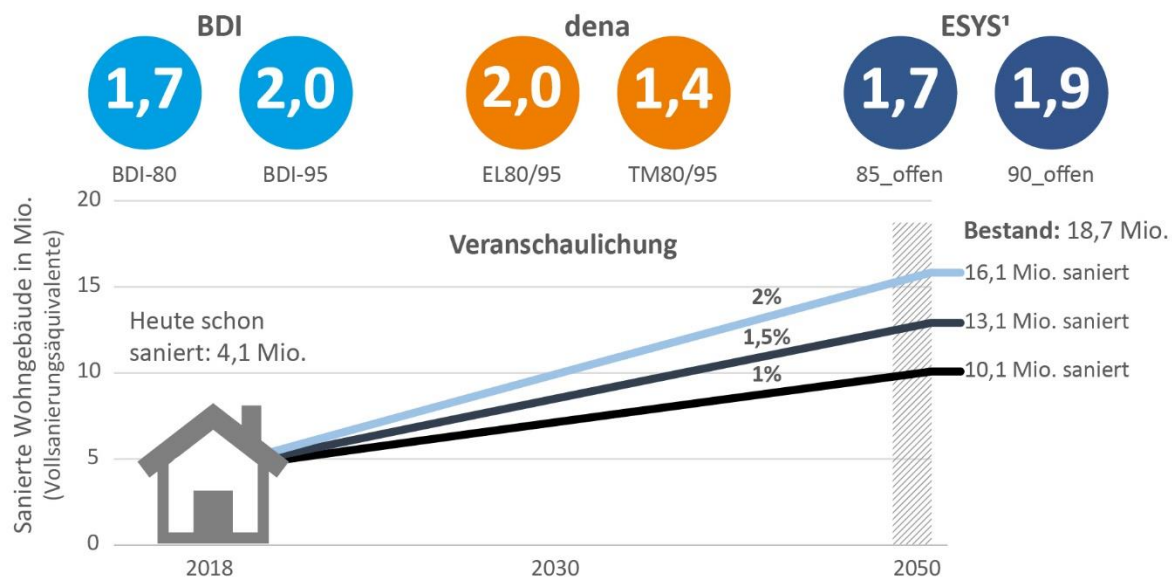
Zum Erreichen der Klimaziele muss die energetische Gebäudesanierung deutlich beschleunigt werden. Bei einer Sanierungsrate von heute rund 1 Prozent werden 2050 unter anderem rund 8 Millionen Wohngebäude unsaniert oder gering saniert bleiben. Soll die Energiewende gelingen, muss der Gebäudebestand bis 2050 weitreichend saniert werden. Die Studien zeigen, dass **die Sanierungsrate auf 1,4-2,0 Prozent erhöht werden muss**. Investitionen in die Effizienz der Gebäudehülle und Anlagentechnik müssen dabei Hand in Hand mit einer Defossilisierung der Energieträger und starken Nutzung von Erneuerbaren Energien. Elektrische Wärmepumpen und Wärmespeicher werden deutlich an Bedeutung gewinnen. Wichtig ist eine gute Abstimmung der Maßnahmen aufeinander. So ist der Einsatz von Wärmepumpen besonders dann sinnvoll, wenn gleichzeitig die Gebäudeeffizienz erhöht wird.

In Ballungsgebieten haben **Wärmenetze**, in Verbindung mit zentralen **Wärmespeichern**, das Potenzial, die Kosten der klimafreundlichen Wärmeversorgung zu senken.

Schlussfolgerungen:

- Die Investitionen in den energieeffizienten Gebäudebestand müssen durch wirksame Förderimpulse unverzüglich gesteigert werden. Dafür sollte der Staat die Gebäudesanierung steuerlich fördern und die Förderhöhe, Wirksamkeit sowie das Zusammenwirken mit anderen Maßnahmen wie einem CO₂-Preis regelmäßig überprüfen.
- **Angemessenes Niveau für die Sanierungsstandards anstreben:** Bestandsgebäude, die nach nicht ausreichenden energetischen Standards saniert werden, müssen bis 2050 ein weiteres Mal saniert werden. Das führt zu immensen Mehrkosten.
- Kommunale Entscheider sollten den **Ausbau von Wärmenetze und Wärmespeicher** in urbanen Ballungsgebieten über das heutige Niveau hinaus prüfen. Bei der weiteren Gestaltung von Rahmen- und Förderbedingungen durch den Gesetzgeber gilt es **Quartierskonzepte** zu berücksichtigen.
- Parallel sollten Bund, Länder und Kommunen **Informationsangebote und unterstützende Marktinstrumente** (z.B. Anreizsystem für individuelle Sanierungsfahrpläne) verstärken, Fördermechanismen verschlanken und gemeinsam mit den Bildungsträgern die **Qualifizierung von Planern, Beratern und Handwerkern** verbessern.

Notwendige Sanierungsrate für Wohngebäude bis 2050



¹Die Sanierungsraten der beiden ESYS-Szenarien beziehen sich auf den gesamten Gebäudebestand in Deutschland.

6 Industrieemissionen vermeiden – mit Effizienz, erneuerbaren Energien und neuen Verfahren

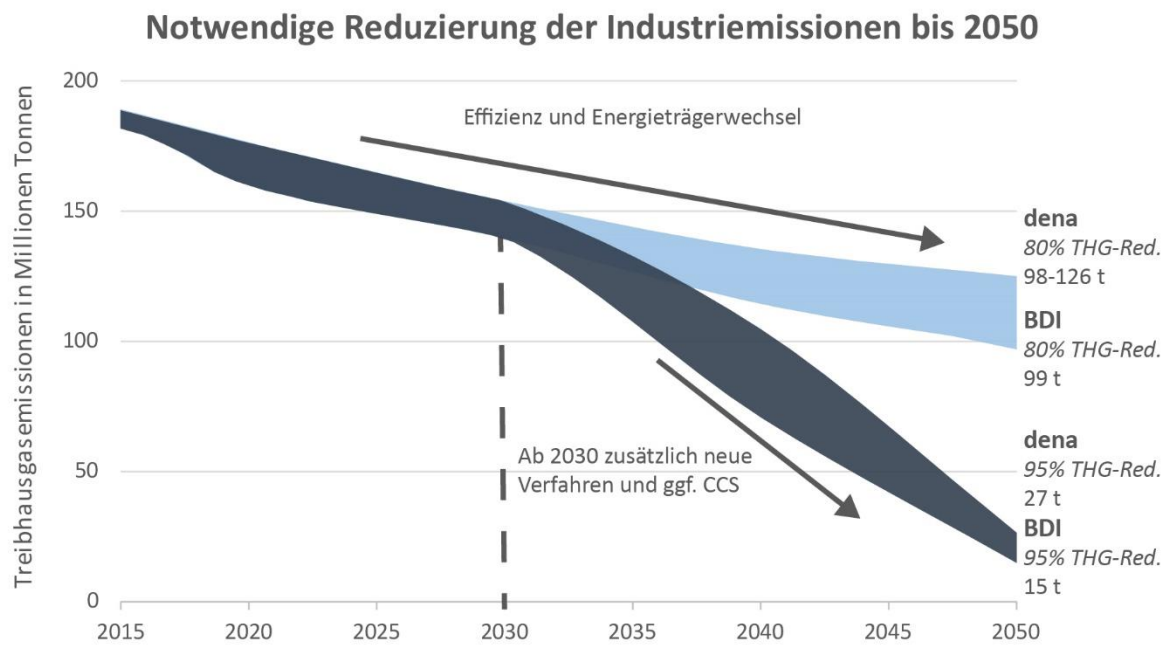
Rund ein Viertel des deutschen Endenergieverbrauchs geht auf die Industrie zurück. Knapp 90 Prozent davon wird mit fossilen Energieträgern gedeckt. Sollen die Klimaziele in Deutschland erreicht werden, braucht es in der Industrie eine **weitere Steigerung der Energieeffizienz und einen Wechsel auf erneuerbare Energieträger** (u.a. heimische Biomasse, Wasserstoff, synthetisches Methan sowie hybride Systeme mit Gas und erneuerbarem Strom). Insbesondere Biogas und synthetisches erneuerbares Gas kann eine wichtige Rolle übernehmen, da es für die hohen Temperaturen für Prozesswärme genutzt werden und Erdgas direkt ersetzen kann. Derzeit bestehen jedoch zu geringe Anreize für eine Veränderung bei der Energieversorgung und -nutzung.

Investitions- und Innovationszyklen dauern in der Industrie bis zu 30 Jahre – 15 Jahre für die Entwicklung, 15 Jahre für die Markterschließung. Deshalb müssen die richtigen Impulse bereits jetzt gesetzt und langfristig sichergestellt werden.

Um die ambitionierten Klimaziele in Deutschland langfristig zu erreichen, muss auch die Industrie ihre Emissionen um mindestens 90 Prozent reduzieren. Das ist allein durch die Steigerung der Energieeffizienz und einem Wechsel zu erneuerbaren Energieträgern nicht möglich. Prozessemissionen, die in Deutschland etwa 7 Prozent der THG-Emissionen ausmachen, lassen sich mit den heute verfügbaren Technologien nicht vollständig vermeiden. Daher werden **neue Verfahren zur Vermeidung von Prozessemissionen** benötigt, z.B. der Einsatz von grünem Wasserstoff bei der Eisenerzverhüttung. Die Abscheidung und Speicherung von CO₂ (Carbon Capture and Storage, CCS) wird aus heutiger Sicht für die Erreichung der ambitionierten Klimaziele eine erforderliche Ergänzung darstellen und kann als Brückentechnologie dienen. Sowohl die Verfahren zur Vermeidung als auch die Verfahren zur Speicherung gilt es aber noch technisch und wirtschaftlich für den Einsatz zu entwickeln.

Schlussfolgerungen:

- **Forschung und Entwicklung stärker fördern:** Sollen die Klimaziele bis 2050 erreicht werden, müssen neue Verfahren zur Vermeidung von Prozessemissionen bereits 2030 zur Verfügung stehen.
- Gerade für eine erfolgreiche Transformation des Industriesektors muss die Bundesregierung **langfristig planbare Rahmenbedingungen** für die Energiewende setzen. Nur so können Unternehmen die erforderlichen weitreichenden Investitionsentscheidungen treffen.
- **Industrie im internationalen Wettbewerb schützen:** Die Europäische Union und die Bundesregierung müssen mit flankierenden Maßnahmen weiterhin sicherstellen, dass Unternehmen, die sich im internationalen Wettbewerb befinden, nicht ihre Produktionen aufgrund steigender Energiekosten ins Ausland verlegen („carbon leakage“).
- **CCS im Industriebereich diskutieren:** In Deutschland sollte auf Bundes- und Landesebene eine neue gesellschaftliche Auseinandersetzung anstoßen werden, ob und unter welchen Bedingungen der Einsatz von CCS zur Vermeidung von prozessbedingten THG-Emissionen in der Industrie gesellschaftlich akzeptiert und eingesetzt werden kann.



Zu den Unterschieden

- In der ESYS-Studie wurden die Industriemissionen nicht gesondert betrachtet, sondern ausschließlich Emissionen des Energiesystems.

7 Ganzheitliche Steuerung der Energiewende, um Investitionen zu ermöglichen

Die Umstellung des Energiesystems ist mit erheblichen Investitionen verbunden: Sollen die Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 Prozent gesenkt werden, steigen die **Mehrkosten im Vergleich zu einem „business as usual“-Szenario je nach Studie um 15 bis 70 Milliarden Euro jährlich** an. Das entspricht zwischen 0,5 bis rund 2 Prozent des heutigen Bruttoinlandsproduktes.

Zwei Faktoren spielen dabei eine wichtige Rolle:

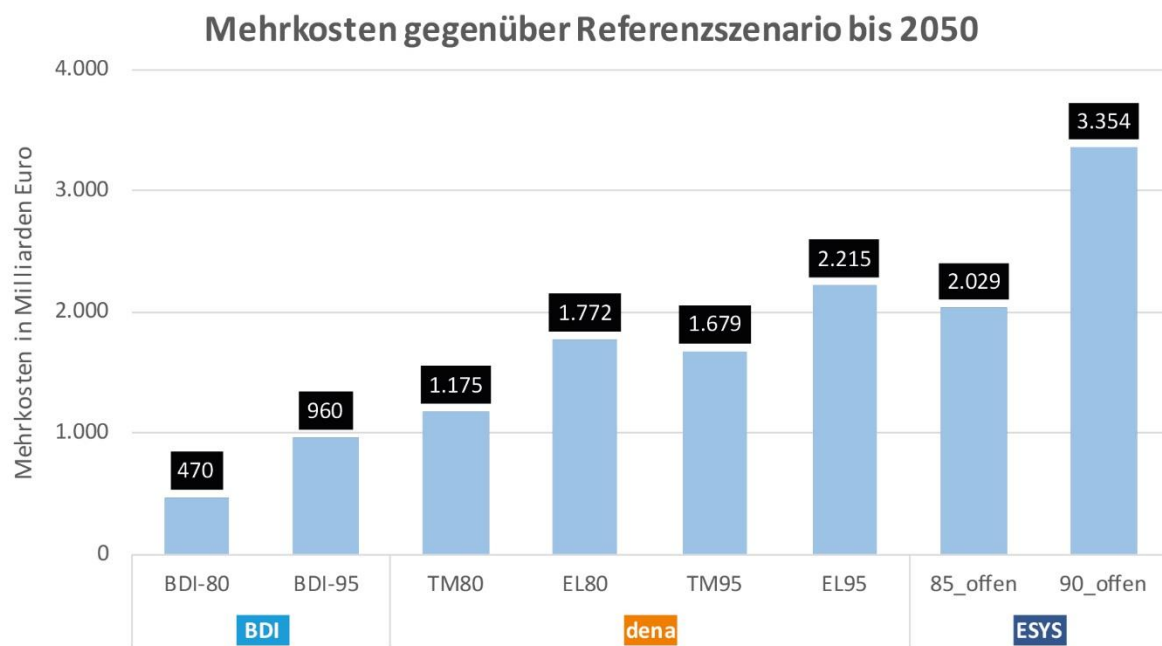
- Ehrgeizige Klimaziele bedeuten höhere Kosten. So steigen die Mehrkosten bei den ambitionierteren Szenarien je nach Studie auf 30 bis 100 Milliarden Euro im jährlichen Durchschnitt.
- Je später die Investitionen kommen, desto teurer wird es. Der Transformationsprozess muss daher unverzüglich beginnen, um die Mehrkosten niedrig und die Belastungen für Gesellschaft, Wirtschaft und Industrie so gering wie möglich zu halten.

Bei diesen Kosten werden nicht die positiven volkswirtschaftlichen Effekte berücksichtigt, die sich durch Technologienentwicklung, neue Arbeitsplätze und Exportchancen für das Hochtechnologieland Deutschland ergeben können.

Ein Großteil der bis 2050 nötigen Mehrinvestitionen wird sich bei den heutigen Rahmenbedingungen nicht von allein einstellen. Dafür braucht es eine gezielte und ganzheitliche politische Steuerung. Einzelregelungen, Subventionen und kleinteilige Fördermaßnahmen führen oft zu höheren volkswirtschaftlichen Kosten.

Schlussfolgerungen:

- Die Bundesregierung sollte Rahmenbedingungen schaffen, die **langfristige Planbarkeit gewährleisten**, um Investitionsrisiken zu minimieren.
- Als Ausgangspunkt sollte die Bundesregierung das System an Abgaben, Umlagen und Steuern umfassend und möglichst noch in dieser Legislaturperiode überarbeiten. Im Mittelpunkt der Reform sollten **CO₂-orientierte Preissignale für alle Anwendungssektoren** auch außerhalb des ETS stehen.



Zu den Unterschieden

- Die Differenzen in den Mehrkosten ergeben sich unter anderem durch unterschiedliche Annahmen bei Effizienzgewinnen, Kosten für Energieimporte und unterschiedliche Zinssätze. Die Herstellung synthetischer Energieträger ausschließlich in Deutschland, ist bei der ESYS-Studie ein weiterer Kostenfaktor.

